

19222

Н. С. Мамаев
Ю. Н. Мамаев
Б. Г. Теряев

Системы цифрового телевидения и радиовещания

ТЕЛЕВИДЕНИЕ И РАДИОВЕЩАНИЕ

Построение систем распределения
цифровых телевизионных
и радиовещательных программ

Принципы спектрального сжатия
видео- и аудиосигналов

Интерактивный доступ пользователей
Интернет по спутниковым каналам
и распределительным сетям MMDS,
а также быстро развивающимся сетям,
используемым на земных станциях VSAT

Направления модернизации традиционных
систем радиовещания в ДВ, СВ и КВ
диапазонах при передаче цифровых
сигналов, а также многоканальных
сетей УКВ-ЧМ вещания

Обзор цифровых глобальных и региональных
систем спутникового радиовещания

Горючий журнал-Телеком



Н. С. Мамаев
Ю. Н. Мамаев
Б. Г. Теряев

Системы цифрового телевидения и радиовещания

*Donated to TUT
by SCOUT fellows 2006
N. Karimova*

+

Москва
Горячая линия - Телеком
2006

ББК 32.94-5
М 22

Мамаев Н. С., Мамаев Ю. Н., Теряев Б. Г.

М22 Системы цифрового телевидения и радиовещания / Под ред.
Н. С. Мамаева. — М.: Горячая линия – Телеком, 2006. — 254 с. — ил.
ISBN 5-93517-277-1.

Изложены основные вопросы построения систем распространения цифровых телевизионных и радиовещательных программ. Даны основные количественные соотношения для расчета телерадиовещательных систем при прохождении сигналов в тропосфере, в космосе и по кабельным сетям. Рассмотрены принципы спектрального сжатия видео- и аудиосигналов, что позволяет увеличить пропускную способность стандартных телевизионных каналов в 4–6 раз. Обсуждаются возможности организации прямого интерактивного доступа пользователей Интернет по спутниковым каналам и распределительным сетям MMDS, а также быстро развивающимся сетям, построенным на земных станциях VSAT.

Проанализированы направления модернизации традиционных систем радиовещания в ДВ, СВ и КВ диапазонах при передаче цифровых сигналов, а также многоканальных сетей УКВ-ЧМ вещания. Дан обзор цифровых глобальных и региональных систем спутникового радиовещания.

Для специалистов, менеджеров, руководителей предприятия и компаний, занимающихся проектированием и эксплуатацией телекоммуникационных сетей.

ББК 32.94-5

Справочное издание

Мамаев Николай Степанович

Мамаев Юрий Николаевич

Теряев Борис Григорьевич

СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И РАДИОВЕЩАНИЯ

Редактор И. Н. Алексеева

Обложка художника В. Г. Ситникова

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru
e-mail: radios_hl@mtu-net.ru

ЛР № 071825 от 16 марта 1999 г.

Подписано в печать 15.08.05

Гарнитура Arial

Тираж 2 000 экз. (1 зав. 1–1000 экз.)

Формат 60х88/16

Печать офсетная

Изд. № 6277

Бумага офсетная

Уч. изд. л. 16

Зак. № 434

ISBN 5-93517-277-1

© Мамаев Н. С., Мамаев Ю. Н., Теряев Б. Г., 2006

© Оформление издательства «Горячая линия – Телеком», 2006

Предисловие

За последнее десятилетие системы спутникового, наземного и кабельного телерадиовещания продолжали развиваться быстрыми темпами не только в количественном, но и в качественном отношении. При появлении систем непосредственного вещания со спутников этот процесс приобрел глобальный характер, так как благодаря успехам в области электроники и радиотехники индивидуальные приемные установки стали доступны основной массе населения земного шара. Предложенный в начале 1990-х годов метод преобразования аналоговых сигналов в цифровые при сжатии спектра в десятки раз при высоком качестве изображения позволяет передавать в стандартном частотном канале в 4–6 раз большее число телевизионных программ.

Появились новые услуги для пользователей: передача речи, доступ в Интернет, организация видеоконференций, ряд мультимедийных услуг и многое другое.

Внедрение сравнительно недорогих и оперативно развертываемых земных станций типа VSAT в труднодоступных и отдаленных районах позволило успешно решить задачу охвата многопрограммным телерадиовещанием и средствами связи всего населения нашей огромной страны.

Учитывая вышесказанное, авторы подготовили книгу, в которой постарались осветить новые направления развития систем телерадиовещания, сформулировав основные тенденции развития их на ближайшие 10–12 лет. К таким направлениям, в первую очередь, следует отнести:

- двусторонний обмен информацией между источником и пользователем (интерактивность);
- развитие цифровых систем радиовещания;
- взаимодействие систем телерадиовещания и традиционных средств телекоммуникаций – телефонии, передачи данных и т.п.;
- широкое применение систем телерадиовещания в образовании, медицине, бизнесе, в культурном обмене, социальной сфере и т.д.

Основное внимание авторы уделили сетям распределения телевизионных и радиовещательных программ в тропосфере, космосе и кабельных системах.

Авторы надеются, что данная работа будет полезной для широкого круга читателей и способствовать ускорению процесса внедрения цифровых технологий и аппаратуры в нашу повседневную жизнь.

Введение

В период с начала 1990-х годов по настоящее время достигнуты серьезные успехи по внедрению новых, главным образом, цифровых методов передачи телевизионных и радиовещательных программ в различного вида каналах: тропосферных (наземных), спутниковых, кабельных.

Вместе с тем, совершенствуются и традиционные системы связи и радиовещания, использующие частоты длинноволнового (ДВ), средневолнового (СВ) и коротковолнового (КВ) диапазонов волн путем перехода на передачу вещательных сигналов в цифровой форме.

В системах УКВ-ЧМ радиовещания идет процесс уплотнения каналов: вместо одной стереофонической программы передается до трех монофонических, причем в этом же канале может быть передана дополнительная цифровая информация со скоростью до 19,6 кбит/с.

Цифровые методы передачи телевизионных и радиовещательных программ успешно внедряются в спутниковых системах связи, где в настоящее время до 70% программ телевидения передается в цифровой форме по стандарту MPEG-2.

Активно внедряются цифровые методы передачи в кабельных сетях, где в стандартном телевизионном канале с полосой 8 МГц может быть передано до шести телевизионных программ в цифровом формате, используя многопозиционные сигналы с модуляцией 16-QAM – 256 QAM.

Системы наземного цифрового телевидения по стандарту DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) работают в ряде стран Европы (Германия, Франция, Англия, Финляндия, Швеция).

В России проведены испытания системы DVB-T в опытных зонах Москвы, С.-Петербурга, Нижнего Новгорода. В настоящее время проводится опытная эксплуатация этой системы в Москве и С.-Петербурге на ряде дециметровых каналов. В дальнейшем планируется в Москве организовать 32 телевизионных канала, в С.-Петербурге – 34 и в Нижнем Новгороде – 50 телеканалов.

Испытания и опытная эксплуатация проводились в основном на аппаратуре, изготовленной отечественными предприятиями (ОАО «Телеком», АО «Март», ЛОНИИР и некоторые др.).

Для массового производства цифровых телевизионных приемников объединяют свои усилия заводы Москвы, С.-Петербурга, Новгорода.

В телерадиовещательных системах используются три среды распространения сигналов:

Тропосфера в наземных (эфирных) каналах, где для передачи сигналов могут применяться метровые и дециметровые волны, а также сантиметровые в полосе 27...29 ГГц и миллиметровые в полосе 40,5...43,5 ГГц. Системы в полосах частот 27...29 и 40,5...43,5 ГГц относят к сотовым сетям распределения программ телерадиовещания.

Кабели оптический и коаксиальный создают направляющую среду в кабельных сетях распределения программ.

Космос используется в спутниковых системах связи и телерадиовещания, причем, как правило, применяются спутники, размещаемые на геостационарной орбите (в экваториальной плоскости с удалением от Земли примерно 36 тыс. км).

По характеру среды распространения сигналов принято телерадиовещательные системы называть наземными (эфирными¹), спутниковыми и кабельными. Этой терминологии и будут придерживаться авторы в дальнейшем.

Следует отметить, что вышеуказанное деление систем телерадиовещания в некоторой степени условно, так как имеет место тесное взаимодействие между ними в процессе доведения информации до пользователя. Кроме того, в настоящее время наблюдается устойчивая тенденция взаимодействия различных систем передачи цифровой информации, когда в общий цифровой поток вводятся телевизионные и радиовещательные программы, телефония, передача данных, пакетная передача информации (IP, Frame Relay, ATM). Происходит процесс конвергенции отраслей телевидения и телекоммуникаций, означающий внедрение в телевизионное вещание информационных технологий.

В ближайшие 10–12 лет системы цифрового телевизионного вещания, по-видимому, будут развиваться по следующим направлениям:

- увеличение числа передаваемых программ нормальной четкости в отведенной полосе частот 8 МГц и внедрение систем телевидения высокой четкости, в том числе и широкое внедрение системы «ТВ-Информ», позволяющей передавать по каналу дополнительную цифровую информацию;

¹ Строго говоря, термин «эфирный канал» недостаточно обоснован, несмотря на то, что в литературе широко используется. В физике такого понятия, как «эфир» в настоящее время нет и применяли его до того времени как Хевисайд обосновал слоистую структуру атмосферы.

- внедрение интерактивных систем телевизионного вещания, обеспечивающих организацию диалога пользователей с центрами производства программ и другими источниками информации;

- повышение качества изображения передаваемых в цифровом формате программ за счет новых более помехоустойчивых методов модуляции, позволяющих применять высокоэффективные коды, корректирующие и исправляющие ошибки в цифровом потоке;

- реализация высокоскоростного доступа в Интернет с терминала пользователя;

- широкое внедрение и развитие мультисервисных сетей;

- модернизация существующей инфраструктуры распределения телевизионных программ – наземных передающих центров, ретрансляторов, перевод радиорелейных линий на передачу цифровых сигналов, обеспечивающих работу в интерактивном режиме.

Практическое внедрение сотовых систем многопрограммного телевизионного вещания и телекоммуникаций в верхней части сантиметрового диапазона (27,5...29,5 ГГц) и в миллиметровом диапазоне (40,5...43 ГГц).

Аналоговые системы телевидения будут существовать, по крайней мере, до 2015 г. хотя бы потому, что из-за низкой покупательной способности населения России и стран СНГ весьма сложно заменить более чем 80-миллионный парк аналоговых телевизоров цифровыми за оставшиеся 12 лет. Следует учитывать, что самый дешевый вариант цифрового приемника в виде специальной приставки *step-top-box* к современным моделям телевизоров предварительно оценивается в суммы порядка 180...200 долл.

К цифровому телевизионному приемнику в настоящее время предъявляются требования как к универсальному прибору, совмещающему функции персонального компьютера, телевизора, телефона, принтера и ряда других приборов.

Абонентский терминал не должен быть простой приставкой к телевизору, способной преобразовать принятую из канала связи цифровую программу, а представлять собой многофункциональное информационное устройство, которое наряду с приемом десятков высокого качества цифровых телепрограмм, позволяет обеспечить интерактивность для получения медицинских услуг на дому, информацию о погоде в различных регионах страны, о транспортных средствах для междугородных и международных поездок и о многом другом.

Сведения о реализации этих требований в разрабатываемых и внедряемых в производство терминалах на отечественных предприятиях изложены ниже.

Внедрение цифрового телевидения стимулировало замену выработавших свой ресурс спутниковой группировки космических аппаратов «Горизонт» на современные высокостабильные космические аппараты (КА) типа «Экспресс АМ» с увеличенным сроком службы.

Новые спутники имеют значительно большее количество транспондеров, в том числе около 50% каналов в новых спутниках предназначаются для работы в K_u диапазоне. Частоты этого диапазона в настоящее время широко используются для непосредственного телевизионного вещания и в сетях с земными станциями типа VSAT (Very Small Aperture Terminal). На земных станциях типа VSAT планируется создание региональных сетей спутниковой связи во многих административных центрах федеральных округов и субъектов Российской Федерации с соответствующими сетями доступа. Эти сети будут иметь выход на взаимноувязанную сеть связи (ВСС) России и магистральную сеть спутниковой связи и вещания.

О номенклатурном ряде земных спутниковых станций, предназначенных для цифровой распределительной сети телерадиовещания, более подробное описание дано в гл. 3.

1. СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

Современные системы телевизионного вещания развиваются в трех направлениях:

первое – интенсивный рост числа коллективных и индивидуальных установок спутникового телевизионного вещания;

второе – внедрение широкополосных сетей кабельного телевидения в полосе 5...862 МГц, способных предоставить телезрителю до 100 и более телевизионных программ;

третье – внедрение и развитие наземного ТВ при реализации систем, так называемого сотового телевидения (системы MMDS – Multichannal Microwave Distribution System – многоканальные, микроволновые системы распределения, LMDS – Local Multipoint Distribution System – локальные многоточечные системы распределения, MVDS – Multipoint Video Distribution System – многоточечные системы распределения телевизионных программ).

Успешно внедряются коллективные приемные установки, объединяющие все три указанных выше вида каналов.

На базовых (головных) станциях таких установок имеются антенны для приема сигналов со спутников и от наземных ретрансляторов, а головная станция через магистральную распределительную кабельную сеть доводит различные виды программ к пользователям.

Подобные универсальные сети имеют широкое распространение в странах Западной Европы, Канаде, США, Японии и других странах.

В России, особенно в крупных городах – Москве, С.-Петербурге, Екатеринбурге и др., создаются кабельные сети с трансляцией до 50 и более телевизионных программ, позволяющие также предоставить заинтересованным абонентам обратный канал (так называемые системы интерактивного телевидения).

В Москве многоканальная кабельная сеть введена в эксплуатацию в 1998 г. в районах Дорогомилово и Ломоносовского проспекта.

Идея интерактивного телевизионного вещания технически наиболее просто решается в сетях кабельного телевидения.

Современные системы кабельного телевидения представляют собой гибридные оптокоаксиальные сети, позволяющие пропустить всю полосу частот от 5 до 862 МГц, отведенную для телевизионного вещания. Причем в полосе 5...40 МГц размещаются не только служебные сигналы, но и обратные каналы, по которым абонент запрашивает через головную станцию интересующую его информацию из соответствующих банков данных.

При наличии обратных каналов по системе кабельного телевидения абоненту может быть предоставлен ряд дополнительных услуг: подключение к телефонной сети общего пользования и сетям передачи данных, выход в Интернет, организация домашних конференций по различным вопросам, телебанкинг (расчеты через банк), телешопинг (выбор товаров и покупка по телевидению) и многое другое.

В этой связи представляет интерес интерактивная оптокоаксиальная система кабельного телевидения, предлагаемая фирмой Hirschmann. По системе могут передаваться аналоговые сигналы ЧМ (спутниковое телевизионное вещание) и АМ (наземное телевизионное вещание), цифровые аудио и видео с различными видами модуляции (КАМ, ФМ-4, D2-MAC) стандартов NTSC, PAL, SECAM.

По утверждениям специалистов фирмы, стоимость оптокоаксиальной кабельной сети на 200–300 тыс. абонентов при трансляции 42 телевизионных программ и организации интерактивного сервиса будет в 2–3 раза меньше, чем стоимость такой же системы, построенной на основе лишь коаксиальных кабелей.

К середине 1997 г. оборудование фирмы Hirschmann было установлено в Вене на 400 тыс. абонентов, в Дрездене на 200 тыс., в Софии на 300 тыс., в Будапеште на 600 тыс. абонентов.

Кабельные сети за счет ограниченной протяженности обладают рядом достоинств: позволяют объединить программы с аналоговой и цифровой передачей информации, имеют возможность предоставить абоненту высокоскоростной канал передачи данных.

Наряду с интенсивным развитием систем спутникового и кабельного телевидения, внедрением интегральных сетей распределения программ спутникового, кабельного и наземного телевидения в последние годы во многих странах Европы и Америки ведутся работы по созданию наземных систем сотового телевидения MVDS и LMDS.

В самом деле, многоканальные системы ретрансляции телевизионных программ, работающие в диапазоне 2,5...2,7 ГГц, из-за большой загруженности радиорелейными сетями прямой видимости, спутниковыми системами, не обеспечивают высококачественных сигналов. Кроме того, этот участок диапазона имеет ограниченную пропускную способность.

Традиционные телевизионные ретрансляторы метрового и дециметрового диапазонов не эффективны в жилых массивах крупных городов из-за переотражений от высокэтажных строений. Электромагнитные излучения мощных передатчиков неблагоприятно действуют на живые организмы в ближней зоне от передатчика.

Поэтому уже во многих странах мира телевизионные системы с низким уровнем излучения и кабельные вытесняют мощные ретрансляторы.

Стоимость развертывания сети сотового телевизионного вещания в условиях больших городов во много раз ниже общих затрат на монтаж и эксплуатацию гибридных оптико-коаксиальных систем кабельного телевидения.

В настоящее время работы по внедрению систем сотового телевидения ведутся достаточно широко в Северной Америке, где для этих целей используется диапазон 27,5...29,5 ГГц, и в Европе – в диапазоне 40,5...42,5 ГГц. В этих системах в полосе примерно 2 ГГц можно передавать от 96 до 128 аналоговых телевизионных сигналов и в 3–4 раза больше цифровых, в которых применяется информационное сжатие сигналов. При этом каждый аналоговый радиоканал занимает полосу 27...36 МГц, а цифровой всего 8...9 МГц.

Частотное планирование в сети производится методом разделения каналов либо по частоте, либо по поляризации, либо и то, и другое.

Абонентское оборудование представляет собой обычный спутниковый ресивер, работающий в полосе 950...2050 МГц, и СВЧ-блок, который включает рупорную антенну диаметром 15...25 см и маломощный конвертер. Такую малогабаритную установку легко переносить и монтировать в помещении.

Опытная эксплуатация систем сотового телевидения для нескольких тысяч абонентов ведется в Германии, Великобритании, Швеции, Японии, Швейцарии, Корее и ряде других стран.

По-видимому, они найдут весьма широкое распространение в тех странах, где пока еще не существует качественная широкополосная оптико-коаксиальная сеть телевизионного вещания.

Системы сотового телевидения открывают широкие возможности по увеличению числа программ, ретранслируемых на региональном уровне: вместо 2–4 каналов телезрители могут видеть большое число зарубежных видеопрограмм. Эти каналы будут ретранслироваться с европейских, арабских, индийских, китайских и японских спутников, сигналы от которых принимаются на территории России во многих регионах.

Современные системы спутникового, кабельного и сотового телевидения открывают широкое информационное поле как для телезрителей крупных городов, так и для регионов, включая небольшие города и поселки.

Все перечисленные направления развития современных телевизионных систем подробно рассматриваются в последующих разделах книги.

1.1. Стандарты, используемые в аналоговом телевизионном вещании

Для черно-белого телевидения в разных странах мира используют 10 стандартов, различающихся между собой числом строк (625 или 525), частотой полей (50...60 Гц), частотой строк (15 625 или 15 750 Гц), полосой частот видео- и радиоканала (включая сигналы звукового сопровождения), видом модуляции несущей звука (ЧМ или АМ), разносом несущих частот видео- и звуковых сигналов и некоторыми другими характеристиками. Следует иметь в виду, что видеосигнал передается в негативном или позитивном изображении.

По способу передачи сигналов цветности различают три основные системы совместимого с черно-белым изображением цветного телевидения: SECAM, NTSC и PAL.

В системе SECAM (применяется во Франции, в странах СНГ и странах Восточной Европы и Азии) каждый из двух цветоразностных сигналов модулирует по частоте цветовую поднесущую в смежных строках. Частоты поднесущих при отсутствии модуляции 4,4065 и 4,25 МГц, девиация поднесущей ± 250 и ± 230 кГц соответственно.

В системе NTSC (распространена в странах американского континента и Японии) цветоразностные сигналы передаются методом квадратурной фазовой модуляции на поднесущей частоте $f_n = 3,579545$ МГц, соответствующей половинному значению 455-й гармоники строчной частоты, т.е. $f_n = 455 f_{стр} / 2$.

В системе PAL (широко применяется в странах Центральной и Западной Европы, а также в КНДР, КНР и в некоторых странах азиатского континента) сигналы цветности так же, как и в системе NTSC, передаются с помощью квадратурной фазовой модуляции 4-ФМ (QPSK), однако фаза поднесущей одного из модулированных сигналов поочередно от строки к строке изменяется на 180° . Частота поднесущей в зависимости от принятой разновидности стандарта может изменяться в пределах 3,5795...4,4336 МГц.

При квадратурной ФМ используют одну поднесущую на частоте 3,5795 МГц (NTSC) или 4,4336 МГц (PAL). Сигнал на поднесущей частоте с помощью фазовращающей цепи разделяется на две составляющие, сдвинутые одна относительно другой на 90° , что позволяет каждую из составляющих модулировать своим цветоразностным сигналом.

В последние годы в разных странах мира ведут интенсивные исследования возможностей передачи телевизионных сигналов в цифровом виде. Цифровые сигналы обладают большей помехозащищенностью от гладких шумов и менее чувствительны к неравномерности амплитудной и нелинейности фазовой характеристик приемопередающего тракта.

Специалистами Великобритании разработан и предложен для реализации в первом поколении систем СТВ комбинированный цифроаналоговый метод передачи (стандарт MAC¹), при котором сигналы яркости и цветности сжимаются во времени и передаются поочередно на периоде активной части строк. Сжатие аналоговых сигналов производится стробированием с некоторой тактовой частотой, накоплением их в буферной памяти, ускоренным считыванием с новой, более высокой тактовой частотой и обратным преобразованием в аналоговую форму.

Сигналы звукового сопровождения, данных и синхронизации передаются в предложенной системе в цифровом виде, при этом применяется помехозащищенное кодирование.

Сигналы MAC в меньшей степени подвержены перекрестным искажениям яркостных и цветоразностных компонент и менее чувствительны к шумовой помехе, особенно сигналы цветности.

В настоящее время предложено и реализовано шесть модификаций системы MAC применительно к разным стандартам видеосигнала (625 или 525 строк), отличающимся тактовыми частотами, числом тактовых интервалов, структурой уплотнения, опорными сигналами, параметрами преобразования сигналов яркости

¹ MAC – Multiplexing Analogue Components (уплотнение аналоговых компонент).

и цветности, а также методами кодирования и параметрами модуляции звука.

Принципиальной особенностью системы MAC является возможность передачи данных при пакетном или непрерывном методе передачи.

Объединение цифровых потоков видеосигнала, нескольких каналов звука (от 4 до 8), телетекстовой информации производится пакетным методом, для чего в начале каждой строки передается кодовое слово. Кадровая синхронизация и сведения о методе засекречивания, числе звуковых каналов вводятся в последнюю строку.

Видеосигналы передаются в 24...310 и 336...622 строках (в стандарте 625 строк). В остальные строки может быть введена телетекстовая информация.

В связи с широким распространением в Западной Европе, на американском континенте и в других странах систем кабельного телевидения был предложен стандарт D2-MAC/packet, который предназначен для передачи по существующей широкополосной сети кабельного телевидения. Передачи спутникового телевизионного вещания в стандарте D2-MAC ведутся во Франции и Германии через свои вещательные спутники TV-SAT и TDF. В Англии принят стандарт D-MAC. В Скандинавских странах (Швеция, Норвегия) ведутся экспериментальные передачи в стандарте C-MAC через европейские спутники.

Качество изображения и звука в D2-MAC выше, чем при передаче аналоговых сигналов в PAL. В сочетании с защитой EUROCRYPT обеспечивается надежное закрытие платных программ от пиратства.

Декодер и специальная карточка обеспечивают возможность просмотра конкретной телевизионной программы (или группы программ), кодируемой в стандарте EUROCRYPT. Карточка – это ключ для открывания программы на абонентской основе. По окончании абонентской платы телевизионный канал закрывается до следующего платежа. Контроль доступа абонента к каналам производится программно, при этом команда на включение или отключение карточки приходит по спутниковому каналу вместе с картинкой персонально к каждому конкретному абоненту.

Телевизионные системы MAC с различными модификациями послужили переходным этапом для полностью цифровых систем, использующих информационное сжатие видео- и аудиосигналов методом MPEG-2.

1.2. Распределение полос частот для телерадиовещания и некоторые соотношения для расчета напряженности поля

По распределению частот территории России, стран СНГ, Европы, Африки, Турции и стран Аравийского полуострова решениями МККР (МСЭ-Р) отнесены к району 1. Соответственно для систем телерадиовещания в данном районе выделены следующие полосы частот: 48,5...66 МГц (1 и 2-й телеканалы), 66...74 МГц звуковое вещание с ЧМ, 76...100 (3–5 телеканалы), 100...108 звуковое вещание с ЧМ, 148...174 МГц (служебные и специальные каналы, частично используемые сейчас в сетях кабельного телевидения), 174...230 (6–12-й телеканалы), 470...582 (21–34 телеканалы) и 582...790 (35–60-й телеканалы). Кроме указанных выше, выделены для наземного телевизионного вещания полосы частот 10,7...12,75 ГГц, 27,5...29,5 ГГц, 40,5...42,5 ГГц и 84...86 ГГц). Данные полосы частот, кроме 84...86 ГГц, в настоящее время успешно осваиваются в современных системах MMDS, LMDS, MVDS.

При проектировании систем наземного телерадиовещания следует определить минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения желаемого качества приема в присутствии шумов и воздействии помех от других передатчиков.

Так как на расстоянии R (радиус зоны обслуживания) напряженность поля является случайной величиной, зависящей от времени T и мест расположения передающей и приемной станции L , то обычно при расчетах используют медианные значения напряженности поля по местоположению и времени $E(L, T)$, т.е. $E(50,50)$. В месте приема учитывают две составляющие помех: флуктуирующую, уровень которой изменяется во времени и постоянную, уровень последней мало меняется во времени. При расчетах напряженности поля помех для телерадиовещательных каналов метрового диапазона принято нормировать уровень флуктуационной помехи, превышаемый не более чем в 10% времени, а в дециметровом диапазоне – в 1% времени.

Основные параметры системы телерадиовещания, необходимые для расчета

Эффективная излучаемая мощность радиопередатчика – это произведение мощности на коэффициент полезного действия (КПД) фидера и на коэффициент усиления антенны по мощности.

Обычно эффективную излучаемую мощность $P_{\text{изл}}$ выражают в децибелах относительно 1 кВт [1.1]:

$$P_{\text{изл}} = P_{\text{нд}} + G_{\text{нд}} - A_{\text{ф}}, \text{ дБкВт},$$

где $P_{\text{нд}} = 10 \log P$ кВт, мощность передатчика, дБкВт; $G_{\text{нд}}$ – коэффициент усиления передающей антенны относительно полуволнового вибратора; $A_{\text{ф}} = d_{\text{ф}} l_{\text{ф}}$, дБ, $d_{\text{ф}}$ – погонное затухание фидера на 1 м его длины, дБ/м, $l_{\text{ф}}$ – длина фидера, м; $d_{\text{ф}} = 10 \log \eta$, дБ – соотношение между затуханием в фидере в децибелах и коэффициентом полезного действия η (η – безразмерная величина).

При расчетах эффективной излучаемой мощности для станции наземного телевидения принимают пиковую мощность огибающей радиосигнала изображения передатчика, а для расчетов станций сигналов радиовещания с ЧМ, а значит и звукового сопровождения телевизионной программы, используют номинальную мощность передатчика.

В технической литературе и проспектах фирм обычно коэффициент усиления антенны указывается относительно изотропной (ненаправленной) антенны $G_{\text{из}}$, который больше $G_{\text{нд}}$ на 2,15 дБ.

Напряженность электрического поля в условиях свободного пространства (E_0) – это напряженность поля в точке приема при распространении радиоволн в идеально свободном пространстве, где отсутствует влияние земли и атмосферы.

На расстоянии R км от передающей станции напряженность поля в свободном пространстве будет дБмкВ/м:

$$E_0 = 106,9 - 20 \log R_{\text{км}} + P_{\text{изл}}, \text{ дБмкВ/м}.$$

В данном соотношении $P_{\text{изл}}$ записано в дБкВт.

Множитель ослабления поля свободного пространства

Под множителем ослабления V понимают дополнительное ослабление напряженности поля, вызванное влиянием земли (в том числе строениями на местности) и атмосферы:

$$V = 20 \log (E/E_0), \text{ дБ},$$

где E_0 и E – напряженность поля в условиях свободного пространства и на реальных трассах.

Действующая длина приемной антенны (действующая высота) – коэффициент, связывающий напряженность электрического поля в точке расположения антенны с напряжением на согласованной нагрузке (вход приемника).

Действующую длину антенны на выходе фидера с волновым сопротивлением 75 Ом определяют по формуле:

$$l_d = 20 \log \lambda, \text{ м} + G_{\text{пр}}, \text{ дБ} - A_{\text{ф}}, \text{ дБм},$$

где l_d – средняя длина волны принимаемого радиосигнала, м; $G_{\text{пр}}$ – коэффициент усиления приемной антенны относительно полуволнового вибратора, дБ; $A_{\text{ф}}$ – затухание в фидере приемной антенны, дБ.

При известных l_d и E напряжение сигнала на входе приемника U можно определить следующим образом:

$$U = I_d, \text{ дБм} + E, \text{ дБмкВ/м}, \text{ дБмкВ}.$$

Расчеты напряженности поля с учетом неровностей поверхности достаточно сложны, хотя и являются приближенными, имеющими полуэмпирический характер. Все многообразие земных и водных поверхностей сводят к пяти условным классификациям типов местности:

- равнинная или водная поверхность;
- среднепересеченная (равнинно-холмистая);
- сильнопересеченная (холмистая);
- гористая;
- очень высокие горы.

При этом учитывается среднее значение высот холмов или гор от подошвы до вершины на расчетной трассе.

Подобные детальные расчеты необходимы при проектировании систем телерадиовещания с радиусом зоны обслуживания от 10...15 км до 100 км, на трассах до 10 км сферичность Земли можно не учитывать.

В современных многоканальных системах телерадиовещания радиус зоны передатчика, как правило, не превышает 5...6 км. Поэтому проектирование сетей с мощностью передатчиков до 10 Вт и приеме на коллективные приемные устройства достаточно провести расчеты напряженности поля в точке приема, превышаемые в $T\%$ времени по соотношению:

$$E(T) = E_0 + V(50\%) + \delta E(T) + F(\Delta, \varphi),$$

где E_0 – напряженность поля в свободном пространстве, дБ; $V(50\%)$ – годовая медиана (среднее значение) множителя ослабления, дБ; $\delta E(T)$ – отклонение значения напряженности поля от медианы в заданном проценте времени T , дБ; $F(\Delta, \varphi)$ – коэффициент, учитывающий снижение излучаемой мощности диаграммой направленности в вертикальной (Δ) и горизонтальной (φ) плоскостях по сравнению с максимальным.

Первые два члена выражения для $E(T)$ определяют годовое значение напряженности $E(50\%)$.

Величину $V(50\%)$ в метровой и нижней части ДМВ диапазонов для открытых трасс равнинной или равнинно-холмистой местности при разных высотах антенн передатчика и приемника можно принять равным $\delta E(T)$ или определить по графикам рис. 2.35 [1.1].

Величина $\delta E(T)$ определяется по формуле:

$$\delta E(T) = \sigma_T K(T),$$

где σ_T – стандартное отклонение временного распределения, дБ; $K(T)$ – безразмерная величина, распределенная по логарифмически нормальному закону с нулевой медианой и стандартным отклонением, равным единице (определяется по графикам рис. 2.16 [1.1] в зависимости от действующей высоты передающей антенны и длины трассы).

Стандартное отклонение временного распределения, дБ, в метровом и дециметровом диапазонах волн для мест приема, расположенных на расстояниях до 10 км от передатчиков, определяется по формуле:

$$\sigma_T = 6,5 [1 - \exp(-0,036R)] \text{ или из табл. 1.1.}$$

Т а б л и ц а 1.1. Значения σ_T для расстояний R , км

R , км	2	4	6	8	10
σ_T , дБ	0,45	1	1,2	1,6	1,9

При проектировании систем телерадиовещания в крупных городах с разноэтажной застройкой следует, в основном, ориентироваться на результаты измерений напряженности поля сигнала и помех в предполагаемых местах приема.

1.3. Проектирование сетей наземного телевизионного вещания

При проектировании сетей телевизионного вещания помимо расчета зоны обслуживания с учетом препятствий на местности и условий прохождения радиоволн в тропосфере приходится учитывать еще ряд факторов.

К таким факторам, в первую очередь, следует отнести:

- основные технические характеристики используемых приемных и передающих устройств, включая антенны;
- влияние соседних мешающих станций, т.е. станций, находящихся в пределах прямой видимости от точки приема, и тропо-

сферных помех, создаваемых мешающими станциями, находящимися за пределами прямой видимости.

При тропосферной помехе в расчетах сетей телерадиовещания используют кривые распространения $E(50, 10)$ в метровом диапазоне волн и $E(50, 1)$ в дециметровом диапазоне волн. Напомним, $E(50, 10)$ означает, что медианное значение напряженности поля [$E(50\%)$] может превышать помехой не более чем в 10% времени для метрового диапазона и в 1% времени – для дециметрового диапазона. Для полезного сигнала используют кривые распределения $E(50, 50)$, т.е. учет напряженности поля в 50% мест приема, в 50% времени.

Минимальное отношение уровней полезного сигнала к мешающему (дБ) на входе приемника при заданном качестве изображения. Это отношение принято в литературе называть защитным. Защитное отношение зависит не только от параметров приемных, передающих устройств и антенн, но также и от разнеса частот, вида модуляции полезного и мешающего сигналов и некоторых других параметров.

Для ориентировочных расчетов можно воспользоваться упрощенной методикой, учитывающей местоположение мешающих станций, суммарную излучаемую ими мощность P_{Σ} , частотные присвоения полезной и мешающих станций (по совпадающим и смежным каналам), вид поляризации передающих антенн.

В сельских местностях на значительном удалении от областного радиопередающего телевизионного центра при установке телевизионных маломощных ретрансляторов до 10 Вт, с разрешения местных органов Госсвязьнадзора, методика расчета вновь устанавливаемых передатчиков может быть еще более упрощена.

Учитывая тенденцию постепенного уменьшения удельного веса аналоговых спутниковых телевизионных программ в пользу цифровых, можно с большой долей вероятности утверждать, что методика координации электромагнитной совместимости (ЭМС) спутниковых систем с наземными (РРЛ, наземными системами телевизионное вещание в диапазонах 2,1...2,9 ГГц и 12...13,5 ГГц и некоторых др.) может быть существенно упрощена. Такое утверждение основывается на том, что на спутниковый цифровой сигнал обязательно накладывается псевдослучайная последовательность и при этом спектральная плотность рандомизированного сигнала становится в пределах полосы пропускания близкой к равномерной.

Безусловно, методики расчета ЭМС различных электронных средств, использующих ранее не применявшиеся методы модуляции и кодирования, требуют уточнения и корректировки.

Современные передающие и ретрансляционные устройства для сетей наземного телевизионного вещания

Выше отмечалось, что современные распределительные сети наземного телевещания обслуживают, как правило, зону радиусом до 10 км с применением передатчиков до нескольких десятков ватт и антенны с круговой или секторной диаграммой направленности. Монтаж, эксплуатация и последующая модернизация таких сетей значительно проще и дешевле, чем систем с мощными ретрансляторами. Такое направление развития распределительных сетей телевещания позволяет значительно быстрее решить проблему многопрограммного вещания за счет привлечения к участию в разработке и инвестициях ряда проектов (например, «Телевизионная деревня»), коммерческих структур и широких групп населения.

Достаточно хорошо известная на российском рынке фирма «МАРТ», выпускающая мощную аппаратуру радиовещания и телевидения, производит твердотельные телевизионные передатчики мощностью 100...200 Вт в различной комплектации – со 100%-ным резервированием, с резервным возбудителем и без резерва.

Более мощные передатчики на 500, 1000 и 2000 Вт имеют общий высокочастотный усилитель для сигналов изображения и звукового сопровождения, который выполнен, как правило, на твердотельных усилительных элементах.

Выходные каскады телевизионных передатчиков мощностью от 5 до 25 кВт выполняются, как правило, на лампах. Все телевизионные передатчики при комплектовании соответствующим возбудителем могут работать на любом канале МВ и ДМВ диапазонов (48...790 МГц).

Фирма «МАРТ» выпускает также передатчики для профессионального стереофонического радиовещания в полосе 66...108 МГц мощностью от 30 до 4000 Вт. На все оборудование, выпускаемое фирмой, дается гарантия на два года и осуществляется послегарантийная поддержка, а также имеются Сертификаты соответствия Госкомсвязи РФ.

Все предлагаемые фирмой передатчики для телерадиовещания в настоящее время рассчитаны на совместную работу с аналоговыми модуляторами. Однако в случае необходимости мо-

Первые три направления рассматриваются в данном разделе, системы кабельного телевидения в гл. 4.

При разработке стандарта на цифровое телевизионное вещание в наземных сетях были проведены высококвалифицированными специалистами ряда стран очень серьезные исследования по уменьшению влияния мультипликативных помех.

Системы многопрограммного цифрового телевизионного вещания встраиваются в существующие частотные планы распределения телевизионных каналов, предусматривающие полосу пропускания 8 МГц для наземного и кабельного телевидения. В спутниковых телевизионных системах для непосредственного приема со спутников выделена полоса 27 МГц, а для фиксированных спутниковой связи (ФСС) разрешены системы с полосой пропускания 30, 33, 36, 40, 46, 54 и 72 МГц. Российские системы на спутниках «Радуга», «Экспресс», «Горизонт», как правило, работают в полосе 36 МГц.

Выбирая для цифрового телерадиовещания одинаковые или кратные полосы пропускания для разных систем, тем самым упрощают обмен телевизионными программами между наземными и спутниковыми вещательными службами. В самом деле, при цифровом потоке телевизионные программы 9 Мбит/с, по спутниковым системам можно пропустить 3–4 программы, а при пониженном качестве – до 6–8 телевизионных программ в полосе радиоканала 36 МГц. По кабельным каналам при перекодировании 16–256 КАМ – 4–6 программ высокого качества.

В результате этих усилий появился в 1996 г. стандарт для каналов наземного телевидения ETS 300744 – Digital Broadcasting Systems for television, sound and data services. Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, 1996 [1.2], или сокращенно стандарт DVB-T. Данный стандарт предусматривает возможность использования полосы пропускания 8, 7 и 6 МГц.

В этом стандарте предложен новый метод модуляции COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), который можно перевести на русский язык как метод многоканальной комбинированной амплитудно-фазовой модуляции на многих ортогональных несущих с применением помехоустойчивого кодирования. Применение метода модуляции COFDM позволяет реализовать качественный прием телевизионных программ при движении транспортных средств со скоростью до 300 км/ч, что в аналоговых системах неосуществимо. Кроме того, создаются предпосылки для организации одночастотных сетей, тем самым появляются возможности

увеличения числа источников сигналов с совмещенными по частоте каналами и расширяется зона охвата вещанием.

Следует отметить, что в одночастотных сетях требуется вводить синхронизацию по частоте и по времени для того, чтобы информационные пакеты разных передатчиков совмещались на временной шкале.

Рассмотрим кратко основные особенности метода комбинированной амплитудно-фазовой модуляции на ортогональных несущих.

Как было указано выше, применение комбинированной амплитудно-фазовой модуляции (16-КАМ, 64-КАМ, 256-КАМ) обусловлено необходимостью увеличения пропускной способности радиоканала по соотношению 2^n , где цифра 2 означает дискретный канал для двоичного сигнала (посылка, пауза), а знак n – число двоичных каналов в системе связи. В системе 4-ФМ могут передаваться две независимых двоичных последовательности (2^2), в системе 8-ФМ – три (2^3), в системе 16-КАМ – четыре (2^4) и т.д. Использование в системах с числом позиций более восьми комбинированной амплитудно-фазовой модуляции объясняется большей помехоустойчивостью этих сигналов по сравнению с многопозиционной фазовой модуляцией (16-ФМ, 64-ФМ и т.д.).

В настоящее время широко применяется метод модуляции – ФМ (спутниковые системы), при котором каждая несущая несет 2 бита информации, при модуляции 16 КАМ – 4 бита и при модуляции 64 КАМ – 6 бит. Методы модуляции 16 КАМ, 64 КАМ и 256 КАМ, как правило, используются в кабельных и наземных системах цифрового телевидения.

Таким образом, с увеличением n в соотношении 2^n количество дискретных потоков, при одной и той же скорости передачи в заданной полосе канала, возрастает пропорционально числу n , где $n = 0, 2, 3, \dots, 8$. Число $n = 8$ соответствует системе 256 КАМ.

Ортогональность в предложенном методе модуляции позволяет исключить перекрытие спектров двух соседних несущих и тем самым свести к минимуму влияние двух соседних каналов. Условие ортогональности выполняется, если частотный разнос между несущими f_k и f_{k+1} будет равен величине обратной длительности символа рабочего интервала $T_{и}$, т.е. $f = f_{k+1} - f_k \approx 1/T_{и}$.

Математически ортогональность определяется как интеграл от произведения спектров двух модулированных несущих за время $T_{и}$, который равняется нулю.

Техническая реализация вышеописанного метода модуляции выражается в том, что в стандарте DVB-T предусмотрены две модификации, обозначаемые как 2К и 8К.

В модификации 2К используются 1705 несущих, а в 8К – 6817 несущих. При этом мультиплексированный суммарный поток видео-, аудиосигналов и данных делится на 1705 или 6817 параллельных потоков, в каждом из которых длительность символа увеличивается либо в 1705, либо в 6817 раз. Это позволяет часть длительности символа сообщения выделить на защитный интервал от эхосигналов. В обеих модификациях относительная длительность защитного интервала $1/T_{\text{и}}$ может принимать значения 1/4, 1/8, 1/16 и 1/32, т.е. защитный интервал может составлять от 3 до 25% длины рабочего интервала $T_{\text{р}}$. Выбор длины защитного интервала определяется не только рельефом местности и характером застройки на обслуживаемой телецентром территории, но и удалением соседних передатчиков.

Физически очевидно, что чем длиннее рабочий интервал, тем больше защитный интервал, и система в целом эффективнее защищена от эхосигналов.

Вместе с увеличением числа несущих усложняется декодер, требующий для системы 8К применения процессора с двоичной емкостью $2^{13} = 8192$, а это влечет за собой и повышение стоимости абонентского телевизионного приемника. Поэтому модификация приемника 2К с процессором в декодере $2^{11} = 2048$ может оказаться доступной значительно большему слою населения в том числе и со средним достатком. В табл. 1 приведены основные параметры системы с модуляцией COFDM [1.3].

Двум модификациям 8К и 2К соответствуют разные величины частотных разносов несущих в радиочастотном спектре COFDM; соответственно 1116 Гц и 4464 Гц. Рабочая ширина полосы спектра радиоканала в обоих случаях будет одинаковой и равной 7,61 МГц. В полосе, отведенной для аналогового телевизионного радиоканала 8 МГц, разнос между соседними каналами системы цифрового телевидения составляет 0,39 МГц (см. табл. 1.2).

Преобразование аналоговых звуковых сигналов в цифровые кратко изложено в гл. 2.

Таким образом, общая ширина спектра радиоканала цифрового телевидения в наземных системах телевидения полностью соответствует ширине полосы аналогового телевидения в стандарте с разложением в 625 строк (SECAM, PAL).

В последней строке табл. 1.2 приведены данные территориального разнеса телевизионных передатчиков в системах наземного цифрового телевизионного вещания 8К и 2К, взятые из [1.3] и рассчитанные для одночастотной сети вещания. Однако эти данные могут лишь подтвердить вывод о том, что система 8К с

большим в 4 раза числом несущих будет эффективнее защищена по сравнению с системой 2К от мультипликативных помех, создаваемых наземными цифровыми передатчиками друг другу.

Т а б л и ц а 1.2. Основные параметры системы с модуляцией COFDM

Модификация	8К	2К
Длительность рабочего интервала, мкс	896	224
Число несущих в спектре группового сигнала	6817	1705
Частотный разнос несущих, Гц	1116	4464
Ширина радиоспектра группового сигнала, МГц	7,61	7,61
Относительная длительность защитного интервала	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Длительность защитного интервала, мкс	224; 112, 56; 28	56; 28; 14; 0
Длительность символа сообщения, мкс	1120; 1008; 952, 924	280; 252; 238; 231
Территориальный разнос между передатчиками в одночастотной сети, км	67; 34; 17; 8,4	17; 8,4; 4,2; 2

Реальные сети наземного телевизионного вещания, особенно в крупных городах и густонаселенных регионах, как правило, многочастотные и поэтому расчет электромагнитной совместимости (ЭМС) передатчиков в такой сети является сложной многокритериальной задачей. В настоящее время существует методика расчета передающих сетей телерадиовещания, в которых применяются аналоговые методы модуляции [1.1].

Для сетей с цифровыми методами передачи пока подобной методики не существует.

По-видимому, в ближайшие 5–10 лет в России будут работать как передатчики аналогового, так и цифрового телерадиовещания.

Можно высказать лишь предварительные соображения, по вопросу электромагнитной совместимости этих двух систем. При цифровом телевидении значительно снижаются мощности передатчиков, а с учетом равномерности спектра цифровых сигналов с модуляцией COFDM помехи от них аналоговым сигналам будут

незначительны. В то же время цифровые сигналы обладают высокой устойчивостью к помехам, создаваемым аналоговыми системами. Поэтому условия электромагнитной совместимости этих двух видов систем телевидения выполнить значительно легче, чем при координации сетей с аналоговыми методами передачи.

Манипуляционные коды

При выборе сложных видов модуляции 4-ФМ, 8-ФМ, 16-КАМ, 64-КАМ каждому положению вектора несущей I (синфазному) или Q (квадратурному) будет соответствовать заданной длины кодовая комбинация. В случае модуляции 4-ФМ кодовая комбинация состоит из двух бит, например 00, 01, 10, 11, при 16-КАМ из 4 бит, а при 64-КАМ из 6 бит. Эти комбинации принято называть манипуляционным кодом. Выбор манипуляционного кода диктуется, с одной стороны, необходимостью достижения максимальной помехоустойчивости соответствующих кодовых комбинаций и, с другой, возможно более простой технической реализацией модема. Заметим, кстати, что минимальное расстояние между двумя векторами соседних кодовых комбинаций называется хэмминговым расстоянием в честь ученого Хэмминга, внесшего большой вклад в теорию кодирования.

Предложенный стандарт [1.2] обеспечивает при реализации модемов совместимость модемов COFDM, выпускаемых различными фирмами. При этом отдельные функциональные узлы оборудования наземных, спутниковых и кабельных цифровых систем телевизионного вещания могут быть унифицированы, что позволит снизить стоимость и повысить надежность аппаратуры цифрового телевидения.

Для устойчивой работы приемного устройства в условиях помех и передачи сложных мультиплексированных потоков предусмотрены следующие синхронизирующие и управляющие сигналы для:

- фазовой подстройки несущих частот демодулятора;
- тактовой синхронизации демодулятора;
- оценки состояния радиоканала;
- управления демодулятором в случае изменения режимов модуляции 8К или 2К.

На системы синхронизации и управления приемным устройством выделяется в модификации 8К – 769, а в 2К – 193 опорных несущих частоты, которые по сравнению с информационными несущими передаются с повышенной на 2,5 дБ мощностью. Эти

фиксированные несущие модулируются опорной псевдослучайной последовательностью.

Увеличение мощности достигается за счет перехода на бинарную фазовую манипуляцию (2-ФМ).

Из общего числа 769 (8К) и 193 (2К) фиксированных несущих на автоматическую подстройку фазы опорного сигнала в демодуляторе и тактовую синхронизацию выделено соответственно 177 и 45 несущих. Сигналы управления демодулятором в режиме 8К передаются на 68 несущих, а в режиме 2К – на 17 несущих.

Оценка состояния канала осуществляется путем сканирования сквозной амплитудно-частотной характеристики радиотракта. С этой целью используются 524 (режим 8К) и 131 (режим 2К), так называемых рассредоточенных опорных несущих. Рассредоточенность несущих заключается в том, что частоты их смещаются при переходе от одного символа кадра к другому символу с заданным периодом.

Более подробно сведения о системах синхронизации и управления можно найти в [1.3, 1.4].

О канальном кодировании

Помехоустойчивость сжатого цифрового телевизионного сигнала за счет удаления информационной избыточности заметно ниже даже по сравнению с аналоговым сигналом. Однако в настоящее время существуют весьма эффективные методы помехоустойчивого кодирования, которые и применяются достаточно успешно в системах цифрового телерадиовещания.

В рассматриваемых системах используется внутренняя кодовая защита модема с помощью сверточных кодов и внешняя защита с помощью кода Рида-Соломона (часто в литературе употребляют аббревиатуру РС).

Декодер сверточного кода производит первый уровень защиты, уменьшая вероятность ошибки с $10^{-1} \dots 10^{-2}$ во входном потоке до значения не хуже $2 \cdot 10^{-4}$ на выходе. При внешнем кодировании каждый пакет длиной 188 байт общего транспортного потока преобразуется в новый пакет длиной 204 байта, что позволяет после такой процедуры исправлять 8 искаженных помехами байт. В литературе этот код называют укороченным кодом Рида-Соломона и обозначают РС (204, 188, 8). После декодирования, если на вход декодера подается цифровой поток с коэффициентом ошибок не хуже $2 \cdot 10^{-4}$, вероятность ошибки снижается до $10^{-10} \dots 10^{-11}$.

Для устранения пакетных ошибок, превышающих 8 байт, применяется так называемое сверточное перемежение данных. Перемежение или перестановка двух соседних байт составляет 12 байт, т.е. в полтора раза превышает корректирующую способность кода по одиночным ошибкам, тем самым позволяя обнаруживать и исправлять групповые ошибки, превышающие 8 байт.

Более подробное изложение принципов помехоустойчивого кодирования с помощью кода Рида-Соломона и сверточных кодов можно найти в [1.4].

Описание элементов приемопередающего тракта системы DVB-T

Поясним основные этапы обработки сжатых цифровых телевизионных сигналов и цифрового потока данных в передающем и приемном устройствах наземного телевизионного вещания в модификации стандарта DVB-T.

На рис. 1.1 представлена структурная схемы преобразования данных и сигналов в передатчике DVB-T [1.5].



Рис. 1.1. Преобразование данных и телевизионных сигналов в передатчике DVB-T

Аналоговые сигналы видео- и аудиоканалов поступают на вход своих кодеров (блоки 1–3), где преобразуются отдельно в сжатые цифровые сигналы стандарта MPEG-2. Далее три цифровых потока (видео, аудио и данных) поступают на блоки формирования программного потока MPEG-2 (4) и мультиплексора [5]. К мультиплексору подводятся опорные и синхронизирующие сигналы, позволяющие разделить на приемной стороне цифровые потоки видео-, аудиосигналов и данных, а также выделить сигналы, передаваемые для оценки состояния радиоканала и об используемых режимах модуляции.

В мультиплексоре формируется транспортный поток путем разбиения программного потока на отдельные пакеты и ввода в каждый из них синхронизирующих сигналов. После мультиплексора в схему может быть введен блок расщепления потока данных (6).

Расщепление транспортного потока, в случае необходимости, позволяет сформировать два потока с разным уровнем приоритета. Поток, обозначенный пунктиром, имеет низший приоритет (несколько меньшую помехоустойчивость), но вместе с тем обеспечивает повышенную скорость передачи данных. Поток высшего приоритета имеет повышенную степень кодовой защиты от помех. Таким способом реализуется возможность передачи телевизионных программ в двух вариантах: программа низшего приоритета передается с повышенной четкостью (при хорошем прохождении сигналов качество изображения будет высоким). При плохом сигнале передается программа пониженной четкости, но с высшим приоритетом защиты, что позволяет обеспечить равноценное качество изображения. В случае изменения условий приема пользователь может переключать приемник с одного канала на другой, выбирая лучший.

В блоке (7) производится рандомизация (скремблирование) цифрового потока, что позволяет улучшить условия электромагнитной совместимости с другими системами.

В блоке внешнего кодирования (8) в соответствии с кодом Рида-Соломона в каждый пакет длиной 188 байтов вводится 16 проверочных байтов. При декодировании такого сигнала исправляется до 8 байтов из пакета 204 байта.

Перемежение (перемешивание, или иногда используют термин «интерливинг» – блок 9) производится изменением мест размещения байтов в защищенном от ошибок транспортном пакете. При этом в синхронизирующие байты перемежение не вводится, что позволяет на приемной стороне произвести обратное перемежение. Операция перемежения позволяет длинные пакетные ошибки разделить на отдельные части, распределив их по раз-

ным кодовым словам кода Рида–Соломона, которые далее обнаруживаются и исправляются схемой защиты от ошибок.

Внутреннее кодирование (блок 10) в системе DVB-T осуществляется с помощью сверточных кодов. При сверточном кодировании информация разделяется на блоки, содержащие несколько битов, к которым добавляются проверочные биты, образуя новые блоки, называемые кадрами. В сверточном коде 1/2 на каждый информационный сигнал введен один проверочный символ, а в коде 7/8 на семь информационных символов вводится один проверочный. Естественно, что код 1/2 имеет более высокую степень защиты от ошибок, чем код 7/8, но при этом на выходе кодера скорость цифрового потока увеличивается вдвое, а в коде 7/8 всего лишь на 11,5%.

В системе DVB-T перед формированием модуляционных символов производится перемежение (блок 11) – это процесс перемешивания данных, которые модулируют разные несущие. Здесь детали этого сложного процесса не будем описывать, чтобы не усложнять понимание общих принципов системы, а для желающих изучить его рекомендуем [1.4].

Формирование модуляционных символов и модуляция производятся в блоках 12, 13. Несмотря на то, что система DVB-T теоретически позволяет использовать метод модуляции из ряда: QPSK 4-ФМ, 8-ФМ, 16-КАМ, 32-КАМ, 64-КАМ, в реальном оборудовании (например в аппаратуре фирмы «Юник» – Канада) применен метод модуляции 4-ФМ. При этом упрощается переход от спутниковых каналов, использующих сигналы с модуляцией 4-ФМ, к наземным и достигается высокое качество телевизионного сигнала при пороговом отношении сигнал/помеха на входе приемника в пределах 5...6 дБ.

В блоке 14 формируется защитный интервал передаваемого цифрового сигнала и далее (блок 15) – преобразование на частоту радиосигнала.

Структурная схема преобразования сигналов и данных в приемнике системы DVB-T приведена на рис. 1.2.

В соответствии со схемой, очевидно, что в приемнике осуществляются обратные преобразования цифровых сигналов, а именно: после преобразования частоты принятого радиосигнала на промежуточную (блок 1) – демодуляция (блок 2) – внешнее и внутреннее обратные перемежения и декодирование (блоки 3–6), дерандомизация (блок 7), демультимплексирование (8) и, наконец, в декодерах видео, звука и данных (блоки 9–11) выделяются аналоговые видео-, аудиосигналы и данные.

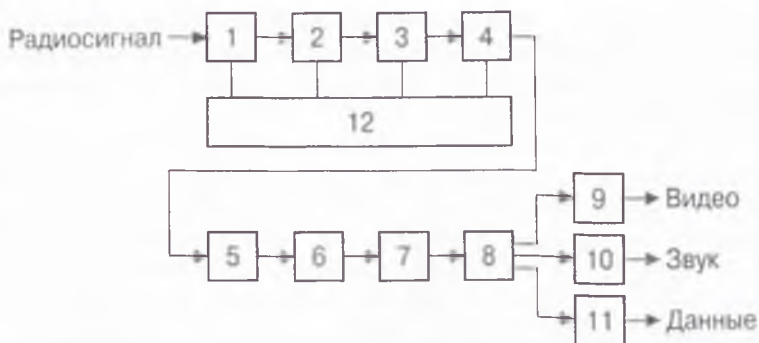


Рис. 1.2. Преобразование данных и телевизионного сигнала в приемнике DVB-T

В любой системе наземного телевизионного вещания, в том числе и DVB-T, очень важным элементом системы являются антенные устройства. Ниже, в приложении П1.1 приводятся основные технические параметры антенн метрового, дециметрового диапазонов.

Рекомендованный стандартом DVB-T [1.2] для наземных каналов телерадиовещания метод модуляции COFDM значительно сложнее, чем квадратурно-фазовая модуляция (4-ФМ), применяемая в спутниковых каналах.

Однако при этом не исключается возможность использования в наземном цифровом телевидении модуляции 4-ФМ (QPSK).

Совместная российско-канадская фирма «Юник», а также фирма «Сайрус» предлагают на российском рынке оборудование для цифрового телевидения в наземных каналах, использующее модуляцию 4-ФМ и 8-ФМ. В заключение напомним читателю, что в США для наземного телевизионного вещания выбран стандарт ATSC (Advanced Television Systems Committee), отличающийся от DVB-T методом модуляции.

В телевизионных системах, использующих стандарт ATSC сжатый цифровой поток видео- и аудиосигналов модулирует по амплитуде несущую, образуя восьми- или шестнадцатилеveled радиосигналы с подавленной нижней боковой полосой (8-VSB или 16-VSB – Vestigial Side Band). В кабельных и радиорелейных линиях связи рекомендуется использовать сигналы 16-VSB, а в наземном вещании 8-VSB. К настоящему времени, по имеющимся у нас данным, в Европе пионером внедрения стандарта DVB-T является Англия, а на других континентах – Ав-

стралия и Япония. Причиной такого медленного внедрения цифрового телевидения по системе DVB-T является относительная сложность и дороговизна абонентского терминала – цифрового телевизора пользователя.

Австралия в течение почти двух лет (1996–1998 гг.) проводила всесторонние испытания цифрового телевидения в стандарте DVB-T, в результате которых остановила свой выбор на этом стандарте. Решающим критерием для такого выбора была доказанная на практике возможность приема сигналов стандартного телевидения (625 строк) на комнатную антенну или в движении.

Япония также остановила свой выбор на стандарте DVB-T, несколько изменив его для условий своей страны.

Предложение фирм «Юник» и «Сайрус» по внедрению в наземных цифровых системах оборудования с использованием модуляции 4-ФМ более дешевого, чем в системе DVB-T, следует рассматривать как переходный этап во внедрении цифрового телевидения.

1.5. Внедрение цифрового наземного телевизионного вещания в России и Европе

Система DVB-T позволяет:

- согласовать распределительные сети страны с европейскими технологиями распределения сигналов цифрового телерадиовещания по кабельным, спутниковым и радиорелейным системам;
- эффективно использовать радиочастотный спектр, отведенный для этих систем;
- согласовать частотные присвоения в России с международными.

Переход от аналогового к цифровому телерадиовещанию в России предполагается реализовать поэтапно.

Первый этап (2000–2001 гг.) предусматривал исследование вопросов электромагнитной совместимости различных систем, разработку методик контроля и измерения основных параметров цифровых сигналов. Проведены запланированные эксперименты в трех опытных зонах – Нижнем Новгороде, Москве и С.-Петербурге.

Второй этап (2002–2005 гг.) включает организацию серийного производства оборудования, развертывание радиопередающих цифровых станций в административных центрах Российской Федерации, а также подготовку кадров в учебных заведениях различного уровня (вузах, техникумах, учебных центрах) и начало коммерческой эксплуатации в некоторых регионах.

В период 2006–2015 гг. планируется развертывание региональных передающих сетей наземного цифрового телерадиовещания по всей территории страны, создание региональных сервисных центров по эксплуатационному обслуживанию оборудования и ускорение роста производства цифровой телевизионной аппаратуры.

Компании «Модуль Телеком», «Ростелеком» и «Телеком» совместно разработали аппаратуру передачи сигналов цифрового телевидения, позволяющую уплотнять стволы аналоговых и цифровых радиорелейных линий (РРЛ) четырьмя цифровыми телевизионными программами, передавать интерактивное телевидение, радиовещание и многоканальную телефонию. Передача цифровых сигналов в РРЛ эквивалентна утроению их протяженности, при этом общая протяженность увеличивается до 600 тыс. километровостволов.

Ниже приводятся основные параметры разрабатываемых в России образцов телевизионных приемников различного класса и их стоимости: специальных приставок к имеющимся у населения аналоговым приемникам, гибридных аналого-цифровых и мультимедийных телевизоров. Приведены также некоторые сведения по внедрению цифрового наземного телевидения в Великобритании, Германии и Финляндии и результаты испытаний системы DVB-T в Москве, С.-Петербурге и Нижнем Новгороде.

Гибридные российские телевизоры TV/DVB-T

В западных странах прием сигналов DVB-T реализуется либо на специальные цифровые приемники, либо с помощью приставки STB (set-top box) к имеющимся телевизорам. Стоимость самых простых и массовых моделей приставок STB составляет не менее 200 долл., кроме того, эти приставки могут сопрягаться не со всеми моделями телевизоров российского производства (во всяком случае с моделями телевизоров, выпускавшихся до 1995 г., сопряжение вряд ли возможно). По этим причинам в России в настоящее время принята концепция создания гибридного телевизора в следующих вариантах:

- базовый вариант без дополнительных плат;
- вариант с платой для приема программ цифрового телевидения TV/DVB;
- вариант с дополнительными платами для работы в интерактивных режимах, в том числе с подключением к сети Интернет.

Базовый вариант телевизора будет позволять установку дополнительных плат для приема сигналов цифрового телевидения и подключения к сети Интернет. Стоимость его будет не выше современного аналогового телевизора. Цена дополнительных цифровых плат каждого вида, предположительно, не более 100 долл.

По мере развертывания в России цифрового телевизионного вещания и телекоммуникационных интерактивных сетей и, в первую очередь, доступа в Интернет, в ранее выпущенные (базовые) модели будут устанавливаться дополнительные платы соответствующего назначения.

Телевизор с дополнительными платами будет универсальным устройством:

- принимать программы обычного телевизионного вещания в стандарте SECAM;

- обеспечивать прием передач цифрового телевидения в стандарте DVB-T;

- работать в информационных сетях в интерактивном режиме.

С этой целью в шасси серийно выпускаемого аналогового гибридного телевизионного приемника предусматривается установка через разъем (аппаратный интерфейс) дополнительных плат – модемов:

- платы для приема программ цифрового телевидения (плата DVB);

- платы для подключения к сети Интернет (плата Интернет со встроенным телефонным модемом);

- платы расширения для построения локальной домашней аудио- видеосети на основе универсальной шины 1394 последовательного формата, разработанного Институтом инженеров по электронике и радиоэлектронике (ИИЭР).

Разработку аналого-цифрового телевизора TV-DVB-T ведут АО «Московский научно-исследовательский телевизионный институт» (МНИТИ), ЗАО «Завод им. Козицкого», НПО «Научный центр». Предложенный специалистами МНИТИ упрощенный вариант гибридного аналого-цифрового телевизора включает базовую модель DVB-T Ready [1.6]. В ней предусматривается установка цифровой платы DVB-T. Преимущество такого варианта заключается в том, что телевизионный приемник создается на базе серийно освоенных моделей аналоговых приемников на ряде заводов России и Белоруссии.

По мнению специалистов, стоимость гибридного телевизора в таком варианте не будет отличаться от стоимости обычного аналогового приемника (около 150 долл.).

При крупносерийном производстве цена цифровой платы DVB-T при условии унификации ее программного и аппаратного интерфейсов может быть в пределах 100...120 долл.

Общая стоимость аналого-цифрового телевизионного приемника с диагональю экрана 54 см не превысит 300 долл. Планировалось в 2001–2002 гг. на телевизионных заводах «Квант» (Новгород) и Козицкого (С.-Петербург) начать серийное производство унифицированных телевизионных приемников «Квант» и «Радуга».

Цифровой мультимедийный телевизор нового поколения на основе плазменной панели с диагональю 100 см разрабатывается в АО «МНИТИ».

Данный телевизор позволяет реализовать:

- мультисистемный прием программ аналогового и цифрового (DVB) телевидения, в том числе в режиме multiprogramm с обзорным выводом на экран 16 различных программ;

- воспроизведение оптических дисков формата CD, CD-ROM, Video-CD, Photo-CD, DVD-Video;

- многоканальный стереозвук с возможностью декодирования цифрового звука Dolby Digital (режим «Домашний театр»);

- возможность подключения к компьютерным сетям, в том числе к сети Интернет;

- полный Интернет-сервис, включая прием и отправку сообщений по электронной почте;

- возможность подключения внешних аудио- и видеоприборов со стереозвуком.

Основные технические характеристики телевизора

Размер изображения по диагонали, см	100
Формат изображения	16:9 или 4:3
Разрешающая способность изображения, элементов	640×480
Яркость изображения, кд/м ²	300
Выходная мощность канала звука, Вт	50×5
Скорость считывания информации с оптического диска:	
для обычных дисков	× 32
для DVD-дисков	× 5
Скорость передачи информации по модему, кбит/с	56

Сроки завершения этой разработки пока не определены.

В 2001 г. компания «Телеком» (Москва) закончила разработку образцов цифровой приставки Set-top box «Эльф» к имеющимся

в эксплуатации аналоговым телевизионным приемникам. По-видимому, эта приставка будет наиболее популярной среди населения России, учитывая, что в настоящее время в эксплуатации находится 85 млн. аналоговых телевизоров и сравнительно невысокую ее стоимость порядка 200 долл.

Результаты испытаний системы наземного цифрового телевидения DVB-T в России

В Нижнем Новгороде с июля по декабрь 2002 г. проводились комплексные испытания отечественных технических средств наземного цифрового телевидения. Передача цифровых программ проводилась на 50-м телевизионном канале при одновременном регулярном аналоговом вещании на соседних 49 и 51 каналах. Было показано, что созданная отечественными специалистами экспериментальная передающая система DVB-T работоспособна, принимаемые цифровые телевизионные программы имели высокое качество изображения и не создавали помех аналоговому телевидению. Установлено, что устойчивый прием на расстоянии более 12 км от телевизионной башни был возможен лишь в 50-м канале, в то время как в аналоговых каналах (49–51) качество сигнала было неудовлетворительным. Помехи от цифрового канала в соседних практически были не заметны.

Измерения отношения сигнал/помехи в цифровом канале подтвердили возможность качественного приема сигнала при меньшей средней мощности передатчика по сравнению с аналоговыми. В случае приема на стационарную антенну с коэффициентом усиления около 10 дБ радиус зоны обслуживания для цифрового передатчика мощностью 0,5 кВт составляет 30...40 км.

Московская компания «Цифровое телерадиовещание» (DVT) в отличие от испытаний, проведенных в С.-Петербурге и в Нижнем Новгороде, основное внимание уделила надежности приема сигналов DVB-T в движущемся транспорте, ориентируясь, в основном, на хорошо материально обеспеченных абонентов. В августе 2002 г. в Москве было зарегистрировано более 50 тыс. автомобилей представительского класса. Во многих современных машинах, несмотря на большие помехи, устанавливаются аналоговые телевизионные приемники, и абоненты смотрят программы на стоянках. Проведенные компанией маркетинговые исследования показали, что до 65% потенциальных абонентов готовы либо подписаться сразу на покупку приемного оборудования DVB-T, либо после детального ознакомления с подобной услугой на практике.

С учетом перманентных автомобильных пробок на московских улицах, мобильный телевизор может быть самым оперативным источником информации для деловых людей – это новости – политические и финансовые, спорт, мода и многое другое. По подсчетам специалистов, в Москве человек проводит в автомобиле в среднем 40 мин, а если учесть поездки на дачу и в загородный дом, то продолжительность просмотра телевизионных программ в автомашине может достигать 1,5...2 ч в день.

В дальнейшем фирма предполагает внедрить доступ в сеть Интернет в режиме GPRS (General Packet Radio Service) – пакетной передачи данных по сети сотовой телефонии, предусматривающей постоянное подключение к провайдеру.

В зону охвата наземным цифровым телевидением сейчас входят Москва и ближнее Подмосковье: районы, расположенные в юго-западном направлении, а также вдоль Рублевского и Можайского шоссе.

К оборудованию, устанавливаемому в автомобиле, предъявляется ряд жестких требований, в отличие от стационарных телевизоров. Это устойчивость к вибрациям, к резкому торможению, перепаду температуры, с учетом наших климатических условий.

В настоящее время компания тестирует предъявленные потенциальными поставщиками приемники с целью проверки их на соответствие техническому заданию.

Приведем некоторые технические характеристики системы DVB-T, используемого в Москве оборудования:

- передатчик фирмы Rohde und Schwarz мощность 1,3 кВт, настроенный на 32-й канал;

- модуляция – 16-QAM, режим 2K или 8K;

- приемные антенны либо штыревые, либо плоские в виде коробочки толщиной 1,5 см, поляризация круговая;

- в общем цифровом транспортном потоке со скоростью 14 Мбит/с планируется передавать до четырех телевизионных программ.

Московская телерадиовещательная коммерческая компания «Октод» с февраля 2002 г. проводит опытную эксплуатацию оборудования по передаче цифрового мультимедийного пакета информации на 34-м телевизионном канале (полоса 574...582 МГц). Пакет включает [1.7]: две телевизионные программы (в последующем число их может быть увеличено до 3–4) и четыре радиовещательных программы («Радио Маяк», «Радио любовь», «Се-

ребриный дождь» и «Радио-7»). Предоставляется также доступ в Интернет, обратный канал (запрос от абонента) организуется пока с помощью телефонной сети общего пользования.

Был опробован доступ в сеть Интернет при использовании сотовых систем связи в режиме GPRS. В этом случае реальная скорость доступа увеличивается до 30 кбит/с, если же запрос делается по мобильному телефону, а ответ по радиоканалу, то скорость может увеличиться до 100 кбит/с и более.

Приведем основные технические характеристики аппаратуры для цифрового телевизионного вещания, используемой компанией «Октод»:

мощность цифрового передатчика 1000 Вт;

кодер может преобразовать транспортный поток стандарта MPEG-2 в сигналы QPSK (4-ФМ), 16-QAM, 64-QAM;

в настоящее время система работает в режиме 16-QAM при скорости передачи 15,6 Мбит/с.

С выхода кодирующих устройств нескольких источников (телевизионные программы, данные сети Интернет, радиовещательные программы) сигналы подаются на мультиплексор, формирующий единый транспортный поток. С выхода мультиплексора общий цифровой поток подводится к модулятору COFDM цифрового передатчика. Ввод данных IP в поток MPEG-2 DVB-T производится через шлюз IP-DVB. Адресация передаваемой информации осуществляется путем присвоения каждому абоненту 48-битного физического адреса приемного устройства.

В настоящее время используется программное обеспечение фирмы Scopus, будет проверено также аналогичное программное обеспечение (ПО) российских фирм и в результате испытаний предполагается решить вопрос об оптимальном варианте его по параметру цена–качество.

Источником программ является цифровая телевизионная программа спутника НТВ-плюс в виде цифрового потока MPEG-2 и в аналоговом виде – телевизионная программа с этого же спутника, которая подводится к кодеру. Далее цифровые потоки разных программ подаются на мультиплексор, в котором формируется суммарный транспортный поток. Выходная скорость обеих программ одинакова и равна 5,5 Мбит/с.

В процессе испытаний системы DVB-T компания «Октод» для приема сигналов использовала ресивер фирмы Zinwell Corporation (Тайвань) типа Zinwell ZDT-320, а также проверяла возмож-

ность приема на компьютер, оборудованный специальной компьютерной платой, выделяющей из общего цифрового транспортного потока заданную телевизионную программу, видеосигнал которой подводился к телевизору. Одной из важных задач, которая решалась компанией «Октод», было исследование возможностей выполнения условий электромагнитной совместимости 34-го цифрового канала с соседними 33-м и 35-м каналами, по которым одновременно передавались в кабельной сети системы аналогового телевидения. Исследования проводились на пяти головных станциях распределительной сети кабельного телевидения Северо-Западного административного округа.

Измеренные на всех пяти головных станциях отношения сигнал/шум на выходе канальных преобразователей при работающем и выключенном цифровом передатчике не выявили ухудшения качества приема аналоговых сигналов на 33-м и 35-м каналах.

Отношение сигнал/шум во всех трех каналах при их одновременной работе соответствовали действующим нормам.

При стационарном приеме, как правило, качественный прием возможен при модуляции 64-QAM, когда в канале 8 МГц может быть передано четыре телевизионных программы в режиме 8K. Режим 8K при длительности защитного интервала ($\Delta t/T_{\text{л}} = 1/4$) позволяет в одночастотной синхронизируемой сети разносить передатчики до 60 км. С уменьшением защитного интервала до 1/16 разнос уменьшается примерно в четыре раза.

Экспериментальная сеть наземного телевидения (DVB-T) работает в 51-м канале (710...718 МГц) во Владивостоке с 2002 г. Причем благодаря подбору диаграммы направленности (ДН) приемной антенны удалось обеспечить дальность приема над водной поверхностью до 100 км, средний радиус зоны обслуживания около 50 км.

Основные характеристики канала

Излучаемая мощность передатчика, Вт	1000... (30 дБВт)
Коэффициент усиления передающей антенны, дБ	10
Высота подвеса антенны, м	494
Стандарт системы DVB-T	8K
Модуляция	64-QAM
Относительная скорость сверточного кода	7/8
Защитный интервал	1/32
Максимальная скорость транспортного потока, Мбит/с	31,67
Внеполосное излучение передатчика менее, дБ	– 40

Учитывая пересеченный характер местности города и разноэтажность застройки на участках города с низким уровнем, сигнал планируется обеспечить местными ретрансляторами мощностью от 10 до 50 Вт, поставляемыми фирмой Rohde und Schwarz.

В настоящее время во Владивостоке ведется подготовка к коммерческой эксплуатации системы наземного телевидения в стандарте DVB-T.

Ниже приведены некоторые данные по внедрению стандарта DVB-T в Великобритании, Германии и Финляндии.

В Великобритании наземное цифровое телевизионное вещание ведется с 1998 г. по государственным каналам BBC1 и BBC2. Широко распространено в стране интерактивное телевидение (практически имеется в каждом доме), позволяющее совершать покупки, пользоваться услугами банков и страховых компаний, применяется для опроса общественного мнения и для многих других целей.

В настоящее время в стране насчитывается 17 передающих центров цифрового наземного телевизионного вещания сети NTL (National Telecommunications Ltd), 13 региональных воспроизводящих телецентров (RPOC – regional play out centres).

Цифровая сеть наземных передатчиков Великобритании включает 80 передающих станций УВЧ диапазона. В стране формируется шесть программных пакетов, каждый из которых рассчитан на поток 24 Мбит/с. Три пакета: BBC (охват 90%), D3&4 (охват 89%) и SDN (охват 88%) – бесплатные. В каждом из этих пакетов от четырех и более каналов. Три пакета платные: On-B (86%), On-C (77%) и On-D (79%). Предоставляет каждый из них 12 базовых каналов. Все цифровые передающие станции используют модуляторы фирмы Tandberg.

Внедрение цифрового наземного вещания в Германии. В Германии с 1 января 2001 г. введен для государственных студий специальный налог на вещание, часть которого пойдет на создание сети наземного цифрового телевидения DVB-T. Завершение перехода от аналогового к цифровому наземному вещанию планируется в 2011 г.

По мнению специалистов, наибольшее распространение цифровое телевидение в первые годы получит на мобильных объектах – в автобусах, поездах, автомобилях при их движении на маршрутах.

Для выбора основных параметров системы DVB-T были проведены экспериментальные исследования по приему цифровых телевизионных сигналов в Северной Германии (Земля Шлезвиг-

Гольштейн) в девяти городах: Нибуль, Фленсбург, Шлезвиг, Киль, Любек, Айдерштедт, Куксхаузен, Гамбург, Эутин.

Испытания проводились как для одночастотной региональной распределительной сети (SFN – Single Frequency Network), так и для многочастотной (MFN – Multik Frequency Network).

По радиоканалу с шириной полосы 8 МГц при аналоговом методе передавалась одна телевизионная программа, а при цифровом – четыре, скорость общего цифрового потока составляла 13,27 Мбит/с. Испытания показали, что мощность передатчиков для цифрового сигнала с четырьмя программами может быть уменьшена в среднем в 5 раз (7 дБ) по сравнению с аналоговым методом передачи. Эксплуатационные издержки на одну программу цифрового телевидения составят не более 25% от аналогового.

По результатам испытаний были выбраны следующие параметры системы цифрового телевидения:

- число несущих около 8000 (режим 8 K);
- модуляция 16 QAM;
- относительная длительность защитного интервала $\frac{1}{4}$ (224 мкс);
- скорость кодирования $R = 2/3$.

Таким образом, экспериментально доказаны следующие преимущества системы DVB-T (цифровая) по сравнению с PAL (аналоговая):

- возможность передачи в радиоканале четырех программ вместо одной;
- существенное уменьшение эксплуатационных расходов на одну программу;
- заметное сокращение мощности передатчиков;
- возможность приема сигналов на комнатную антенну и в движущихся транспортных средствах.

Внедрение цифрового вещания в Финляндии. Особенностью схемы распределения телевизионных программ в Финляндии является широкое применение радиорелейных линий связи. Это обстоятельство вызывает необходимость проверки и настройки приемопередающих трактов РРЛ для передачи в полосе 30...36 МГц многопрограммного транспортного цифрового потока со скоростью до 32 Мбит/с. Работы в цифровом стандарте DVB-T в Финляндии начались в январе 1999 г.

Уже в декабре 2000 г. телекомпания YLE, представляющая первый государственный канал в Хельсинки, начала цифровое вещание по четырем каналам.

Одновременно фирма Qualitron вела разработку двух цифровых передвижных двенадцатикамерных телевизионных станций (ПТС), одна из которых работала весной 2000 г. при трансляции международных лыжных соревнований из г. Лахти.

Технические параметры стандарта цифрового телевидения DVB-T, принятого в Финляндии:

- ширина полосы радиоканала 8 МГц;
- модуляция COFDM 64-QAM каждой несущей;
- защитный интервал $1/8$ (112 мкс);
- число несущих около 8000 (система 8 K);
- суммарная скорость транспортного потока 20...30 Мбит/с.

В Финляндии, как правило, используется одночастотная сеть.

До 2007 г. планируется совместная работа цифровых и аналоговых телевизионных каналов, после чего аналоговая сеть будет ликвидирована.

Работы по внедрению наземного цифрового вещания активно ведутся в Испании, Голландии, Франции, Италии, Дании, а в Швеции с 1 апреля 1999 г. началось вещание по системе DVB-T. И это несмотря на то, что в странах Европы, в том числе и в перечисленных выше, имеются современные широкоразветвленные кабельные сети распределения телевизионных программ.

1.6. Совместная передача телевидения и цифровой информации (система «ТВ-Информ»)

Наземная распределительная сеть общенациональных телевизионных программ в России охватывает почти 100 % населения страны. С учетом ретрансляции российских программ через спутники других стран (западноевропейские, китайские, индийские и др.) можно утверждать, что они могут приниматься практически во всем мире.

С точки зрения всеохватности населения страны и разветвленности с учетом масштабов страны, распределительная сеть телевидения является идеальным средством доведения информации до каждого жителя России вне зависимости от того, где он находится. Можно утверждать, что телевизионная сеть России по вышеуказанным критериям является самой крупной и развитой в мире.

С переходом на цифровое телевидение в России создаются уникальные условия для развития наложенной цифровой сети передачи дополнительной информации и данных по сетям распределения телевизионных программ.

Современные сети распределения телевидения формируются на основе различных физических каналов связи: спутниковых, кабельных на коаксиальных и оптоволоконных кабелях и с помощью радиорелейных линий прямой видимости.

Телевизионные программы передаются и принимаются также наземными средствами радиосвязи: приемопередающими центрами региональных структур России, местными ретрансляторами, средствами коллективного и индивидуального непосредственного приема со спутников. Таким образом, телевизионная программа к каждому пользователю может поступить, пройдя различные элементы сети распределения.

С учетом вышесказанного, телевизионный сигнал на обширной территории нашей страны может проходить шесть иерархических уровней сети распределения программ: глобальный, федеральный, межрегиональный, региональный, местный и локальный.

Телевизионная распределительная сеть России позволяет пользователям принимать не менее трех общедоупедеральных программ и не менее одной региональной, республиканской или областной программы. Жители крупных городов могут принимать еще несколько местных и локальных программ.

С 1990-х годов идет быстрый рост числа наземных телевизионных программ, особенно в дециметровом диапазоне, а также увеличение числа абонентов индивидуального и коллективного приема телевизионных сигналов непосредственно со спутников.

Системы коллективного приема спутникового телевидения могут доводить до абонентов десятки аналоговых и цифровых программ через современные локальные кабельные сети. Такие сети построены в ряде городов России, например, в некоторых муниципальных округах Москвы, городах Мытищи, Видное, в С.-Петербурге, Ленинградской области.

Довольно широкое распространение получили многоканальные всенаправленные системы распределения (MMDS – Multichannal Multidirectional Distribution Systems), обеспечивающие передачу до 25 аналоговых телевизионных программ. В настоящее время системы MMDS работают в Москве, Новосибирске, С.-Петербурге, Волгограде, Екатеринбурге, Перми, Казани, Тирасполе, Тольятти, Славянске на Кубани, Белгороде, Трехгорном, Ангарске, Хабаровске, в городах Лесном и Новоуральске, Благовещенске. Продолжается строительство таких сетей и во многих других городах России.

Московская фирма «Космос-ТВ» ведет работы по внедрению в системах MMDS цифрового телевизионного стандарта. Один из

пакетов, предложенный фирмой пользователям, содержит 60 программ на 19 частотных каналах.

Реализация идеи одновременной передачи телевизионной программы и дополнительной цифровой информации открывает широкие возможности для оповещения населения о грозящих ситуациях природного и техногенного характера.

Ниже приводятся описание созданной специалистами ряда научных, конструкторских и производственных коллективов России системы под названием «ТВ-Информ» и решаемые ею задачи.

Система «ТВ-Информ» согласована с существующими и вновь создаваемыми сетями передачи данных и позволяет решать следующие задачи:

- адресную передачу циркулярной информации на всей территории страны любому числу абонентов (число адресов по телевизионному каналу более $3 \cdot 10^7$);

- любой источник информации может выйти на систему «ТВ-Информ» при использовании различных модемов – спутниковых, наземных передающих станций, сотовых телефонных сетей;

- реализует двунаправленную асимметричную передачу информации;

- может обеспечить возможность подключения абонентов к Интернет через телефонную сеть общего пользования или сеть сотовой связи.

Для передачи в работающем телевизионном канале дополнительной цифровой информации (ЦИ) используются интервалы гашения полей (полукадров). При этом обеспечивается скорость передачи не менее 64 кбит/с.

Во время перерывов телевизионного вещания скорость передачи в канале «ТВ-Информ» увеличивается до 2048 кбит/с за счет использования активных интервалов раstra строк. Надежность передачи двоичных сигналов с учетом применения корректирующих кодов не хуже 10^{-10} , т.е. на 10^{10} переданных символов будет не более одного ошибочно принятого бита информации.

На рис. 1.3 представлена укрупненная структурная схема подключения «ТВ-Информ» к каналу.

Программы, сформированные в аппаратной коммутации телевизионных передач (АКТП) в федеральном центре или в соответствующих региональных структурах, поступают в Главный центр управления междугородными связями (ГЦУМС) либо в региональные центры (РТПЦ), в аппаратных которых размещается оборудование системы «ТВ-Информ». ГЦУМС может распространять дополнительную цифровую информацию по всей стране

и при необходимости в другие страны, а РТПЦ передает такую информацию только в пределах распространения региональной телевизионной программы. Между этими центрами имеются магистральные прямые и обратные телевизионные каналы, обеспечивающие дуплексный обмен информацией между центрами.

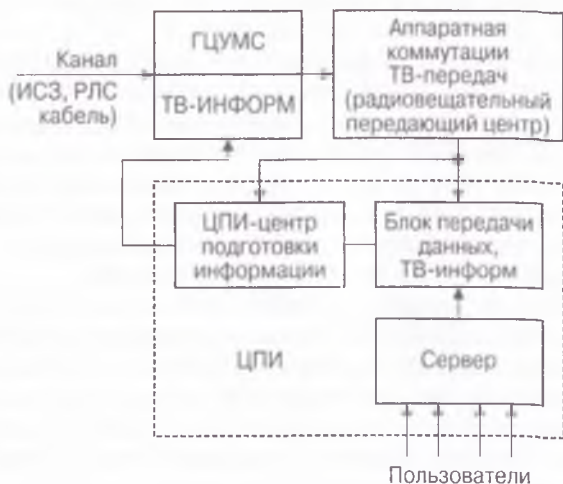


Рис. 1.3. Структурная схема подключения «ТВ-Информ» к каналу:

1 – ГЦУМС – главный центр управления международными связями (аппаратная); 2 – аппаратная коммутации телевизионных передач (радиовещательный передающий центр); ЦПИ – центр подготовки информации; 3 – ввод гашения; 4 – блок передачи данных «ТВ-Информ»; 5 – сервер

Топология региональной сети «ТВ-Информ» отличается от топологии федеральной сети лишь масштабами зоны охвата, так как эти сети находятся на разных иерархических уровнях. Переход с одного уровня в сети «ТВ-Информ» на другой (вертикальный переход) может происходить двумя путями:

1. Через любой источник информации, расположенный в федеральном центре, передается информация в конкретный регион путем включения ее в федеральную программу либо по магистральному каналу на соответствующий региональный телевизионный передающий центр (РТПЦ). В региональном центре приемник «ТВ-Информ» выделяет эту информацию и включает ее в соответствующую региональную телевизионную программу.

2. Источник информации региона имеет возможность выйти на федеральный уровень и передать ее любому абоненту сети

«ТВ-Информ» на территории зоны федеральной программы либо выйти на свой региональный центр по магистральному телевизионному каналу, связывающему эти центры.

В соответствии с рис. 1.3 информация от пользователей системы «ТВ-Информ» поступает по телефонной сети общего пользования (ТФОП), каналам IP-телефонии, по сотовой связи на сервер центра подготовки информации (ЦПИ).

С выхода сервера информация пользователей вписывается в интервалы гашения полей, а в перерывах телевизионного вещания – также в активные интервалы раstra строк и далее направляется в ГЦУМС (РТПЦ). Соответствующие центры распределяют далее цифровую информацию по телевизионной сети глобального, федерального или регионального уровней. При цифровом телевидении дополнительная информация вводится в общий транспортный поток телевизионной программы.

Пользователями сети «ТВ-Информ» могут быть государственные и корпоративные структуры, индивидуальные абоненты.

Приемная аппаратура абонента системы «ТВ-Информ» рассчитана на прием телевизионных программ со спутников либо от передатчиков (ретрансляторов) наземного телевидения.

На рис. 1.4 представлена структурная схема приема сигналов «ТВ-Информ» по спутниковым и наземным каналам, предусматривающая передачу телевизионных программ как со спутников, так и по наземной распределительной сети.

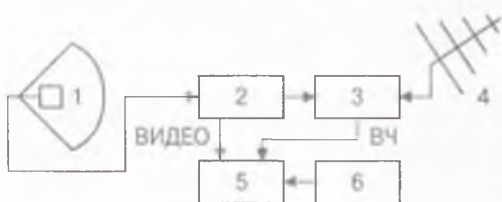


Рис.1.4. Схема приема сигналов «ТВ-Информ» по спутниковым и наземным каналам:

1 – спутниковая антенна; 2 – ресивер; 3 – телевизионный приемник; 4 – антенна наземного телевидения; 5 – приемник «ТВ-Информ»; 6 – персональный компьютер

Для приема спутниковых сигналов должна быть соответствующего размера антенна с МШУ-конвертером (1) и ресивер (2), а для приема сигналов наземной распределительной телевизионной сети – наземная антенна метрового или дециметрового диапазонов (4).

Телевизионная программа со спутникового ресивера или с наземной антенны поступает на типовой телевизионный приемник (3). Видеосигнал со спутникового ресивера подключается к видеовходу приемника «ТВ-Информ» (5), а радиосигнал из сети наземного телевидения – к высокочастотному входу этого же приемника. Выход приемника «ТВ-Информ» подключен к персональному компьютеру (6).

Абонентский приемник системы «ТВ-Информ» имеет две модификации: в виде автономного блока или в виде платы расширения персонального компьютера.

Сформулируем основные оперативно-тактические характеристики системы «ТВ-Информ»:

1. Разветвленность, позволяющая любым жителям России и других стран мира, принимающих телевизионную программу, стать абонентом системы.

2. Высокое качество и надежность приема на всей территории и на всех участках сети распределения телевизионных программ – вероятность ошибки бита информации не более 10^{-10} .

3. Доступность к сети «ТВ-Информ» для каждого жителя России и других стран мира с учетом использования российских космических средств распределения и подачи телевизионных программ.

4. Быстрота развертывания и монтажа оборудования сети с произвольным числом абонентов при любой ее конфигурации, не превышающая одного месяца.

5. Универсализм системы, позволяющий подключать ее к распределительной сети как аналогового, так и цифрового телевидения.

6. В системе может передаваться как адресная, так и циркулярная информация.

7. Широкие возможности подключения к сети Интернет.

Следует отметить еще одно очень важное применение системы «ТВ-Информ» для передачи документальной информации.

С этой целью на узлах связи создаются специальные центры документальной электросвязи (ЦДЭС). Абонент передает имеющуюся у него информацию в такой центр, который и обеспечивает доставку ее адресату в определенное пользователем время и с заданной достоверностью. Передача информации между ЦДЭС производится с гарантированной надежностью за счет использования устройств автоматического повторения ошибочно принятых символов.

Учитывая, что большая часть информации не требует срочной доставки, ее передачу из ЦДЭС можно организовать по каналам «ТВ-Информ».

Причем принять информацию от ЦДЭС могут пользователи системы «ТВ-Информ» не подключенные к телефонной сети общего пользования. Так как число абонентов телевизионного вещания значительно превышает число абонентов телефонной сети, то использование каналов «ТВ-Информ» позволяет существенно расширить число пользователей «Системы документальной электросвязи».

Ниже приводятся потенциальные возможности системы «ТВ-Информ».

1. Возможность создания общедоступной компьютерной сети страны, которая интегрирует все имеющиеся сети передачи данных, в том числе и сети Интернет.

2. Организация взаимодействия между корпоративными абонентами по обмену взаимно интересующей их информацией.

3. Создание новых информационных источников общегосударственного значения, подобно Российскому экологическому федеральному информационному агентству (РЭФИА), которое уже получило признание не только в России, но и во всем мире. Агентство РЭФИА способствовало организации экологического образования пользователей сети Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации.

4. Существенное увеличение числа производителей информации, рассчитанной на массового пользователя не только крупных городов, но и на жителей малых городов, поселков, деревень.

5. Обмен образовательными программами и различными учебными сюжетами как по общеобразовательным, так и специализированным дисциплинам.

6. Создание в корпоративных структурах собственных сетей «ТВ-Информ», решающих специфические для них информационные задачи.

7. Обеспечение (совместно со специализированными организациями) режима передачи конфиденциальной информации.

8. Значительное расширение «Сети документальной информации» за счет использования каналов «ТВ-Информ».

Следует подчеркнуть особую роль, которую может сыграть система «ТВ-Информ» при возникновении чрезвычайных ситуаций как природного, так и техногенного характера. Это особенно важно для регионов с низкой плотностью населения, где практи-

чески отсутствует телефонная связь и другие технические средства связи.

Строительство новых цифровых сетей, в том числе в основе которых могут быть небольшие перевозимые земные станции типа VSAT, не решают данной проблемы по экономическим соображениям из-за отсутствия местных региональных сетей распределения информации.

По расчетам создателей системы «ТВ-Информ» затраты на одного абонента в данной сети ниже в 15 раз для городского населения и в 40 раз для сельского жителя, чем в традиционных сетях (телефонных, сотовых и др.).

Уже на первом этапе эксплуатации сетей «ТВ-Информ» (1998 г.) пользователями были:

- Госкомсвязи РФ, МИД, МВД, МЧС, Минприроды, Минтопэнерго, Министерство образования, Росгидрометеоцентр и ряд других государственных структур.

- информационные агентства – «ИТАР ТАСС», «РИА Новости», «Интерфакс», РАСПИ, журнал «Дело и право» и др.

- сеть «ТВ-Информ» вошла составной частью в Государственную автоматизированную систему «Выборы» РФ, а также стала официальной частью сети передачи данных стран СНГ.

1.7. Многоканальные системы наземного телевидения (MMDS)

Системы MMDS (Multipoint Microwave Distribution Systems) начали внедряться в практику в 1970-е годы в США и в 1990-е годы получили распространение уже на всем земном шаре, охватывая около 10 млн. абонентов. Для данных систем, в зависимости от конкретной страны, используются частоты в полосе 2100...2900 МГц. Для России и стран СНГ выделена полоса 2500...2700 МГц.

Основные преимущества систем MMDS по сравнению с обычными системами наземного телевидения:

Возможность передачи до 31 телевизионной программы в зависимости от стандарта при аналоговом сигнале и в 4–6 раз больше при модуляции цифровыми сигналами стандарта MPEG-2.

Радиовещание и телевидение ведутся на экологически безопасном уровне, когда суммарная мощность передатчика не превышает 1000 Вт (в основном 1...10 Вт). В применяемых в настоящее время в системах аналогового телевизионного вещания используются передатчики в метровом диапазоне мощностью до 50 кВт, в дециметровом – до 10 кВт, при этом уровень электро-

магнитного поля вблизи телецентров значительно превышает допустимые нормы.

Устраняются так называемые «мертвые зоны» в крупных городах с многоэтажной застройкой.

Значительная экономия средств по сравнению со строительством систем кабельного телевидения. Если же в разветвленной кабельной сети требуется перекрыть отдельные участки длиной 5...20 км, то вариант с ретранслятором соответствующей мощности может оказаться предпочтительнее прокладки кабеля.

Существенно уменьшаются эксплуатационные расходы благодаря отсутствию протяженных магистральных и субмагистральных линий.

Повышается надежность системы теле- и радиовещания, так как кабельные линии легко повреждаются при различного рода реконструкциях, проводимых в городах, и при чрезвычайных ситуациях (землетрясения, оползни, ураганы и т.п.).

Время развертывания системы MMDS в зависимости от ее конфигурации лежит в пределах от нескольких дней до двух-трех недель. Система мобильна – без особых затрат, в случае необходимости, может быть передислоцирована в другой район.

Системы MMDS могут предоставлять услуги доступа в Интернет.

Источником сигналов для телевизионных программ могут быть:

- приемная установка спутникового телевидения;
- профессиональное оборудование наземного телевидения;
- телевизионные и аудиостудии, в том числе и передвижные установки;

- радиорелейная станция прямой видимости;
- головная станция кабельного телевидения.

В перспективе предполагается сопряжение передающей станции MMDS с источником передачи данных, компьютерными сетями и телефонной связью общего пользования (ТСОП).

Схема организации вещания приведена на рис. 1.5.

Передачик головной станции с помощью антенны создает либо круговое равномерное облучение, либо в заданном секторе в зависимости от конфигурации зоны охвата. При необходимости увеличения зоны или преодоления препятствий устанавливаются ретрансляторы, работающие в автоматическом режиме.

Для защиты от несанкционированного приема, а также при коммерческом использовании система может быть доукомплектована шифратором и компьютером с необходимым программным обеспечением для контроля за сбором абонентской платы с

пользователей. При несвоевременной оплате абонент автоматически отключается от программы. Пакет передаваемых программ может быть разделен на несколько групп, закодированных по-разному, что позволяет выбирать интересующие абонента передачи.

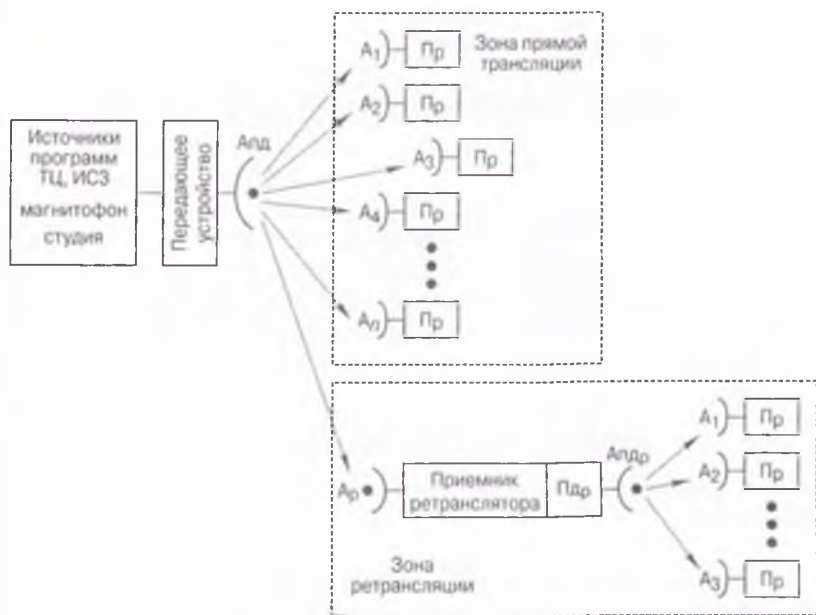


Рис. 1.5. Схема организации вещания в системе MMDS

В практике проектирования и монтажа систем MMDS используются два варианта построения структурных схем – одноканальный и многоканальный.

В одноканальном варианте для передачи n телевизионных программ применяется n передающих устройств, включающих модулятор и собственно передатчик, а суммирование мощности разных передатчиков производится в антенне (рис. 1.6).

В многоканальном варианте передаваемые n телевизионных программ сначала поступают на свои модуляторы, далее из них формируется групповой сигнал, который модулирует широкополосный передатчик, работающий на общую антенну (рис. 1.7).



Рис. 1.6. Структурная схема системы MMDS при одноканальном передатчике



Рис. 1.7. Структурная схема системы MMDS при многоканальном передатчике

В полосе 2500...2700 МГц может быть размещен 31 канал аналогового телевидения стандарта NTSC (полоса канала 6 МГц) и 24 канала стандарта PAL и SECAM (полоса 8 МГц).

В одноканальном варианте вся мощность излучается в данном канале, а в многоканальном варианте – уменьшается при 8 каналах примерно в 50 раз, т.е. мощность в каждом канале падает примерно в n^2 раз.

Многоканальные, или групповые передатчики, целесообразно использовать в небольших городах и поселках городского типа, где радиус зоны покрытия не превышает 6 км.

Комплект оборудования для системы MMDS укрупненно включает следующие компоненты: модуляторы, передатчики (или один групповой на n каналов), антенну, крепежные элементы, волновод с дегидратором, поддерживающим заданную температуру и влажность в волноводе, или коаксиальный кабель.

При использовании в качестве фидерной линии коаксиального кабеля радиус зоны покрытия уменьшается в 1,7...1,8 раза за счет увеличения потерь в кабеле по сравнению с волноводом.

В настоящее время среди российских специалистов, занимающихся внедрением систем MMDS, наибольшей популярностью пользуется оборудование трех американских фирм – EMCEE, ADC и Comwave, превосходящее оборудование других фирм, например, Unigue, Viesonics, по параметру цена–качество.

Основные технические параметры оборудования MMDS

Ниже приводятся данные по оборудованию, выпускаемому фирмой EMCEE, которое используют широко известные в России и странах СНГ фирмы, Universal Communications, «Телесет» и др.

1. Антенны и фидеры.

Из широкого спектра серийно выпускаемых в диапазоне 2,5...2,7 ГГц в табл. 1.3 представлены несколько типов передающих антенн с горизонтальной и вертикальной поляризацией. Диаграммы направленности этих антенн, как правило, имеют три вида: круговая 360°, односекторные (кардиоидные), 180 и 120°, двухсекторные 120° (в двух противоположных направлениях в каждом по 60°).

Т а б л и ц а 1.3. Передающие антенны для диапазона 2,5...2,7 ГГц

Тип передающей антенны	Размеры, см		Масса, кг
	высота	диаметр	
HMD24HO-W	295	13	30
HMD16HC-W	185	20	43
HMD24HC-W	274	20	50
HMD24VO-W	295	13	33
HMD8VC-W	104	13	18
HMD16VC-W	206	13	25

Окончание табл. 1.3

Тип передающей антенны	Поляризация	Коэффициент усиления, дБ	Ширина диаграммы направленности, град.
HMD24HO-W	Н	16	360
HMD16HC-W	Н	17,6; 17; 16,3	120, 180, 240
HMD24HC-W	Н	19,6; 19; 18,3	120, 180, 240
HMD24VO-W	V	16	360
HMD8VC-W	V	17,5; 14,5	120, 180
HMD16VC-W	V	20,5	120, 180

П р и м е ч а н и е. Н – горизонтальная поляризация; V – вертикальная поляризация.

Допустимая мощность, подводимая к антеннам, 500...800 Вт.

Фирмой ЕМСЕЕ предлагаются несколько типов приемных антенн: волновой канал с конструктивно встроенным конвертером, параболические антенны с коэффициентом усиления 21, 24 и 28 дБ и квазилогопериодические антенны. В любом типе антенн предусматривается как обязательный конструктивный элемент маломощный конвертер «вниз» (в диапазон 50...860 МГц).

Технические характеристики приемной антенны «волновой канал» с понижающим конвертером

Коэффициент усиления антенны, дБ	18
Коэффициент усиления конвертера, дБ	32
Коэффициент шума конвертера, дБ	1,7
Частота гетеродина, МГц	1838
Нестабильность частоты гетеродина, Гц	$\pm 30(-40...+70^{\circ}\text{C})$
Максимальный уровень сигнала на выходе, дБмкВ, при:	
одноканальной нагрузке	119
24-канальной нагрузке	90
Ширина диаграммы направленности на уровне 3 дБ, град.	28
Уровень боковых лепестков, дБ	-12
Напряжение питания постоянного тока, В	16...24
Рабочий диапазон температуры, $^{\circ}\text{C}$	-40...+80
Масса, кг	0,455
Размеры, см	18×12×7,6

Фирма «Телесет» разработала и внедряет в эксплуатацию плоскую микрополосковую антенну размерами 285×285×25 мм.

Технические характеристики антенны

Диапазон, МГц	2500...2700
Коэффициент усиления, дБ	15
Неравномерность коэффициента усиления, дБ	+0,2
Ширина диаграммы направленности, град.:	
в плоскости вектора Е	19
в плоскости вектора Н	22,5
Поляризация	линейная
Коэффициент кроссполяризации, дБ	25
Коэффициент стоячей волны по напряжению	<2
Допустимая ветровая нагрузка, км/ч	80
Рабочий диапазон температуры, $^{\circ}\text{C}$	-40...+50

Конструкции всех типов приемных антенн имеют малую ветровую нагрузку, хороший дизайн и достаточно просты в установке и настройке. В качестве фидерных линий в передающих устройствах используются специальные коаксиальные кабели и волноводы (см. табл. 1.4).

Т а б л и ц а 1.4. Фидерные линии диапазона 2,5...2,7 ГГц

Тип фидера	Затухание на частоте	Масса, кг/м	Минимальный радиус изгиба, см	Рекомендуемая длина фидера, м
Кабель HJ5-50	7,1	0,80	25	0...20
Кабель LDF6-50	5,6	0,98	38	20...50
Кабель HJ7P-50	4	1,55	51	50...80
Волновод EW-20	1,41	2,76	127	Свыше 80

Передатчики

Передатчики могут быть групповыми (многоканальными) и одноканальными, а также предназначаться для передачи как аналоговых, так и цифровых сигналов. В последнем случае передатчики должны быть укомплектованы соответствующими модами. Кроме того, передатчики могут быть рассчитаны для работы в помещениях и вне помещения – размещены вблизи антенны. Вариант размещения передатчика около антенны позволяет практически исключить потери в фидерных линиях, но резко возрастают требования по надежности работы при значительных колебаниях температуры и влажности. Естественно, что усложняется и эксплуатационное обслуживание.

В табл. 1.5 приводятся основные технические характеристики групповых передатчиков фирмы EMCEE, рассчитанные для работы в 8-, 12-, 16- и 24-канальном режиме.

Параметры канальных передатчиков типа TTS HSM

Выходная мощность, Вт 10; 20; 50
Телевизионные стандарты для аналоговых сигналов NTSC, PAL, SECAM
Диапазон частот выходных сигналов, ГГц 2,0...2,7
Нестабильность частоты, не более, кГц ± 1

Девияция частоты в канале звука, не более, кГц:

моно ±25

стерео ±50

Напряжение и частота питающей сети 220 В, 50 Гц

Рабочий диапазон температур

окружающей среды, °С –30...+50

Т а б л и ц а 1.5. Технические характеристики групповых передатчиков MMDS 2,5...2,7 ГГц

Технические характеристики	Модель			
	ITS-716	ITS-717	ITS-718	ITS-6457A
Мощность на выходе, Вт	20	50	100	400
Диапазон частот входных сигналов, МГц	138...324 или 222...408	138...324 или 222...408	138...324 или 222...408	138...324 или 222...408
Диапазон частот выходных сигналов, МГц	2500...2686	2500...2686	2500...2686	2500...2686
Диапазон рабочих температур, °С	0...50	0...50	0...50	0...50
Напряжение питания	117/220 В, 50/60 Гц	117/220 В, 50/60 Гц	117/220 В, 50/60 Гц	117/220 В, 50/60 Гц
Потребляемая мощность, Вт	435	650	1585	3100

Передатчики совместимы с любыми модуляторами, работающими в диапазоне 138...408 МГц. Блочная конструкция позволяет унифицировать разные модели, предусмотрена встроенная система дистанционной диагностики, а также имеется защита от перенапряжений и коротких замыканий.

Ретрансляторы

При разноэтажной городской застройке, наличии экранирующих препятствий (высот, технических сооружений и т.п.) для исключения «мертвых зон» применяются ретрансляторы, переизлучающие радиосигналы. Ретранслятор – это приемопередающий комплекс, включающий приемные и передающие антенны, широкополосные усилители с фильтрующими блоками и фидерные линии (рис. 1.8).

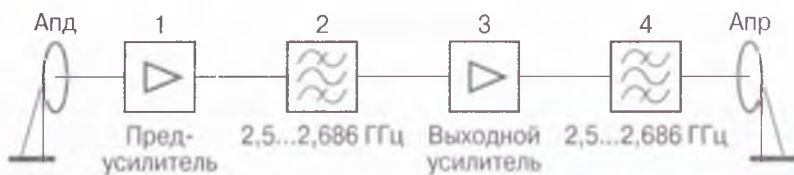


Рис. 1.8. Структурная схема ретранслятора

Для исключения помех другим абонентам выбирается соответствующая конфигурация диаграмм направленности приемной и передающей антенн ретранслятора либо антенны с ортогональной относительно основной трассы поляризацией.

Передатчик и приемник ретранслятора размещаются вблизи соответствующих антенн, имеют герметичный корпус и систему терморегулирования, которые надежно защищают их от влияния погодных условий.

Некоторые технические характеристики ретранслятора корпорации ADC типа ITS 605C на 10 Вт

Рабочие выходные частоты, МГц	2076...2111, 2150...2162, 2300...2400, 2500...2686
Отношение сигнал/шум в полосе 6 МГц, дБ	55
Коэффициент шума предварительного усилителя, дБ	1,5
Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °C	–40...+50
Напряжение и частота питающей сети	60 В, 50/60 Гц или 208/240 В, 50...60 Гц

Корпорация ADC предлагает также передающие устройства с автоматическим или ручным резервированием для любого количества каналов от 1 до 31. При неисправности основного передатчика система автоматического резервирования отключает неисправный передатчик, перестраивает резервный передатчик на заданную частоту, обеспечивая при этом коммутацию входных и выходных сигналов на него. Блок памяти системы резервирования фиксирует время и причину неисправности и высылает оператору системы сообщение о вводе резервного передатчика в действие.

Модуляторы

В России и странах СНГ в настоящее время для передачи изображения используются в наземном телевидении аналоговые сигналы при амплитудной модуляции, а для передачи сигналов звукового сопровождения применяется частотная модуляция. При этом модуляторы в системах MMDS ничем не отличаются от модуляторов передатчиков метрового и нижней части (от 300 до 860 МГц) дециметрового диапазона.

Внедрение в наземном телевидении цифровых методов передачи требует замены модуляторов для аналоговых сигналов цифровыми, допускающими обработку сигналов в стандарте MPEG-2. Кроме того, в бытовых телевизорах потребуются замена демодуляторов, кинескопов, блока разверток, стереофонической акустической системы и некоторых других элементов.

По различным оценкам стоимость цифрового телевизора для приема цифрового вещания на первом этапе его внедрения будет от 1500 до 2000 долл.

Такие расходы для массового зрителя России и стран СНГ с его низкими доходами в ближайшие годы нереальны.

В России и странах СНГ внедрением систем MMDS наиболее активно занимаются две московские фирмы – это Universal Communications и «Телесет». В табл. 1.6 приводятся данные о радиусе зоны покрытия в километрах в зависимости от мощности групповых и канальных передатчиков в системе MMDS на 8 каналов.

Из опыта внедрения и эксплуатации различных вариантов построения системы MMDS установлено, что вариант с одноканальными передатчиками предпочтителен в крупных городах с многоэтажной застройкой.

Подобные системы эксплуатируются в Москве, Новосибирске, Ростове-на-Дону. Общая стоимость такой системы превышает 200 тыс. долл.

Вариант системы с групповыми передатчиками построен в Екатеринбурге, Славянске-на-Кубани и Трехгорном. Стоимость системы MMDS с групповым передатчиком 20 Вт около 30 тыс. долл., а с передатчиком 100 Вт – 55 тыс. долл.

Указанные выше системы построены под руководством фирмы Universal Communications. В настоящее время фирмой спроектированы и ведутся монтажные работы по схеме с групповыми передатчиками в городах Волгоград, Пермь, Тирасполь (Приднестровская Республика). Ежемесячная абонентская плата при приеме открытых каналов не превышает 1 долл.

Т а б л и ц а 1.6. Зоны покрытия для группового и одноканального передатчиков, км

Высота подвески передающей антенны, м	Усиление приемной антенны, дБ	Мощность группового передатчика	
		50 Вт (2 Вт/кан.)	100 Вт (2 Вт/кан.)
60	18	4,7	6,5
60	24	9,8	12,5
105	18	4,4	5,8
105	24	9,1	11,3
150	18	4,2	4,7
150	24	8,4	10,3

Окончание табл. 1.6

Высота подвески передающей антенны, м	Мощность канального передатчика 100 Вт (2 Вт/кан.)		
	2 Вт/кан.	8 Вт/кан.	20 Вт/кан.
60	6,3	12	19
60	12	24	38,5
105	5,5	11	17,5
105	11	22,5	35
150	4,5	10	16
150	10	21	32

Представляет интерес действующая система MMDS в С.-Петербурге. В настоящее время работа ведется на 8 каналах с перспективой увеличения до 24. Источниками телепрограмм являются телецентр и студийные комплексы наземной сети телевидения, а также четыре приемных спутниковых антенны с диаметром зеркала 2...4 м, обеспечивая прием практически всех западноевропейских и ближневосточных спутников. В приемных устройствах спутникового телевизионного вещания использовано оборудование ряда ведущих зарубежных фирм – Standard, Philips, Nokia, Katec, Panasonic и др.

Канальные передатчики мощностью 50 Вт работают на оборудовании фирмы Comwave. Зона уверенного приема включает города Пушкин, Павловск, Сестрорецк, Петродворец, Кронштадт и др. В дальнейшем предполагается объединение системы MMDS с кабельной сетью города.

Фирма «Телесет», образованная в 1990 г., в 1996–1997 годах выполнила ряд крупных работ по внедрению MMDS: в городах Лесном и Новоуральске реконструировала городскую сеть теле-радиовещания.

В городе Лесном была построена кабельная домовая сеть на 25 000, а в г. Новоуральске – на 30 000 абонентов. Сеть спроектирована с перспективой на развитие для работы в полосе 5...860 МГц, где полоса 5...30 МГц отведена для обратных каналов в интерактивной системе связи. Работы по расширению сети в этих городах продолжаются.

В 1999 г. фирма «Телесет» вела работы по развертыванию систем MMDS в Ангарске, Белгороде, Казани, Тольятти, Хабаровске, Когалыме, Благовещенске. Заявки фирме на 2000 г. составляют более десятка городов России.

Фирма проектирует и развертывает новые системы MMDS с расчетом дальнейшего развития их в направлениях:

- дальнейшего увеличения числа каналов и передаваемых телевизионных программ, в том числе и цифровых;
- реализации возможностей доступа в Интернет без использования ТСОП;
- внедрения интерактивного метода связи с целью предоставления пользователю возможностей доступа к различным банкам данных (библиотеки, телецентры, университеты и т.д.) и видео по требованию;
- реализации телефонной связи.

Фирма «Телесет» начинает внедрять свои разработки: МШУ конвертеры из диапазона 2,5...2,7 ГГц в дециметровый (470...862 МГц) и метровый (48...248 МГц) диапазоны, многоканальные передатчики мощностью 100 и 200 Вт, а также выпускает передающие антенны диапазона MMDS и приемные антенны МВ и ДМВ диапазонов. Вышеупомянутые разработки ведутся на импортной элементной базе.

Подобные усилия фирмы направлены на дальнейшее удешевление проектируемых и внедряемых MMDS систем, с тем чтобы расширить географию своей деятельности.

В настоящее время многоточечные системы распределения телевизионных программ используются в режиме передачи аналоговых сигналов. За счет переноса частоты радиосигнала в диапазон 2,5...2,7 ГГц, где меньше суммарный уровень помех по сравнению с полосой 48...860 МГц, улучшения характеристик направленности приемных антенн существенно улучшается качество изображения. Возможность приема пользователями до 10 и

более телевизионных программ при небольших мощностях излучения создает не только благоприятную экологическую обстановку в регионе, но и существенно расширяет информационный выбор программ для населения.

Переход к цифровым методам передачи в системах MMDS позволит добиться дальнейшего улучшения обслуживания населения телевидением, а также решить задачу создания интерактивных (двусторонних) каналов связи.

Однако следует иметь в виду, что требования по многим техническим характеристикам радиотракта при цифровом телевидении заметно возрастают.

К таким характеристикам, которые оказывают существенное влияние на прохождение цифрового сигнала в различных элементах тракта, можно отнести:

- фазовые шумы, вызванные неравномерностью группового времени запаздывания;
- нелинейность усилителей;
- помехи от соседних каналов, возникающие за счет неточной избирательности канальных фильтров;
- нестабильность характеристик АЧХ, ХГВЗ от температурных воздействий.

Ниже перечислены основные элементы приемопередающего тракта, влияющие на неидеальность характеристик системы.

В передающем устройстве к наиболее важным элементам схемы следует отнести:

- цифровой кодер–мультиплексор;
- цифровой модулятор;
- конвертер вверх;
- устройство объединения сигналов от различных источников – видео, звука, данных.

В приемном устройстве абонента:

- конвертер вниз;
- в ресивере – фазовые шумы в тракте 1-й ПЧ (полоса 950...2050 МГц) и 2-й ПЧ, АЧХ и ХГВЗ в этих трактах;
- совместимость с применяемой системой цифровой модуляции [MPEG-2 – (4:2:2)², MPEG-2-4 – (4:2:0)³ или MPEG-1];

² 4:2:2 – обозначение стандарта раздельного цифрового кодирования видеосигнала, предусматривающего дискретизацию сигнала яркости с частотой 13,5 МГц и двух цветоразностных сигналов с частотой 6,75 МГц (единица соответствует частоте 3,375 МГц) при исходной скорости 216 Мбит/с.

- соответствие для модулятора передатчика и демодулятора абонента типа сверточного кодирования и скоростей цифровых потоков;

- соответствие алгоритмов работы скремблера и дескремблера;

- расположение цифровых каналов на частотной шкале (при смежных каналах за счет завала частотной характеристики на краях полосы) пропускная способность может снизиться на 25%).

Главными условиями эффективной работы системы MMDS при передаче цифровых телевизионных программ являются:

- совместимость системы цифровой модуляции с демодулятором ресивера, т.е. 2-ФМ в передатчике и 2-ФМ в приемнике или 4-ФМ в передатчике и 4ФМ в приемнике;

- соответствие типов сверточного кодирования в передатчике и декодирования в ресивере;

- правильный выбор каналов в многоканальной системе;

- минимальные фазовые шумы в радиотрактах передатчика и приемника абонента (в конвертерах, в трактах 1-й и 2-й ПЧ приемника, в передатчике в тракте 1-й ПЧ), в усилителях, а также в кодеках и модемах.

Учитывая, что телевизионное вещание в открытых каналах во всем мире ведется бесплатно, по-видимому, на первом этапе внедрения цифровых методов передачи целесообразно ориентироваться на предоставление следующих услуг:

- высокоскоростная передача данных;

- доступ в Интернет;

- телефония.

Двунаправленный доступ в Интернет по радиоканалам в системах MMDS ограничивается возможностями выделения частотного ресурса для обратных каналов в полосе 2500...2700 МГц и сравнительно небольшой мощностью абонентских трансиверов.

Имеются два базовых стандарта передачи данных по MMDS сети, разработанные группой американских компаний MCNS и консорциумом DVB (Digital Video Broadcasting) – это DOCSIS и DAVIC.

В обоих упомянутых стандартах предусмотрено функционирование телефонного канала, что позволяет постепенно реализовывать двунаправленные сети доступа в Интернет, не используя телефонную сеть общего пользования.

³ 4:2:0 – обозначение модификации стандарта 4:2:2, предусматривающей передачу цветоразностных сигналов с чередованием по строкам (исходная скорость 162 Мбит/с).

Проектируя современную сеть MMDS, следует приобретать оборудование тех фирм, которые гарантируют или уже реализовали сети, позволяющие передавать цифровые телевизионные программы и высокоскоростные данные. Сеть, построенная с перспективой, поможет постепенно наращивать комплекс платных двунаправленных услуг:

- дополнительные платные телевизионные программы;
- платные телефонные каналы междугородной и международной связи;
- доступ в Интернет.

Использование системы MMDS для передачи цифровых сигналов

В России, по официальным данным, к концу 1980-х годов подавляющее большинство населения (около 98%) могло принимать лишь одну центральную телевизионную программу, а три программы были доступны примерно 60% населения.

В наиболее густонаселенной зоне «М», охватывающей западную часть страны, ранее распределялись три центральные программы, поступающие по кабельным и радиорелейным магистралям. В остальные зоны центральные программы доставлялись населению по спутниковым каналам через системы «Экран» и «Москва», а также через приемные земные станции системы «Орбита».

В 1990-е годы стали появляться корпоративные телевизионные компании, удельный вес в общем объеме вещания которых быстро возрастал и уже к 1999 г. составил более 10%.

Жесткая монополия на телевизионное вещание была разрушена, а на основе Гостелерадио образовалось около 100 государственных и 150 негосударственных телевизионных компаний. В результате за 10 лет политических и экономических реформ в России количество принимаемых телевизионных программ многократно возросло, главным образом за счет внедрения спутниковых систем непосредственного телевизионного вещания (НТВ) и многоканальных многоточечных распределительных систем (MMDS) наземного вещания.

В настоящее время встал вопрос о переводе систем MMDS на передачу цифровых телевизионных сигналов. При этом не только увеличивается число распределяемых программ (в 4–6 раз), но появляется возможность предоставления новых видов услуг, таких, как передача данных и высокоскоростной доступ в Интернет и ряд других.

Работы по переходу на передачу цифровых сигналов в системах MMDS ведет московская компания «Космос-ТВ», модернизируя свою сеть, созданную еще в 1991 г., и которая до сегодняшнего дня является крупнейшей в России.

Система «Космос-ТВ» включает следующее оборудование:

- земные станции приема – две с диаметром антенн 13 и 10 м, три антенны диаметром 4,5 м;
- аппаратно-студийный комплекс;
- две передающие антенны с диаграммой направленности 280° , работающие в разных поляризациях – горизонтальной и вертикальной. Антенны расположены на отметке 344 м Останкинской башни, ориентированы в разных направлениях (на север и юг);
- канальные передатчики 50 Вт фирмы Comwave.

Полная емкость системы 25 частотных каналов.

Абонентская часть распределительной сети «Космос-ТВ» включает приемные системы трех типов:

- приемные установки индивидуального типа, имеющие в своем составе до 10 абонентских устройств;
- системы коллективного приема с раздачей по кабелю на промежуточной частоте ($f_{пч} = 294...494$ МГц) кодированных сигналов, обслуживающие от 10 до 500 абонентов;
- системы коллективного приема с раздачей по кабелю на промежуточной частоте некодированных сигналов.

Система первого типа обслуживает 60% абонентов, второго – 30% и третьего – 10% общей сети «Космос-ТВ».

Индивидуальная установка включает: параболическую антенну размером 400х500 мм с понижающим конвертером фирмы Conifer на частоту 294...494 МГц. Далее телевизионные сигналы распределяются по небольшой кабельной сети абонентских конвертеров-декодеров, которые по существу выполняют роль радиочастотной схемы стандартного телевизионного приемника совместно с видеопроцессором, осуществляющим декодирование принятого сигнала.

Абонентский конвертер-декодер имеет радиочастотный выход на частотах третьего или четвертого каналов метрового диапазона, а также выход для видео- и аудиосигналов. Конвертер может работать в режиме PPV (pay-per-view – разовой оплаты за просмотр).

МикроЭВМ, управляющая работой абонентского конвертера, принимает служебные сигналы, передаваемые в составе видеосигнала из аппаратной «Космос-ТВ».

Адресная система контроля (Addressable Control System ACS) реализует начальную установку конвертера, управление его работой и кодирование каналов.

Из общего числа 25 каналов, в 18 каналах телевизионные программы передаются в закодированном виде.

В конце 2000 г. фирма «Космос-ТВ» начала внедрение цифрового вещания в своей сети по Москве.

При аналоговом телевизионном вещании абонентам предоставлялось право выбора из трех пакетов программ:

Пакет «А», состоящий из 28 программ на 18 частотах (передаваемые программы на некоторых частотах разносились по времени), стоил 38 долл. в месяц; данный пакет покупало 25–30% абонентов сети.

Пакет «В», включавший 17–18 программ на 12 частотах, приобретало 60% абонентов по цене 17 долл. в месяц.

Пакет «С» стоимостью 7 долл. содержал семь программ.

При переходе на цифровое телевизионное вещание в сентябре 2000 г. абонентам пакета «А» была предоставлена возможность получить пакет «Альфа» и заменить аналоговое оборудование на цифровое бесплатно. Объем вещания в пакете «Альфа» в феврале 2001 г. на 19 частотных каналах составлял около 60 программ.

Абонентам – владельцам пакета «В» – предлагались льготные условия приобретения цифровых пакетов; эти абоненты по их желанию, могли перейти на цифровой пакет «Бета», включающий 23 программы.

Вместе с тем, в аналоговом пакете «В» полностью сохранился объем телевизионного вещания, т.е. 17–18 программ.

Стоимость нового подключения к цифровому телевидению с учетом залога за оборудование составляет 199 долл. США. Объем телевизионного вещания с переходом на цифровое существенно увеличился.

При цифровом телевидении значительно возросло число иностранных каналов – появились итальянские, японские, корейские каналы, возросло число немецких каналов, впервые в Москве стал транслироваться армянский канал («Армения-ТВ»).

Возможности для предоставления телевизионных каналов других диаспор, что очень важно в политическом отношении, далеко не исчерпаны.

Увеличивается и число ретранслируемых российских каналов.

Качество изображения в цифровом виде заметно возросло.

Все перечисленное выше повлияло на увеличение количества продаж телевизионных программ. Некоторые каналы сейчас ретранслируются на нескольких языках, например, канал ЕвроNews идет на пяти языках. Мощность телевизионного передатчика достаточна для приема качественных программ в ближнем Подмоскovie (в радиусе 40...60 км), т.е. сеть расширяется за счет подмосковных зрителей. С середины 2001 г. компания предоставляет заинтересованным пользователям в одном из радиоканалов доступ в Интернет. Для обеспечения этой услуги требуется модернизация кабельной сети путем замены усилителей и ответвителей. Следует отметить, что впервые успешная попытка реализации доступа в Интернет по радиоканалу MMDS была предпринята фирмой «Телесет» совместно с унитарным муниципальным предприятием «Электросвязь» в Новоуральске в 2000 г.

Аппаратная головной станции для цифрового вещания выполнена на оборудовании фирмы Varco, которое позволяет:

- преобразовать аналоговые каналы в цифровые;
- принимать цифровые каналы со спутников;
- перемультимплексировать программы для создания телевизионного пакета на каждой частоте;
- производить адресное разделение по пакетам и вводить защиту от несанкционированного включения;
- суммировать сигналы от n-передатчиков на входе антенных устройств.

В заключение отметим, что перевод систем MMDS на цифровое телевизионное вещание в стандарте MPEG-2 является началом огромной работы по планомерному переходу в России от аналогового телевидения к цифровому в наземных сетях. При этом существенно повышается качество изображения и в 4–10 раз увеличивается число передаваемых программ.

Использование цифровой системы MMDS для высокоскоростного доступа в Интернет

Заслуживают внимания работы, проведенные фирмой «Телесет», по внедрению высокоскоростного доступа в Интернет и других мультимедийных услуг. В этом случае базовая система MMDS, описание которой было представлено выше, была дополнена подсистемой обмена данными для доступа в Интернет. Под обратные каналы в действующей в России полосе (2,5...2,7 ГГц) отведены частоты 2644...2686 МГц. Однако разрешено также использовать для этих целей частоты: 2150...2162; 2305...2320 и

2345...2360 МГц для приема сигналов, на которых выпускаются типовые трансиверы.

Структурная схема представляет собой «звезду» или «точка – много точек». В центре ее размещается головное оборудование – приемопередатчики, модемы, компьютеры, которые по выделенному каналу соединяются с магистральной сетью Интернет.

Периферийные пользовательские компьютеры подключаются по двустороннему радиоканалу к системе с помощью абонентских модемов. Обмен запросами и данными с сетью Интернет производится через головной модем. Пользователь может получать данные со скоростью до 10 Мбит/с. Возможно подключение как коллективных, так и индивидуальных пользователей.

Для индивидуального пользователя потребуется полный комплект оборудования, включающий приемопередающие антенны, трансивер с блоком питания, кабели, модем и проходной разветвитель к модему и телевизору для подключения компьютера.

При коллективном подключении по имеющейся домовой кабельной сети с обратным каналом передающая антенна с повышающим конвертером или приемопередающая с трансивером будет общей на дом, подъезд и т.п. Возможно подключение абонентского модема через локальную сеть пользовательских компьютеров. В этом случае без сервера к одному модему можно подключить до 15 компьютеров, а при наличии дополнительного сервера – до 254 компьютеров.

Радиус действия системы в прямом направлении в зависимости от рельефа местности до 50...60 км, а в обратном направлении – при мощности трансиверов 0,1 и 0,25 Вт до 30 км и вдвое больше с трансиверами 0,5 и 1 Вт.

Преимущества предлагаемой системы:

- для доступа в Интернет не требуется свободный телефонный номер у абонента, так как обеспечивается постоянное соединение с сетью;
- при высокой скорости (до 10 Мбит/с) возможно в реальном времени воспроизводить на компьютере аудио- и видеофайлы, транслируемые по сети Интернет, а также благодаря симметричности прямого и обратного каналов можно использовать режим IP-телефонии.

1.8. Микроволновые интегрированные телерадиоинформационные системы распределения информации МИТРИС и РАСТР-15

Система МИТРИС

Система МИТРИС, предназначенная для сетей наземного телерадиовещания, разрабатывается и внедряется на Украине и в какой-то мере является аналогом системы MMDS. В отличие от MMDS с целью увеличения числа рабочих каналов в системе МИТРИС выбран диапазон частот в полосе 11,7...13,5 ГГц. Предполагается в дальнейшем возможность работы МИТРИС в диапазонах 28...30 и 40...43 ГГц.

Особенностью системы МИТРИС от других многопрограммных микроволновых систем (MMDS, LMDS, MVDS) является использование частотной модуляции. В соответствии с этим ширина полосы канала вместо 8 МГц выбрана равной 22 МГц. Шаг сетки 28 МГц, в дальнейшем планируется уменьшить его вдвое, до 14 МГц.

Основными элементами системы МИТРИС являются:

- подсистема приема спутниковых телевизионных программ, состоящая из группы устройств спутникового телевидения (антенны, МШУ-конвертеры, ресиверы и др. вспомогательные блоки), обеспечивающих выдачу сигналов на первой промежуточной частоте в полосе 950...2050 МГц, а также видео- и аудиосигналов с заданными техническими параметрами;

- подсистема приема программ наземного телевизионного вещания, состоящая из профессионального оборудования для коллективного приема;

- подсистема формирования студийных программ;

- подсистема приема телевизионных программ с выхода радиорелейных линий прямой видимости;

- подсистема сопряжения с телефонной сетью общего пользования и компьютерными сетями;

- приемные подсистемы, предназначенные для коллективных и индивидуальных пользователей;

- многоканальный передатчик с антенной, имеющей круговую диаграмму направленности, работающей в СВЧ-диапазоне;

- подсистема формирования, управления и контроля.

Задачей последней подсистемы является преобразование аудио- и видеосигналов в частотно-модулированные радиосигналы в полосе 0,950...2,050 ГГц, их расфилтровка и размещение в заданном порядке на шкале частот совместно с сигналами спут-

никового телевизионного вещания, принятыми в этой же полосе, а также приведение всех сигналов к стандартным уровням.

Многоканальный передатчик транспонирует сигналы из полосы 0,95...2,05 в полосу 11,7...13,5 ГГц. Предусматривается возможность сопряжения входа передатчика с сигналами радиорелейной аппаратуры на промежуточной частоте 70 МГц.

Передающая антенна с круговой диаграммой направленности, сформированной с помощью специальной трехзеркальной конструкции, имеет коэффициент усиления в полосе рабочих частот в горизонтальной плоскости более 16 дБ при ширине диаграммы направленности в вертикальной плоскости не более 4°.

Прием сигналов по системе наземного телевизионного вещания ведется на параболические антенны диаметром 25, 60 и 90 см в зависимости от расстояния до передатчика и категории приемной установки – индивидуальная или коллективная.

Разработчики системы МИТРИС утверждают, что при мощности 50 МВт на один канал диаметр зоны обслуживания составляет до 40 км, а в ближней зоне (до 5 км) прием возможен непосредственно на облучатель конвертера. Суммирование сигналов различных программ в полосе 11,7...13,5 ГГц осуществляется в самой антенне. По мнению авторов системы МИТРИС, многодиапазонная антенна головной станции является оригинальной украинской разработкой на уровне открытия.

Уверенный прием на расстояния до 15 км может вестись на антенну диаметром 25 см, до 30 км – на антенну диаметром до 60 см и до 40 км – на антенну диаметром 90 см. Возможен прием сигналов через сухую кирпичную стену.

В полосе 11,7...13,5 ГГц в настоящее время размещено 24 телевизионных канала. При переходе к частотной сетке через 14 МГц и чередовании каналов с горизонтальной и вертикальной поляризацией пропускная способность системы увеличивается до 42 каналов. Кабельные сети Киева сейчас могут пропустить лишь 17–18 телевизионных программ.

Расчеты и экспериментальная проверка совместной работы спутниковых и наземных систем телевизионного вещания в общей полосе частот показали возможность реализации норм электромагнитной совместимости этих систем.

Снижение мощности, излучаемой на один канал, с 8...10 Вт до 50 мВт является положительным фактором, улучшающим экологическую обстановку в крупных городах, население которых подвержено мощному облучению в диапазонах частот от 2 до 18 ГГц.

Система МИТРИС хорошо согласуется с сетями кабельного телевизионного вещания, однако метод модуляции при переходе к кабельной многоквартирной домовой сети должен быть изменен.

Основные технические данные системы МИТРИС

Диапазон частот передатчика, МГц	11 700...13 500
Шаг сетки частот, МГц	14
Диапазон частот сигналов на входе передатчика, МГц	950...2050
Вид модуляции	частотная (ЧМ)
Поляризация излучаемых сигналов	линейная (горизонтальная и вертикальная)
Число телевизионных программ, излучаемых в одной поляризации	≥ 2
Коэффициент усиления передающей антенны, дБ	> 16
Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, град.	360
Ширина диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости на уровне -3 дБ, град.	4
Сечение входных волноводов антенны, мм	19,0×9,5 18,0×8,0
Диаметр зеркала базовой антенны для индивидуального приема, см	25
Коэффициент усиления базовой антенны для индивидуального приема, дБ	> 26
Ширина основного лепестка диаграммы направленности антенны для индивидуального приема, град.	6
Коэффициент шума приемных конвертеров, дБ	2

Планируемые направления дальнейшего развития системы МИТРИС

Внедрение коллективных и индивидуальных станций с интерактивными методами эксплуатации, которые осуществляют сбор и предварительную обработку информации, поступающей по телефонным и кабельным сетям, с последующей передачей на ретранслятор системы МИТРИС.

Реализация интегрированных информационных сетей, обеспечивающих передачу в цифровом виде телерадиовещательных программ, данных и доступ в Интернет. При переходе на цифро-

вые методы передачи, по мнению разработчиков, система МИТРИС позволит передавать до 200 цифровых телевизионных каналов.

Почти одновременно с Киевом с сентября 1998 г. система МИТРИС начала работать в Луганске, где проживает около 550 тыс. жителей.

После отключения российских каналов наземного телевидения компаний РТР и ОРТ в г. Луганске резко возрос интерес к установкам спутникового телевизионного вещания и к системе МИТРИС. Это связано с большим процентом русскоязычного населения в городе. На конец 1998 г. в системе МИТРИС г. Луганска работало не менее 20 каналов, продолжается дальнейшее расширение сети. Распределение телевизионных каналов в домах идет по кабельной сети. Системы наземного телевизионного и радиовещания в традиционном варианте в г. Луганске, как и во многих других городах, не работают. Техническое обеспечение локальных и местных кабельных сетей осуществляет луганская фирма TROPHY.

Многоканальная система РАСТР-15

В апреле 2000 г. появилась информация о совместной разработке специалистами Московского технического университета связи и информатики и научно-производственного предприятия «Сеан» (г. Москва) новой модификации системы MMDS в диапазоне 6 ГГц под шифром РАСТР-15.

В системе используется полоса частот 6170...6425 МГц при частотной модуляции телевизионным сигналом. За счет меньшей загрузки другими радиоэлектронными средствами указанной полосы, а также применения частотной модуляции разработчики рассчитывают на большую помехоустойчивость системы по сравнению с традиционной MMDS диапазона 2700...2900 ГГц, в которой, как известно, используется амплитудная модуляция. Кроме того, переход на более высокую частоту позволяет уменьшить размеры передающей и приемной антенн.

В системе РАСТР-15 может передаваться на разных несущих до 15 телевизионных программ в аналоговой форме и в несколько раз больше при использовании цифровых сигналов.

Оборудование включает передающую станцию с антенной оригинальной конструкции, имеющей круговую диаграмму направленности и приемные устройства коллективных или индивидуальных абонентов.

Основные параметры системы РАСТР-15

Число каналов	15
Эффективная ширина полосы канала, МГц	12
Разнос по частоте между каналами, МГц	17
Поднесущая частота сигнала звука, МГц	6,5

Оборудование передающей станции включает:

- N канальных модуляторов (по числу передаваемых программ);

- сумматор каналов;
- преобразователь частоты вверх;
- усилитель мощности;
- передающую антенну.

В модуляторе полный телевизионный сигнал (синхроимпульсы, видео и сигналы звукового сопровождения на поднесущей 6,5 МГц) модулирует по частоте одну из 15 несущих в полосе 970...1200 МГц. Установленные на выходах канальных модуляторов фильтры устраняют побочные частотные составляющие, формируя заданную ширину спектра в каждом канале. Уровень сигнала на выходе модуляторов около 16 мВт.

Групповой радиосигнал с полосой 960...1215 МГц формируется на выходе пассивного сумматора, выполненного на четвертьволновых полосковых делителях мощности, в которых производится четырехступенчатое суммирование сигналов от всех канальных модуляторов. Далее спектр многоканального телевизионного радиосигнала переносится в рабочую полосу 6170...6425 МГц с помощью преобразователя вверх, после чего сигналы усиливаются в усилителе мощности. Мощность на выходе передатчика 36 дБм (4 Вт).

Преобразователь частоты вверх и усилитель мощности конструктивно выполнены в виде единого герметизированного блока массой около 10 кг. Длина соединительного кабеля типа РК54-11 с погонным затуханием 0,35 дБ/м может достигать 100 м; при необходимости ее увеличения устанавливают дополнительный усилитель либо подбирают кабель с меньшим затуханием (имеются импортные кабели с погонным затуханием 0,2 дБ/м).

Питание выносного блока производится от источника с постоянным напряжением 15 В, потребление около 1,5 А, подводится к блоку по отдельному кабелю.

Антенна в горизонтальной плоскости имеет круговую диаграмму направленности с коэффициентом усиления 12 дБ, поля-

ризация горизонтальная, масса около 8 кг, за счет обтекаемой конструкции допускает ветровую нагрузку до 160 км/ч.

Антенна и выносной блок могут размещаться на крыше здания, крепятся к отрезку трубы диаметром 60...70 мм, устанавливаемой на специальной треноге.

Приемное устройство состоит из параболической антенны диаметром до 60 см, МШУ-конвертера вниз и типового ресивера (тюнера), работающего в полосе 950...1250 МГц.

Характеристики тракта передающего устройства системы РАСТР-15 рассчитаны на прохождение цифровых телевизионных сигналов с модуляцией 4-ФМ (QPSK) при приеме цифровых телевизионных сигналов со спутников.

При замене аналоговых модуляторов цифровыми количество передаваемых по системе программ может быть увеличено в 2–4 раза.

Разрешение на использование полосы частот 6170...6425 МГц № 3274-ОП от 05.04.1999 г. выдано ГРКЧ Российской Федерации.

1.9. Проект «Телевизионная деревня»

Концепция сельского многопрограммного телевизионного вещания под названием «Телевизионная деревня» впервые получила материальное подтверждение на выставке «Связь-Экспокомм-99». В концепции ставится задача обеспечить повсеместно, включая и сельское население, условия, при которых можно было бы в любом пункте России жителям этих мест принимать не менее 5 телевизионных программ. Здесь идет речь прежде всего о регионах с небольшой плотностью населения при значительных расстояниях между населенными пунктами и отсутствием удовлетворительных средств сообщения из-за плохих дорог, которые в некоторые сезоны года вообще становятся непроезжими. К таким регионам относятся прежде всего районы Крайнего Севера, Чукотки, глубинные районы полуострова Камчатка, горные и предгорные районы юга России.

Даже в хорошо обжитых районах Ростовской области, Ставропольского края, Дагестана имеются «мертвые зоны», в которых прием аналоговых телевизионных сигналов затруднен или попросту невозможен.

Переход на трансляцию цифровых телевизионных программ в ряде мест мог бы снять сформулированную выше проблему за счет снижения порогового уровня сигнала, при котором прием еще возможен.

Однако такой вариант решения проблемы пока неприемлем по двум причинам: первая – переход к цифровому телевидению несмотря на все преимущества систем ЦТВ в ближайшие пять лет возможен, предположительно, лишь в крупных городах из-за сравнительно больших капитальных вложений.

Вторая причина заключается в том, что в местах, где напряженность поля телевизионного сигнала мало отличается от уровня помех, прием на бытовые приемники будет невозможен, несмотря на использование антенн с усилителями, которые будут одинаково усиливать и сигнал, и помеху.

По оценкам сотрудников фирмы «Астероид», входящей в ООО «ТВ деревня» и непосредственно решающей проблему многопрограммного распределения телевидения в сельской местности, в настоящее время даже две контрольные программы ОРТ и РТР 60–70 % населения принимает с плохим качеством.

Ростовские специалисты ООО «Телевизионная деревня» в сложившейся ситуации выбрали оптимальный вариант решения проблемы.

В настоящее время сотрудники фирмы «Астероид-1» в населенных пунктах с населением до 20 тыс. человек устанавливают маломощные (около 1 Вт) необслуживаемые одноканальные ретрансляторы телевизионных программ. Зона обслуживания таких ретрансляторов имеет радиус от 5 до 15 км в зависимости от рельефа местности. Эта же фирма осуществляет техническое гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Научно-производственное объединение (НПО) «Астероид» (г. Ростов-на-Дону) освоило производство ретрансляторов. Коллективная станция, устанавливаемая в поселке, осуществляет прием программ центрального телевидения (там, где они принимаются), спутникового телевидения и распределяет эти программы по соответствующим ретрансляторам.

Все программы, кроме центральных, платные, но плата невелика – около 10 руб. в месяц. В отдельных случаях, когда нужно усилить сигнал в заданном направлении, формируется необходимая форма диаграммы направленности антенны.

Специалисты НПО «Астероид» совместно с украинскими коллегами разработали радиорелейную аппаратуру для передачи телевизионных программ на ретрансляторы в пределах района, что оказалось значительно дешевле, чем прокладывать кабель.

В распределительной сети коллективной станции устанавливается модулятор для ввода в сеть информации, предназначенной населению данного региона, в частности, в Ростовской об-

ласти предусматривается выход администрации области на 40 районных центров.

В распределительной сети области, края имеется возможность выхода в районные сети телевизионного вещания, что позволяет главам администраций организовывать видеоконференции, а в экстренных случаях обращаться прямо к населению.

На основе опыта внедрения проекта «Телевизионная деревня» в Ростовской области можно предложить следующие организационно-технические решения этой проблемы:

- организация массового производства маломощных до 1 Вт необслуживаемых одноканальных ретрансляторов МВ и ДМВ диапазонов и установка их в поселках с населением до 20 тыс. человек. При необходимости к ним может быть подключена видеоустановка для организации местного вещания;

- программы для местных ретрансляторов формируются спутниковыми приемными устройствами, размещаемыми в административных зданиях поселков.

Возможно ответвление части мощности передатчика в локальную широкополосную кабельную сеть в местах компактного проживания населения.

По программе, утвержденной администрацией Ростовской области в октябре 1998 г., в период до 2001 г. включительно было установлено около 1000 ретрансляторов при потребностях не менее 1500.

Данный вариант решения проблемы «Телевизионная деревня» стал реальностью в этой местности вследствие наличия здесь высококвалифицированных специалистов и мощных радиотехнических предприятий. По-видимому, требуется государственная поддержка такого полезного начинания в организации массового производства необходимых изделий и обеспечения потребностей в них всей страны.

С учетом того, что телевизионные ретрансляторы мощностью от 1 до 200 Вт выпускают АООТ «МАРТ» (С.-Петербург) и Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ) следует объединить усилия указанных предприятий для решения проблемы «ТВ деревня».

В дальнейшем развитии проекта «Телевизионная деревня» предусматривается внедрение интерактивных услуг, в том числе и доступа в сеть Интернет. В этом плане у ростовских специалистов установлено сотрудничество с донецкими специалистами, реализующими проект МИТРИС на Украине.

Инициатива ростовских телевизионщиков активно поддерживается Научно-исследовательским институтом радио для внедрения ее во всероссийском масштабе.

Данный проект включен в Федеральную целевую программу развития Северо-Кавказского региона на период до 2005 г. В настоящее время его реализация проводится в Ростовской и Тюменской областях, республике Калмыкия, а также еще в шестнадцати субъектах Российской Федерации. В ряде регионов проект включен в программы развития телевизионного вещания как на уровне субъектов федерации, так и на уровне межрегиональных образований.

1.10. Сотовые системы наземного телевизионного вещания

На современном этапе развития телевизионного вещания используются, как правило, комплексы систем массового многоцелевого обслуживания, которые обеспечивают интересы не только вещателей, но и многих других служб – передачу данных, предоставление интерактивных каналов, ускоренный прием информации из сети Интернет (так называемый Turbo-Internet), предоставление речевой связи и многое другое.

Наряду с интенсивным развитием и внедрением интегральных сетей распределения программ спутникового и традиционного наземного телевидения (в том числе MMDS в диапазоне 2,1...2,9 ГГц) во многих странах Америки, Европы, в Японии ведутся работы по созданию наземных сетей сотового телевидения LMDS (Local Multipoint Distribution System – локальные многоточечные системы распределения), MVDS (Multipoint Video Distribution Systems – многоточечные системы распределения телевизионных программ) или новая аббревиатура MWS (Microwave Systems).

В системах LMDS используется полоса частот 27,5...29,5 ГГц (США), в MVDS – 40,5...43,5 ГГц (Европа), но по существу эти системы отличаются между собой названием, а структурное построение их одинаково.

Следует отметить, что несмотря на успешное внедрение систем MMDS в ряде регионов России, позволяющих обеспечить раздачу пользователям обслуживаемой территории до 24 телевизионных программ в выделенной в России полосе частот 2,5...2,7 ГГц, по ряду причин эти системы мало перспективны. Основными недостатками систем MMDS являются большая загруженность полосы частот сигналами радиорелейных линий

прямой видимости, некоторых других систем и ограниченная пропускная способность.

Традиционные телевизионные ретрансляторы метрового и дециметрового диапазонов не эффективны в жилых массивах крупных городов из-за переотражений от высокоэтажных зданий и ряда промышленных сооружений. Кроме того, электромагнитные излучения мощных передатчиков неблагоприятно воздействуют на живые организмы в ближней зоне от передатчика и неэффективны с экономической точки зрения.

Широкое внедрение цифровых систем DVB-T в наземных сетях России и стран СНГ из-за высокой стоимости абонентских телевизоров в ближайшие годы мало вероятно. В этой связи внедрение систем MVDS для многопрограммного телевизионного вещания, особенно в местностях с высокой плотностью населения, представляется весьма перспективным.

Основными достоинствами сотовых систем телевизионного вещания, по сравнению с другими, являются:

- высокое качество сигналов и практически полное отсутствие мертвых зон за счет выбора размеров соты в пределах от 1 до 6 км;
- возможность для пользователя большого выбора телевизионных программ при наличии в сети множества сот (ячеек);
- обеспечение экологически безопасных для населения уровней электромагнитного излучения передатчиков;
- сравнительная дешевизна абонентской установки за счет использования компактной малогабаритной антенны с линейными размерами 15...25 см;
- высокое качество сигналов ввиду сравнительно низкого уровня помех в выделенных для этих систем диапазонах частот;
- независимость условий приема от телевизионных стандартов (NTSC, PAL, SECAM) за счет цифровизации сигналов;
- высокая надежность сети при рассредоточенных ретрансляторах, особенно при стихийных бедствиях (пожары, землетрясения, различные техногенные чрезвычайные происшествия).

Сотовые системы распределения в полосе 27,5...29,5 ГГц применяются в локальных сетях США, в некоторых государствах Африки.

Европейская конференция администрации почт и электросвязи (CEPT), в которую входит Россия и страны СНГ, после тщательного изучения рекомендовала для сотовых телевизионных систем использовать полосу 40,5...43,5 ГГц.

Как отмечено выше, в спутниковых системах связи ослабление сигнала определяется двумя причинами: 1) ослаблением в

свободном пространстве (детерминированная составляющая) и 2) ослаблением в осадках (случайная составляющая). Пока еще на телевизионные цифровые спутниковые системы связи отсутствует государственный стандарт, поэтому и нет строгой методики по расчету таких систем.

Попытаемся сделать ориентировочный расчет на основе имеющихся в литературе материалов для вероятностной составляющей затухания сигнала в осадках. Все расчеты магистральных систем связи принято вести с учетом среднеминутных распределений интенсивности дождей для наихудшего месяца года.

Кроме дождей на ослабление сигнала в тропосфере влияют туман, мокрый снег, выпадающий на антенну. Как показывает опыт, дождь различной интенсивности оказывает наибольшее влияние на ослабление сигналов в миллиметровом диапазоне. Ориентировка на среднеминутные распределения интенсивности дождей для наихудшего месяца года при расчетах систем MVDS, на наш взгляд, неоправдана.

В данном случае целесообразно учитывать среднеминутные интенсивности осадков, вычисленные в среднем за год. Предложены коэффициенты пересчета процента выпадения осадков с интенсивностью J , мм/ч, для наихудшего месяца года при усреднении за 1 год – для различных районов (табл. 1.7).

Т а б л и ц а 1.7. Коэффициенты пересчета осадков при усреднении за год

J, мм/ч	Tq(J)мес/Tq(J)год для климатических районов			
	1	2	4	10, 26, 27
20	5	4,5	4...4,3	2...3
50	7,5	6,3	6,5	4,5

Указанные в таблице районы расположены на европейской территории России и стран СНГ. Район 10 соответствует югу Кавказа (Сухуми, Батуми, Поти, Колхида), районы 26, 27 – это Хабаровский и Дальневосточный края и о. Сахалин. Районы 10, 26, 27 по интенсивности осадков весьма схожи.

Осадки по-разному влияют на линейно-поляризованные сигналы: горизонтально-поляризованная составляющая сигнала примерно в 1,15 раза ослабляется сильнее, чем вертикально-поляризованная [1.1]. Поэтому не следует удивляться тому, что

если на входе приемника уровень сигнала близок к пороговому, телевизионная программа с горизонтально-поляризованным сигналом не принимается.

Физическое объяснение этому явлению достаточно простое: при выпадении дождя за счет сопротивления воздуха капли его расплющиваются и приобретают форму овала (в сечении эллипса), у которого большая ось направлена вдоль земли. Длина пути в дожде для горизонтальной составляющей электрического поля больше, а значит и ослабление больше.

Предлагается для ориентировочных расчетов простое соотношение для затухания в дожде на 1 км пути в зависимости от интенсивности осадков J , мм/ч:

$$\gamma = 0,3 J \text{ [дБ/км]}.$$

Данное соотношение справедливо лишь для 2–5 районов, т.е. для европейской территории России и стран СНГ.

В табл. 1.8 приведены данные для вероятности дополнительного ослабления в дождях при различной интенсивности осадков. Если принять действующую в настоящее время норму для аналоговых спутниковых систем связи безотказной работы 99,9% (отказы допустимы лишь в 0,1% случаев), то запас на влияние дождей следует принять около 10 дБ (интенсивность осадков $J = 6$ мм/ч).

В этой же таблице приведены данные по расчету затухания в дожде для двух радиусов зон $l = 3$ км и 5 км при различной интенсивности дождя J , мм/ч.

Т а б л и ц а 1.8. Затухание в дожде с различной интенсивностью

J , мм/ч	3	6	9	12
T , %	0,2	0,1	0,06	0,03
γ , дБ/км	0,9	1,8	2,7	3,6
Затухание в дожде:				
$l = 3$ км	1,8	5,4	8,1	10,8
$l = 5$ км	3	8	13,5	18

Как следует из таблицы, система MVDS будет работоспособна в районах 1–4 при радиусе зоны до 5 км, в районах 10, 26, 27, где среднегодовая норма осадков больше в 1,5–2 раза, по видимому, радиус зоны уменьшится до 3...4 км.

По системам MVDS могут передаваться как аналоговые телевизионные сигналы с частотной модуляцией, так и цифровые с однократной и двукратной (квадратурной) фазовой манипуляцией.

Наиболее широкое практическое применение системы MVDS в настоящее время получили в Англии и Голландии.

Английский стандарт MPT 1560 на аналоговые MVDS в полосе 40,5...42,5 ГГц предусматривает размещение 128 частотных каналов, ширина полосы одного канала составляет 27 МГц. При этом сигналы соседних каналов имеют разные поляризации – вертикальную или горизонтальную. При использовании одной поляризации число каналов уменьшается до 64.

В цифровых системах MVDS применяется четырехпозиционная фазовая манипуляция несущей (QPSK).

Английский стандарт MPT 1580 предусматривает в полосе 2 ГГц (40,5...42,5) распределение 96 цифровых каналов с шириной полосы 40 МГц, естественно с поляризационным разделением соседних каналов. При уплотнении каждого частотного канала четырьмя цифровыми телевизионными программами, сжатыми по спектру методом MPEG-2, теоретически в полосе 2 ГГц можно передать 384 программы. Реально с учетом влияния помех между каналами количество используемых каналов будет меньше.

Т а б л и ц а 1.9. Основные технические характеристики аналоговых и цифровых систем MVDS (MWS)

Технические характеристики системы	Аналоговая ЧМ	Цифровая 4-ФМ (QPSK)
Мощность передатчика, Вт	4	4
Усиление передающей антенны, дБ	8	8
Число частотных каналов	24	6
Число передаваемых телевизионных программ	24	24
Запас на потери в осадках, дБ/км	2,1	2,1
Усиление приемной антенны, дБ	33	33
Запас на юстировку антенны, дБ	2	2
Полоса пропускания приемника, МГц	27	33
Коэффициент шума приемника, дБ	6	6
Пороговое отношение сигнал/шум, дБ	12	6,8
Максимальный радиус зоны обслуживания, км	3	6

Системы MVDS, по-видимому, наибольшее распространение получают в крупных городах, в том числе и с разноэтажной застройкой. При этом повторное использование рабочих частот,

в соответствии с требованиями стандарта MPT 1560, возможно лишь при пространственном разнесении передатчиков не менее 15 км.

В табл. 1.9 в качестве примера приведены основные характеристики аналоговой и цифровой систем MVDS при передаче по ней 32 телевизионных программ, обслуживающих максимальную зону. Системы обеспечивают передачу сигнала, удовлетворяющего всем требованиям, в течение 99,9% времени, т.е. отказы в работе системы могут наблюдаться лишь в 0,1% суммарного времени работы оборудования.

Основные технические параметры оборудования систем MVDS (MWS)

Передатчики

В качестве усилительных элементов в выходном каскаде передатчика применяют лампы и полупроводниковые приборы. Ламповый передатчик в полосе 2 ГГц может обеспечить мощность до 60 Вт, полупроводниковый – до 25 Вт. Однако стоимость полупроводникового передатчика значительно выше лампового, использование их оправдано там, где предъявляются повышенные требования по габаритным размерам, массе оборудования и по энергопотреблению.

Структурная схема приемника системы MVDS подобна схеме приемника в спутниковых системах с тем лишь отличием, что добавляется еще один малошумящий усилитель в полосе частот 40,5...42,5 ГГц и понижающий конвертер в полосе 10,7...12,7 ГГц.

В табл. 1.10 приведены основные технические характеристики передатчика и приемника системы MWS.

В качестве передающих антенн на базовых станциях систем MVDS применяются антенны с круговой или секторной диаграммой направленности в горизонтальной плоскости, подобной антеннам систем MMDS (см. раздел 1.7).

Преимущество секторной антенны перед круговой заключается в более высоком коэффициенте усиления и обеспечении возможности излучения сигналов в двух поляризациях. Последнее обстоятельство особенно важно при работе системы в интерактивном режиме.

В качестве приемных антенн могут применяться плоские антенные решетки или рупорные антенны с линейными размерами до 30 см.

Таблица 1.10. Параметры передатчика и приемника системы MVDS

Параметр	Аналоговая система	Цифровая система
Передатчик		
Выходная мощность на канале, мВт	200	500
Нестабильность частоты, МГц	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Вид модуляции	ЧМ	4-ФМ
Разнос каналов по частоте, МГц	29,5	39
Приемник		
Коэффициент шума, дБ	≤ 11	≤ 6
Усиление приемной антенны, дБ	33	33
Поляризация антенны	Линейная	
Нестабильность частоты генератора, МГц	± 5	$\pm 2,5$
Групповое время запаздывания, нс	< 25	< 20

Для преодоления препятствий или в зоне глубокой тени могут применяться активные ретрансляторы с мощностью на выходе единицы милливатт и пассивные ретрансляторы, антенны которых выполнены из одного или двух плоских зеркал.

О внедрении систем MVDS(MWS)

Система MWS (Microwave System) является в некоторой степени конкурентом системам MMDS и спутниковой НТВ-плюс. Несмотря на многолучевость, формируемую отражениями от зданий, металлических сооружений и т.п., благодаря узконаправленной приемной антенне в системах MWS всегда возможно отстроиться от мешающих сигналов.

Наиболее сложным препятствием для сигналов на частотах 40...50 ГГц является листва деревьев. Компании, проектирующие системы в этом диапазоне, имеют право не согласовывать частотные присвоения с другими ведомствами, в том числе и с военными.

В настоящее время в Москве и Московской области (г. Жуковский) компанией «МТУ-Информ» эксплуатируются две базовые станции, для работы которых выделена полоса 1000 МГц. Кроме того «МТУ-Информ» имеет лицензию на использование системы MWS в С.-Петербурге в полосе 500 МГц.

Компания «МТУ-Информ» планирует предложить потенциальным пользователям следующие широкополосные услуги: ви-

део и аудио по запросу (VoD - Video on Demand, AoD – Audio on Demand), данные по запросу, трансляцию фильмов в режиме домашнего кинотеатра с объемным звуком и качеством, соответствующим компакт-дискам (DVD). Подобные услуги пока ни одна из конкурирующих фирм в России не может предложить.

Сотовая сеть (MWS) компании «МТУ-Информ» на начальном этапе будет покрывать отдельные районы города и области, в первую очередь места элитных застроек и коттеджных городков. Указанные выше услуги будут предоставляться в интерактивном режиме.

Стоимость приемной антенны диаметром до 15 см с МШУ-конвертером вниз (в полосу 0,95...2,05 ГГц) предполагается порядка 90 долл. США, приставка Set-top box к типовому спутниковому ресиверу около 200 долл. Многофункциональный трансивер, который может использоваться коллективно (на дом, подъезд), оценивается в пределах 1000–1500 долл.

Экспериментальные работы по системе MWS в Московской опытной зоне проводились в период с марта по май 1999 г. компаниями МТУ-Информ, АО МНТИ и Technosystems S.P.a (итальянская фирма, предоставившая комплект промышленного оборудования).

При испытаниях в Москве были задействованы три пункта: передающее устройство размещалось на крыше 10-этажного здания МНТИ на Гальяновской улице, дом 7А, приемное устройство № 1 – в здании МНТИ на Уральской улице, приемный пункт № 2 был размещен в гостинице «Измайлово». Расстояние между передатчиком и приемником № 1 составляло 7,5 км, а до приемника № 2 – 2,85 км.

Данные оборудования MVDS 40с (фирма Technosystems S.P.a)

Максимальное число цифровых телевизионных каналов	24
Полоса пропускания, МГц	33
Скорость цифрового потока в канале, Мбит/с	25,776
Выходная мощность передатчика на один канал, мВт	100
Передающая антенна:	
угол раскрыва, град.	72
коэффициент усиления, дБ	22
приемная антенна:	
диаметр, мм	390
угол раскрыва, град.	1,7
коэффициент усиления, дБ	41

В качестве приемника использовался спутниковый ресивер фирмы «Барко».

При испытаниях измерялись:

- уровень сигнала на входе приемника;
- отношение несущая/шум;
- коэффициент ошибок.

Производился контроль частотного спектра, а также давалась субъективная оценка качества изображения на экране телевизора.

Основная часть измерений проводилась на 1-й промежуточной частоте 950...2050 МГц.

Принятый на частоте 40,5...42,5 ГГц сигнал конвертировался в полосу 950...2050 МГц и подавался по кабелю на цифровой ресивер.

Испытания показали, что система MWS в указанной выше комплектации полностью удовлетворяет всем требованиям и может быть предложена к внедрению в районах престижной застройки при размерах соты до 5...7 км.

Следует отметить, что в опытной зоне Москвы компания «МТУ-Информ» проводила испытания совместно со специалистами С.-Петербурга, которые поставляют оборудование, ведутся экспериментальные работы по двунаправленной (интерактивной) системе. В дальнейшем предполагается коммерческое использование этой системы для организации передачи данных, а также IP-телефонии.

По мнению разработчиков системы, MWS получит наиболее вероятное применение в комбинации с другими новейшими технологиями, например Hyper LAN-2, разрабатываемыми в настоящее время в Европе и США. Данная технология эффективна для использования в микросотах, так как позволяет соединить базовые станции Hyper LAN-2 с узлами волоконно-оптической сети.

Список литературы к гл. 1

1.1. Сети телевизионного и ОВЧ ЧМ вещания: Справочник / М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В. Кокорев, Р.А. Краснощеков. – М.: Радио и связь, 1988.

1.2. ETS 300744 / Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and data Service. Framing, structure, channel, coding and modulation for digital terrestrial television, 1996.

1.3. Севальнев Л.А. Эфирное вещание цифровых телевизионных программ со сжатием данных // Теле-Спутник. – 1998. – № 10. – С. 56–64.

1.4. Кантор Л.Я., Соколов А.В., Кривошеев М.И. и др. Принимаем непосредственно из космоса / Под общ. ред. А.В. Гороховского и А.В. Соколова. – М.: ЗАО Журнал «Радио», 1998.

1.5. Гласман К. Стандарт цифрового наземного телевидения DVB-T // «625». – 1999. – № 9. – С. 72–85.

1.6. Мамаев Н.С. Внедрение цифрового наземного вещания в России и ряде стран Европы // «625». – 2002. – № 4. – С. 80–85.

1.7. Розенблат М. О результатах испытаний мультимедийной транспортной сети в режиме DVB-T // Broadcasting. – 2003. – № 1. – С. 81–84.

1.8. Мамаев Н.С., Мамаев Ю.Н., Теряев Б.Г. Цифровое телевидение. – М.: Телеком, 2001. 180 с.

1.9. Широков В.Л., Ярошенко В.А. MMDS: Практика внедрения беспроводного доступа в Интернет // Информ-Курьер-Связь. – 2001. – № 10. – С. 38–41.

2. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАДИОВЕЩАНИЯ

В настоящее время происходят качественные изменения в разработке и внедрении новых технических принципов и современной аппаратуры для радиовещания во всех диапазонах частот. Эта тенденция является государственной стратегией развития систем телерадиовещания. Главное направление модернизации систем радиовещания – это переход в длинноволновом (ДВ), средневолновом (СВ) и коротковолновом (КВ) диапазонах от традиционной амплитудной модуляции (АМ) к фазовой (ФМ), что является результатом преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Цифровизация любых сообщений позволяет мультиплексировать (объединять) сигналы от различных источников в единый цифровой поток, передаваемый по радиоканалу.

При использовании сложных видов модуляции (многопозиционной фазовой, комбинированной амплитудно-фазовой), методов спектрального сжатия передаваемых сигналов в ДВ, СВ и КВ диапазонах удастся в стандартной полосе 9...10 кГц транслировать радиовещательную программу с качеством сигнала даже несколько лучшим, чем в УКВ – вещательных системах с частотной модуляцией. При этом в той же полосе частот имеется возможность реализовать передачу дополнительных цифровых сигналов со скоростью до 4 кбит/с. Подобный принцип уплотнения уже широко используется при передаче программ цифрового телевидения по спутниковым каналам, когда в стандартной полосе радиоканала 36 МГц передается до 4–6 телевизионных и несколько радиовещательных программ.

Системы радиовещания, учитывая огромную территорию нашей страны и крайнюю неравномерность плотности населения, играют важнейшую роль в информационном обеспечении населения. Телевидение и радиовещание в настоящее время фактически являются основными источниками информации для большинства граждан России и стран СНГ. Только в Московском регионе можно принимать до 40 программ радиовещания [2.2]. Радио по-прежнему популярно в России благодаря его дешевизне и доступности. По данным опроса более 80% населения являются

пользователями радиопрограмм: по крайней мере, одну-две программы общероссийского радиовещания принимает почти 100% населения.

Сегодня в России насчитывается около 50 млн. приемников звукового вещания всех видов, в том числе и приемников проводного вещания. Быстро развивается сеть ЧМ радиовещания в диапазоне ультракоротких волн 88...108 МГц, растет число коммерческих радиостанций. В настоящее время практически все региональные администрации РФ имеют свои УКВ-ЧМ радиостанции, по которым кроме центральных программ передаются местные информационные программы для населения. Около десятка московских и петербургских радиостанций транслируют свои программы через спутники в цифровом стандарте. Это хорошо известные сетевые радиостанции: «Русское радио», «Европа-плюс», «Радио Модерн» и др. На разных стадиях реализации находятся проекты других сетей цифрового спутникового вещания, в том числе и региональных. Перспектива внедрения цифровых сетей наземного радиовещания в длинноволновом (ДВ), средневолновом (СВ) и коротковолновом (КВ) диапазонах достаточно подробно изложена в разд. 2.5.

Однако, несмотря на острую необходимость модернизации этого сегмента сетей радиовещания практическая реализация цифровых сетей в данных диапазонах, по-видимому, возможна лишь через 10–15 лет. Это объясняется необходимостью замены большого парка передатчиков и модернизации или полной замены антенно-фидерных устройств. Ведутся работы по внедрению в диапазоне 1,5...1,6 ГГц системы наземного радиовещания «Эврика-47», позволяющей совмещать цифровые радиовещательные системы с сигналами передачи данных в одном широкополосном канале. Внедрение систем «Эврика-47» в ближайшие годы планируется лишь в Москве и Московской обл.

Подчеркнем, что цифровизация систем телерадиовещания позволяет не только резко повысить качество сигналов, но и получить значительный экономический эффект в наш век информатизации, когда радиочастотный ресурс стал самым дорогим материальным ресурсом. Радиовещательные системы, использующие спутниковые сигналы, технологически достаточно успешно могут включаться в сеть Интернет. Радио становится адресным, приближенным к потребностям радиослушателей путем внедрения принципа интерактивности.

К системам наземного звукового вещания относятся:

- распределительная сеть проводного вещания от одной до трех программ, широко распространенная в настоящее время во многих городах и поселках городского типа России;

- системы местного радиовещания в КВ диапазоне;

- системы одно- и трехпрограммного радиовещания с частотной модуляцией (УКВ-ЧМ) в метровом диапазоне (66...108 МГц), позволяющие одновременную передачу вещательной программы и дополнительной цифровой информации со скоростью до 19,2 кбит/с;

- традиционные системы радиовещания с амплитудной модуляцией (АМ) в ДВ, СВ и КВ диапазонах, модернизируемые в настоящее время в цифровые системы с фазовой модуляцией 4-ФМ (система DRM);

- системы цифрового радиовещания в формате DAB (Digital Audio Broadcasting) в метровом и дециметровом диапазонах (Эврика-147).

Ниже рассматриваются достаточно подробно вторая, третья, четвертая и пятая системы.

Что касается распределительной сети проводного вещания, то в сельской местности, особенно в малонаселенных и труднодоступных регионах, она практически прекратила существование из-за физической изношенности и экономической нецелесообразности ее восстановления. В этих регионах она будет постепенно заменяться на УКМ-ЧМ вещание и проектируемую сеть КВ передатчиков небольшой мощности (до 1 кВт), работающих на частотах (5,9...6,2 и 17,55...17,9 МГц).

В городах и густонаселенных районах страны сети многопрограммного вещания будут развиваться, используя кабельные (в том числе и волоконно-оптические) линии связи.

С 1990-х годов в ряде стран Европы и США начали внедряться в эксплуатацию системы непосредственного спутникового цифрового радиовещания. Некоторые из них рассмотрены в разд. 2.6 данной главы.

2.1. Местное радиовещание в КВ диапазоне

Радиовещание в КВ диапазоне планируется возможно реализовать в радиовещательной сети с помощью передатчиков небольшой мощности, не превышающей 1 кВт на волнах 16 и 49 м.

Особенностью распространения радиосигналов в этом диапазоне является отсутствие прохождения сигналов с больших расстояний в высокочастотном участке диапазона (не более 15

МГц) в ночное время из-за резкого уменьшения плотности ионизированного слоя F.

В дневное время, наоборот, резко уменьшается загрузка низкочастотного участка диапазона на волнах 49 м.

Национальная ассоциация телерадиовещателей, объединяющая свыше 13 компаний и фирм, в которую входят такие крупные объединения, как ООО «Радиовещательные технологии», Главный центр управления сетями радиовещания и магистральной радиосвязи (ГЦУРС), Национальная ассоциация телерадиовещателей (НАТ), ЗАО «Радио» и фирмы-производители «АРТВИС», «НПФ АДДИС», Ижевский радиозавод и др., предлагает использовать в дневное время волну 49 м (5,9...6,2 МГц), а в ночное время около 16 м (17,55...17,0 МГц) [2.1].

Двухволновые передатчики мощностью до 1000 Вт разработаны ЗАО «АРТВИС» и «НПФ АДДИС», проектирование передающих антенн ведет ООО «Сиртел-Сервис».

Немаловажную роль в процессе радиовещания в КВ диапазоне играет послестудийная обработка сигнала, ибо данная программа рассчитана главным образом на сельское население, в том числе проживающее в отдаленных и труднодоступных регионах [2.2].

В противовес «городскому» музыкально-развлекательному вещанию, ориентированному на высокий уровень громкости, звучание программ в соответствии с этим проектом рассчитано на длительное фоновое прослушивание радиоприемника с тихим, вкрадчивым звучанием, но с высоким уровнем разборчивости. Это достигается с помощью высокой степени компрессии с акцентом на нижние и верхние звуковые частоты и значительным подавлением средних частот. При подобной обработке звукового спектра вещательной программы слушатели, не избалованные выбором из большого числа радиопрограмм, поневоле начинают прислушиваться к содержанию такой программы, т.е. «увлекаться» ею.

К настоящему времени фирмами «АРТВИС» и «НПФ АДДИС» разработаны два типа коротковолновых передатчиков с автоматическим переходом с «дневной частоты» на «ночную», ООО «Сиртел-Сервис» разработало двухволновую КВ антенно-фидерную систему. Ижевский радиозавод подготовил к производству серийный трехдиапазонный радиоприемник с СВ и двумя КВ диапазонами. Средневолновый диапазон добавлен для большей привлекательности покупателей.

В приемнике имеется обработка низкочастотной части спектра звукового сигнала, позволяющая получить фоновое «не отвлекающее» звучание. Вместе с тем, вырезаются частоты, связанные с тревогой, возбуждением и подчеркиваются частоты «доверительного» и «вкрадчивого» звучания.

Радиоприемник выполнен в настольно-настенном варианте с выдвижной телескопической антенной и с питанием от сети переменного тока 220 В.

Ориентировочная цена в начальный период внедрения около 400 руб. с последующим снижением ее при полном развертывании серийного производства приемников.

При полном развертывании сети предполагается, что в каждой административной единице будет 2–3 радиовещательных станции (всего в системе около 150), использующих как местные, так и федеральные программы, в том числе и соседних регионов.

Эта сеть может найти широкое применение в сельскохозяйственном бизнесе, который имеет весьма разветвленные горизонтальные контакты и связи. Для сельских производителей представляют особый интерес межрегиональные контакты и, естественно, межрегиональная информация.

С учетом того, что в проекте будут использоваться маломощные, выполненные на современной элементной базе, передатчики с большим коэффициентом полезного действия, проектируемая сеть будет весьма привлекательной и с экономической точки зрения существенно меньшим потреблением электроэнергии и более дешевым обслуживанием за счет автоматизации процессов перестройки передатчиков и повышения надежности их работы.

При работе таких систем для ориентировочных расчетов энергетических характеристик можно использовать соотношения, приведенные в разделе 1.3. Усредненные значения уровней помех можно найти в работе [2.9].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы о перспективах развития систем радиовещания в России в традиционных диапазонах.

Системы УКВ-ЧМ радиовещания, охватывающие практически все крупные города, областные и краевые центры, а также густонаселенные регионы, будут расширяться как за счет многопрограммных сетей, так и типовых систем с монофоническими и стереофоническими каналами.

Для малонаселенных и труднодоступных регионов особый интерес вызывает развитие региональной сети местного информационного вещания на коротких волнах по ряду других:

- населению будет доводиться информация со всей территории страны, которая на местах редакциями будет адаптироваться в каждом населенном пункте к местной специфике и особенностям каждого региона;

- содействие налаживанию горизонтальных коммерческих контактов между предпринимателями различных регионов, что, в свою очередь, позволит расширить рынок товаров и услуг, предоставляемых российскими производителями;

- заметно активизируется радиопромышленность России в области радиопередающего и радиоприемного оборудования;

- формируется сословие опытных радиожурналистских кадров в регионах России;

- образовательная, информационная и идеологическая поддержка населения в организации и развитии частного предпринимательства в регионах страны;

- широкое привлечение молодежи в регионах страны к активному участию в экономических процессах развития общества, организации новых высокооплачиваемых рабочих мест, создании и расширении социальных групп обеспеченных людей.

2.2. Многопрограммные системы радиовещания в метровом диапазоне с частотной модуляцией (УКВ-ЧМ)

Сеть радиовещания метрового диапазона продолжает развиваться как за счет роста числа передающих станций государственного сектора (ОРТПЦ – областные радио и телевизионные передающие центры), так и за счет увеличения количества радиостанций ведомственного и коммерческого секторов.

Однако сдерживающим фактором дальнейшего развития этих сетей является острый дефицит рабочих частот в этом диапазоне. Данная проблема может быть частично снята за счет внедрения системы трехпрограммного радиовещания на одной несущей частоте.

Система была предложена и разработана совместно специалистами Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ) и предприятия ООО «Октод» (бывший Октябрьский радиоцентр) [2.7]. Предназначена для передачи трех независимых монофонических звуковых программ с помощью стандартных вещательных передатчиков в диапазонах частот 65,8...74 и 87,5...108 МГц на одной несущей частоте.

В комплектацию системы входят:

- передатчик;
- трехпрограммный кодер «Вика»;
- абонентские трехпрограммные приемники.

Кодер позволяет наряду с трехпрограммным вещанием передавать цифровую информацию (данные) на поднесущей частоте 91,2 кГц со скоростью 19,2 кбит/с.

Трехпрограммные сигналы могут быть приняты на типовые УКВ-ЧМ приемники, оборудованные специальными декодерами, обеспечивающими декодирование сигналов однопрограммного и трехпрограммного вещания. Переключение из одного режима в другой производится автоматически в зависимости от наличия соответствующего сигнала.

Вместо трехпрограммного кодера «Вика» можно применять любой стереофонический кодер, входящий в комплект серийно выпускаемых радиовещательных передатчиков метрового диапазона.

Основные технические характеристики системы

Полоса передаваемых частот, Гц:

в первом канале 50...10 000

во втором и третьем каналах 100...10 000

Коэффициент гармоник, % менее 3

Переходное затухание между каналами, дБ не менее 40

Отношение сигнал/шум в каждом канале, дБ не менее 60

Полоса частот группового сигнала вещания, кГц 0,05...52

Максимальная девиация частоты, кГц:

для диапазона 65,8...74 МГц ± 50

для диапазона 87,5...108 МГц ± 75

Максимальная девиация несущей частоты, вызываемая

пилот-тоном, кГц:

для диапазона 65,8...74 МГц ± 5

для диапазона 87,5...108 МГц $\pm 7,5$

Полоса частот, занимаемая трехпрограммным передатчиком в радиоканале соответствует требованиям, предъявляемым к системам стереовещания метрового диапазона.

Предусмотрена возможность замены трехпрограммного кодера на стереофонический.

Фирма «Октод» в настоящее время производит следующее семейство передатчиков «Октод-FM» различной мощности: 30, 250, 500, 1000 и 5000 Вт, которые могут быть укомплектованы

либо трехпрограммным кодером, или стереофоническим, либо обоими, в соответствии с требованиями заказчика.

Возможна замена возбuditеля передатчика и стереокодера на импортные аналоги EM 20/30 и GED-10 (соответственно) совместного американо-испанского производства.

Для повышения надежности мощного усилителя имеется эффективная схема защиты, отключающая передатчик от сети при нарушениях температурного режима транзисторов.

Блочная конструкция передатчиков позволяет изменять их комплектацию в соответствии с требованиями заказчика в пределах общей конструкции шкафа.

Система трехпрограммного вещания является хорошей альтернативой отживающим свой срок сетям проводного вещания как с точки зрения надежности и перспективности ее, так и по экономическим соображениям, позволяя исключить ряд специальностей по технической эксплуатации (линейных обходчиков, монтеров-линейщиков и др.), а также избавиться от усилительных пунктов и радиотрансляционных узлов.

Внедрение этой системы в России представляет особую актуальность в сельской местности.

Подсистема радиовещания с одновременной передачей цифровой информации

Ниже рассматриваются многоканальные системы передачи цифровой информации (СПЦИ) на поднесущих частотах, совмещенные с сетью УКВ-ЧМ – радиовещания в полосе 88...108 МГц. Данная система является переходной к будущим цифровым сетям радиовещания и передачи данных.

Упрощенная структурная схема многоканальной СПЦИ (рис. 2.1) включает следующие элементы: центр управления системой ЦУС (1); приемную спутниковую антенну (2), совмещенную с ЦУС; персональный компьютер ПК (3); модем передачи (4); телефонную линию, соединяющую модем с ЦУС; УКВ-ЧМ – передатчик (5), работающий в диапазоне 88...108 МГц. Абонентские терминалы пользователя включают специальные цифровые приемники IDR (6) (Intelligent Date Receiver), имеющие возможность принятые и обработанные данные выводить как на серийный порт персонального компьютера пользователя (7), так и на печатающее устройство (принтер 8).

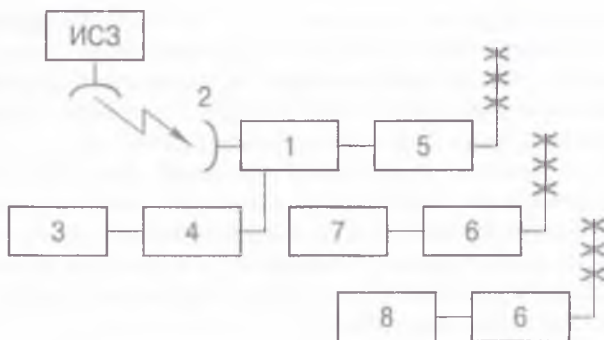


Рис. 2.1. Упрощенная структурная схема многоканальной системы передачи цифровой информации (СПЦИ):

1 – центр управления системой; 2 – приемная спутниковая антенна; 3 – персональный компьютер; 4 – модем передачи; 5 – передатчик, работающий в диапазоне 88...108 МГц; 6 – цифровые приемники IDR; 7 – персональный компьютер пользователя; 8 – печатающее устройство

Структурная схема центра управления системой (ЦУС) включает (рис. 2.2): приемную спутниковую антенну (1), абонентские модемы – пользователи системы a_1, a_2, \dots, a_k , концентратор (2), объединяющий входящие цифровые потоки от разных источников. Сетевой мультиплексор (3), выполненный на основе IBM-совместимого компьютера, предназначен для временного разделения входного цифрового потока от концентратора, а также обеспечивает первый уровень защиты от помех. Блок (4) RSC (Radio Station Computer) осуществляет разбиение цифрового потока на отдельные пакеты с целью защиты передаваемой информации от групповых ошибок в наземном канале. Далее цифровой поток поступает на модулятор поднесущей частоты (5). В системе предусмотрено две поднесущих частоты 67 и 92 кГц, уровень которых может регулироваться. Девиация поднесущей частоты обычно не превышает 10% от девиации несущей, вызываемой модулирующим сигналом передаваемой вещательной программы. При таком уровне девиации поднесущей помехи от передаваемой цифровой информации практически незаметны на основном сигнале. В зависимости от конкретного УКВ передатчика (6) модулированная по частоте поднесущая вводится в комплексный стереосигнал либо в стереокодер, либо в возбуждатель УКВ-ЧМ передатчика.

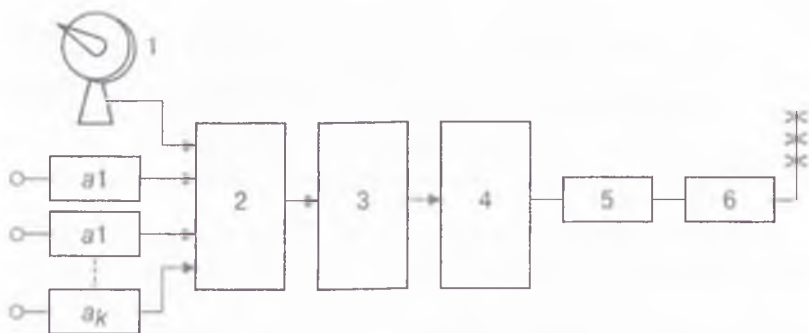


Рис. 2.2. Структурная схема центра управления системой:

1 – приемная спутниковая антенна (a_1, a_2, \dots, a_k – абонентские модемы);
 2 – концентратор; 3 – сетевой мультиплексор; 4 – блок RSC; 5 – модулятор поднесущей; 6 – передатчик

Абонентские приемные устройства пользователей [(6) на рис. 2.1] выполнены на приемниках IDR (Intelligent Data Receiver) с чувствительностью 10...15 мкВ/м и могут работать как с комнатной, так и с наружной антенной, действующая длина которых должна быть не менее 1 м. Специализированные приемники IDR обеспечивают не только прием цифровых сигналов, но и разделение их по абонентам. Для вывода данных из приемника используются стандартные интерфейсы RS-232. Параметры последовательного интерфейса порта приемника RS-232 могут быть настроены как пользователем, так и при дистанционном управлении с ЦУС.

Программное обеспечение пользователей приемников IDR позволяет сортировать, редактировать, выводить на печать принятое сообщение. Любой из абонентских приемников в соответствии с программой может принимать все проходящие через «Систему» данные, если на передающей стороне все пользователи приняли один и тот же протокол оформления сообщения.

При использовании системы на всей территории России целесообразно задействовать спутниковые каналы связи. В частности, в Москве организован действующий в настоящее время спутниковый канал передачи цифровой информации через ИСЗ «Радуга» (80° в. д.). Обслуживание этой системы охватывает практически всю территорию России, Белоруссии, Украины на западе и до Хабаровского края на востоке. С этой целью на ЦУС устанавливается передатчик и передающая спутниковая антенна,

которые по линии земная станция–спутник передают информацию на борт ретранслятора. Приемные станции спутниковой сети или приемники, работающие в сети УКВ-ЧМ, распределяют далее принятую информацию по наземным сетям и каналам связи. Линия связи спутник – приемная земная станция работает в С-диапазоне (4 ГГц). На линии связи земная станция–спутник используются каналы в полосе частот 6 ГГц.

В данном варианте использования СПЦИ с выхода сетевого мультиплексора передаваемая цифровая информация разветвляется: часть идет по наземным каналам УКВ-ЧМ вещания, другая подводится к мультиплексору спутникового канала. Основными функциями спутникового мультиплексора являются разделение нескольких цифровых потоков на пакеты и введение корректирующих ошибки символов. Далее схема типовая – модулятор поднесущей, спутниковые передатчик и антенна. С приемной спутниковой антенны цифровой сигнал поступает на специализированный спутниковый приемник IDR, с выхода которого проходит на стандартную аппаратуру наземного тракта УКВ-ЧМ сети – блок RSC (4), модулятор поднесущей (5) и УКВ передатчик (6) (см. рис. 2.2).

Основные тактико-технические характеристики системы передачи цифровой информации

Скорость передачи цифровой информации от 1200 до 19 200 бит/с
Вероятность ошибки при передаче цифровой информации не более 10^{-8}
Девияция поднесущей ≤ 7 кГц
В качестве поднесущих используются одна из двух частот 67 кГц или 92 кГц
Мощность УКВ-ЧМ передатчика и тип антенны зависят от площади обслуживаемой территории

Абонентский приемник IDR имеет буферные устройства на 64 и 128 кбит/с, применяемые в случае, когда скорость вывода данных на принтер ниже скорости передачи в радиоканале. При использовании спутниковых каналов в ЦУС необходимо иметь земную станцию, предназначенную для передачи на борт ретранслятора цифровой информации абонентов. Система, разработанная фирмой ООО «Октод» еще в 1993 г., эксплуатируется успешно с этого времени различными информационными агентствами, на-

пример REUTERS, Associated Press, Federal News Service, Интерфакс, Финмаркет и др.

В заключение кратко сформулируем основные достоинства многоканальной системы передачи цифровой информации:

- возможность охвата всех субъектов РФ и ряда стран СНГ;
- высокая надежность передачи данных $P_{\text{ош}} \approx 10^{-8}$;
- соответствие требованиям европейского стандарта EBU 3250 (European Broadcasting Union);
- возможность передачи любых информационных потоков (текстовых, графических файлов и т.п.), представленных в цифровом виде;
- практически полное отсутствие помех основным радиовещательным каналам;
- программное обеспечение пользователей приемников IDR (Intelligent Data Receiver) позволяет принимать данные на компьютер в фоновом режиме, т.е. в процессе приема персональный компьютер (ПК) может использоваться для других целей;
- перспектива быстрого расширения сети на всей территории стран СНГ и Восточной Европы, так как используемый в настоящее время спутник «Радуга» (80° в. д.) охватывает всю зону вплоть до Хабаровска.

Учитывая, что практически все субъекты РФ имеют УКВ-ЧМ радиостанции, внедрение данной системы передачи цифровой информации по всей стране может быть реализовано в короткие сроки. Это обстоятельство имеет очень важное значение для проведения мероприятий по ликвидации последствий, вызванных чрезвычайными ситуациями.

Кроме перечисленных к потенциальным пользователям СПЦИ можно отнести:

- региональные структуры, организующие сеть маломощных УКВ ретрансляторов с включением в сеть передачи данных индивидуальных и корпоративных пользователей;
- удаленных коллективных пользователей – школы и различного рода учебные заведения, заинтересованные в получении интернет-информации;
- пользователей, работающих в сельскохозяйственном секторе страны.

Следует отметить, что наличие высоконадежной системы передачи данных по УКВ радиоканалу упрощает документооборот между пользователями. Особенно актуально внедрение СПЦИ для удаленных и труднодоступных регионов для доступа в Интернет.

2.3. Принципы преобразования аналоговых звуковых сигналов в цифровые с информационным сжатием

Для звукового радиовещания применяются четыре режима, отличающихся качеством программы и занимаемой полосой:

- моно (передается один сигнал);
- стерео (передаются два разнесенных сигнала, но используется корреляция между ними);
- сдвоенный моно (передаются два независимых сигнала, например при передаче на двух языках);
- квазистерео (joint stereo) – низкочастотная часть спектра передается в режиме стерео, а высокочастотная – в квазистерео. Последний режим позволяет увеличить степень сжатия по сравнению с обычным стерео.

Известно, что аудиосигналы, так же как и видео, имеют неравномерную плотность частотного спектра, что и позволяет сжимать спектр цифрового сигнала, используя разные уровни квантования на разных частотах.

Общая полоса звукового сигнала вещания разбивается на 32 поддиапазона с помощью специальных полосовых фильтров. Для сигналов с низкой спектральной плотностью используется более грубое квантование, и наоборот – для сигналов с высокой спектральной плотностью шаг квантования уменьшается.

Для передачи звуковых сигналов, воспроизводимых человеком, необходима полоса от 20 Гц до 20 кГц. Это означает, что частота дискретизации в соответствии с теоремой В.А. Котельникова должна быть не менее 40 кГц.

Диапазон громкости с целью воспроизведения с высокой точностью симфонического оркестра в концертном зале необходимо обеспечить не менее 90 дБ. Поэтому число двоичных разрядов при аналого-цифровом преобразовании (АЦП) выбирается не менее 16, что потребует 65 536 уровней квантования. Без сжатия для передачи двоичных символов одного канала в режиме моно потребовалась бы скорость около 700 кбит/с, а для двухканального режима (СТЕРЕО) – 1400 кбит/с.

В стандартах MPEG-1 и MPEG-2 используется высокая степень сжатия цифрового сигнала, позволяющая с учетом свойств человеческого слуха отбрасывать часть информации, сохраняя при этом высокое качество воспроизводимого звука.

В стандарте MPEG-1 предусмотрены частоты дискретизации 48,0; 44,1 и 32 кГц, а в стандарте MPEG-2 могут быть выбраны еще частоты 24,0; 22,05 и 16 кГц, т.е. вдвое меньше.

В MPEG-1 и в MPEG-2 имеются три уровня кодирования звуковых сигналов (Layer I, Layer II и Layer III), реализация которых различается сложностью методов обработки и достигаемой степенью сжатия. Декодер более высокого уровня может декодировать поток данных от кодера более низкого уровня.

Наибольшее распространение в системах сжатия звука получил стандарт MPEG-1 (Layer II или MUSICAM), обеспечивающий хорошее качество воспроизводимых сигналов при сравнительной простоте оборудования.

В стандартах MPEG-1 и MPEG-2 имеются следующие значения скоростей передачи двоичных символов:

Layer I – 32...448 кбит/с (обычно 192 кбит/с на канал);

Layer II – 32...384 кбит/с (обычно 128 кбит/с на канал);

Layer III – 32...320 кбит/с (обычно 64 кбит/с на канал).

Значения, указанные в скобках как обычные, соответствуют качеству звука типовых компакт-дисков, записанного без сжатия.

Уровень кодирования Layer III, позволяющий сжатие примерно в 11...12 раз, используется обычно при записи музыкальных дисков, обеспечивающих при воспроизведении с помощью компьютера высококачественное звучание в течение 10...11 ч.

Сигналы звукового сопровождения цифровых телевизионных программ, как правило, передаются в режиме MUSICAM. На рис. 2.3 представлена упрощенная структурная схема кодера звука MPEG-2. На схеме не показан блок психоакустической обработки сигнала, предназначенный в процессе сжатия отбрасывать часть звуковой информации, которая практически не воспринимается ухом человека. При этом качество воспроизводимого звука остается достаточно высоким.

Назначение парциальных полосовых фильтров (1), квантователя и кодера (2) ясно из предыдущего текста. Формирование потока данных осуществляется в блоке ФПД (3). Образованная на выходе кодера звуковая последовательность данных (Audio Sequence) состоит из следующих частей:

- заголовок, содержащий синхрослово, данные об уровне кодирования, о частоте дискретизации кодируемых звуковых сигналов, о скорости передачи двоичных символов в потоке, о режиме кодирования (моно, стерео, два независимых сигнала и т.д.) и др. информацию;

- область звуковых данных, в которой сначала следуют биты для контроля ошибок, о масштабных множителях (Scalefactor) и данные о передаваемых сигналах по частотным поддиапазонам.

2.4. Многопрограммное цифровое радиовещание в дециметровом (ДМВ) диапазоне

В начале 1990-х годов в большинстве стран Европы велись экспериментальные передачи цифровых сигналов звукового радиовещания в УКВ диапазоне.

Из большого числа экспериментально проверенных Европейским радиовещательным союзом (European Broadcasting Union – EBU) систем была принята для внедрения в Европе система «Эврика-147»/DAB (Digital Audio Broadcasting), обычно в литературе обозначаемая как DAB-система.

Межсоюзная техническая комиссия Всемирной конференции радиовещательных союзов (Inter-Union Technical Committee of World Conference of Broadcasting Unions) рекомендовала систему DAB для внедрения во всем мире.

В настоящее время системы DAB работают во многих странах Европы, Азии, Америки, обслуживая территории с населением более 230 млн. человек.

Основные преимущества DAB-системы перед другими системами цифрового вещания и аналоговым радиовещанием:

- высокое качество звучания, соответствующее воспроизведению с компакт-дисков;
- возможность создания одночастотных сетей, позволяющих не менее чем в два раза сэкономить этот ресурс по сравнению с аналоговым вещанием [2.6];
- возможность передачи в полосе около 1,5 МГц до шести высококачественных стереопрограмм совместно с различными дополнительными сообщениями (факс, электронная газета, телекс и т.п.);
- высокая устойчивость приема при воздействии аддитивных и мультипликативных помех, в том числе и возможность приема на ненаправленные антенны в движущихся транспортных средствах;
- возможность использования закрытых каналов с паролем или пейджингом;
- универсализация устройств для приема сигналов спутникового, наземного и кабельного радиовещания.

Основные технические характеристики DAB-системы

Испытания системы «Эврика-147» (DAB) велись в лабораторных и полевых условиях при работе в полосе 1452...1492 МГц. В системе применяется, как и в наземном цифровом телевиде-

Масштабные множители зависят от максимального значения сигнала, а значит и от уровня кодирования (Layer I, II, III).

Структурная схема декодера приведена на рис. 2.4.

Входной поток поступает на блок разделения потока данных (1), в котором по синхрословам (блок 4) выделяются отдельные кадры, поступающие далее на блоки декодирования и деквантования (2). После декодирования и деквантования отсчеты сигналов всех поддиапазонов объединяются (блок 3) в выходной цифровой звуковой сигнал или несколько сигналов, если передается ряд звуковых программ.

Стандарт MPEG-2 предусматривает кодирование до пяти каналов звука: L – левый, R – правый, C – центральный, LS – левый тыловой и RS – правый тыловой. Возможны варианты, отличающиеся числом кодируемых каналов и расположением источников звука в пространстве, например, два передних канала и два тыловых, три передних и один тыловой.

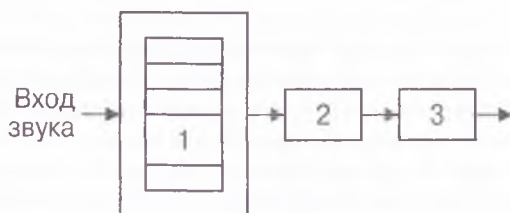


Рис. 2.3. Упрощенная структурная схема кодера звука:

1 – блок цифровых полосовых фильтров на 32 поддиапазона;

2 – квантователь и кодер звука; 3 – формирователь потока данных (ФПД)

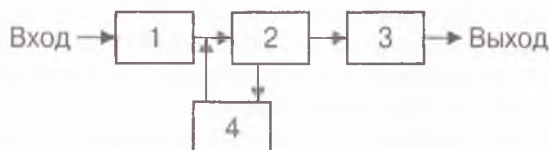


Рис. 2.4. Структурная схема декодера звука MPEG-2:

1 – блок разделения потока данных (РПД); 2 – декодер-деквантователь;

3 – блок объединения в выходной цифровой звуковой сигнал;

4 – блок выделения синхрослов

2.4. Многопрограммное цифровое радиовещание в дециметровом (ДМВ) диапазоне

В начале 1990-х годов в большинстве стран Европы велись экспериментальные передачи цифровых сигналов звукового радиовещания в УКВ диапазоне.

Из большого числа экспериментально проверенных Европейским радиовещательным союзом (European Broadcasting Union – EBU) систем была принята для внедрения в Европе система «Эврика-147»/DAB (Digital Audio Broadcasting), обычно в литературе обозначаемая как DAB-система.

Межсоюзная техническая комиссия Всемирной конференции радиовещательных союзов (Inter-Union Technical Committee of World Conference of Broadcasting Unions) рекомендовала систему DAB для внедрения во всем мире.

В настоящее время системы DAB работают во многих странах Европы, Азии, Америки, обслуживая территории с населением более 230 млн. человек.

Основные преимущества DAB-системы перед другими системами цифрового вещания и аналоговым радиовещанием:

- высокое качество звучания, соответствующее воспроизведению с компакт-дисков;
- возможность создания одночастотных сетей, позволяющих не менее чем в два раза сэкономить этот ресурс по сравнению с аналоговым вещанием [2.6];
- возможность передачи в полосе около 1,5 МГц до шести высококачественных стереопрограмм совместно с различными дополнительными сообщениями (факс, электронная газета, телекс и т.п.);
- высокая устойчивость приема при воздействии аддитивных и мультипликативных помех, в том числе и возможность приема на ненаправленные антенны в движущихся транспортных средствах;
- возможность использования закрытых каналов с паролем или пейджингом;
- универсализация устройств для приема сигналов спутникового, наземного и кабельного радиовещания.

Основные технические характеристики DAB-системы

Испытания системы «Эврика-147» (DAB) велись в лабораторных и полевых условиях при работе в полосе 1452...1492 МГц. В системе применяется, как и в наземном цифровом телевиде-

нии, модуляция COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing, или ортогональное частотное разделение каналов с кодированием) с 384 несущими в передаваемом сигнале.

Система испытывалась в режимах: при передаче со скоростью 224 и 192 кбит/с на один стереоканал.

Кроме того, проверялась возможность одновременной передачи пяти стереоканалов со скоростью 256 кбит/с, двух – со скоростью 224 кбит/с и двух – со скоростью 192 кбит/с.

Проводились испытания системы в режиме одновременной работы пяти стереоканалов, одного моноканала со скоростью 64 кбит/с и двух каналов данных со скоростями 64 и 24 кбит/с.

По всем тестируемым параметрам система цифрового радиовещания (ЦРВ) – «Эврика-147» – оказалась наилучшей по сравнению с другими системами, что особенно важно для условий приема в больших городах, характеризующихся наличием мультипликативных помех за счет переотражений от зданий, и значительным уровнем промышленных помех.

Различные системы ЦРВ проверялись по следующим параметрам:

- наличие неприемлемых помех приему аналоговых вещательных радиостанций с частотной модуляцией в УКВ диапазоне. Помехи от системы «Эврика-147» (DAB) были практически незаметны, в то время как другие системы цифрового вещания создавали недопустимые уровни помех;

- возможность работы как в одночастотной, так и в многочастотной сети;

- возможность передачи данных совместно с сигналами цифрового радиовещания. Ни одна из проверенных систем, кроме «Эврика-147» не обеспечивала совместную передачу сигналов ЦРВ и данных;

- эффективность функционирования системы в отсутствие прямой видимости и наличии препятствий: деревьев, зданий, холмов, скал, а также при нахождении приемного устройства в туннелях. По всем перечисленным выше параметрам система «Эврика-147» (DAB) оказалась наилучшей.

В настоящее время для разрабатываемых систем цифрового радиовещания принят Европейский телекоммуникационный стандарт ETS 300 401, 1994 г. ETSI (European Telecommunications Standardization Institute), рекомендованный для внедрения во всем мире.

Ниже приводится краткое описание системы «Эврика-147» (DAB).

С точки зрения практического применения система цифрового звукового радиовещания «Эврика-147» позволяет:

- создавать одночастотные сети на больших территориях;
- повысить экономическую эффективность передающего оборудования за счет значительного снижения мощности передатчиков, обслуживающих заданную территорию, и, как следствие, создать более благоприятную экологическую обстановку;
- расширить круг потребителей благодаря совмещению передачи различных видов информации в одном радиоканале – звукового вещания, служебных сигналов, данных, передачи изображений газет и географических карт в цветном оформлении и т.п.;
- значительно расширить частотный диапазон реализации подобных систем, используя частоты от 30 МГц до 3 ГГц.

На рис. 2.5 приводится упрощенная функциональная схема передающей части системы цифрового вещания «Эврика-147». Аудиосигналы и данные подлежат обработке в несколько стадий:

Первая стадия – индивидуальное кодирование сигналов от ряда источников информации, осуществляемое в кодерах источника и кодерах канала (блоки 1–4). Применяемое в кодерах (3, 4) сверточное кодирование с различной степенью защиты изменяет среднюю относительную скорость в битах на входе и выходе в пределах от 0,35 до 0,75 (наименьший коэффициент защиты соответствует значению 0,75).

На второй стадии производится временное перемежение цифровой информации с целью защиты от мультипликативных помех (блоки 5,6), что особенно важно для движущихся объектов.

На третьей стадии производится мультиплексирование различных цифровых потоков, а также системная интеграция и управление. Сигнал проходит главный служебный мультиплексор (блок 7), где цифровые потоки собираются в циклы заданной длительности. Информация о режиме работы мультиплексора подводится к нему от контроллера (8).

Максимальная скорость передачи данных на выходе мультиплексора 2292 кбит/с.

В системе предусмотрен канал ускоренной передачи информации (FIC-FAST Information Channal) о режиме работы мультиплексора (блок 11). Эта информация не подвергается временному перемежению, а значит, и задержке. С целью повышения надежности скорость передачи в этом канале втрое меньше скорости основного информационного потока и составляет 764 Кбит/с. Подобный канал позволяет ускорить процесс синхронизации де-мультиплексора на приемной стороне.

Т а б л и ц а 2.1. Страны и названия разрабатываемых систем

Тип системы	Страна разработчик
Многочастотные:	
Thomcast (Skywave 2000)	Франция
USA Digital Radio	США
Digital Radio Express (DRE)	США
Lucent Digital Radio (LDR)	США
Одночастотные:	
Voice of America/Jet Propulsion Laboratory (VOA/JPL)	США
Deutsche Telecom	Германия

По степени готовности к внедрению и проработке всех элементов системы, а также новизне и перспективности основных принципов построения в лучшую сторону отличаются проекты фирмы Thomcast под наименованием Skywave 2000, а также Voice of America/Jet Propulsion Laboratory (VOA/JPL), представляющие соответственно многочастотную и одночастотную системы.

Основные характеристики систем Skywave 2000 и VOA/JPL

В системе Skywave 2000 используется многопозиционная квадратурная амплитудно-фазовая модуляция 16-КАМ и 64-КАМ.

Предусматривается возможность передачи в общем цифровом потоке совместно с радиовещательными сигналами различной дополнительной информации (о погоде, курсе валют, электронной почты и т.д.).

Возможность изменения ширины полосы частот передаваемого сигнала в пределах от 3 до 9 кГц (ступенями 3; 9 и 4,5 кГц) при передаче данных со скоростями 8; 24 и 12 кбит/с соответственно в зависимости от условий прохождения сигналов заданного диапазона.

Скорость суммарного цифрового потока может варьироваться в пределах от 48 кбит/с (при передаче стереопрограмм) до 6 кбит/с (при передаче цифровых сигналов) в зависимости от режима работы.

Наличие специальных эталонных несущих, уровень которых на 3...6 дБ выше информационных. Эталонные несущие выполняют роль опорных сигналов для работы амплитудного и фазового детекторов.

В системе предусмотрены дополнительные группы несущих, по которым передается служебная и коммерческая информация (номер и содержание программы, метеосводки, курсы валют и т.п.).

Следует оговориться, что ряд параметров (число несущих для передачи цифровых сигналов радиовещания, а также дополнительных несущих, число позиций во многопозиционном сигнале 16-KAM или 64-KAM и некоторые другие, пока не определены и окончательный их выбор зависит от результатов испытаний системы в реальных каналах, которые не завершены.

Система фирмы Voice of America/Jet Propulsion Laboratory (VOA/JPL), как уже выше отмечалось, относится к классу одночастотных систем. Основные характеристики системы:

- применяется когерентная многоуровневая фазовая модуляция MPSK (Multi Phase Shift Keying), где М – число позиций фазы;
- коррекция ошибок в радиоканале осуществляется за счет применения помехоустойчивых кодов Рида–Соломона и декодера Витерби.

Национальная Ассоциация телеведущих России в 1999 г. совместно с Центром управления радиосетями и ООО «Октод» организовала экспериментальные исследования цифрового радиовещательного оборудования в диапазонах средних и коротких волн. Испытывалось оборудование компаний Deutsche Telecom и Thomcast.

Результаты испытаний систем цифрового радиовещания

Сегодня в России на 1000 жителей приходится в среднем 330–340 радиоприемников различного класса. Для сравнения в США и Германии на 1000 жителей имеется 2000 приемников. По числу приемников наша страна находится на уровне Бразилии, Мексики и некоторых других стран Южной Америки.

Учитывая огромные просторы нашей страны и низкую плотность населения в ряде регионов, весьма важную роль по-прежнему в этих условиях играют системы радиовещания в ДВ, СВ и КВ диапазонах при амплитудной модуляции (АМ). Качество программ АМ-вещания, преимущественно в тяжелых условиях распространения радиоволн из-за состояния ионосферы, в ряде случаев, не удовлетворяет слушателей. Наиболее часто это проявляется в ночное время и на трассах протяженностью более 3 тыс. км.

Таким образом, сегмент сетей АМ-вещания в современных условиях не полностью удовлетворяет поставленным требованиям по целому ряду причин [2.3].

1. Физическая изношенность около 60% общего парка передатчиков, находящихся в эксплуатации.

2. Несоответствие передающих устройств современным требованиям:

- отсутствие режима однополосной передачи;
- невозможность регулировки уровня несущей частоты, которая позволяет улучшить условия электромагнитной совместимости с другими системами и уменьшить энергопотребление;
- отсутствие устройств, позволяющих автоматическое обслуживание передатчиков;
- низкий КПД, не превышающий 50% по сравнению с современными передатчиками, имеющими КПД 85–90%.

Общий парк передающих устройств ДВ и СВ диапазонов в России составляет 272 единицы, из них около 70% (187) – это передатчики мощностью от 5 до 50 кВт, остальные 30% падают на передатчики мощностью от 100 до 500 кВт.

В КВ диапазоне работает 178 передатчиков, из них более 90% передатчиков имеют мощность 100...200 кВт, остальные (менее 10%) передатчики могут работать с мощностью 500...2000 кВт.

Такое состояние передающих устройств ДВ, СВ и КВ диапазонов не только в России, но и в других странах. Назрела проблема полной модернизации радиовещательных сетей этих диапазонов.

Для объединения усилий разных стран по этой проблеме в 1996 г. в Париже был организован международный консорциум Digital Radio Mondiale (DRM) для координации разработки и внедрения единой системы цифрового радиовещания (ЦРВ). При разработке систем ЦРВ с целью использования радиоканалов, отведенных для аналогового вещания, были приняты следующие условия:

- совместимость с однополосными аналоговыми радиовещательными сигналами, передаваемыми в разных боковых полосах. Это обеспечивает возможность приема аналоговых сигналов на имеющиеся у населения приемники, а цифровых сигналов – на модернизированные приемники, снабженные специальными платами;
- отсутствие помех для аналоговых радиовещательных сигналов при одновременной передаче обоих видов сигналов через один передатчик;
- возможность использования некоторых элементов существующего парка передатчиков и антенно-фидерных устройств при необходимой их доработке.

Оборудование системы фирмы VOA/JPL (США) в 1998–1999 годах проверялась на частотах 15,2 и 5,8 МГц при ежедневном вещании из штата Калифорния на северо-восток страны на расстояниях до 3 тыс. км, а также был организован прием сигналов в Испании и Западной Африке в условиях, когда на трассе наблюдалось, как правило, два-три скачка. Система цифрового радиовещания испытывалась при скоростях передачи 32, 16 и 8 кбит/с. Одновременно с цифровым вещанием велась передача аналоговых сигналов с амплитудной модуляцией.

На американских трассах протяженностью до 3 тыс. км принимался, как правило, один луч (одно отражение от ионосферы). Прием в Западной Африке и Испании характеризовался наличием нескольких лучей. Одновременно с передачей сигналов цифрового вещания работа велась аналоговыми сигналами с амплитудной модуляцией.

Было показано, что при одинаковом качестве сигналов при использовании двух видов модуляции в системе с цифровой модуляцией уровень излучаемой мощности может быть выбран существенно меньше, чем в аналоговой (примерно на порядок).

Консорциум DRM в 2000 г. проводил полевые испытания в СВ и КВ диапазонах на экспериментальном оборудовании, созданным фирмой Thomcast. В диапазоне СВ передачи велись из г. Мерлин (Англия), а прием был организован в Германии (г. Эрланген), длина трассы 750 км. Мощность аналогового передатчика 250 кВт, а цифрового – 80 кВт. В аналоговом канале наблюдались интерференционные помехи в разное время суток, в цифровом канале эти помехи не наблюдались.

При работе в КВ диапазоне передача производилась из Португалии, а прием – в Финляндии и на о. Кипр, длина трассы около 3500 км в обоих случаях. Мощность передатчиков оставалась такой же: в аналоговом канале 250 кВт, в цифровом 80 кВт. На о. Кипр в аналоговом канале прием сопровождался сильными интерференционными помехами, по-видимому, из-за отражений от двух разных слоев ионосферы. В цифровом канале при модуляции COFDM и режиме 16-позиционной КАМ таких помех не наблюдалось, и цифровая система показала явные преимущества перед аналоговой.

Консорциум DRM продолжал полевые испытания в 2002 г., причем в КВ диапазоне на тропических трассах длиной до 8 тыс. км, в 2003 г. предполагалось организовать регулярное цифровое вещание. Фирма планирует для КВ диапазона с целью изучения моделей распространения продолжать тестовые испытания в те-

чение 11-летнего цикла солнечной активности, который определяет основные особенности радиосвязи в этом диапазоне, наряду с регулярным цифровым вещанием.

В России испытания цифровой системы радиовещания проводились в СВ диапазоне (частота 792 кГц) в марте и июне 1999 г. на аппаратуре, предоставленной фирмой Deutsche Telecom [2,3]. Испытания показали, что при мощности передатчика 5 кВт зона уверенного приема составляла 80 км, при снижении мощности до 2,5 кВт эта зона уменьшилась до 65 км.

В ноябре 2000 г. из радиоцентра Подмоскovie (ЦРР-1) специалистами ГЦУРС (Россия) и фирмы Thomcast была организована трансляция программы «Голос России» на Европу на частотах 9...12 и 17 МГц в цифровом режиме. Радиосигналы принимались в Германии, Англии и Франции. Качество сигналов на выходе цифрового приемника было вполне удовлетворительным.

С июня 2003 г. «Голос России» ведет из радиоцентра № 3 (г. Талдом, Московская обл.) ежедневное экспериментальное вещание в КВ-диапазоне на Центральную и Западную Европу. Для этих целей используется модернизированный однополосный передатчик «Арапат» со средней выходной мощностью 30 кВт (потребляемая – 180 кВт). Доработкой передатчика занимались специалисты РЦ № 3 и МТУСИ.

Предварительно была проведена линеаризация усиительного тракта передатчика (рис. 2.7) транзисторного широкополосного усилителя и предварительного усилителя, работающих в режиме класса А (кодер TXW51220 и синтезатор TXW53210 закуплены за рубежом).

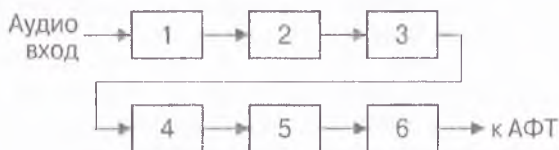


Рис. 2.7. Схема модернизированного передатчика «Арапат»:

1 – кодер TXW51220; 2 – синтезатор TXW53210; 3 – широкополосный усилитель;
4 – предварительный усилитель; 5, 6 – редоконечный и выходной каскады

Предоконечный и оконечный усилители работают в режиме класса АВ. В предварительном (предоконечном) выходном каскадах достигнута линейность амплитудной и фазовой характеристик и вполне удовлетворительное отношение сигнал/шум на вы-

ходе передатчика (39...40 дБ). Сигнал с выхода передатчика через симметричный фидер поступает на синфазную диапазонную горизонтальную антенну СДГ 4/4РА (ширина диаграммы направленности 30°), ориентированную на Европу. Программы радиостанции «Голос России» с хорошим качеством принималась в Германии, Италии, Португалии (в португальском городе Синеше зафиксировано отношение сигнал/шум 30 дБ). Имеются данные о приеме (при многоскачковой трассе) в Австралии, Новой Зеландии и на острове Вознесения (Атлантический океан). При этом может использоваться типовой приемник, имеющий хорошие характеристики линейного тракта с последующей обработкой цифрового сигнала на компьютере, имеющем программу DREAM или DRM Software Radio Merlin Communications.

Экспериментальные исследования различных систем цифрового РВ в СВ/КВ-диапазонах подтвердили несомненные преимущества цифровых методов передачи перед аналоговыми. Повидимому, потребуются серьезная модернизация антенно-фидерных устройств и передатчиков (во избежание искажений при передаче цифровых сигналов предъявляются более жесткие требования к амплитудным и фазовым характеристикам тракта). При внедрении этих систем в России и странах СНГ наиболее сложной будет замена многомиллионного парка аналоговых радиоприемников на цифровые.

2.6. Спутниковые системы цифрового радиовещания

Система ComStream

В конце 1999 г. около десяти московских и петербургских радиостанций транслировали свои программы через спутники в цифровом стандарте ISO/MPEG(MUSICAM): это «Русское Радио», «Европа-плюс», «Радио-Модерн» и др. На разных стадиях реализации находятся проекты других сетей цифрового спутникового радиовещания.

Мировым лидером в производстве передающей и приемной аппаратуры для таких сетей является компания ComStream (USA). На российском рынке эту компанию представляет Корпорация Дженерал Сателайт (С.-Петербург, Екатеринбург). Оборудование ComStream [2.15], реализованный в нем алгоритм цифрового сжатия MPEG-2, MPEG-3 стали на российском рынке стандартом. Преимущества цифрового сжатия звуковой информации очевидны, так как это позволяет значительно сузить полосу частот и одним

транспондером с шириной полосы 54...72 МГц ретранслировать программы более 100 радиостанций. Типовая структурная схема системы цифрового спутникового радиовещания состоит из трех основных звеньев: передающей станции, работающей на линии Земля–ретранслятор, спутника-ретранслятора, одной или нескольких приемных станций (рис. 2.8). На передающей станции сигналы одного или нескольких каналов звука, служебные данные и команды управления объединяются в единый цифровой поток и передаются на спутник. Передающая станция содержит функциональные узлы: кодер (1), мультиплексор (2), цифровой спутниковый модулятор (3), СВЧ приемопередающий блок (4) и передающую антенну. Дополнительно передающая станция может быть оборудована системой поддержки сетевого администрирования на базе компьютера с соответствующим программным обеспечением и оборудованием для контроля и диагностики удаленных приемников.

Спутниковое звено представляет собой коммерческий спутник-ретранслятор, находящийся на геостационарной орбите. Для спутникового вещания на линии связи спутник–Земля используются частотные диапазоны 3,7...4,2 и 10,7...12,75 ГГц.

Третье звено включает приемную антенну с понижающим конвертером и цифровой спутниковый приемник звуковой частоты. Проиллюстрируем структуру системы цифрового спутникового радиовещания на примере аппаратуры компании ComStream. Передающее оборудование кодек-мультиплексор (ComStream DAC700). Звуковой сигнал одного или двух каналов в аналоговом виде или в цифровом формате AES/EBU подается на входы кодера DAC700. В кодере аналоговые сигналы преобразуются в цифровые, кодируются с применением сжатия информации. В зависимости от режима работы и требуемого качества передачи возможен выбор различных степеней сжатия сигнала и скоростей работы мультиплексора: 56, 64, 112, 128, 192, 256 и 384 кбит/с. Зависимость качества сигнала от степени сжатия для различных режимов работы приведена в табл. 2.2.

Сформированный поток данных передается на модулятор спутникового модема ComStream CM701.

CM701 – универсальный спутниковый модем, предназначенный для дуплексной передачи данных. Скорость потока данных на входе модема может составлять от 2,4 до 9,6 кбит/с. Поток данных расщепляется кодером Грея на два потока, которые подаются на входы модулятора сигналов ФМ-4. На выходе модулятора формируется сигнал ФМ-4 на промежуточной частоте 70 или 140 МГц.



Рис. 2.8. Структурная схема спутниковой системы цифрового радиовещания:

1 – кодер; 2 – мультиплексор; 3 – цифровой модулятор; 4 – передатчик;
5–7 – приемные ЗС

Т а б л и ц а 2.2. Зависимость качества сигнала от степени сжатия и полосы аудиочастот

Скорость транспортного потока, кбит/с	Режим работы	Полоса частот аудио, кГц	Качество звука	Рекомендуемая скорость передачи данных, бит/с
64	Моно	8,3	AM	2400
64	Стерео	8,3	AM	2400
96	Стерео	10	AM	4800
96	Моно	20	AM	4800
96	Стерео	10	CD	4800
96	Стерео	20	AM	4800
256	Стерео	20	CD	9600
384	Моно	20	CD	9600

Цифровой приемник звуковой частоты земной станции (ComStream ABR200)

Приемник содержит следующие функциональные узлы: демодулятор, микропроцессорное устройство управления, обеспечивающее конфигурирование, настройку и управление; приемник-декодер, имеющий выходы сигналов звука в аналоговой и цифровой форме (AES/EBU); порт управления внешними устройствами; порт для управления и диагностики приемника.

Приемник ABR 200 поддерживает все режимы скорости передачи звука и данных, указанные в табл. 2.2. Аналоговые сигналы подаются на пульт оператора эфира и на входы звукозаписывающей аппаратуры для запоминания тех программ, которые транслируются в удобное для слушателей время. Низкоскоростной порт данных подключается к принтеру или к компьютеру для автоматизированного учета трафика, составления эфирных справок и т.п.

Сигнал цифрового радиовещания в системе ComStream передается на одной несущей и занимает полосу частот 64...512 кГц при скорости цифрового потока 64...384 кбит/с.

На пути от модулятора до демодулятора сигнал неоднократно переносится из одного частотного диапазона в другой. Для переноса частот используются гетеродины. В результате значение частоты на входе демодулятора имеет некоторую неопределенность, вызванную нестабильностью гетеродинов. Эта частотная неопределенность может быть более 2 МГц. Поэтому в процессе настройки приемник обнаруживает сигнал на заданной частоте приблизительно, а затем выделяет и анализирует идентификаторы сети и канала. Для распознавания сигнала в общий поток данных на каждой несущей кодером DAC 700 вводятся специальные идентификаторы. Если хотя бы один идентификатор отличается от заданного пользователем, то приемник выдает соответствующий сигнал ошибки и производит поиск выше и ниже обнаруженной частоты до тех пор, пока не будет обнаружен сигнал с нужными идентификаторами.

При модуляции ФМ-4 несущая частота сигнала расщепляется на две составляющих, сдвинутых на 90° . Демодулятор приемника через равные промежутки времени сравнивает фазу сигнала с фазой, восстановленной несущей. Чем меньше скорость потока, тем длиннее промежуток времени между двумя последовательными анализами фаз и тем больше вероятность, что дрейф частоты или флуктуации фазы гетеродина приведут к случайному изменению фазы сигнала на выходе конвертера на величину большую 45° к сбою в принятии решений на выходе демодулятора.

В заключение следует заметить, что в настоящее время в РФ прием сигналов цифрового радиовещания используется в сетевых станциях-ретрансляторах. Индивидуальный прием пока не актуален, прежде всего из-за большой стоимости приемника ABR-200. Оставляют желать лучшего и условия приема сигналов со спутников INTELSAT 604 (60° в.д.). Для качественного приема программ в приемной установке необходимо иметь антенну диаметром не менее 2 м.

Система Digital Satelliten Radio (DSR)

Опыт эксплуатации системы наземного цифрового звукового вещания T-DAB (Terrestrial Digital Audio Broadcasting) в странах Европы, Канады, Индокитае и ряде других стран показал, что «Эврика-147», признанная лучшей по сравнению с другими подобными системами, недостаточно конкурентно способна с традиционными сетями УКМ-ЧМ вещания.

Основные недостатки:

- требуется более широкая полоса;
- большие затраты на эксплуатацию, особенно при малом числе программ в пакете.

В результате дальнейших поисков радиовещателями был предложен ряд спутниковых систем: DSR, World Space, Sirius Satellite, XM Radio.

Цифровое спутниковое вещание в системе DSR

В настоящее время радиовещательные программы через спутники Satelliten передаются:

- TV-Sat 2 (19° з.д. на частоте 11,977 ГГц);
 - спутник DES-3 Kopernicus (23,5° в.д. на частоте 12,627 ГГц);
- а также в кабельной сети Германии (частоты 111...125 МГц в каналах 52 и 53);
- в швейцарской системе направленной радиосвязи GAZ (Gemeinschafts Antennen Zubringernetz).

Суммарный цифровой поток, формируемый из 16 радиовещательных программ, составляет 20,48 Мбит/с [2.14]. С учетом того, что применяется DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying – дифференциальная квадратурная фазовая манипуляция), в каждом частотном канале с полосой 14 МГц передаются два цифровых потока. В спутниковых системах, как правило, используются каналы с полосой не менее 27 МГц, что позволяет практически без каких-либо доработок сигналы DSR транслировать по любой телерадиовещательной системе.

На рис. 2.9 приведена структура основного кадра цифрового потока в системе DSR при передаче стереофонических радиовещательных программ (кадры А и В).

Основной кадр любого канала (А или В) включает:

- 11-битное слово синхронизации (Sync A и Sync B);
- 1 бит специальной сервисной службы (S);
- 4 блока звуковой информации длительностью 77 бит. В каждом 77-битном блоке аудиоданных содержатся цифровые по-

сылки двух стереофонических или четырех монофонических программ. Общая длительность основного кадра блоков каналов А и В составляет 31,25 мкс.

Таким образом, в системе DSR в каждом моноканале при передаче многопрограммного цифрового сигнала производится четырехкратное временное сжатие общей двоичной последовательности в каждом кадре и двукратное уплотнение частотного канала за счет применения квадратурной фазовой манипуляции.

Сервисные биты 64 основных кадров объединяются в один сервисный кадр, и после прохождения восьми таких кадров формируется суперкадр в составе 512 бит, обеспечивающий передачу дополнительной сервисной информации.

Сервисная информация может содержать для каждой программы сведения: вид передачи (моно/стерео, речь, музыка) и номер, жанр (новости, религиозная, спортивная, учебная программы и т.д.). Всего может быть передано 15 возможных разновидностей данных.

С целью более равномерного распределения энергии в полосе частот канала для снижения помех другим системам, а также для улучшения работы устройств синхронизации цифровые потоки А и В скремблируются (перемешиваются с псевдослучайной последовательностью).

Первая и вторая пары 77-битных блоков передаются с перемежением битов, что позволяет уменьшить частоту появления ошибок в каждом канале и вероятность их слуховой заметности. Биты сервисной службы и синхронизации не перемежаются и не скремблируются.

Далее сигналы обоих цифровых потоков модулируют несущую в режиме 4-ФМ (QPSK) на промежуточной частоте и после преобразования на рабочую частоту усиливаются и подводятся к передающей антенне.

Принятый со спутника сигнал в форме DSR преобразуется в наружном блоке, совмещенном с антенной, в первую промежуточную частоту с полосой 950...2150 МГц и по кабелю снижения подводится к спутниковому ресиверу. Схема ресивера типовая включает усилитель, преобразователь на вторую промежуточную частоту 118 МГц и фазовый демодулятор, на выходе которого выделяются два цифровых потока. После выделения сигналов

* В литературе иногда вместо «скремблирование» используется термин «рандомизация».

синхронизации в каждом цифровом потоке производится дескремблирование, обратное перемежение, демультиплексирование – разделение общего цифрового потока по отдельным программам и в каждой из них – цифроаналоговое преобразование. Выделенные звуковые программы по распределительным линиям подаются пользователям.

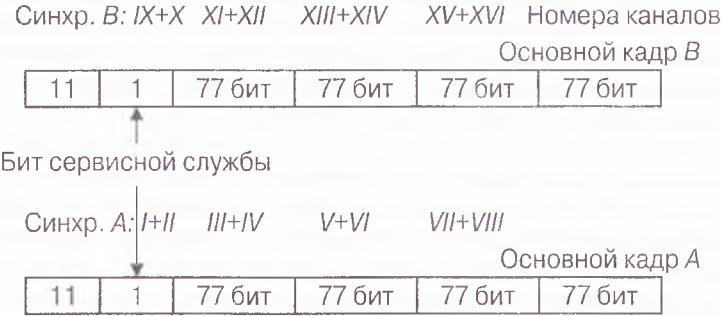


Рис. 2.9. Структура цифрового потока DSR

В системах радиовещания формата DSR, применяемых в Германии, с целью согласования звуковых сигналов с линиями передачи цифровых данных используется преобразование 16-битных кодовых слов в 14-битные с частотой дискретизации 32 кГц. Однако в этом случае полоса частот каждого звукового сигнала сужается и становится 20 Гц...15 кГц вместо 20 Гц...20 кГц.

Передача звуковых сигналов в формате DSR позволяет повысить качество радиопрограмм по сравнению с ЧМ-радиовещанием в метровом диапазоне.

Недостатком системы DSR является менее эффективное использование радиочастотного спектра, чем в системе УКВ-ЧМ вещания.

Глобальные спутниковые системы цифрового радиовещания

Следует отметить четко прослеживаемую тенденцию в развитии глобальных инфокоммуникационных сетей – это все увеличивающееся число вводимых в эксплуатацию спутниковых радиовещательных систем. Первенство в этом процессе принадлежит американским компаниям.

Ниже приводится краткое описание действующих цифровых спутниковых радиовещательных систем.

В настоящее время функционируют три системы, предназначенные для передачи радиовещательных программ через спутники, обслуживающих несколько континентов.

Первая – это Sirius Satellite, в которой работают три спутника на геостационарной орбите, обеспечивающие передачу до 100 стереофонических программ на территорию США. В системе Sirius музыкальные программы составляют около 60%, остальные – информационные. Музыкальные программы кодируются. Абонентская плата – около 13 долл. в месяц.

Вторая американская система – XM Radio – была введена в эксплуатацию в конце 2001 г., работает на двух геостационарных спутниках XM Rock и XM Roll, абонентская плата около 10 долл. в месяц. Информационное наполнение примерно такое же, как в спутниковой системе «Sirius». Предполагается, что срок окупаемости указанных выше систем от 3 до 5 лет.

Система XM-Radio работает в S-диапазоне (полоса 2330...2345 МГц). С целью максимального охвата населения вещательными программами в различных городах США установлено около 1500 наземных ретрансляторов.

Компания XM-Radio заключила соглашение с ведущими производителями автомобилей об установке в них широкодиапазонных приемников, позволяющих принимать радиовещательные программы S-диапазона со спутников, от наземных систем УКВ-ЧМ вещания и от передатчиков средневолнового диапазона. Такое слияние автомобильного бизнеса и радиовещателей резко повысило спрос населения на широкодиапазонные радиоприемники и популярность вещательных программ со спутников системы XM-Radio.

Созданная в начале 1990-х годов компания World Space разработала систему спутникового радиовещания, работающую в полосе частот 1450...1490 МГц для стран третьего мира.

В настоящее время в системе World Space функционируют три спутника: AmeriStar, охватывающий в основном страны Центральной и Южной Америки; AfriStar, рассчитанный на обслуживание населения Африканского континента; AsiaStar, обеспечивающий радиовещательными программами со спутников страны Азиатского континента. Сигналы со спутников AsiaStar принимаются в Казахстане и в дальневосточных регионах России, а со спутников AfriStar – на Украине, в Белоруссии и на юге России.

Компания World Space планирует в ближайшие несколько лет вывести на орбиту европейский и австралийский спутники. В случае реализации этих планов спутники системы World Space будут обслуживать более 70% населения земного шара или около 5 млрд. человек.

Каждый из спутников системы World Space имеет три пучка, в пучке транслируется по 40 радиовещательных программ.

Зоны покрытия для связи на линии Земля-спутник позволяют передавать вещательные программы как с центральной станции, так и со станций типа VSAT, расположенных в этих зонах. Каждый спутник может принимать цифровые сигналы со скоростью до 3,6 Мбит/с от 180 VSAT станций.

В индивидуальных приемниках пользователей применяются направленные антенны, так как система World Space не рассчитана на прием в движущемся наземном транспорте (автомобили, поезда и т.п.).

Одно из важных преимуществ системы World Space перед другими – это более дешевый (в 2–4 раза) приемник абонента. Так, новый приемник пользователя в системе World Space стоит около 50 долл. США, а специальная приставка для приема цифровых радиовещательных программ к имеющимся у населения приемникам – 25 долл.

Проектировщики системы World Space считают, что уже к 2011 г. ее радиовещательные программы будут принимать не менее 10 млн. абонентов, и система становится рентабельной.

В Европе планируется создание в 2006–2007 годах своей системы непосредственного радиовещания, состоящей из двух спутников на геостационарных орбитах, каждый из них будет иметь пять пучков в L-диапазоне. Суммарная пропускная способность системы будет около 100 каналов.

В европейском проекте планируется использование специальных «интеллектуальных» автомобилей, в которых будет предусмотрена возможность приема программ спутникового радио, а также передача запросных сигналов, т.е. будет организована интерактивная система связи.

Руководство Всероссийской государственной телерадиовещательной компании (ВГТРК) считает, что разработка отечественной спутниковой радиовещательной системы позволит не только решить проблему охвата радиовещанием всего населения России и стран СНГ, но и вернуть значительную часть аудитории русскоязычного населения за границей.

Экономисты подсчитали, что система спутникового радиовещания окажется для пользователей значительно дешевле, чем установка индивидуального приемного устройства спутникового телевидения с минимальной комплектацией. В минимальный комплект такой установки входят: антенна диаметром 0,9 м с МШУ-конвертером для приема сигналов со спутника Hot Bird и ресивер (тюнер). Такой комплект будет стоить около 200 долл. США. Если установить антенну 1,2 м со сдвоенным МШУ конвертером для приема сигналов от двух спутников и соответствующий ресивер, то цена комплекта возрастет до 300 долл.

В настоящее время в ряде стран проектируются и другие варианты цифровых спутниковых радиовещательных систем. С целью разработки единой нормативной базы Международным союзом электросвязи по радио (МСЭ-Р) введена стандартизация этих систем [2.17].

Основные характеристики некоторых разрабатываемых и уже эксплуатируемых систем цифрового радиовещания приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Стандартизированные системы цифрового радиовещания. Основные параметры

Рекомендации МСЭ-Р / стандарт ETSI	Наименование системы	Способ передачи аудио	Вид модуляции	Начало эксплуатации
BO.1130-1; Цифровая система А	S-DAB (Media Star)	OFDM	4-ФМ- 4/OFDM	Не определено
BO.1130-1 Цифровая система В	JPL VOA	TDM	4-ФМ	Не определено
BO.1130+BS.1547 Цифровая система D	World Space	TDM, MCM	4-ФМ	1998
BO.1130-3 Цифровая система E	Digital System E	CDM	4-ФМ	Не определено
BO.712-1	DSR	TDM	4-ФМ	1989

Примечание. S-DAB – Satellite Digital Audio Broadcasting; OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex; CDM – Code Division Multiplex; DSR – Digital Satellite Radio; TDM – Time Division Multiplexing; MCM – Multi-Carrier Modulation.

АЛВНВХ

Перспективы внедрения цифровой системы DAB (Digital Audio Broadcasting) ДМВ диапазона пока не ясны из-за отсутствия свободных частот в L-диапазоне и невысокой эффективности использования частотного ресурса. Следует также учесть, что для России это принципиально новая система радиовещания и пока не ясно, как будут востребованы приемники массовыми пользователями страны при сравнительно невысокой покупательной способности населения.

В последнее десятилетие в мировой телерадиовещательной индустрии идет нарастающими темпами процесс внедрения глобальных радиовещательных сетей путем широкого использования цифровых спутниковых систем телевизионного и звукового вещания. Интенсивный рост числа земных станций типа VSAT, способных работать через геостационарные спутники в автоматизированном режиме (без обслуживающего персонала), открыл новые возможности для охвата непосредственным радиовещанием отдаленных и труднодоступных территорий. Этот объективный процесс в развитии спутниковых систем связи позволяет определить спутниковое радиовещание как наиболее перспективное направление на ближайшие 10–15 лет.

Список литературы к гл. 2

- 2.1. Региональная сеть местного информационного вещания. Сайт компании «Радиовещательные технологии» <http://www.radiostation.ru/region/>.
- 2.2. Комаров С. Региональная сеть местного информационного радиовещания на коротких волнах. Материалы Международного конгресса ГАТ. – М., 24–27 октября 2001 г.
- 2.3. Зелевич Е.П., Мамаев Н.С. Состояние сетей звукового радиовещания и перспективы их развития в России в начале XXI века // «Звукорежиссер». – 2001. – № 5. – С. 70–74.
- 2.4. Мишенков С.Л., Зелевич Е.П. Цифровое радиовещание в традиционных ДВ, СВ и КВ диапазонах // Радио. – 2000. – № 4. – С. 69–72; № 5. – С. 85.
- 2.5. Олиференко Н.П. Развитие систем цифрового радиовещания // Техника кино и телевидения. – 2002. – № 4. – С. 13–15.
- 2.6. Денин А., Кацнельсон Л. Системы цифрового радиовещания «Эврика-147» // Радио. – 1996. – № 8. – С. 30–32.
- 2.7. Розенблат М.Г., Демин В.Н. Система трехпрограммного эфирного вещания на одной несущей частоте ОВЧ ЧМ диапазона. Материалы Международного конгресса НАТ. – М., 24–27 октября 2001 г.

2.8. Мамаев Н.С. О развитии систем радиовещания в России и в Европе // Информационно-аналитический журнал «ИнформКурьерсвязь» (ИКС). – 2003. – № 2. – С. 54–55.

2.9. Калинин А.И., Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. – М.: Связь, 1971. – С. 373.

2.10. Кантор Л.Я., Соколов А.В., Локшин Б.А. и др. Принимаем ТВ непосредственно из космоса.– М.: ЗАО «Журнал «Радио», 1998. – С. 226–241.

2.11. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения. Учеб. пособие. – М.: Горячая линия–Телеком, 2001. – 224 с.

2.12. ISO/IEC 11172-3. Information Technology – Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media up to about 1,5 Mbit/s. Part 3. Audio. /Ed1, JTS I/SC 29, 1993.

2.13. ISO/IEC 13813-3. Information Technology – Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information. Part 3: Audio/Ed1, JTS I/SC 29, 1994.

2.14. Ковалгин Ю. Цифровое спутниковое вещание в формате DSR // ИТЖ «Звукорежиссер». – 2002. – № 1. – С. 46–49.

2.15. Высоцкий Г. Построение сетей цифрового спутникового радиовещания // Теле-Спутник. – 1998. – № 9. – С. 44–47.

2.16. Бителева А. Цифровое радиовещание. Expo 2003 Daily 10/02/2003/ CSTB (кабельное и спутниковое телевидение). – С. 10.

2.17. Рихтер С., Ерохин С., Коротков В. Системы цифрового радиовещания: классификация и возможная перспектива совершенствования // Broadcasting. – 2003. – № 5. – С. 65–68.

3. СПУТНИКОВОЕ ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

3.1. Спутниковые группировки национальных и корпоративных сетей России

Цифровое телевидение по сравнению с аналоговым имеет неоспоримые преимущества. Наиболее важными из них являются возможность транслировать по каналам большее число программ высокого качества при снижении затрат энергии при их передаче. Следует заметить, что устранение избыточности в телевизионном сигнале с помощью, например, известного стандарта MPEG-2 и, следовательно, уменьшение ширины его спектра оказалось эффективным только после перехода от аналоговой формы телевизионного сигнала к его цифровому представлению [3.1].

Во всех странах в последнее десятилетие отмечался интенсивный переход к цифровому телевидению, в том числе и в спутниковых каналах. В 2003 г. в американском наземном, кабельном и спутниковом секторах телерадиовещания работало 808 телестанций в цифровом стандарте ATSC, что обеспечило охват 50% домохозяйств наземным цифровым телевизионным вещанием высокой четкости. Ожидается, что к концу 2005 г. в этом стандарте в США будет работать более 1000 таких станций. Аналогичная картина наблюдается в Западной Европе, Японии и других странах. В Западной Европе в 2005 г. Не менее 90% программ телерадиовещания будет транслироваться в цифровом формате. В России перевод сетей на цифровой формат требует обновления и развития как орбитального, кабельного, так и наземного сегмента. По проекту ФГУП «Космическая связь» на Шаболовке создан центр компрессии и мультиплексирования цифрового телевизионного сигнала и сигналов радиовещательных станций, с помощью которого образуются цифровые пакеты для передачи и трансляции сигналов, поступивших от первичных источников [3.2].

Большинство спутниковых каналов телевидения и радиовещания используют в качестве ретрансляторов космические аппараты, расположенные на геостационарных орбитах. Геостационарная орбита – это круговая, экваториальная орбита с периодом обращения 24 ч, размещаемая на высоте около 36 тыс. км. За

счет влияния возмущающих факторов, главным образом гравитационных полей Луны и Солнца, спутник, работающий на геостационарной орбите, смещается по долготе и широте. Поэтому к современным геостационарным спутникам предъявляется требование, чтобы неточность их положения на орбите составляла не более $\pm 0,1^\circ$. Для этого периодически производят коррекцию орбиты.

Системы, использующие геостационарные спутники, имеют следующие очевидные преимущества:

- связь может быть круглосуточной;
- антенны земных станций не требуют системы автоматического сопровождения спутника, а механизм привода антенны для перехода на прием сигналов других спутников оказывается сравнительно простым;
- за счет постоянства расстояния между спутником и земной станцией сигнал на трассе оказывается, исключая резкие изменения в тропосфере, достаточно устойчивым;
- практически отсутствует доплеровский сдвиг частоты.

Отличительной особенностью спутникового индивидуального телевизионного вещания является возможность для телезрителя принимать интересующую его программу с любого космического аппарата, находящегося в зоне видимости, и при достаточном уровне сигнала на выходе его приемной установки. При наземном телевизионном вещании телевизор зрителя принимает программы лишь тех передатчиков, которые находятся в зоне радио видимости его антенны, и обычно на расстоянии, не превышающем 100 км.

Национальные системы спутникового вещания предназначены для приема программ населением той страны, которая организует вещание. Для таких систем, в первую очередь, предназначен диапазон частот 11,7...12,5 ГГц. Региональные системы действуют в диапазоне 10,95...11,7 ГГц. Упомянутые службы для ретрансляции используют (кроме системы «Молния») спутники, размещаемые на геостационарной орбите.

В соответствии с международными соглашениями, для систем спутникового телевизионного вещания на участке Космос–Земля выделены следующие полосы частот: 620...790, 2500...2690 МГц, 10,95...11,7 и 11,7...12,5 ГГц.

В полосе частот 10...11,7 ГГц могут работать системы фиксированной спутниковой службы любой страны мира. Полоса частот 11,7...12,5 ГГц предоставлена радиовещательной службе для государств Европы, Африки, СНГ, Турции и Монголии. Эта полоса

частот разбита на 40 частотных каналов с разносом между несущими 19,18 МГц. Благодаря многократному использованию их по дуге геостационарной орбиты от 37° з.д. до 170° в.д. удается обеспечить 984 одновременно работающих каналов. Для спутников стран СНГ выделено пять позиций на геостационарной орбите: 23, 44, 74, 110 и 140° в. д., а также 36 номиналов частот в полосе 11,7...12,5 ГГц. Достаточно большой разнос между спутниками по долготе, применение двух видов поляризации (горизонтальной и вертикальной) позволяют обеспечить в странах СНГ около 70 передаваемых одновременно программ с аналоговыми сигналами.

Одной из первых советских систем спутникового телевидения была введенная в 1976 г. система «Экран», работавшая в диапазоне частот 0,7...0,8 ГГц. В настоящее время спутник «Экран-М» передает только одну программу на средней частоте 714 МГц, что соответствует 51 телевизионному каналу. Сигналы со спутника «Экран» принимаются на сеть сравнительно простых земных станций классов 1 и 2. Установки класса 1 предназначены для передачи телевизионных сигналов с высоким качеством на местные телецентры, имеющие телевизионные ретрансляторы. Они укомплектованы антеннами типа «волновой канал» с 32 полотнами, каждое из которых имеет вибратор, рефлектор и 30 скрещенных директоров для приема сигналов с круговой поляризацией. Установки класса 2 предназначены для передачи сигнала на маломощные телевизионные ретрансляторы или кабельную распределительную сеть. Они состоят из упрощенной антенны типа «волновой канал» с четырьмя полотнами и приемного устройства. В приемном устройстве установок класса 1 и 2 спектр принятого сигнала из 52–54 каналов дециметрового диапазона переносится в один из первых каналов метрового диапазона и преобразуется из частотно-модулированного в амплитудно-модулированный сигнал. Площадь зоны обслуживания системой «Экран» охватывает районы Сибири, Крайнего Севера и частично Дальнего Востока.

В приемной системе «Москва» (диапазон 4 ГГц), внедренной в 1979 г., за счет существенного уменьшения эквивалентной шумовой температуры удалось снизить мощность передатчика и плотность потока мощности, создаваемой у поверхности Земли, и тем самым уменьшить до требуемых уровней помехи наземным радиорелейным линиям. Таким образом, система «Москва» может быть использована в любом районе стран СНГ без опасности создания помех наземным службам. В распределительной сис-

теме «Москва» задействовано много спутников. Перевод спутниковой телевизионной сети «Москва» на цифровой формат позволит увеличить число передаваемых программ через один ствол (транспондер) более чем в 4–6 раз.

Федеральное государственное унитарное предприятие (ФГУП) «Космическая связь» — национальный оператор спутниковой связи в России, планирует в течение ближайших лет заменить существующую орбитальную группировку на спутники нового поколения с высокими техническими характеристиками и внедрить современные телекоммуникационные технологии, так как большинство национальных спутников на орбите полностью выработало свой ресурс. В частности, в 1999–2000 годах выведены на геостационарную орбиту три спутника «Экспресс-А», с помощью которых транслируются телевизионные и радиовещательные программы в цифровом формате. К 2005 г. планируется запустить пять космических аппаратов серии «Экспресс-АМ». В ближайшие годы планируется производство и ввод в эксплуатацию спутников серии «Экспресс А» и «Экспресс АМ», предназначенных для оказания услуг телерадиовещания, мультимедийных услуг и предоставления высокоскоростного доступа в Интернет российским и зарубежным пользователям. Энерговооруженность новых аппаратов будет увеличена примерно в два раза по сравнению с запущенными до 2000 г. российскими спутниками «Экспресс А». Срок службы спутников серии «Экспресс-АМ» — 12 лет.

График запуска аппаратов «Экспресс-АМ» в последние годы приведен ниже.

Характеристики	«Экспресс-АМ22	«Экспресс-АМ11	«Экспресс-АМ1»	«Экспресс-АМ2»	«Экспресс-АМ3
Орбитальная почка, град	53° в.д.	96,5° в.д.	40° в.д.	80° в.д.	140° в.д.
Дата запуска	Декабрь 2003г	Апрель 2004г	Октябрь 2004г	Декабрь 2004г	Март 2005г
Ракета-носитель	«Протон-К/ДМ2»	«Протон-К/ДМ2»	«Протон-К/ДМ2»	«Протон-К/ДМ2»	«Протон-К/ДМ2»

Планируется запуск аппаратов этой серии АМ32 и АМ34 в 2007 и 2008 годах.

В результате реализации этой программы Федеративное Государственное унитарное предприятие «Космическая связь» (ФГУП КС) будет располагать более 230 работающими на орбите

транспондерами. В этих транспондерах только незначительная часть будет отдана телевизионным каналам. По оценкам аналитиков к 2010 г. мировая потребность в спутниковой емкости составит около 9 тыс. транспондеров, при том, что сейчас находятся в работе 6,5 тыс. Программа обновления российской спутниковой группировки позволит ФГУП «Космическая связь» попасть в десятку ведущих спутниковых операторов мира. Маркетинговая программа ФГУП во многом ориентирована на создание крупных корпоративных сетей VSAT (см. разд. 3.5).

В табл. 3.1 приведены некоторые технические характеристики обновляемой национальной спутниковой группировки, работающей главным образом в L, C и Ku диапазонах.

Таблица 3.1. Некоторые характеристики обновляемой спутниковой группировки

Тип спутника	Точка стояния	Выходная мощность, Вт	Число транспондеров
«Экспресс-A2»	80° в.д.	75(ретр.,C), 40(2ретр.,C), 20(9 ретр.,C), 35(5 ретр.,Ku), 20(1 ретр.,L)	1-L, 12-C, 5-Ku. Всего 18
«Экспресс-AM2»	80° в.д.	60(11ретр.,C), 100(1ретр.,C), 100(4ретр.,C), 90(8ретр.,Ku), 140(1ретр.,Ku) 30(1ретр.,L),	16-C, 9-Ku, 1-L, Всего 26
«Экспресс-AM1»	40° в.д.	40(8ретр.,C), 80-120(1ретр.,C), 95-100(18ретр.Ku), 30(1ретр.,L)	9-C, 18-Ku, 1-L. Всего 28.
Экспресс-AM22	53° в.д.	103,5(24 ретр.,Ku)	24-Ku. Всего 24
«Экспресс-AM11»	96,5° в.д.	40(10ретр.,C), 70(15 ретр.,C), 110(1ретр.,C), 120(4ретр.,Ku)	26-C, 4-Ku. Всего 30
«Экспресс-AM3»	140° в.д.	60(11ретр.,C), 80-120(5 ретр.,C), 90(8 ретр.,Ku), 140(4ретр.,Ku), 30(1ретр.,L)	16-C, 12-Ku, 1-L. Всего 29

Негосударственные предприятия осуществляют свои проекты через собственные спутники. Примером может служить запуск спутников «Ямал-100» – 90° в.д. и «Ямал-200» – 49° и 90° в.д.

Запуск спутников профинансирован акционерным обществом «Газком». Приведем некоторые технические данные этого проекта.

«Ямал-100». Территория покрытия – практически вся территория РФ и СНГ. Масса спутника на старте 1210 кг, масса полезной нагрузки 162 кг, мощность, потребляемая полезной нагрузкой, 1300 Вт, число транспондеров – 10, эквивалентно-изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) передатчиков в зоне обслуживания 37 дБВт (6 транспондеров) и 36 дБВт (4 транспондера), срок активного существования спутника составляет 10 лет. Для корпоративной сети используется только часть емкости спутника. Остальная емкость предложена в аренду. Один из транспондеров с полосой частот 36 МГц обеспечивает ретрансляцию семи телевизионных каналов в цифровом формате. Работающий на орбите космический аппарат «Ямал-100» загружен практически полностью. Через «Ямал-100» производится также ретрансляция 35 телеканалов, из них половина – региональные. Кроме того, «Газком», используя свой спутниковый ресурс С-диапазона, сдал в штатную эксплуатацию цифровые наземные сети в Ростовской, Свердловской, Тверской, Тюменской областях, Хабаровском крае и в республике Коми.

«Ямал-200» – 49° в.д. в С-диапазоне имеет 18 транспондеров каждый с полосой 72 МГц. Эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ) спутника составляет 42 дБВт. «Ямал-200» – 90° в.д. в С-диапазоне имеет шесть транспондеров с полосой 72 МГц и столько же транспондеров в диапазоне К_u, также с полосой 72 МГц. В С-диапазоне ЭИИМ передатчика составляет 44 дБВт, в диапазоне К_u – 49 дБВт. Время существования на орбите обоих спутников 12 лет.

Другим примером негосударственного телевизионного вещания в цифровом формате служит компания «Бонум-1», являющаяся подразделением холдинга «Медиа-МОСТ». Как известно, «Бонум-1» занимается техническим обеспечением проекта «НТВ-Плюс». Спутник «Бонум-1» имеет следующие технические характеристики:

число транспондеров в К _u -диапазоне	8
каждый мощностью	89 Вт
время существования спутника	11 лет

точность удержания спутника в точке

стояния 0,05 по всем направлениям

мощность солнечных батарей, Вт:

в начале «жизни» спутника 1500

в конце 1400

«точка стояния» 56° в.д

масса спутника на орбите в конце

существования, кг 620

На европейскую часть России свои программы компания «Бонум-1» передает через спутник Eutelsat W4 с точкой стояния 36° в.д. Сигналы со спутника уверенно принимаются на индивидуальные антенны с диаметром 0,5 м, например в Твери, и до 1,5 м в Тбилиси. Телекомпания «НТВ-Плюс» в октябре 1999 г. представила вниманию своих абонентов новый сайт в Интернете — www.ntvplus.ru. Здесь можно получить любую информацию о «НТВ-Плюс», последние новости телекомпании, сеансы передач всех 30 каналов, информацию об абонентском обслуживании, о дилерах и новых ценах на услуги, о параметрах вещания и зонах покрытия спутником «Бонум-1». ЗАО «Бонум1», несмотря на финансовые трудности, продолжает свой бизнес по проекту «НТВ-Плюс» в системе непосредственного спутникового телевидения высокого качества. В рамках этого проекта осуществляется платное телевидение через спутник Eutelsat W4 цифрового пакета на 50 телевизионных каналов для индивидуальных подписчиков, имеющих цифровой телевизионный приемник. Руководители проекта считают, что при числе подписчиков порядка 300 тыс. человек проект станет рентабельным. По мнению специалистов, проекту «НТВ-Плюс» для успешного ведения бизнеса необходимо сменить маркетинговую политику: сделать открытыми 7–10 российских каналов и в первую очередь «первый» канал, каналы РТР и «Культура». Кроме того, для привлечения подписчиков целесообразно установить промежуточную карточную систему оплаты просмотра цифрового пакета.

Спектр аналогового телевизионного сигнала составляет примерно 10 МГц. Известно, что при отсутствии сжатия спектра телевизионного сигнала, т.е. до устранения в нем избыточности, для высококачественного цифрового телевидения необходимо обеспечить передачу по каналу цифрового потока со скоростью 216 Мбит/с [3.3]. Таким образом, без устранения избыточности в таком телевизионном сигнале требуется существенное расширение частотной полосы канала.

Совместными усилиями специалистов ряда стран постепенно удалось добиться сжатия спектра аналогового телевизионного сигнала без заметной потери качества изображения. В настоящее время такое сжатие спектра за счет устранения в телевизионном сигнале избыточной информации составляет примерно 40 раз. В США, Японии и Европе проводились разработки по системам телевидения с повышенной четкостью и цифровым методам передачи телевизионного сигнала. В США для цифрового телевидения разработан стандарт Digi Cypher. В Японии детально разработан новый стандарт качества на 1125 строк – MUSE (Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding – система кодирования с многократной субдискретизацией).

Объединенными усилиями специалистов Международной организации стандартизации и Международной электротехнической комиссии (IEC) разработаны стандарты MPEG-(Moving Picture Experts Group) для цифрового телевидения и радиовещания. Стандарт MPEG-1 оптимизирован для скоростей передачи цифровых сигналов 1,5...8 Мбит/с и MPEG-2 – для скоростей 2...15 Мбит/с. Оба стандарта рассчитаны для телевидения с развертками 525 строк, 30 кадров/с и 625 строк 25 кадров/с с форматами 4:3, 16:9. Стандарт MPEG-2 использует чересстрочную развертку, а MPEG-1 – построчную, так как ориентирован на применение в персональных компьютерах и системах мультимедиа.

В стандарте MPEG-2 цифровой поток телевизионного сигнала со скоростью 216 Мбит/с сжимается до 2...15 Мбит/с (верхняя цифра соответствует передаче сигналов телевидения с высокой четкостью).

Известно, что телевизионное изображение имеет определенную избыточность – это либо практически неподвижный фон, либо передний план. Алгоритм MPEG-2 позволяет устранить эту избыточность с помощью межкадрового и внутрикадрового кодирования [3.3]. При межкадровом кодировании видеоизображения выбираются опорные кадры (intra-кадры), которые считаются основными и кодируются без обращения к другим кадрам. Остальные кадры анализируются микропроцессором системы, сравнивающим их с опорными кадрами и между собой и вырабатывающим сигналы различия на основе алгоритма предсказания с компенсацией движения. Эти кадры разделяются еще на два типа: Р-кадры (Predictive), закодированные на основе предыдущих кадров, и В-кадры (Bidirectionally predictive), закодированные на основе предыдущего и последующего кадров. Организация всех трех типов кадров (I, Р и В) и их последовательности является достаточно гибкой,

избыточность закодированная в сигнале различия, устраняется с помощью дискретного косинусного преобразования (ДКП) сигнала. Внутрикадровое кодирование состоит в уменьшении пространственной избыточности в кадре и также производится с помощью ДКП.

Таким образом, сжатие видеосигнала в стандарте MPEG-2 основано на сложных алгоритмах предсказания и применении дискретного косинусного преобразования.

В канале звукового сопровождения стандарта MPEG-2 кодирование и сжатие данных также производится по специально разработанным алгоритмам. Качество звука после восстановления в приемнике соответствует качеству компакт-дисков.

В транспортном потоке на одной несущей могут передаваться одна или несколько программ (до семи) телевидения, радиовещания и данные путем мультиплексирования с помощью временного уплотнения.

Отметим очевидные по сравнению с аналоговыми способами преимущества передачи телевизионной информации в цифровом виде по спутниковым каналам:

- применение информационного сжатия позволяет намного сократить объем передаваемой информации, а следовательно, сократить полосу частот;

- при неизменной мощности передатчика спутника-ретранслятора уменьшение скорости передачи в канале приводит к увеличению энергии сигнала, приходящейся на элементарную посылку, и следовательно, уменьшению вероятности ее сбоя (уменьшению коэффициента ошибок). Таким образом, при заданной вероятности сбоя информационного символа появляется возможность уменьшить эквивалентную изотропно-излучаемую мощность (ЭИ-ИМ) ретранслятора, равную произведению мощности передатчика на коэффициент усиления передающей антенны) или при неизменной ЭИИМ использовать приемные антенны меньшего диаметра;

- в полосе ствола ретранслятора можно передавать большее количество телевизионных программ;

- переход от аналогового к цифровому методу телевизионного вещания почти не затрагивает приемопередающее СВЧ оборудование системы, однако требования к линейности передающих трактов цифровых систем оказываются выше, чем в аналоговых системах.

В свете сказанного становится понятным крупномасштабный переход от аналогового способа передачи телевизионных сообщений к цифровому с использованием эффективных методов сжатия видео- и аудиоинформации.

3.2. Структурная схема спутниковой системы цифрового телевидения

Цифровые потоки видео-, аудиосигналов различных телевизионных программ, потоки данных объединяются в мультиплексоре. В поток вводятся сигналы синхронизации, позволяющие различить их после демодулятора. В стандарте MPEG-2 различают три вида цифровых потоков: пакетный элементарный поток (ПЭП), программный поток (ПП) и транспортный поток (ТП). Пакетный элементарный поток относится к какому-то одному виду информации-сигналу изображения или звука, либо данным. Программный поток объединяет элементарные потоки, имеющие общую тактовую частоту, т.е. формируется при передаче *n*-телевизионных, *m*-радиовещательных и *k*-потоков данных. В стандарте предусмотрена возможность объединения до 16 потоков видео, 32 аудио и до 16 потоков данных. В каналах формируется транспортный поток, в котором присутствует пакет длиной 188 байт, из них 187 – информационные и 1 байт синхронизации.

На рис. 3.1 приведена упрощенная структурная схема спутниковой системы цифрового телевидения.

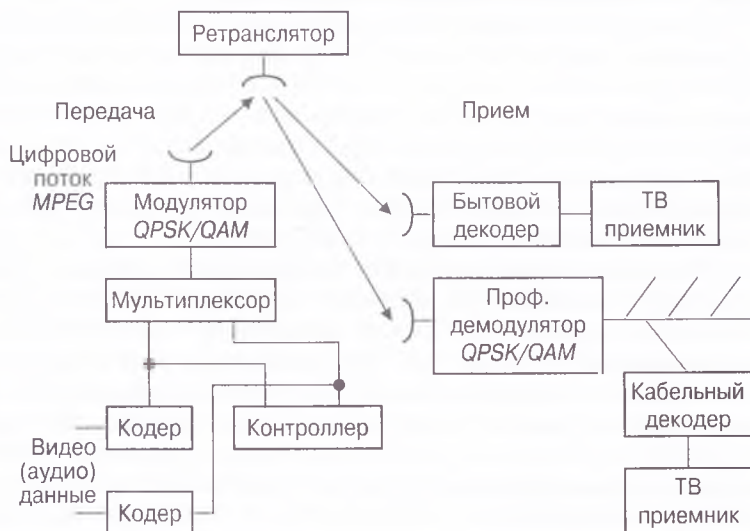


Рис. 3.1. Упрощенная структурная схема спутниковой системы цифрового телевизионного вещания

Цифровой поток данных, сформированный из различных источников (телетекст, видеоинформационный и др.) поступает на мультиплексор. Для объединения и последующего разделения сигналов на вход мультиплексора поступают синхронизирующие сигналы (на схеме не показаны). Перед модулятором передатчика обычно устанавливается фильтр. Его назначение вызвано различными причинами. Для устранения межсимвольных искажений при демодуляции сигнала могут использоваться различные варианты фильтров Найквиста. Часто используют аппроксимации частотных характеристик фильтров, близких к фильтру с АЧХ вида «корень квадратный из спектра типа приподнятый косинус» [3.4]. Такие фильтры устанавливают как на передающей, так и на приемной стороне. Используют также фильтры, минимизирующие спектр радиосигнала, для уменьшения помех соседним радиоканалам.

В спутниковых каналах сигналы достаточно стабильны при спокойном состоянии тропосферы. Однако при возмущениях в ней опасно применять сигналы со сложными видами модуляции, поэтому, как правило, используют хорошо зарекомендовавшую не только в спутниковых каналах 4-позиционную фазовую манипуляцию) – в английской аббревиатуре – 4-ФМ.

Однако в последнее время появились попытки применить в спутниковых каналах сигналы с фазовой манипуляцией с увеличенным алфавитом сигналов – 8-ФМ (8-позиционные сигналы фазовой манипуляции), – что потребовало использования нового вида помехоустойчивых кодов-«турбокодов» [3.5, 3.11]. В начале 2002 г. развернуты работы нового стандарта DVB-S2, в основе которого лежит многопозиционная фазовая модуляция (8-ФМ, 16-ФМ или 16-КАМ) и методы турбокодирования.

Турбокодирование позволяет приблизиться к пределу Шеннона, при этом проигрыш в системе передачи колеблется от 0,27 до 0,5 дБ. С помощью турбокодов можно достичь величины вероятности ошибки по битам $1 \cdot 10^{-5}$ при отношении энергии сигнала к спектральной плотности шума на выходе УПЧ-2, равном 0,7 дБ. Фактически турбокоды являются блочными кодами с большой длиной блока. Поскольку в демодуляторе на приемной стороне используется квазикогерентная обработка сигналов, то для устранения неопределенности фазы опорного колебания на приемной и передающей стороне дополнительно применяется дифференциальное кодирование и декодирование.

Кроме того, при квазикогерентном приеме в демодуляторе имеются устройства синхронизации, предназначенные для обра-

зования сигналов опорного колебания и тактовых импульсов. Для повышения помехоустойчивости приема сигналы с выхода мультиплексора поступают на модулятор не непосредственно, а дважды дополнительно кодируются помехоустойчивым кодом (при использовании сигналов 4-ФМ обычно внутренний код – сверточный и внешний блоковый – Рида–Соломона, а при применении сигналов ФМ-8 используются уже упомянутые турбокоды). Для упрощения рисунка такие кодеры и декодеры не показаны.

Приемные станции могут быть трех видов: 1 – профессиональные с цифровым декодером, 2 – с преобразователями вида 4-ФМ/КАМ (4-ФМ – четырехпозиционная фазовая модуляция, КАМ-квадратурная амплитудно-фазовая модуляция с числом уровней 64 или 256 для кабельных сетей или для индивидуальных приемных устройств спутникового телевидения).

В первом типе станций сигнал после декодирования поступает в профессиональную студию либо в кабельную распределительную сеть телевизионных программ, или в бытовой интегрированный кабельный декодер, в котором выделяются также каналы телетекста и звукового вещания, во втором типе станций – на индивидуальный спутниковый ресивер-декодер. Разработаны бытовые и профессиональные спутниковые декодеры с весьма универсальными схемами. Профессиональные цифровые декодеры обычно рассчитаны на применение в любых конфигурациях стандартов и сигналов.

Многие западные фирмы настойчиво работают над созданием и усовершенствованием приемников цифрового телевидения. В частности, приемники-декодеры цифровых спутниковых ТВ программ фирмы Philips серии DVS 3961/31 и DVS 3962/31 предназначены для работы в головных станциях кабельного телевидения и рассчитаны на работу в стандартах NTSC, PAL, SECAM (в том числе и в российском варианте стандарта SECAM). Блок предварительного усиления радиосигнала с модуляцией КАМ работает в расширенной полосе 950...2150 кГц. Программное обеспечение позволяет перенастраивать приемники на разные спутники. Приемники имеют встроенный считыватель-смарт-карту, соответствующий стандарту ISO 7816.

Структурная схема приемной индивидуальной установки цифровой спутниковой системы изображена на рис. 3.2, в которую входит параболическая антенна с диаметром 0,6...1,2 м, перед рефлектором которой помещается наружный блок (конвертер).



Рис. 3.2. Структурная схема приемной индивидуальной установки спутниковой цифровой системы ТВ:

1 – поляризатор; 2 – МШУ; 3 – смеситель; 4 – первый гетеродин;
 5 – УПЧ наружного блока; 6 – УПЧ внутреннего блока; 7 – второй смеситель;
 8 – второй гетеродин; 9 – блок управления; 10 – полосовый фильтр; 11 – УПЧ2

В соответствии со структурной схемой рис. 3.2 принятый антенной сигнал проходит через блок выбора поляризации, далее поступает в малошумящий усилитель, смеситель, на второй вход которого поступает сигнал гетеродина. После преобразования сигнал выделяется фильтром первой промежуточной частоты и далее усиливается УПЧ1. Таким образом, в конвертере происходит преобразование частоты сигнала, принятого антенной в полосу частот 10,95...11,7 ГГц или 11,7...12,5 ГГц спутниковой системы диапазона Ku, в сигнал первой УПЧ в полосе 0,95...1,75 ГГц или 0,95...2,05 ГГц и усиление этого сигнала. Кратко рассмотрим требования к конвертеру телевизионных сигналов и его техническим характеристикам. Конвертер – это наиболее важный узел приемной установки. Его основные задачи: уменьшение общего коэффициента шума, осуществление широкополосного усиления, преобразование частоты и обеспечение сравнительно большого динамического диапазона, так как в противном случае могут возникать нелинейные искажения сигнала. Конвертер размещают в герметизированном корпусе и помещают в фокусе приемной антенны. Входящий в него волноводно-полосковый переход предназначен для обеспечения согласования входа малошумящего усилителя (МШУ) с поляризатором. Малошумящий усилитель имеет обычно три усилительных каскада. Каскады в качестве усилительных элементов содержат полевые арсенид галлиевые малошумящие транзисторы, выполненные по технологии ТВПЭ (транзисторы с высокой подвижностью электронов), имеющие малый коэффициент шума. Особенностью каскадов таких МШУ

является отсутствие резисторов во входных цепях, поскольку наличие их вызвало бы увеличение коэффициента шума малошумящего усилителя. Канализация сигнала во входную цепь и передача ее на вход последующего каскада осуществляется микрополосковыми линиями. Стационарный режим каскадов обеспечивается отдельными источниками питания через элементарные LC-фильтры низких частот. Благодаря принятым мерам удастся получить коэффициент шума неохлаждаемого МШУ 0,7...1,0 дБ, при неравномерности АЧХ около 2 дБ, линейной ФЧХ и коэффициенте усиления около 25...35 дБ.

Фильтр смесителя выполняется по микрополосковой технологии. Потери преобразования смесителя с гетеродином составляют обычно 5...6 дБ (с учетом потерь, вносимых полосовым фильтром). УПЧ1 имеет широкую полосу пропускания и малые собственные шумы. Для усиления сигнала в УПЧ1 имеются обычно четыре резисторных каскада на биполярных транзисторах с включением усилительных элементов по схеме с общим эмиттером, коэффициент усиления УПЧ1 составляет обычно 30...35 дБ. Питание конвертера осуществляется по центральной жиле кабеля, соединяющего его с внутренним блоком. Длина соединительного коаксиального кабеля между конвертером и внутренним блоком может достигать нескольких десятков метров.

Внутренний блок цифровой приемной установки – ресивер – согласно схеме (рис. 3.2) содержит дополнительный каскад УПЧ1, преобразователь и усилитель второй промежуточной частоты с полосой пропускания 27/36 МГц. Уровень выходного сигнала УПЧ2 составляет обычно 1 В. Гетеродин второго преобразователя частоты – перестраиваемый с шагом 10 кГц с синтезатором частот, работающим в полосе 0,95...2,15 ГГц + 480 МГц. Сигнал с выхода ресивера после демодуляции поступает на цифровой декодер. Структурная схема бытового цифрового приемника-декодера приведена на рис. 3.3.

В демодуляторе производится преобразование высокочастотного модулированного сигнала в цифровой поток, который поступает на демультиплексор, разделяющий его на три составляющих: видео, аудио и поток данных. В этом же блоке осуществляется дескремблирование (устранение псевдослучайной последовательности кодирования, наложенной на сигнал в передатчике). Видеосигналы декодируются из стандарта MPEG в декомпрессированные цифровые сигналы в блоке 5, из которых после цифроаналогового преобразователя 6 выделяются исходные видеосигналы в виде составляющих яркостной (Y) и трех

Т а б л и ц а 3.2. Основные технические данные ресиверов

Параметр	Тип					
	DRS 9400 VIA	EM TECH EM300 PVR	Humax PvR-8000	Humax C1-5100 VA-5200 VACI-5300	Medio-Com VACI-Gold	XSAT CDTV410
Диапазон частот, Гц	0,95...2,15	0,95...2,15	0,95...2,15	0,95...2,15	0,95...2,15	0,95...2,15
Уровень входного сигнала, дБВт	-55...-95	Нет данных	-55...-95	-55...-95	Нет данных	-55...-95
Скорость приема	2...45	1...45	1...45	1...31	2...45	2...30,5
Перекл. поляриз. В	13...19	13...19	13...18	13...18	Нет данных	13...18
Управление Гете- родина МШУ, кГц	0...22	20...24	18...26	18...26	22	22
Разрешение (пикселей)	780x576 ...352x288	720x576 (PAL)	720x576	720x576	720x576(PAL) 720x480(NTSC)	720x576
Питание, В (Гц)	176...264 (50...60)	90...260 (50...60)	90...250 (50...60)	90...250 (50...60)	90...250 (50)	90...240 (50...60)
Габаритные раз- меры, мм	233x676x60	340x260x60	400x297x65	370x280x60	370x270x70	310x170x65
Масса, кг	0,95	1,5	3,5	2,8	2,7	1,3

Первые технические параметры спутниковых ресиверов ряда фирм Западной Европы в обобщенном виде были представлены в работе [3.6].

Главным отличием современных спутниковых ресиверов является возможность приема только одних цифровых телевизионных программ либо комбинированных аналого-цифровых. Необходимость такой комбинации диктуется тем, что аналоговые системы телевидения будут функционировать до 2015 г. В табл. 3.2 приводятся основные технические данные ресиверов различных фирм, достаточно широко распространенных на рынке России и стран СНГ.

3.3. Энергетический расчет спутниковых радиолиний Земля–ретранслятор и ретранслятор–Земля

Расчет уровня сигнала

Ослабление сигнала на линии спутник–земная станция условно можно разделить на две составляющие: в свободном пространстве и за счет прохождения радиоволн в тропосфере [3.6]. Потери сигнала при распространении в свободном пространстве зависят от частоты связи и протяженности радиолинии и их можно рассчитать при изотропных (ненаправленных) антеннах по формуле

$$A_{св} = (4 \pi L f / C)^2,$$

где L – длина пути радиосигнала от спутника до антенны земной станции, см; $C = 3 \cdot 10^{10}$ см/с – скорость распространения радиоволн; f – частота связи, Гц.

Это соотношение можно выразить в децибелах:

$$a_{св} = 10 \lg A_{св} = 22 + 20 \lg L - 20 \lg (C/f).$$

Мощность сигнала на входе приемника земной станции с учетом потерь в антенно-фидерных трактах, выраженная в дБВт:

$$P_{ПР} = 10 \lg P_{П} + G_{П} + G_{ПР} - b_{П} - b_{ПР} - a_{св},$$

где $P_{П}$ – мощность передатчика спутника, Вт; $b_{П}$, $b_{ПР}$ – потери сигнала в фидерах передатчика на спутнике и приемнике земной станции, дБ; $G_{П}$, $G_{ПР}$ – коэффициенты усиления антенн спутника и приемника, дБ. Напомним, что мощность сигнала в децибел-ваттах означает логарифм от ее значения в ваттах, умноженный на коэффициент 10.

Максимальное расстояние между спутником и земной станцией для геостационарной орбиты L будет при угле места $\beta = 0^\circ$, оно составит примерно 42 тыс. км:

$$L_{\text{макс}} = \sqrt{H(2R_3 + H)},$$

где $R_3 = 6400$ км – средний радиус Земли; $H = 36$ тыс. км – высота спутника над экватором.

Обычно технические параметры спутников (мощность передатчика и коэффициент усиления антенны) при расчетах не используются, а в справочной литературе публикуются данные об эквивалентной изотропно-излучаемой мощности, выражаемой в ваттах или дБВт:

$$\text{ЭИИМ} = P_{\text{п}} G_{\text{п}},$$

где $G_{\text{п}}$ – коэффициент усиления антенны.

Термин «изотропно-излучаемая» означает, что антенна излучает одинаково равномерно во всех направлениях. Принято считать, что минимальное значение угла места земной станции в пределах всей зоны обслуживания спутника при работе на частотах в диапазоне 4 ГГц должно составлять $5...7^\circ$, а при использовании частот выше 10 ГГц – не менее 10° .

Изменение длины L от минимальной (36 тыс. км) до максимальной (42 тыс. км) для радиолиний со спутником, работающим на геостационарной орбите, увеличивает затухание всего лишь на 1,3 дБ. В связи с этим наклонную дальность можно ориентировочно считать постоянной и равной 40 тыс. км.

Вторая составляющая потерь сигнала в тропосфере является случайной, так как зависит не только от длины пути в этой среде и угла места, но и от поглощения сигнала в газах и осадках, которые зависят от частоты, причем поглощение в осадках зависит от их характера и интенсивности. В тропосфере основные потери в газах вызываются кислородом O_2 и водяными парами H_2O . К осадкам относятся дождь, снег, туман, гололед и т.п. Эквивалентная толщина атмосферы оценивается для кислорода $h_0 = 5,3$ км, а для водяного пара H_2O – 2,1 км. На рис. 3.4 приведена зависимость поглощения радиоволны в спокойной атмосфере (без дождя) при различных углах места β . Данная составляющая потерь существует всегда, т.е. в 100% времени. Затухание в гидрометеорах зависит от интенсивности дождя, размеров зоны их выпадения и распределения интенсивности дождя по зоне и является случайной величиной. Наибольшее ослабление вызывается дождем и зависит от его интенсивности, мокрым снегом, меньшее – градом, сухим снегом.

Усредненные, рекомендованные Международным союзом по связи и радио (МСЭ-Р) значения коэффициента поглощения в дожде при различной интенсивности осадков ϵ [мм/ч] приведены на рис. 3.5. Длина пути сигнала в дожде $l_d = (h_d - h_3) \operatorname{cosec} \beta$, где h_d – усредненная эквивалентная толщина дождевой зоны, которую можно принять равной 2 км, h_3 – высота земной станции над уровнем моря, β – угол места.

Карты районирования территории стран СНГ по интенсивности дождей и статистических распределений средниминутных значений интенсивности дождей приведены на рис. 3.6–3.8.

Поглощение в тумане, как правило, на порядок меньше, чем при дожде, и при ориентировочных расчетах может не учитываться. Мокрый снег в виде крупных хлопьев, выпадающих на антенну, может вызвать поглощение на 4...6 дБ большее, чем при дожде, однако вероятность такого явления невелика. Сигналы, излучаемые со спутников, могут иметь линейную или круговую поляризацию (правого и левого вращения). При приеме сигналов с круговой поляризацией на антенну с линейной поляризацией потери могут достигать 2...2,5 дБ, в то время как при согласовании поляризации антенн эти потери не превышают 0,2...0,3 дБ.

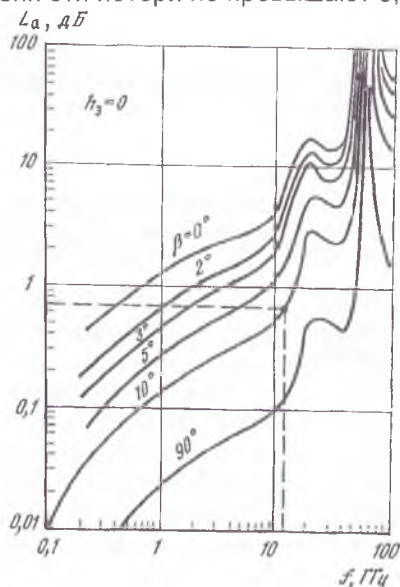


Рис. 3.4. Зависимость поглощения радиоволн СВЧ диапазона от частоты в спокойной атмосфере

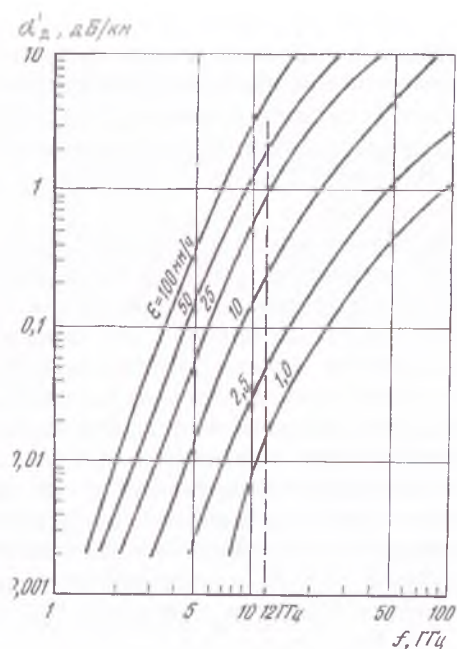


Рис. 3.5. Усредненные, рекомендованные МСЭ-Р значения коэффициента поглощения радиоволн в дожде при различной интенсивности осадков

Т а б л и ц а 3.3. Рекомендованные МСЭ-Р значения коэффициента запаса на дождь для обеспечения надежной работы спутниковых радиолиний

Надежность Линии, %	Простой радиолинии, ч/год	Запас на дождь, дБ		
		10 ГГц	20 ГГц	30 ГГц
99,5	44	1	3	6
99,9	8,8	3	10	20
99,95	4,4	5	20	>30
99,99	0,88	15	>30	—

Ввиду того, что потери в тропосфере имеют случайный характер, часто используют понятие запаса на дождь, выраженное в процентах, как отношение времени обеспечения передачи ин-

формации по линии к общему времени ее работы. В табл. 3.3 приведены рекомендованные МСЭ-Р значения запаса на дождь в зависимости от несущей частоты [3.1].

В системах спутникового телевидения достаточную надежность радиолинии принято полагать равной 99,9 %.

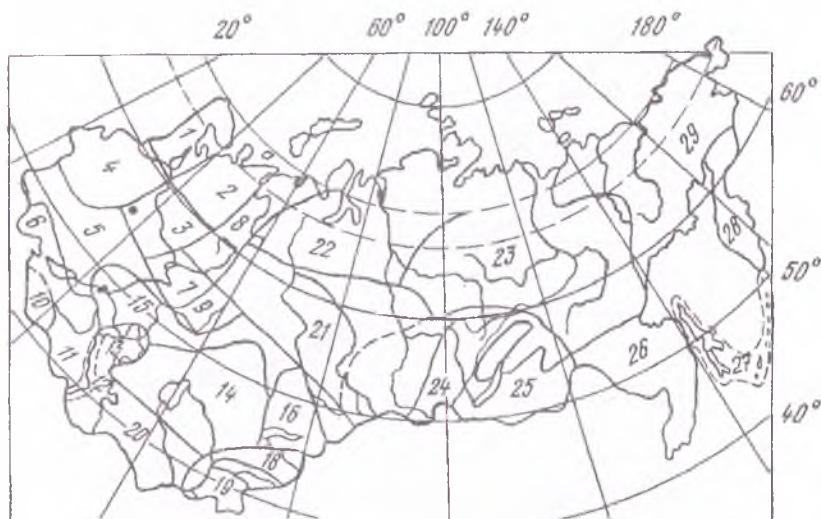


Рис. 3.6. Карта районирования стран СНГ по величине интенсивности осадков

Расчет шумов приемной установки

При приеме сигналов телевидения в аналоговой форме и качественной картине изображения отношение сигнал/шум на входе телевизионного приемника должно составлять примерно 12...14 дБ. Известно [3.4], что при передаче цифровой информации вероятность сбоя символа на выходе идеального демодулятора сигналов двухпозиционной и четырехпозиционной фазовой модуляции – 2-ФМ и 4-ФМ – составляет 10^{-5} , если отношение сигнал/шум на его входе будет 9,55 дБ. При указанной вероятности сбоя символа обычно обеспечивается качественная картина изображения при использовании стандарта MPEG-2. При дополнительном внешнем и внутреннем помехоустойчивом кодировании видеосигнала качественная картина изображения сохраняется при еще меньшем отношении сигнал/шум, равном 5...6 дБ.

При этом вероятность сбоя символа (коэффициент ошибок) уменьшается до 10^{-9} [3.7]. Таким образом, при переходе от аналогового к цифровому сигналу телевидения выигрыш составляет 5...6 дБ по мощности. В этом заключается еще одна положительная сторона применения цифровых сигналов в телевидении.

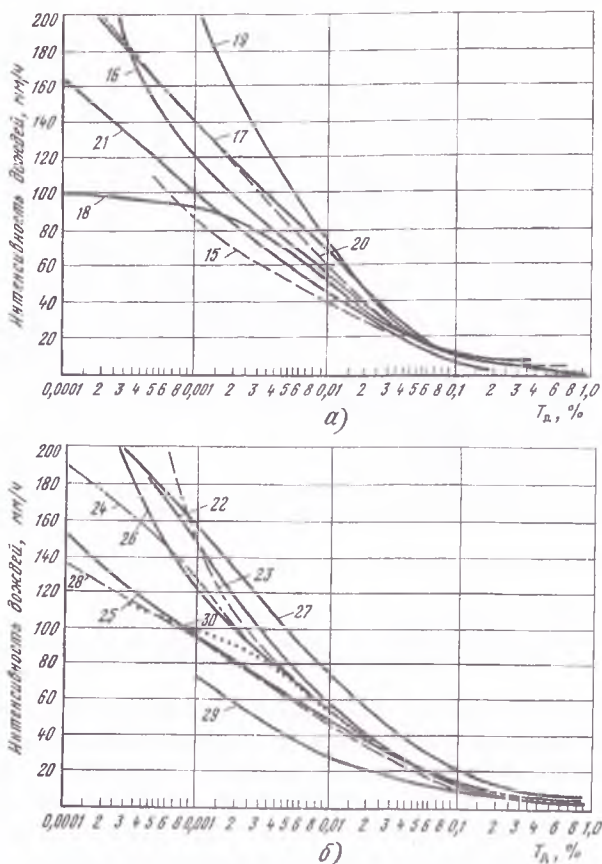


Рис. 3.7. Статистические распределения среднeminутных значений интенсивности дождей:

а – Средняя Азия и Казахстан; б – Сибирь и Дальний Восток

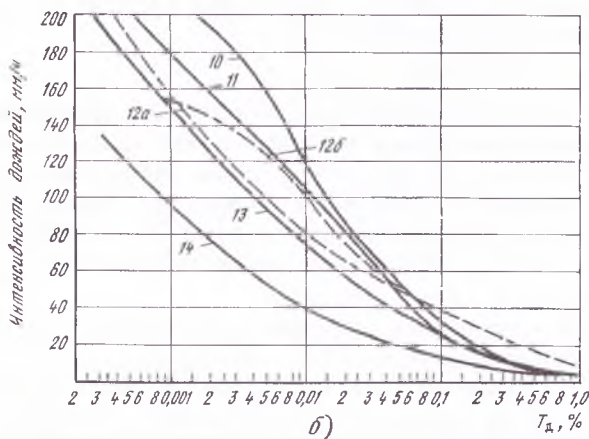
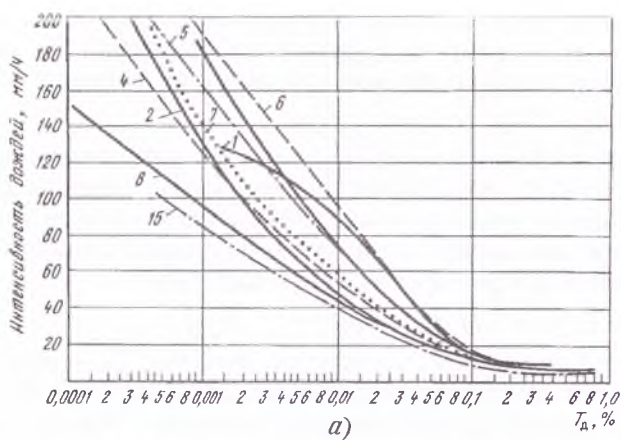


Рис. 3.8. Статистические распределения среднееминутных значений интенсивности дождей:

а — европейская территория стран СНГ; б — Кавказ

В суммарную мощность шумов, пересчитанную ко входу приемника, входят следующие составляющие:

- собственные шумы приемника, мощность которых пропорциональна эквивалентной шумовой полосе до демодулятора;
- шумы антенны, наводимые в ней Землей и атмосферой, Солнцем, звездным небом и некоторыми планетами Солнечной системы;
- шумы антенно-фидерного тракта.

Шумовые свойства приемных устройств чаще всего принято оценивать эквивалентной шумовой температурой $T_{\text{ПР}}$, которая определяется через коэффициент шума $n_{\text{ш}}$ по формуле:

$$T_{\text{ПР}} = (n_{\text{ш}} - 1)T_0,$$

где $n_{\text{ш}}$ – коэффициент шума, выраженный в единицах или децибелах; $T_0 = 290 \text{ K}$ – абсолютная температура окружающей среды.

Суммарная эквивалентная температура приемной установки земной станции, состоящей из антенны, фидерного тракта и самого приемника, приведенная к его входу, будет:

$$T_{\Sigma\text{ЗС}} = T_A \eta_{\text{Ф}} + T_0(1 - \eta_{\text{Ф}}) + T_{\text{ПР}},$$

где T_A – эквивалентная температура антенны; $T_{\text{ПР}}$ – эквивалентная шумовая температура приемника, определяемая его собственными шумами; $\eta_{\text{Ф}}$ – коэффициент передачи фидерного тракта.

Эквивалентная шумовая температура антенны определяется следующими составляющими:

$$T_A = T_{\text{К}} + T_{\text{а}} + T_{\text{З}} + T_{\text{П}} + T_{\text{Об}},$$

где $T_{\text{К}}$ – шумы космического происхождения (распределенные галактические шумы, шумы некоторых звезд, шумы Солнца, Луны и планет Солнечной системы); $T_{\text{а}}$ – шумы излучения атмосферы; $T_{\text{З}}$ – шумы земной поверхности, принимаемые боковыми лепестками диаграммы направленности антенны; $T_{\text{П}}$ – собственные шумы антенны за счет потерь энергии в ее элементах; $T_{\text{Об}}$ – шумы, вызванные обтекателем антенны.

Обычно в приемных установках спутникового телевидения обтекатели не используются и поэтому $T_{\text{Об}} = 0$.

Потери в зеркальных металлических антеннах сравнительно невелики, а $T_{\text{П}}$ не превышает долей градуса, поэтому полагают $T_{\text{П}} = 0$. Составляющие шума $T_{\text{К}}$ и $T_{\text{а}}$ зависят от угла места антенны земной станции и от частоты радиосигнала, на частотах выше 6 ГГц составляющей $T_{\text{К}}$ можно пренебречь, в то время как шумы Солнца могут на несколько порядков превышать средний уровень атмосферных помех. Поэтому если антенна земной станции ориентирована на Солнце (при совпадении линии связи через спутник с направлением на Солнце), то прием сигналов становится невозможен. В профессиональных системах связи такие направления обычно исключаются. Шумы, вносимые спокойной атмосферой для заданной частоты связи, можно определить по кривым, приведенным на рис. 3.9.

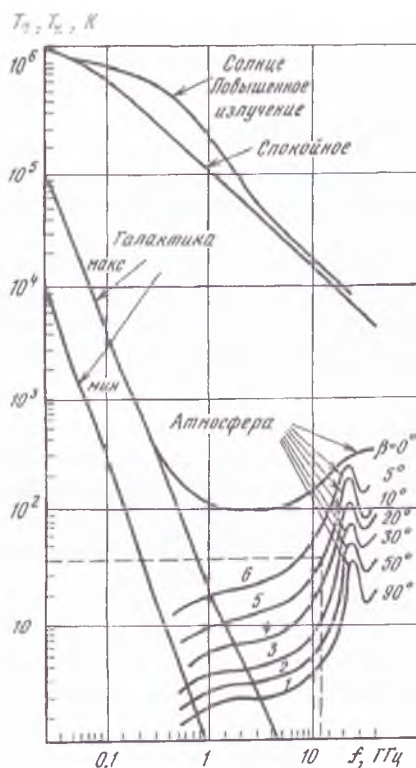


Рис. 3.9. Зависимость шумовой температуры Галактики, Солнца и атмосферы Земли от частоты

Шумовое радиоизлучение атмосферы имеет тепловой характер и связано с поглощением излучения Земли в атмосфере и ее собственной температурой. На рис. 3.10 приведены кривые шумовой температуры атмосферы для вероятности выпадения дождя $T_d = 0,1$ и 1% (чем больше интенсивность дождя, тем меньше вероятность его выпадения). Из рисунка видно, например, что для частоты $f = 12$ ГГц, угле места $\beta = 10^\circ$ и вероятности дождя $T_d = 1\%$ шумовая температура атмосферы составляет около 120 К.

Излучение Земли воспринимается антенной земной станции боковыми лепестками и в зависимости от конструкции и качества выполнения антенны пересчитывается с коэффициентом $S = 0,2 \dots 0,3$, учитывающим эти факторы. Таким образом, шумы антенны земной станции равны $T_A + S T_0$.

Мощность шумов, пересчитанная к входу приемника:

$$P_{\Sigma} = k T_{\Sigma} \Pi$$

или в дБ

$$P_{\Sigma} = -228 + 10 \lg T_{\Sigma} + 10 \lg \Pi,$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц К (постоянная Больцмана); T_{Σ} – суммарная шумовая температура приемной установки; Π – шумовая полоса приемника, Гц.

Из сказанного следует, что при рассчитанном уровне сигнала необходимое отношение сигнал/шум можно получить, добиваясь минимизации шумовой температуры приемной установки, что обычно достигается применением малошумящих усилителей в конвертере.

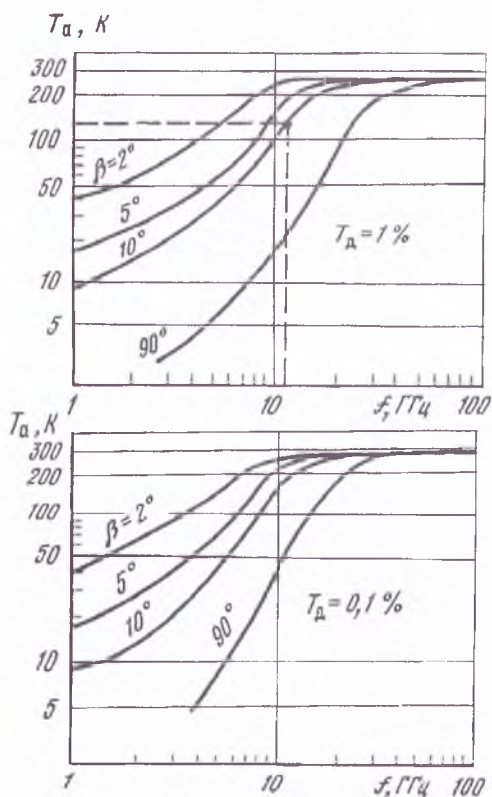


Рис. 3.10. Зависимость шумовой температуры атмосферы от частоты при различной вероятности дождей

В качестве иллюстрации проведем расчет энергетических соотношений в радиолинии спутник–земная станция. Положим, что при приеме сигналов цифрового телевидения с использованием стандарта MPEG-2 требуется частотная полоса 8 МГц и в этой полосе необходимо обеспечить отношение сигнал/помеха равное, например, 5 дБ. Центральную частоту спутникового сигнала выберем равной $f_0 = 10$ ГГц, длину трассы $L = 40\,000$ тыс. км, угол возвышения $\beta = 9^\circ$. При указанном отношении сигнал/шум вероятность сбоя символа (коэффициент ошибок) при отсутствии помехоустойчивого кодирования на выходе демодулятора будет не более 10^{-5} , а при наличии помехоустойчивого кодирования еще меньше. Диаметр приемной антенны примем равным $D_{\text{пр}} = 0,9$ м, шумовую температуру приемника $T_{\text{пр}} = 90$ К.

При указанных условиях необходимо найти произведение мощности передатчика на коэффициент усиления передающей антенны спутника: $P_{\text{пер}} G_{\text{пер}}$ – эквивалентную изотропную мощность (ЭИИМ) передатчика спутника-ретранслятора.

Расчетная формула для определения искомой ЭИИМ имеет вид:

$$10 \lg (P_{\text{сплнв}} G_{\text{пер}} A_{\text{св}} A_{\text{тр}} G_{\text{пр}}) / (T_{\text{А}} + T_{\text{пр}}) k \Delta f = 5 \text{ дБ}, \quad (3.1)$$

где $G_{\text{пр}}$ – коэффициент усиления приемной антенны; $A_{\text{св}}$ – ослабление сигнала в свободном пространстве; $A_{\text{тр}}$ – ослабление сигнала в тропосфере; $T_{\text{А}}$, $T_{\text{пр}}$ – шумовые температуры антенны и приемника; k – постоянная Больцмана; Δf – полоса пропускания приемника.

Коэффициент усиления приемной антенны при выбранном диаметре $D = 0,9$ м будет

$$G_{\text{пр}} = (\pi D_{\text{пр}} f / c)^2 K_{\text{ип}} = (3,14 \cdot 0,9 \cdot 10^2 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^{10})^2 0,6 = 5,324 \cdot 10^3,$$

здесь $K_{\text{ип}} = 0,6$ – коэффициент использования площади антенны или $G_{\text{пр}} = 17,2$ дБ.

Ослабление сигнала в свободном пространстве

$$A_{\text{св}} = (4\pi L f / c)^2 = (4 \cdot 3,14 \cdot 40000 \cdot 10^3 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^{10})^2 = 2,95 \cdot 10^{+20}$$

или 204,6 дБ.

Из рис. 3.4 видно, что поглощение (ослабление) сигнала в спокойной тропосфере на частоте $f_0 = 10$ ГГц при угле места $\beta = 9^\circ$ составляет около 0,4 дБ или в относительных единицах $A_{\text{тр}} = 10^{0,04} = 1,09$ (здесь учтено поглощение в кислороде и водяном паре).

Шумовая температура антенны на частоте $f_0 = 10$ ГГц согласно рис. 3.9 равна $T_A = 40$ К, поэтому мощность шумов приемной установки составит:

$$T_{\text{ПР}} + T_A = 90 + 40 = 130,$$

тогда мощность помехи составит:

$$P_{\text{п}} = (90 + 40) 1,3810^{-23} \cdot 8 \cdot 10^6 = 1,61 \cdot 10^{-14} \text{ Вт}$$

или -138 дБВт.

Подставляя полученные значения $A_{\text{св}}$, $A_{\text{ТР}}$, $G_{\text{ПР}}$, $P_{\text{п}}$ в основное соотношение (3.1), получим искомое произведение мощности передатчика на коэффициент усиления антенны спутника-ретранслятора (ЭИИМ): $P_{\text{ПЕР}} G_{\text{ПЕР}}$, равное 34,8 дБВт или 3,01 кВт.

Расчет, приведенный выше, произведен в условиях спокойной атмосферы (тропосферы). Если согласно табл. 3.1 при частоте $f_0 = 10$ ГГц учесть запас на дождь равный 3 дБ, то необходимая ЭИИМ передатчика будет $34,8 + 3 = 37,8$ дБВт, т.е. 6,02 кВт. Например, если на спутнике-ретрансляторе установлена слабонаправленная антенна с коэффициентом усиления $G_{\text{ПД}} = 100$, то мощность передатчика будет 60,2 Вт. Передатчики спутников-ретрансляторов цифровых систем телевидения, находящихся на геостационарной орбите, излучают мощности такого порядка.

Особенности расчета радиолинии Земля–ретранслятор

Центральная частота радиосигнала такой радиолинии не совпадает с центральной частотой радиосигнала линии ретранслятор–Земля ввиду требований электромагнитной совместимости этих радиолиний, однако эти частоты не намного различаются между собой. Поэтому методики расчета энергетических соотношений и определения отношения сигнал/помеха на входе бортового ретранслятора оказываются такими же, как и в радиолинии ретранслятор–Земля. Поскольку мощность передатчика земной станции без труда может быть увеличена на порядок и более раз по сравнению с мощностью передатчика спутника-ретранслятора, то отношение сигнал/помеха на входе ретранслятора выбирается примерно в 50–100 раз больше по сравнению с аналогичным отношением сигнал/помеха в линии ретранслятор–Земля. Вследствие этого искажения сигнала, передаваемого с земной станции на спутник и воспринимаемые его приемником, практически отсутствуют. По этой причине на спутнике-ретрансляторе отсутствует аппаратура по обработке принятого с земной станции радиосиг-

нала. Таким образом, энергетические соотношения в спутниковой радиолинии цифрового телевидения определяются главным образом соотношениями в линии ретранслятор-Земля.

В спутниковых каналах из-за малой длины волны по сравнению с величинами неоднородностей ионосферной среды и практически отсутствием ослабления в ней, а также существенно меньшей длине элементарной посылки радиосигнала T_0 флуктуациями его фазы на временном интервале T_0 можно пренебречь. Таким образом, спутниковый канал можно отнести к каналам с постоянными параметрами при отсутствии быстрых тропосферных возмущений. Сосредоточенные помехи в спутниковых системах передачи телерадиовещательных программ выражены очень слабо. Вследствие этого помеха при приеме сигналов спутниковых систем является аддитивной, гауссовой и вызвана источниками галактических и тепловых шумов.

Поскольку сигналы с фазовой манипуляцией до появления спутниковых систем уже широко использовались (по причине их лучшей потенциальной помехоустойчивости), то при появлении спутниковых каналов применение в них сигналов BPSK и QPSK произошло практически без всякой конкуренции со стороны сигналов с иными видами манипуляции. Однако следует обратить внимание на особенности использования сигналов в спутниковых каналах. Во-первых, появление возмущения в атмосфере (осадки в виде дождя или мокрого снега) может приводить к заметному поглощению уровня сигнала, в то же время наличие осадков повышает уровень шумов, вызванных излучением атмосферы. Так, согласно рис. 3.10 для частоты $f_0 = 12$ ГГц и угле места $\beta = 10^\circ$ при вероятности дождя $T_d = 1\%$ шумовая температура атмосферы повышается до 120 К. Следовательно, наличие дождя вызывает уменьшение отношения сигнал/помеха как за счет уменьшения уровня сигнала обусловленного его поглощением в атмосфере, так и возрастания уровня шумов за счет излучения в атмосфере, вызванного дождем. Очень часто такое явление приводит к нарушению приема телевизионной информации.

Рассмотрим вопрос, связанный с использованием сигналов различного вида, которые целесообразно использовать в спутниковых и наземных системах цифрового телевидения.

Наиболее важными показателями сигналов являются их помехоустойчивость и спектральные характеристики.

Известно, что наивысшую помехоустойчивость в присутствии гауссовых помех имеют противоположные сигналы с двумя пози-

циями фазы: 0 и 180°: 2-ФМ. Ширина основного лепестка спектра таких сигналов равна $2/T_0$, где T_0 – длительность элементарного радиосигнала. Сигналы с четырьмя позициями фазы 4-ФМ практически имеют такую же помехоустойчивость. Поскольку каждый из четырех сигналов 4-ФМ переносит 2 бита информации, то при неизменной информационной скорости длительность в радиоканале элементарной посылки удваивается, что приводит к уменьшению ширины спектра сигнала 4-ФМ в два раза по сравнению со спектром сигнала 2-ФМ. Дальнейшее увеличение числа фаз приводит к сокращению спектра сигналов в три, четыре и т.д. раз, однако помехоустойчивость их резко падает. Манипуляционные коды некоторых сигналов: 2-ФМ, 4-ФМ и сигналов с амплитудно-фазовой манипуляцией – QAM-16 приведены на рис. 3.11, а на рис. 3.12 – кривые помехоустойчивости сигналов 2-ФМ, 4-ФМ и фазомодулированных сигналов с восемью позициями фазы.

На рис. 3.11 точками обозначены концы векторов сигналов на плоскости.

Из рис. 3.12. следует, что для получения вероятности ошибки символа равной 10^{-5} отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума для сигналов PSK-8 должно быть увеличено на 6 дБ по сравнению с сигналами 2-ФМ и 4-ФМ.

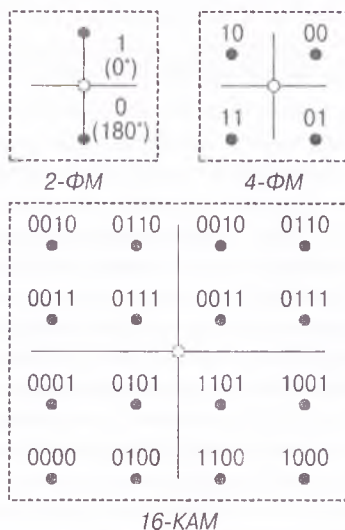


Рис. 3.11. Манипуляционные коды сигналов 2-ФМ, 4-ФМ, 16-КАМ

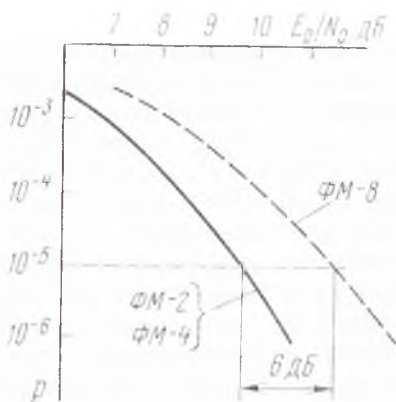


Рис. 3.12 Помехоустойчивость сигналов с двумя, четырьмя и восемью позициями фазы

При большом числе фаз M : $M \geq 16$ сигналы с фазовой манипуляцией и постоянной амплитудой начинают уступать в помехоустойчивости сигналам с амплитудно-фазовой манипуляцией, поскольку область принятия правильного решения в сигналах с такой модуляцией оказывается в этом случае больше, чем у сигналов 16-КАМ-16 [3.8]. Рисунок 3.13 иллюстрирует преимущество в помехоустойчивости сигналов 16-КАМ по сравнению с сигналами 16-ФМ.

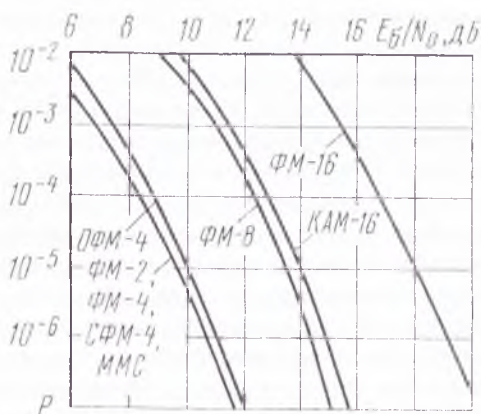


Рис. 3.13. Помехоустойчивости сигналов 2-ФМ, 4-ФМ, 8-ФМ, 16-ФМ и 16-КАМ

В спутниковых цифровых системах телевидения использование сигналов с КАМ, где информация заложена как в амплитуде, так и в фазе, нецелесообразно по двум причинам. Во-первых, информационные изменения амплитуды требуют высокой линейности канала и радиоприемного устройства, во-вторых, малая вероятность ошибки порядка 10^{-5} достигается при высоких отношениях сигнал/шум (30 дБ и более). Сигналы с КАМ широко используются в кабельном телевидении, так как в таких каналах обеспечиваются линейность и высокое отношение сигнал/шум.

Следует заметить, что указанные значения $P_{\text{ош}}$ и отношения сигнал/шум справедливы в условиях идеального когерентного приема, т.е. при отсутствии межсимвольных искажений в канале и идеальной работе устройств синхронизации демодулятора. При высокой скорости передачи информации, когда длительность элементарных посылок в радиоканале составляет десятые и сотые доли микросекунд, практически невозможно осуществить когерентный прием с использованием интеграторов или согласованных фильтров. Кроме того, при оценке помехоустойчивости реальных демодуляторов приходится использовать понятие отношения мощностей сигнала и помехи в канале, а не отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума, так как для частотно-ограниченного канала указанные отношения неэквивалентны. По этой причине можно говорить только о помехоустойчивости при квазикогерентном приеме сигналов.

В свое время интенсивно исследовался вопрос о сужении спектра радиосигналов путем отказа от скачкообразных изменений информационной фазы [3.7, 3.8]. При этом неременным условием оставалось требование сохранения высокой помехоустойчивости сигналов, мало отличающейся от помехоустойчивости сигналов BPSK. В частности, были предложены сигналы MSK (Minimum Shift Keying). Бинарная информационная единица передается в сигналах MSK при линейном нарастании фазы за время T_0 на величину $+\pi/2$, а бинарный ноль – $-\pi/2$. Поскольку такие сигналы ортогональные, то для сохранения помехоустойчивости, близкой к помехоустойчивости сигналов 2-ФМ, обработка сигналов MSK ведется в течение двух элементарных посылок: $2T_0$. При этом энергия сигнала E_c за время $2T_0$ и отношение E_c/N_0 будут в два раза больше, чем у противоположных сигналов 2-ФМ (при неизменной мощности передатчика), и помехоустойчивость сигналов MSK и BPSK оказывается одинаковой. В дальнейшем это направление развивалось с усложнением манипуляционных кодов таких сигналов и развитием понятия сигнально-кодовых кон-

струкций. При этом обнаружилась возможность повышения помехоустойчивости таких конструкций, однако ценой значительного усложнения структуры демодуляторов, которая оказалась значительно сложнее оборудования декодеров сигналов с избыточным (помехоустойчивым) кодированием и использованием более простых сигналов 4-ФМ. Вследствие этого в спутниковых каналах телевизионного и радиовещания предпочитают использовать более простые сигналы 2-ФМ и 4-ФМ, требующие сравнительно простых функциональных схем модуляторов передатчиков и демодуляторов приемников. Дальнейшее уменьшение коэффициента ошибок осуществляют применением помехоустойчивых кодов (блоковых и сверточных).

Спектральные характеристики сигналов MSK лучше, чем у сигналов 2-ФМ и 4-ФМ. Так у фазоманипулированных сигналов выражение спектральной плотности мощности записывается в виде

$$G(f) = U_0^2 T_0 / 2 [\sin Y / Y]^2 ,$$

Здесь $Y = 2\pi (f - f_0) T_0 / 2$, f , f_0 – частота радиосигнала и его центральная частота. Выражение спектральной плотности сигналов MSK имеет вид:

$$G(f) = U_0^2 T_0 (1 + \cos 4\pi f T_0 / \pi^2 (1 - 16f T_0^2)^2),$$

где f – отклонение текущей частоты от центральной f_0 .

На рис. 3.14 приведены графики зависимости нормированной спектральной плотности $G(f)/G(0)$ от нормированной частотной расстройки $-f T_0$ для сигналов 4-ФМ и MSK.

Главный лепесток спектра сигнала 4-ФМ содержит 90 % всей его мощности. Главный лепесток спектра сигнала MSK оказывается шире, чем у сигнала 4-ФМ (первый нуль находится на частоте $0,75f T_0$), однако он содержит 99,5 % всей мощности сигнала. Спектр сигнала 4-ФМ убывает пропорционально второй степени f , в то время как спектр MSK – четвертой, что уменьшает уровень межканальных помех. Были предложены и другие сигналы с фазовой модуляцией, хорошими спектральными свойствами и помехоустойчивостью, как у сигналов 2-ФМ. Например, исследовались сигналы с синусоидальным скруглением фазы, фазомодулированные сигналы с дискретно-сплошным спектром и др. Их общий недостаток заключается в более сложной функциональной схеме устройств синхронизации демодуляторов, что при высокой скорости передачи заметно снижает реальную помехоустойчивость приема. По этой причине в спутниковых каналах сигналы со сложными видами модуляции в настоящее время не используются

и широко применяются сигналы с четырьмя позициями фазы 4-ФМ. Эти сигналы обеспечивают высокую энергетическую эффективность, предельную частотную эффективность, равную 2 бит/с в полосе 1 Гц при простой реализации модема.

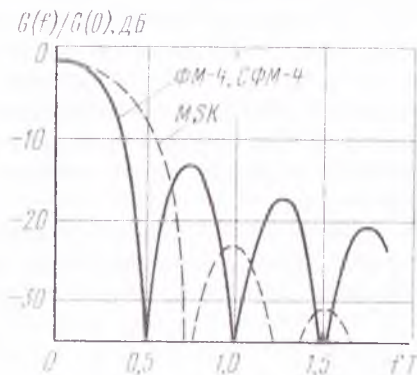


Рис. 3.14. Нормированные спектры сигналов 4-ФМ и MSK

Для уменьшения коэффициента ошибок применяются два вида кодирования: внутреннее с использованием сверточных кодов и с алгоритмом декодирования по Витерби при относительных скоростях кодирования $R_{св}$ равных 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, и внешнее, блочное с применением кода Рида–Соломона с относительной скоростью $R_{рс}$, равной 204/188. Так согласно [3.7] при коэффициенте ошибок $10^{-1} \dots 10^{-2}$ на входе демодулятора внутреннее декодирование обеспечивает коэффициент ошибок на выходе декодера демодулятора $2 \cdot 10^{-4}$, а внешнее уменьшает его до 10^{-11} . Максимальная скорость передачи информации в системе составляет при этом:

$$R_{инф} = 2B_{зан} \frac{R_{св}}{R_{рс}},$$

где $B_{зан} = B_{отв}/\alpha$ – ширина полосы, занимаемая сообщением; $B_{отв}$ – полоса частот отводимая на спутнике для данного сообщения; α – коэффициент использования полосы, обычно выбираемый равным 1,2–1,35.

В свою очередь полоса, занимаемая сигналом, зависит от характеристики линейного тракта передатчика и приемника, формирующих спектр сигнала на выходе модулятора. Как сказано

выше. в последнее время в спутниковых системах цифрового телевидения используют фильтры с частотной характеристикой, имеющей вид приподнятого косинуса, как в передатчике, так и в приемнике.

3.4. Интерактивный доступ в Интернет по спутниковым каналам

Телевизионные системы, включающие спутниковое, наземное и кабельное телевидение, благодаря взаимному сближению становятся уникальным и универсальным средством передачи и приема информации, образуя единую телекоммуникационную систему. В 1993 г. в мире было 1 млн. пользователей Интернет, в 2002 г. их число возросло до 600 млн., в том числе 200 млн. в США. В апреле 2003 г. в России было зарегистрировано 10,2 млн. пользователей этой сети, в том числе 21% составляли жители Москвы и почти столько же жители С.-Петербурга, при этом 5,1 млн. пользователей имели доступ в Интернет с домашних компьютеров и столько же из офисов и мест публичного пользования. К 2010 г. ожидается, что число пользователей сети составит 21 млн.

В 1990-е годы появились устройства – приставки к ЭВМ, позволяющие принимать высокоскоростные цифровые потоки из сети Интернет непосредственно с геостационарного спутника или же через головную станцию кабельного телевидения.

Информация из сети Интернет может идти по существующей телефонной сети общего пользования (ТСОП) со скоростью 56 кбит/с. Отмечается ограниченная пропускная способность московской (а также и других) городской телефонной сети из-за устаревшего оборудования на АТС и низкоскоростных линий связи между АТС и телефонными узлами. Из общего числа более чем 500 АТС в г. Москве, число абонентов, охваченных электронными АТС, которые могут работать на скоростях до 9,2 кбит/с, не достигло в 2001 г. 20%. Причем и для этих абонентов могут оказаться участки с небольшой пропускной способностью, существенно меньшей 9,2 кбит/с. Поэтому нагрузка на ТСОП даже при сравнительно небольшом количестве пользователей Интернет, но работающих часами, может оказаться чрезмерной, что может привести к массовым отказам, сравнимым с обрывом кабеля. При использовании специально выделенных каналов в ТСОП скорость передачи информации может быть увеличена до 56 кбит/с. За рубежом также используется по рекомендации МСЭ-Р – V-90 –

стандарт передачи данных по модему 56 кбит/с по обычным коммутируемым каналам.

При применении малых земных станций типа VSAT, а также коллективных и индивидуальных установок спутникового телевидения (СТВ) создается возможность принимать сигналы из сети Интернет со скоростью 0,4...4 Мбит/с. Общее число перечисленных установок исчисляется сотнями тысяч. Подтверждением является тот факт, что только две фирмы – General Satellite и «Белка» – установили и реализовали на российском рынке более 200 тыс. коллективных и индивидуальных установок СТВ.

Известно, что каналы связи в сети Интернет являются резко асимметричными: запрос от абонента передается со скоростью 50...150 бит/с, а информация к абоненту – со скоростью от 9 кбит/с до 4 Мбит/с.

В 1990-е годы в России получили развитие наземные сети многоканального телевизионного вещания MMDS (Multichannal Multipoint Distribution System), работающие в полосе частот 2100...2700 МГц с использованием и спутниковых каналов (в России для них отведена полоса 2500...2700 МГц). По системам MMDS возможна организация следующих вариантов доступа в сеть Интернет:

- низкоскоростной доступ при использовании телефонной сети общего пользования;

- высокоскоростной доступ в Интернет по прямому каналу и по ТСОП по обратному (запросному) каналу;

- высокоскоростной двусторонний доступ по системе MMDS без использования ТСОП;

- высокоскоростной доступ в Интернет через геостационарные спутники для прямого канала и с использованием ТСОП для передачи запросного сигнала с подсистемами Direc PC и Direc PC/EE (DirecPC Enterprise Edition). Следует отметить, что вопросы об использовании обратного канала через MMDS (без телефонного модема) в России не имеют юридического решения, так как нет разрешения ГКРЧ (Государственного комитета по радиочастотам).

Подсистема Direc PC включает: передачу WEB страниц, видео- и аудиосигналов в реальном масштабе времени, а также представляет программное обеспечение или файлы данных.

Схема доступа в Интернет для прямого к абоненту и обратного сигналов при использовании ТСОП не требует пояснений. Ее преимущество в относительной дешевизне, кроме персонального компьютера и программного обеспечения абоненту нужно иметь

телефонный модем. Однако при получении из сети Интернет больших объемов информации время передачи оказывается весьма велико (так, при использовании телефонного модема со скоростью 14,4 кбит/с время передачи 10-мегабайтного файла составляет 1,5 ч). С учетом множества коммутаций в ТСОП и низкого качества телефонных линий на ряде участков надежность этого канала может не удовлетворить многих пользователей.

Обобщенная структурная схема системы высокоскоростного доступа корпоративных абонентов в сеть Интернет по системе MMDS приведена на рис. 3.15. Ее особенность состоит в том, что скорость передачи информации по радиоканалу к индивидуальному абоненту увеличивается почти в 30 раз (до 0,4 Мбит/с), а коллективному (корпоративному) пользователю – до 700 раз и вместо 1,5 ч время занятия канала составляет около 13 с. Подобный высокоскоростной доступ стал возможен благодаря организации широкополосного канала от провайдера Интернет к пользователю через цифровой передатчик MMDS. В полосе 2,5...2,7 ГГц может быть организовано до 30 телевизионных каналов с полосой 8 МГц и при передаче информации из Интернет один из каналов выделяется для этих целей.

Как следует из рис. 3.15, структурная схема содержит кабельный модем, сетевой концентратор, интерфейс RS-232, телефонный модем V34.

Приемные антенны таких установок имеют большой коэффициент усиления по сравнению с индивидуальными установками на 5...10 дБ, а значит и большой диаметр. Общее число абонентов в корпоративной сети может достигать 20 терминалов.

Московская фирма Telecom предлагает свой вариант реализации высокоскоростного и двустороннего доступа в Интернет с помощью системы MMDS. В этой схеме центральная приемопередающая станция выполняет роль передающей и приемной из сети и приемной для получения запросных сигналов от абонентов. Разделение прямого и обратного сигналов осуществляется в ферритовом циркуляторе. Разделение сигналов между собой производят маршрутизаторы прямого и обратного каналов. Учитывая, что скорости передачи в прямом и обратном каналах отличаются на один-два порядка, соответственно и энергетические параметры этих каналов различаются примерно в таком же соотношении. Методы модуляции также различны: в прямом канале может быть многопозиционная КАМ с применением 4–6-канального мультиплексирования, в обратном канале предлагается использовать сигналы BPSK или QPSK.



Рис. 3.15. Структурная схема спутниковой системы высокоскоростного доступа в Интернет

О возможности доступа в Интернет по системе спутникового телевидения в свое время объявила фирма Hughes Network System (HNS). Для функционирования схемы арендуется один или несколько телевизионных стволов геостационарных спутников. Пользователь через компьютер, подключенный через свой телефонный модем к провайдеру Интернет, запрашивает интересующий его файл. Далее этот файл через операционный центр Dircs PC посылается на спутник. Приемная антенна пользователя, подключенная к индивидуальному адаптеру, принимает сигналы, которые далее записываются в компьютер. Впервые эта схема доступа в Интернет была реализована в США фирмой HNS при работе через спутник Hughes Galaxy 4. Впоследствии эта фирма внедрила систему Dircs PC в Европе при работе через спутник Eutelsat 2-F3 (16° в.д.), где трансляция велась по транспондеру 34A на частоте 11,638 ГГц с сигналами горизонтальной поляризации. В настоящее время спутник Евтелсат 2-F3 переведен в точку стояния $21,5^\circ$ в.д, а его позицию в точке стояния 16° в.д. занял спутник W2. На территории РФ сигнал этого спутника уверенно принимается на антенны диаметром 1,2...1,5 м.

Пользователю необходимо иметь следующее оборудование: компьютер с процессором не ниже Pentium II с оперативной памятью 16 Мбайт и свободное пространство на твердом диске не меньше 20 Мбайт, телефонный модем на скорость 9,6...28,8 кбит/с, приемную антенну и адаптер.

В 1997 г. компания HNS выпустила новое изделие Direc/C/EE. Выделенный канал обеспечивает пропускную способность до 24 Мбит/с. Прием видеосигнала обеспечивается с помощью декодера MPEG, который встраивается в системную плату приемного блока удаленной станции и может декодировать видеосигналы MPEG-1 и MPEG-2.

В последние годы на рынке услуг доступа в Интернет у систем фирмы HNS появились конкурентные системы: ASTRA-Net – Люксембург, LAC-Net – Кувейт, Thi Com Direc – Тайланд и Net Star – Россия.

Продолжает совершенствоваться и традиционная система сетей доступа с помощью телефонных линий, выполненных по технологии DSL (Digital Subscriber Line), которая позволяет одновременно иметь двусторонний доступ пользователям с суммарной скоростью 768 кбит/с в каждом направлении. Технология DSL имеет много вариантов. Симметричными возможностями обладает ряд xDSL, например SDSL, HDSL < MSDSL. Система представляет интерес для проведения видеоконференций. Для включения в Интернет по системе DSL необходимо иметь одну специализированную плату в мультиплексоре, устанавливаемом в доме, и соответствующие абонентские устройства. Фирма Lucent Technologies создала комплекты микросхем для цифровых абонентских линий, реализующих указанные модемы. Эти модемы, названные Wildflier, позволяют загружать данные со скоростью до 1,5 Мбит/с и при этом не будут мешать телефонным разговорам. Стоимость комплекта микросхем составляет около 60 долл., что позволит изготовителям продавать модемы по цене примерно 200 долл.

Что касается перспектив интерактивного телевидения по дальнейшему его развитию, то имеются два глобальных направления: собственно телевизионная интерактивность и система «Pay-per-view» (предоплата). Последнее направление является настолько глобальным, что оно может изменить само представление о телевидении вообще и спутниковом телевидении в частности. Имеется в виду такая система, в которой спутник будет являться лишь средством доставки программы от одного видеосервера к другому. Таким образом, имеется в виду своеобразный телевизионный Интернет, который позволит потребителю иметь дело с видеоданными так же, как сегодня он пользуется сайтами с текстовой информацией. Однако это является делом отдаленного будущего, поскольку необходимо учесть, что при международном обмене необходимы решения на государственном уровне.

3.5. Сети распределения цифровых сигналов по наземным станциям системы VSAT

Учитывая огромную территорию России и крайне неравномерную плотность населения по регионам, значение спутниковых сетей связи с использованием наземных станций типа VSAT (Very Small Aperture Terminal – станции с очень малой апертурой антенн) трудно переоценить. В самом деле, при указанных условиях технически весьма сложно и экономически нецелесообразно строить кабельные и радиорелейные линии связи. Малая апертура антенн не является существенной особенностью станций VSAT, а название можно считать условным. Основная особенность этой технологии – расположение наземных спутниковых станций и источников обмена информацией в достаточной близости между собой в районах с низкой плотностью населения. Вследствие этого в России должны весьма динамично развиваться как государственные, так и корпоративные спутниковые сети на базе технологии VSAT. В соответствии с федеральной целевой программой «Электронная Россия», рассчитанной на период 2000–2010 годы, число пользователей Интернет возрастет к 2005 г. более чем в пять раз по сравнению с 2000 г. и в 2010 г. 2/3 компьютеров будут иметь доступ к глобальным информационным сетям. Предполагается, что рынок информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), включая программное обеспечение, к 2005 г. возрастет в 2–3 раза, а к 2010 г. – в 5–6 раз. Одновременно цены на Интернет-услуги к 2005 г. снизятся на 40% и вдвое к 2010 г. Доля сектора ИКТ в экономике страны превысит 2 % ВВП, а объем экспорта из России информационных продуктов и услуг возрастет в ценовом отношении до 1,2 млн. долл. Вследствие этого решение задач поставленных программой «Электронная Россия», невозможно без широкого внедрения VSAT-технологий.

Существуют две основные разновидности сетей VSAT: Mesh («каждый с каждым»), допускающая непосредственную связь между абонентскими земными станциями и Star («звезда») [3.9]. Организация передачи информации в сетях VSAT осуществляется по трем основным методам разделения каналов FDMA (частотное разделение), TDMA (временное разделение) и CDMA (кодированное разделение). Многостанционный доступ обеспечивается при помощи технологий DAMA (с предоставлением каналов по требованию) и PAMA (с закрепленными каналами). Наиболее распространенные сочетания в сети типа Star-TDM/TDMA: исходящие

потоки от каждой VSAT-станции разделены во времени и транслируются на центральную станцию, где сигналы мультиплексируются в единый цифровой поток, который доступен любой абонентской станции сети. При организации сети типа Mesh основной технологией является DAMA. Она предусматривает выделение ресурсов сети каждому из абонентов сети только на время их активного взаимодействия. Выбор топологии сети определяется задачами заказчика. Так, сеть типа Star ориентирована в первую очередь на обеспечение услуг передачи данных, для которых возможность задержки сигнала не принципиальна. Такие сети создаются для обслуживания банкоматов, бензозаправочных станций или управления технологическими процессами на электростанциях или газораспределительных установках (время распространения сигнала между станциями достигает 0,6 с). В сети Mesh время распространения сигнала не более 0,3 с, что практически не ощущается даже при передаче голоса.

Усредненная стоимость оборудования станций VSAT приведена в табл. 3.4.

Расчеты показывают, что в России при реализации упрощенных процедур выделения частот и ввода в эксплуатацию возможно уменьшить суммарные затраты на терминалах VSAT с 18–20 до 8–10 тыс. долл. и время ввода в эксплуатацию с 9–11 до 4–6 месяцев. С этой целью в 1998 г. было создано некоммерческое товарищество «Национальная ассамблея спутниковой связи», объединяющее крупнейших операторов спутниковой связи VSAT в России. В последние годы ряд предприятий радиотехнического профиля России подключились к разработкам отечественных станций VSAT и в частности ОАО «Ижевский радиозавод», выпускающий вполне современную станцию «Стела». Такая станция используется в сети «Банкир-2».

Т а б л и ц а 3.4. Средняя стоимость и число VSAT-станций в мире

Год	Сеть Star, тыс. долл.	Сеть Mesh, тыс. долл.	Число VSAT- станций в мире
1985	18	—	10 000
1990	14	55	75 000
1995	9	28	240 000
2000	7	15	500 000
2005	8	10	900 000

В семейство станций «Стела» входят:

- антенны с типоразмерами от 0,9 до 7,4 м;
- твердотельные усилители мощности в 2, 4, 8, 30 Вт в K_u -диапазоне;
- трансиверы,
- преобразователи сигналов с K_u -диапазона на промежуточные частоты 140 (70) МГц;
- радиомодемы с переменными скоростями работы на прием и передачу от 9,6 кбит/с до 2,5 Мбит/с с возможностью работы в пакетном режиме.

Станции не имеют постоянного квалифицированного обслуживания и контролируются централизованно, но может применяться и местное (автономное) управление.

Приемные станции VSAT могут быть использованы и для приема телевизионных программ.

Внедрение станций VSAT позволяет предоставлять пользователям широкий спектр коммуникационных услуг:

- организацию выделенных сетей на базе VSAT, обеспечивающих удаленным пользователям высококачественную телефонную и факсимильную связь, передачу данных с различной скоростью;
- создание сетей корпоративной связи в сельской местности или подключение удаленных станций к существующим сетям, в том числе к коммутируемой сети общего пользования;
- организацию магистральных каналов между телефонными станциями;
- организацию доступа абонентов к сети Интернет и к цифровым сетям общего пользования (ППТ – Телепорт «Москва», Golden Line, Macomnet, Spring и др.

Во второй половине 1990-х годов наметилось значительное ускорение процесса развития VSAT-сетей, особенно в корпоративных структурах. В табл. 3.5. приводятся данные о наиболее развитых сетях государственных и корпоративных предприятий России на 2001 г. Перспективы развития сетей государственного сектора даны в разд. 3.6.

Как следует из таблицы, наиболее масштабной является VSAT-сеть станций «Банкир-1», функционирующих в Северо-Западном, Волго-Вятском, Поволжском, Восточно-Сибирском и Западно-Сибирском экономических районах. Виды передаваемой информации: телефония, данные, факс, видеоизображения.

Т а б л и ц а 3.5. Данные о некоторых сетях VSAT в России

Компания	Название сети	Число ЗС	Космический Сегмент	Диапазон	Зона обслуживания
Висат-сервис	«Банкир-1»	560	Интелсат 704, 60° в.д	K _u	Европейская часть РФ и Сибирь
Висат-Тел	«Банкир-2»	112	Интелсат 704	K _u	Центральная часть России
Телепорт-ТП	«Сателинк»	100	Интелсат704,	C	Урал
Восток-Телеком	«Банкир-3»	100	«Горизонт», «Ямал»	C	Дальний Восток
Корпорация «Сирена»	«Сирена-3»	80	Интелсат-604, Экспресс	K _u	Дальний Восток
Московский Телепорт		66	«Экспресс», Интелсат	C	Европейская часть РФ
ФГУП КС	КС	50	«Экспресс» 6А	K _u	Россия
ГАЗКОМ	«Ямал»	75	«Ямал»	C	Север России

В сетях VSAT могут широко использоваться передвижные телевизионные станции (ПТС), которые применяются для внесудийной съемки и трансляции полученной с места события видеoinформации средствами цифровой техники. При этом аналоговые сигналы преобразуются в цифровой транспортный поток стандарта MPEG-2 с последующей передачей по радиорелейной или спутниковой линии в соответствующий телевизионный центр. При использовании спутниковых каналов чаще всего применяются легко развертываемые мобильные земные станции VSAT. Во всей технологической цепи формирования программ рекомендовано применять формат сжатия сигнала стандарта MPEG-2 профиля 4:2:2. Опытные образцы ПТС прошли все виды испытаний, в том числе при использовании в спутниковых и радиорелейных каналах.

В соответствии с проектом создания системы цифрового телевизионного вещания в России разработан номенклатурный ряд земных станций, обеспечивающих передачу и прием телевизионных программ. Предложено четыре основных класса таких земных станций (ЗС).

1. ЗС первого класса предназначены для приема сигналов, передаваемых по стандарту DVB-S и аналогового вещания телевизионных программ по стандарту SECAM которые могут приниматься практически всеми телевизорами, имеющимися у населения России и странах СНГ.

2. ЗС второго класса могут представлять услуги передачи данных (Интернет) и телефонной связи, а также организацию спутниковых трактов передачи от периферийных станций к центральной станции. Такие ЗС можно отнести к мультисервисным станциям с аналоговым вещанием телевизионных программ.

3. Третий класс станций отличается от первого возможностью организации цифрового наземного вещания в стандарте DVB-T.

4. Земные станции четвертого класса будут обеспечивать наземное цифровое и аналоговое вещание и предоставлять услуги передачи данных и телефонной связи.

Каждый из указанных классов земных станций подразделяется на подклассы в зависимости от количества обеспечиваемых при передаче и приеме телевизионных программ и других видов информации.

Анализ развития VSAT-технологий показывает, что Россия сегодня все еще «белое пятно» на карте «висатизации». Задел, который уже создан при организации сетей в России, может стать трамплином для более широкого внедрения этой технологии. Большие надежды в этом отношении возлагаются на запуск ново-

го спутника «Экспресс АМ» с более мощной энергетикой на борту и другими параметрами этого КА, а также усовершенствованием и удешевлением земных станций. Развитие сетей VSAT надо связывать также с уменьшением расходов на строительство и ввод их в эксплуатацию, что напрямую связано со стоимостью разрешительной документации (более 6 тыс. долл. на одну станцию VSAT).

3.6. Спутниковые мультисервисные телекоммуникационные сети

Спутниковые мультисервисные сети (СМТС) могут создаваться на основе объединения систем телефонной сети общего пользования (ТСОП), общегосударственных и корпоративных систем передачи данных, кабельных и наземных сетей телерадиовещания

Спутниковые мультисервисные телекоммуникационные сети будут обеспечивать доступ в Интернет любому пользователю, имеющему выход одной из перечисленных выше систем. При этом спутниковые системы обеспечивают возможность включения удаленных локальных сетей в общую сеть страны и глобальную сеть [3.10].

Для регионов России с низкой плотностью населения, сложными географическими, климатическими и природными условиями мультисервисная сеть может быть построена на основе спутниковых телекоммуникационных систем.

Одной из первых попыток создания спутниковых мультисервисных телекоммуникационных сетей является реализуемая в настоящее время сеть в Дальневосточном Федеративном округе. Практическая реализация этого проекта началась с полуострова Чукотки, где к концу 2003 г. было установлено 47 станций типа VSAT, которые оборудуются для предоставления полного набора услуг. В почтовых отделениях связи устанавливаются компьютеры, позволяющие реализовывать доступ в Интернет. Жители Чукотки в настоящее время уже получают три центральные программы и одну местную. В Магаданской обл. 80% населения имеет доступ в Интернет через спутниковую линию. С марта 2003 г. началось активное строительство приемопередающих телевизионных и радиовещательных станций и перевод федерального телерадиовещания на цифровые методы доставки программ.

Спутниковые мультисервисные системы будут в дальнейшем развиваться в первую очередь в труднодоступных регионах Рос-

сии — в Сибири, на Северном Кавказе, Архангельской обл., Республике Коми.

Одним из главных достоинств мультисервисных телекоммуникационных сетей является их высокая пропускная способность, позволяющая передавать все возрастающие объемы интегрированных цифровых потоков, пакеты видео и аудиосигналов, факсимильных сообщений, мультимедийной и иной информации.

К настоящему времени разработан системный проект, предусматривающий создание спутниковой мультисервисной телекоммуникационной сети Дальневосточного Федеративного округа (СМТС ДФО). На первом этапе планируется установить около 150 земных станций спутниковой связи, что позволит обеспечить охват всех краевых, республиканских и областных центров ДФО, а также труднодоступных населенных пунктов, не имеющих развитой инфраструктуры связи. Распределительную сеть телерадиовещания предусматривается создавать на основе ЗС с цифровыми ресиверами и наземных передающих ретрансляторов, обеспечивающих передачу до четырех телевизионных и трех радиовещательных программ. Эта сеть будет охватывать до 1000 населенных пунктов. Так как используемые сейчас населением приемники являются аналоговыми, то будет осуществляться постепенная замена их на цифровые. Программное обеспечение процессора управления таким приемником рассчитано на возможность в ближайшем будущем установки дополнительной цифровой платы для приема наземного телевидения стандарта DVB-T.

При формировании спутниковой мультисервисной телекоммуникационной сети рассматриваются два варианта ее построения. Первый вариант на основе стандарта DVB-S, предусматривает передачу цифровых сигналов при использовании сигналов 4-ФМ. Второй вариант — с применением сигналов с 8-позиционной фазовой манипуляцией — 8-ФМ. Второй вариант обеспечивает дальнейшее повышение пропускной способности, а значит и перспективу развития сети. Окончательный вариант еще не выбран, однако интегрированный приемник-демодулятор проектируется по универсальной схеме, позволяющей принимать сигналы 2-ФМ, 4-ФМ или 16-КАМ.

Упрощенная структура системы включает в себя: передающий земной комплекс на основе станций ФГУП «Космическая связь», обеспечивающий передачу федеральных программ, федеральные спутники связи, центральную приемно-передающую станцию ДФО, космический сегмент СМТС-ДФО на спутниках

96,5° в.д., 80° в.д. и 145° в.д. позиций, приемные станции СМТС и местные сети аналогового и цифрового телерадиовещания.

Структурная схема узловой приемной станции СМТС ДФО содержит: антенну, конвертер-усилитель, интегрированный приемник-демодулятор (ИПД). В состав ИПД входят: ресивер, демодулятор, детектор кодозащиты, дескремблер и несколько декодеров MPEG-2 (по числу принимаемых цифровых телерадиовещательных программ). Ресивер выделяет из общего транспортного потока одну из цифровых программ, восстанавливает и преобразует в аналоговый сигнал. При наличии цифрового приемного устройства программа распределяется по цифровой кабельной сети, либо через местный ретранслятор в соответствии с возможностями пользователя. Интегрированный приемник – демодулятор при наличии современной кабельной сети может обеспечивать комплекс мультимедийных услуг. Заслуживает внимания тенденция внедрения передвижных станций сбора новостей, позволяющих быстро развернуть на месте событий и передать репортаж через спутник в центр. Для этого используются рабочие частоты Ки диапазона в полосе 14 ГГц на радиолинии Земля–ретранслятор и в полосе 11 ГГц на линии ретранслятор–Земля.

Список литературы гл. 3

3.1. Мамаев Н.С., Мамаев Ю.Н., Теряев Б.Г. Цифровое телевидение. – М.: Горячая линия–Телеком, – 2001.

3.2. Колюбакин В. Центр компрессии и мультиплексирования сигнала ФГУП «Космическая связь» на Шаболовке // ТЕЛЕ-спутник. – 2002. – № 12.

3.3. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений / А.В. Дворкович, Ю.Б. Зубарев, Г.Н. Мохин, В.П. Нечепаяев, Н.П. Новинский; под ред. Ю.Б.Зубарева и В.П. Дворковича. – М.: Международный центр научной и технической информации. – 1997.

3.4. Банкет В.П. Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и Связь, 1988.

3.5. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correction coding and decoding: Turbo codes // Proc. IEEE Int/ Conf. On Communications. – Geneva, Switzerland, 1993. – May.

3.6. Мамаев Н.С. Спутниковое телевизионное вещание. – М.: Радио и Связь, 1998.

3.7. Дьячкова М.Н., Соколов А.В. Пропускная способность спутникового линейного тракта при передаче сигналов цифрового телевидения // Электросвязь, 2001. – № 7.

3.8. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь: Пер. с англ. / Под ред. В.В. Маркова. – М.: МИР, 1984.

3.9. Анпилов В.Р., Кукк К.И. ИнтерформКурьер Связь (ИКС) // VSAT в мире и России, 2001. – № 8.

3.10. Головин О.А., Мамаев Н.С. Использование сетей спутниковой связи станций VSAT при чрезвычайных обстоятельствах // PC WEEK. – 2002. – № 9. – С. 18–19.

3.11. Кукк К.И. Построение наземных спутниковых приемников цифровых сигналов по стандарту DVB с использованием турбокодов. Учеб. пособие. Министерство Образования РФ Московский Государственный Институт Радиотехники, Электроники и Автоматики. – М.: 2003.

4. КАБЕЛЬНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

4.1. Развитие кабельного телевидения в России

Кабельное телевидение, которое совсем еще недавно рассматривалось как революция в телевизионной индустрии, на самом деле родилось практически одновременно с началом телевизионного вещания и прошло ряд этапов своего развития.

Опытная эксплуатация первых систем телевизионной трансляции по кабелям в СССР состоялась в 1938–1939 годах, однако массовое развитие такие системы получили значительно позже. В начале 1950-х годов в США стали строить первые системы кабельного телевидения (КТВ) на основе коаксиального радиочастотного кабеля. В России интерес к кабельному телевидению резко вырос в конце 1980-х годов, что связано с необходимостью повышения качества телевизионного изображения, потребностью общества в расширении распространения информации в электронном виде, а также интенсивным проникновением передовых западных технологий в области телевидения на российский рынок.

Создание кабельных сетей на сотни тысяч пользователей, как показывает опыт Европы, оправданы для крупных городов с населением 0,5...1 млн. жителей и более. Несмотря на большие сроки окупаемости (8...10 лет), такие сети выгодны и с экономической точки зрения, так как современные оптоволоконные и коаксиальные сети, а также распределительные и усилительные элементы обеспечивают необходимые параметры в течение длительного времени.

В России для городов-миллионников и крупных административных центров такой путь вполне приемлем. Учитывая большие просторы России и невысокую плотность населения во многих регионах (север европейской части страны, Якутия, Магадан, Красноярский край и др.), сравнительно небольшие кабельные сети до нескольких тысяч пользователей будут востребованы в местах компактного проживания населения (небольшие города, рабочие поселки). В городах-спутниках, расположенных вблизи крупных центров, по-видимому, будут по-прежнему популярны системы MMDS, представляющие собой симбиоз спутниковых,

наземных и кабельных сетей. Остальная часть населения России, в том числе и сельское население страны, будут получать много-программное телевидение и радиовещание по наземной (эфирной) сети.

Групповые и индивидуальные сети с распределением программ в полосе 0,95...2,15 ГГц будут широко применяться в престижных дачных поселках.

Для того чтобы дать представление о современном кабельном телевидении, целесообразно рассмотреть основные этапы развития КТВ, его достоинства по сравнению с наземным телевидением, определить некоторые перспективы развития КТВ.

4.1.1. Основные этапы развития кабельного телевидения

При рассмотрении развития приемных телевизионных сетей крупных городов [4.1] было выделено четыре основных этапа: от индивидуальных наружных антенн (1-й этап) до систем КТВ (4-й этап). Одной из главных задач первого этапа являлось внедрение КТВ, особенно в городах (наряду с улучшением приема сигналов за счет применения более эффективных многоэлементных широкополосных антенн на подъезд, а также улучшения эстетического вида домов, так как устраняется беспорядочный лес индивидуальных антенн).

В крупных городах с многоэтажной застройкой с удлинением кабельной распределительной сети появилась необходимость установки дополнительных усилителей.

Завершающим периодом этого этапа явилось создание в конце 1970-х годов в Москве, С.-Петербурге и других крупных городах кабельных сетей, позволяющих распределять телевизионные и радиовещательные программы с аналоговыми сигналами в полосе частот 40...240 МГц.

На первом этапе основной целью кабельного телевидения было обеспечение высококачественной ретрансляции телепрограмм той группе абонентов, которая из-за наличия объективно существующих помех не имела возможности нормального просмотра телепрограмм. Широкое распространение получили домовые кабельные сети, объединяющие жителей одного подъезда многоэтажного жилого дома.

На втором этапе создаются сети, объединяющие абонентов микрорайона и нескольких микрорайонов с числом пользователей до 10 000. В крупных городах России (Москва, С.-Петербург, Ростов-на-Дону) создаются кабельные сети, охватывающие целые

районы с десятками и сотнями тысяч жителей. Телевизионное вещание ведется в метровом диапазоне волн, что ограничивает число программ (теоретически не более 12, а практически с учетом требований электромагнитной совместимости – не более 6). Кабельные сети коллективного приема телевизионного вещания в крупных городах практически вытесняют индивидуальный прием телевизионных программ.

На следующем этапе развития КТВ определяющим фактором стало резкое увеличение числа подаваемых телепрограмм, как за счет расширения диапазона частот телевизионного вещания в область дециметрового диапазона волн, так и путем организации местных студий, обеспечивающих создание информационных, рекламных и развлекательных программ. В связи с началом коммерческой трансляции развлекательных программ встала задача получать абонентскую плату с пользователей таких программ. С этой целью стало использоваться кодирование программ на студии и их декодирование абонентами с помощью специальных устройств.

В последние годы начался новый 4-й этап, на котором российским пользователям КТВ предоставляются дополнительные возможности. К их числу относятся: пользование сетью Интернет, электронной почтой и другие услуги. Для обеспечения этого в современных сетях КТВ реализуется обратный канал, по которому передается информация от пользователя на центральную станцию. *Такой канал создает принципиально новые системы телевидения – так называемое интерактивное, при котором пользователь может не только осуществлять выбор одной из телевизионных программ, но и передавать большой объем информации на центральную станцию и другим абонентам сети.*

Возможность подачи сигналов от абонентов к центру обеспечивает расширение функций коммерческого телевидения, в котором за каждую дополнительную услугу берется отдельная плата. Перечень таких услуг весьма широк и может включать заказ авиационных и железнодорожных билетов, номеров в гостинице, разнообразные банковские операции и многое другое. В сетях КТВ нового поколения предполагается внедрение двусторонней, в том числе широкополосной, связи между двумя любыми абонентами своей системы, подключение к сети Интернет и другие услуги.

На данном этапе началось внедрение в сеть распределения цифровых телевизионных программ, принимаемых со спутников «Бонум», LMI, работающих на Россию, а также западноевропей-

ских. Для Москвы компания «Космос-ТВ» внедрила распределение цифровых телевизионных программ по системе MMDS (см. гл. 1). Характерной особенностью последних трех этапов является применение головных станций различной мощности от 100 до 100 000 пользователей.

4.1.2. Основные направления развития кабельного телевидения

Наряду с развитием систем спутникового и наземного телевидения наблюдается интенсивный рост количества самых современных сетей кабельного телевидения. Это особенно характерно для таких больших городов России, как Москва и Санкт-Петербург.

Главными преимуществами широкополосных интегрированных оптико-коаксиальных кабельных сетей перед другими являются:

- практически неограниченное число передаваемых телевизионных программ в аналоговом и цифровом виде;
- высокая помехозащищенность сигналов и возможность организации двусторонней связи от головной станции к абоненту и обратно.

Ряд фирм предлагают оборудование, обеспечивающее передачу данных от абонента со скоростью 2048 кбит/с и совместимое с системой ISDN (Intergrated Services Digital Network – цифровая сеть с интегрированными услугами). В кабельных каналах передачи данных может быть обеспечена любая степень защиты от несанкционированного включения другими лицами. Это обстоятельство особенно привлекательно для силовых ведомств (Мин обороны, МВД и др.) и многих коммерческих структур.

Интерактивные (двусторонние) системы телевидения получили особенно широкое распространение в Канаде и США, функционируют они и в Европе: в Германии, Австрии, Болгарии, Эстонии, Польше и Финляндии. Как показала практика, эти системы, несмотря на их высокую стоимость (от 100 до 400 тыс. долл. в зависимости от вида услуг и фирмы-производителя), окупаются за 8–10 месяцев при использовании их в гостиничных комплексах высшей категории на 200 номеров за счет предоставления пользователям платных услуг.

Кабельная сеть Австрии функционирует в Инсбруке и Вене. В Вене она обслуживает около 400 тыс. абонентов, в Дрездене (Германия) – 200 тыс., в Софии (Болгария) – 320 тыс., в Таллинне

(Эстония) – более 64 тыс. абонентов. Эти сети работают на оборудовании фирмы Hirschmann.

Проектировщики кабельных сетей при выборе оборудования вынуждены учитывать ряд факторов, в частности:

- возможность перспективного развития сети;
- особенности монтажа и наладки системы на конкретной территории;
- срок эксплуатации сети, который, как правило, должен быть не менее 10 лет;
- возможность контроля и мониторинга сети в процессе ее эксплуатации и оперативного резервирования вышедших из строя участков;
- эксплуатационные характеристики (стоимость оборудования, проекта, монтажных и наладочных работ, а также последующей эксплуатации);
- возможность сопряжения с другими кабельными сетями при укрупнении.

Поэтому и подготовительный этап, связанный с обоснованием задания, и этап проектирования крайне важны для правильной оценки долговечности сети и ее окупаемости.

В настоящее время специалистами в области телевизионного вещания разрабатывается концепция организации глобальной интерактивной телевизионной сети, в которой основными элементами будут наземные и кабельные сети, а также геостационарные спутники с многолучевыми антеннами. В соответствии с этой концепцией предполагается всю населенную территорию земного шара разделить на несколько географических зон (геодомов). В каждой из этих зон будет создана центральная сеть с волоконно-оптическими линиями связи, локальными сетями кабельного телевидения, компьютерными сетями и подвижными средствами радиосвязи. Таким образом, сформируется глобальная иерархическая многоуровневая сеть, нижним уровнем которой будут локальная и городская сети.

Примерные этапы создания такой глобальной сети.

1. Создание локальных кабельных сетей малой и средней протяженности для крупных жилых зданий, близко расположенных групп зданий. При этом в начале эксплуатации пользователи смогут получать до 10–20 каналов, а в дальнейшем – до 50 каналов, учитывая, что локальная сеть проектируется в полосе от 5 до 860 МГц.

Для малонаселенных районов (поселков, совхозов, сел и других населенных пунктов) предназначается оборудование малоканальных установок спутникового и наземного телевидения, кото-

рое будет устанавливаться в домах культуры, школах и других общественных зданиях на 4–16 ресиверов (спутниковых приемников) и телевизоров.

2. Объединение небольших локальных сетей в больших городах, а также в поселках, районных и областных центрах в общую кабельную сеть. Подобная сеть уже существует в Ленинградской области под эгидой ассоциации «Облтелесети», объединившая практически всех операторов этого региона. Такие объединения позволяют выработать единую техническую политику и находить оптимальные решения как при создании единой сети, так и на последующих этапах ее модернизации.

3. Создание единой городской (для сельской местности – районной) сети кабельного телевидения с последующим включением ее в областную (региональную) сеть. Для России такое объединение возможно, по-видимому, лишь в регионах с хорошо развитой сетью радиорелейных и кабельных волоконно-оптических широкополосных линий связи, позволяющих передавать десятки и сотни телевизионных каналов. Перевод на цифровые методы телевизионных сигналов облегчит реализацию этого этапа программы.

Для отдаленных и малонаселенных регионов, в которых отсутствуют волоконно-оптические линии связи, задача многопрограммного телевизионного вещания может решаться путем разумного компромисса по приему спутниковых программ на малые земные станции типа VSAT, распределения их в пределах зон компактного проживания населения по кабельным каналам и при помощи наземных ретрансляторов. Между отдаленными поселками ретрансляция сигналов может быть организована при использовании радиальных сотовых сетей в диапазонах 27...29,5 и 40,5...43,5 ГГц. В таких регионах достаточно широкое распространение могут получить телевизионные ретрансляторы дециметрового диапазона (2500...2700 МГц), позволяющие передавать пользователю в полосе 200 МГц до 24 аналоговых каналов в стандартах PAL, SECAM.

В некоторых регионах России и Западной Европы уже действуют отдельные участки будущей глобальной сети.

Оптико-коаксиальная интерактивная сеть кабельного телевизионного вещания в муниципальном округе Дорогомилово (Москва) построена по современной структурной схеме, предусматривающей монтаж оптоволоконного кольца вокруг Центральной головной станции. От этого кольца в специальных оптических муфтах (иногда их называют «периферийными головными станциями») производятся разветвления к локальным и местным се-

тям. Это может быть как один большой жилой дом, так и группа домов, информация для пользователей поступает туда по коаксиальным магистральным и субмагистральным линиям.

На первом этапе эксплуатации к сети подключено около 9000 абонентов. В дальнейшем предусмотрено развитие сети до нескольких десятков тысяч пользователей. В гибридной кабельной сети может быть передано до 60 аналоговых телевизионных программ и в 3–4 раза больше цифровых программ при сжатии сигнала по методу MPEG-2. Планируется передача радиовещательных сигналов ЧМ в диапазонах 68...78 МГц и 88...108 МГц, а также организация специальных каналов передачи данных.

Обратные каналы от пользователей формируются в полосе от 5 до 30 (60) МГц. С их помощью может быть реализован ряд дополнительных услуг, в том числе и предоставление доступа в систему Интернет.

В кабельной сети Дорогомилово использовано оборудование немецких фирм, проектирование, монтаж, настройку и ввод в эксплуатацию которого выполнила фирма «Телевик» (Москва).

В Калининграде, самом западном регионе России, ведется строительство интерактивной сети кабельного телевидения, первый участок (на 9000 абонентов) которой предполагалось сдать в эксплуатацию в конце 1998 г. Центральная станция сети будет передавать широкополосные сигналы в световом диапазоне (1,310 нм) по волоконно-оптическим линиям. На стыке оптического приемника и коаксиальной сети после преобразования в рабочий диапазон (5...860 МГц) телевизионные сигналы вводятся в локальные и местные кабельные сети с числом абонентов до 10 тыс. Общее число пользователей, подключаемых на первом этапе, составит около 40 тыс. В сети используется оборудование фирм IkuSi (Испания) и WiSi (Германия).

Основным достоинством кабельной сети телевизионного вещания является обеспечение высокого качества сигнала, которое в ряде случаев для наземного вещания является труднодостижимым. Причиной тому являются помехи наземному (эфирному) телевизионному приему, с которыми весьма трудно бороться. (Более подробно см. гл. 1.)

Очевидно, что радикальным путем борьбы с перечисленными и многими другими видами помех является распространение телевизионного сигнала по кабельным сетям.

В системах КТВ становится экономически целесообразным применять достаточно сложные антенны, а также внедрять конвертеры для преобразования сигналов на частоту другого теле-

визионного канала с целью борьбы с опережающими повторами. Кроме того, с помощью КТВ можно рационально организовать прием телевизионного вещания с нескольких телецентров, со спутников, а также поступающего по радиорелейным и другим системам связи. Эти факторы позволяют не только повысить качество телевизионного приема, но существенно увеличить количество принимаемых программ.

Таким образом, современное кабельное телевидение представляет собой систему сбора различных телевизионных и радиовещательных программ, сигналов от систем передачи данных и их распределение с использованием кабельных, радиорелейных и волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) с высоким качеством большому числу абонентов. Один из основных факторов, сдерживающих развитие кабельного телевизионного вещания – это обеспечение высокого качества программ при существенных ограничениях на стоимость сети.

Разрешение этого противоречия возможно при правильном выборе структуры сети КТВ и оборудования, используемого при ее реализации.

4.2. Классификация систем кабельного телевидения

Системы кабельного телевидения можно классифицировать по числу абонентов, видам и протяженности распределительных линий, источникам телевизионных сигналов, числу программ и по другим параметрам.

В зависимости от сложности, протяженности и числа абонентов распределительной сети КТВ условно подразделяются на четыре категории [4.2].

К первой категории относят простые распределительные сети, в которых число абонентов не превышает 100. Такая сеть обеспечивает распределение телевизионных сигналов в многоэтажном жилом доме или группе близко расположенных жилых домов. Простая распределительная сеть состоит из распределительной (магистральной) линии, магистрального ответвителя, обеспечивающего согласование при распределении сигнала между абонентскими линиями, абонентских распределительных устройств, расположенных на лестничной клетке каждого этажа здания, и абонентских линий, передающих сигнал потребителям. Для компенсации потерь сигнала в сетях первой категории может использоваться широкополосный телевизионный усилитель.

В случае необходимости распределения программ как от сети наземного вещания, так и от спутников, используются малоканальные головные станции, преобразующие сигналы принятых телевизионных программ в один из каналов метрового диапазона.

Распределительные сети первой категории могут быть построены и без головной станции, если они выполняют лишь функции распределения спутниковых программ в полосе 950...2150 МГц либо наземного телевидения в полосе 40...860 МГц. Подобные сети рассмотрены в разд. 4.5. Следует отметить, что в таких сетях часто не выполняются основные требования к техническим характеристикам сети.

В сетях первой категории распределяются, как правило, программы только наземного телевидения. В остальных сетях распределяются телевизионные и радиопрограммы как от наземного телевидения и радиовещания, так и со спутников.

В сетях *второй категории* число абонентов может достигать 1000. Их применяют в больших жилых и общественных зданиях, а также в группе близко расположенных зданий. В таких сетях могут использоваться два последовательно включенных усилителя, обеспечивающие требуемый уровень сигнала на входе телевизионных приемников.

В распределительных сетях *третьей категории* число абонентов может достигать 10 000. Это крупные распределительные системы коллективного приема кабельного телевидения, позволяющие обслуживать население целого микрорайона. Системы третьей категории характеризуются трехступенчатой распределительной сетью. В таких системах могут использоваться пилотное регулирование уровня сигнала, а также двунаправленная (от головной станции к абонентам и обратно) передача.

К *четвертой категории* относятся распределительные сети с числом абонентов, превышающим 10 000. Такие структуры образуются при объединении сетей КТВ нескольких микрорайонов.

В зависимости от технического оснащения в сети КТВ может транслироваться различное число телевизионных программ.

В сетях первой и второй категории обычно транслируются только программы наземного телевидения. Ввиду относительно небольшого количества абонентов включение в состав таких сетей станций приема спутникового телевидения пока является нерентабельным. Число транслируемых программ ограничивается техническими возможностями головной станции.

Абоненты сетей третьей и четвертой категории наряду с программами наземного телевидения, как правило, имеют возможность принимать программы местных новостей, справочные, спортивные и учебные программы. Учитывая достаточно большое число абонентов, в таких сетях становится рентабельной организация вещания программ спутникового телевидения на коммерческой основе.

В зависимости от протяженности распределительных линий и числа абонентов для передачи сигналов используются коаксиальные кабели и волоконно-оптические линии. Преимущество волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) по сравнению с коаксиальными кабелями заключается в возможности передачи сигналов с малыми потерями и в широкой полосе частот. В то же время по экономическим соображениям применение ВОЛС может быть целесообразным лишь при достаточно большом числе абонентов.

Основными элементами сети КТВ являются: приемные телевизионные антенны, антенные усилители, головные станции (ГС), а также распределительные сети, включающие кабельные магистральные и распределительные линии, магистральные усилители, ответвители, домовые распределительные сети. Головные станции в свою очередь включают: усилители, конвертеры, сумматоры, направленные ответвители и другие элементы.

Современные сети КТВ обычно оснащены устройствами автоматического поддержания стабильности параметров сигнала, передаваемого по распределительной сети, а также кодирующими (декодирующими) устройствами и системами автоматического резервирования основных элементов.

Число телевизионных программ зависит от видов источников сигналов и в случае приема только сигналов наземного телевидения, как правило, не превышает 10–20. Если в составе головной станции имеется спутниковый приемник, то число транслируемых каналов может достигать 40–50 и практически ограничивается полосой пропускания кабельной сети, а также техническими возможностями абонентских телевизионных приемников. Для сети КТВ с большим количеством абонентов (10 тыс. и более) в состав головной станции обычно включают небольшую телевизионную студию, позволяющую формировать местные программы.

Структура сети КТВ определяется как расположением головной станции и абонентов, так и необходимостью выполнения дополнительных функций, например, обеспечения обратных каналов и сервисных услуг, в том числе подключения к сети Интернет и др.

Для сети, основным назначением которой является прием сигналов наземного телевидения и их распределение абонентам, приемные антенные системы и аппаратуру головной станции стараются разместить на одном из наиболее высоких зданий из входящих в систему и находящемся, по возможности, ближе к центру «тяжести» распределения абонентов. При этом также учитывается наличие мешающих эхо-сигналов, подземных коммуникаций, связывающих данное здание с другими зданиями сети КТВ, возможность дальнейшего расширения кабельной сети и объединения нескольких систем в одну более крупную.

4.3. Структурные схемы и основные элементы сетей КТВ

Основными требованиями, предъявляемыми к различным вариантам сетей КТВ, являются минимально возможное ослабление и искажение телевизионных сигналов при их передаче абонентам, наименьшая стоимость создания и эксплуатации сети, а также возможность ее дальнейшего расширения.

К числу дополнительных требований могут быть отнесены следующие: подключение к сети Интернет, наличие обратных каналов связи (интерактивное телевидение) и др. В современных сетях КТВ используются структуры трех видов: радиальные, древовидные и кольцевые. Наибольшие возможности по реализации дополнительных функций представляют системы кольцевого типа.

Практическое применение той или иной сети определяется сложившейся структурой расположения пользователей, а также ее назначением.

4.3.1. Структурные схемы сетей КТВ

Структура сети КТВ прежде всего зависит от числа абонентов и ее протяженности. При небольшом числе абонентов (сеть низшей категории) наиболее часто используются *системы радиального типа*. Структура такой сети приведена на рис. 4.1. В схеме радиального типа абонентские линии соединяют каждого абонента непосредственно с головной станцией, а сигналы телевизионных каналов различаются по частоте. Преимуществом такой системы является возможность коммутации каналов не у абонентов, а на головной станции. В этом случае из телевизионного приемника исключается блок переключения телевизионных программ. Ее недостатком является большая протяженность абонентских линий, что приводит к необходимости использования усилителей-корректоров.

Первые сети КТВ, построенные по радиальной схеме, позволяли организовать до 12 телевизионных каналов для передачи широкоэмитательных программ, а также местные новости, учебные, спортивные передачи и т.д.

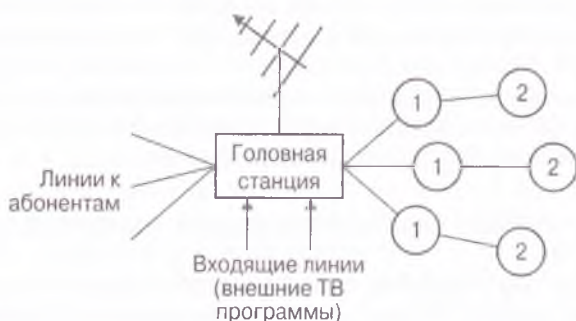


Рис. 4.1. Системы кабельного телевидения радиального типа:

1 – усилители-корректоры; 2 – абоненты

Радиальная структура сети КТВ по конфигурации напоминает телефонную сеть, что позволяет использовать для прокладки телевизионного кабеля существующую телефонную канализацию, а в будущем – создает предпосылки для интеграции этих сетей.

Разновидностью радиальной схемы построения сети КТВ является *многозвенная структура*, при которой в линию включаются усилительно-распределительные пункты, обеспечивающие распределение сигналов группе абонентов (в пределах небольшого жилого дома или подъезда).

Наиболее распространенной является *древовидная структура* КТВ (рис. 4.2). Ее характерной особенностью является подключение к головной станции магистральных линий распределения сигналов с усилителями-ответвителями, от которых в свою очередь отходят субмагистральные линии, распределяющие сигнал к абонентам через разветвители.

Как путь совершенствования древовидной сети может рассматриваться гнездовая схема. Ее особенность заключается в том, что к основной головной станции древовидной сети подключаются несколько более простых дополнительных гнездовых станций, каждая из которых представляет собой сеть кабельного телевидения более низкого уровня. Отдельные гнездовые схемы могут располагаться на достаточном удалении от ГС, что препятствует

непосредственной передаче сигналов по обычной магистральной кабельной линии. Поэтому сигнал передается по волоконно-оптическому кабелю или с использованием радиорелейной линии.

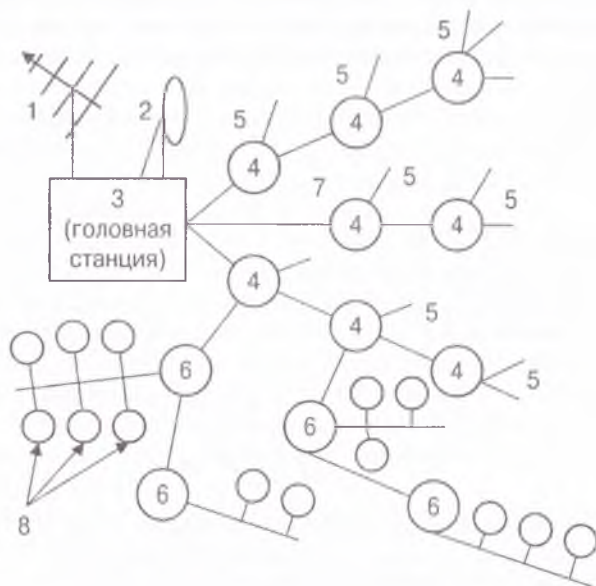


Рис. 4.2. система кабельного телевидения древовидного типа:

1, 2 – приемные антенны наземного и спутникового телевидения;
3 – головная станция; 4 – усилители-ответвители; 5 – распределительные линии;
6 – разветвители, 7 – магистральные линии; 8 – абоненты

За счет оптимизации структуры гнездовой сети можно минимизировать затраты при условии обеспечения заданных заказчиком требований на объем услуг. При рациональном выборе мест размещения дополнительных головных станций существенно сокращается протяженность магистральных и распределительных сетей, число усилителей и других дополнительных элементов. Все это позволяет повысить качество сигнала и сократить расходы на создание сети.

Необходимо отметить, что как в радиальной, так и в древовидной системе при необходимости создания обратного канала потребуются применение дополнительных технических средств. Организацию двустороннего обмена информацией без дополнительных технических средств могут обеспечить *структуры кольцевого типа*. Магистральная линия при этом прокладывается по

кольцевой трассе, т.е. вход и выход магистрали заводят на узел коммутации (рис. 4.3). Это позволяет передавать прямой и обратный сигнал по одним и тем же каналам в одну сторону. Пассивные (принимающие) и активные (передающие) абонентские отводы подключаются через ответвители или включаются в концентраторы, располагающиеся на кольцевой магистрали.

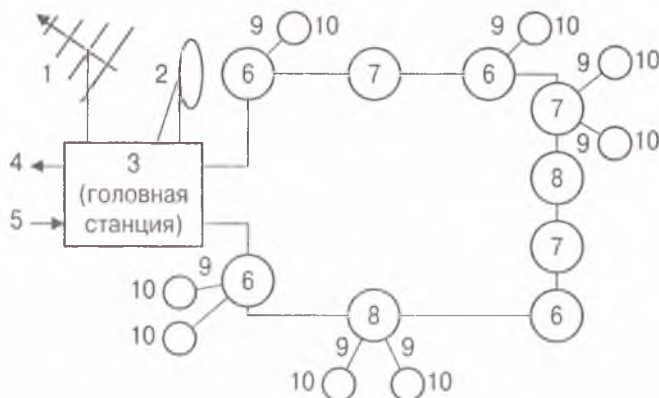


Рис. 4.3. система кабельного телевидения кольцевого типа:

1, 2 – приемные антенны наземного и спутникового телевидения;
3 – головная станция; 4, 5 – входящие и исходящие линии связи;
6 – разветвители; 7 – усилители-корректоры; 8 – концентраторы;
9 – абонентские отводы; 10 – абоненты; 11 – кольцевая магистраль

Построение системы по кольцевой схеме расширяет ее возможности, так как одни и те же каналы используются в прямом и обратном направлении. В случае применения в системе дополнительного кабеля, появляется возможность по одному кабелю передавать информацию в прямом направлении, а по второму передавать в обратном направлении не только узкополосные, но и широкополосные сигналы.

4.3.2. Основные элементы сетей КТВ

Анализ структуры построения сетей КТВ показывает, что в их состав входят следующие элементы: головная станция, усилители (магистральные, усилители-корректоры и др.), ответвители, разветвители, а также линии (магистральные, субмагистральные, абонентские), обеспечивающие соединение составных частей сетей.

Головная станция (ГС) обеспечивает обработку (прием, усиление, преобразование частоты) и распределение сигналов телевизионного и ЧМ-радиовещания, поступающих от приемных антенн, а также сигналов спутникового телевидения. Кроме того, головная станция позволяет формировать местные телевизионные программы. Головная станция в зависимости от ее назначения может включать ряд элементов – антенные и приемные устройства наземного, спутникового, телевизионного и радиовещания, конвертеры, студийное оборудование (видеокамеры, видеомагнитофоны, микрофоны и др.), коммутаторы, а также усилители различного назначения, включая выходные.

Первые отечественные ГС серий 100 и 200 обеспечивали прием не более пяти телевизионных программ, а также сигналов ЧМ-радиовещания в диапазоне частот 66...74 МГц. Станция серии 100 предназначена для работы в сети КТВ с числом абонентов до 3000. В этих станциях использовалось однократное преобразование рабочей частоты, что ограничивает выбор каналов, которые могут использоваться для трансляции телевизионных программ вследствие «поражения» некоторых каналов продуктами преобразования.

Головная станция серии 200 относится ко второму поколению и предназначена для работы в сетях КТВ, обслуживающих до 10 тыс. абонентов. В этой станции используется двукратное преобразование частоты, что снимает ограничения по преобразованию каналов с одной частоты на другую и обеспечивает более высокое, чем в ГС серии 100, качество телевизионных программ за счет низкого уровня комбинационных частот, а также более высокой избирательности по зеркальному каналу и промежуточной частоте. Диапазон рабочих частот станций серий 100 и 200 соответствует 1–3 телевизионным диапазонам (48,5...230 МГц).

Головные станции серии 300 являются более совершенными, разработаны на основе современной элементной базы и обеспечивают создание телепрограмм на головной станции КТВ, сервисное обслуживание и др. Полоса частот передаваемых станцией сигналов расширена и составляет от 5 до 300 МГц. Частоты 48...300 МГц используются для передачи телепрограмм и сигналов ЧМ-вещания, причем в полосах частот 110...174 и 230...300 МГц организованы 16 специальных внутрисистемных телевизионных радиоканалов со стандартной полосой частот 8 МГц. Частоты 5...30 МГц отведены для организации обратных каналов от абонентов к головной станции КТВ.

Если не удастся расположить оборудование ГС поблизости от приемных антенн, то для сохранения уровня сигнала используются маломощные усилители, включаемые в тракт между антенной и оборудованием головной станции. Установка таких усилителей также целесообразна в районах с низкой напряженностью поля принимаемых сигналов.

Наряду с отечественными головными станциями широкое применение нашли в России ГС различных зарубежных фирм.

Современные головные станции производятся фирмами WISI (Германия), «Терра» (Литва), IRCO (Испания).

Головная станция фирмы WISI – широкополосная комбинированная ГС, позволяет принимать весь спектр передаваемых телевизионных сигналов (45...2050 МГц) и обеспечить передачу большого числа программ во всем телевизионном диапазоне частот (5...862 МГц). Высокая помехоустойчивость по соседнему каналу (более 60 дБ) позволяет оптимально использовать телевизионный диапазон частот.

Станция имеет модульное построение и состоит из базового модуля OV50 на 10 каналов, телевизионных модуляторов OV33 VHF/OV35 UHF, конвертера эфирных каналов OV43 VHF/OV45 UHF, приемника-модулятора спутникового телевидения OV53 VHF/OV55 UHF (моно) и OV83 VHF/OV85 UHF (стерео), а также ЧМ усилителя OV22. Станция обеспечивает работу в стандартах D/K, B/G, I, L, M, N, имеет автоматическую установку параметров.

Комбинированная станция фирмы «Терра» [4.3] обеспечивает трансляцию программ спутникового и наземного телевидения, имеет модульную конструкцию, автоматическую диагностику состояния элементов станции. Станция состоит из приемника-модулятора спутникового телевидения RS10, телевизионного модулятора MT06 и конвертера телевизионных сигналов CT06. Диапазон входных частот приемника спутникового телевидения 920...2050 МГц, модулятор и конвертер телевизионных сигналов работают в стандартах D/K и OIRT, обеспечивают трансляцию выходных каналов 1-2/3-5/S1-S8 6-12/S11-S18/S19-S37/S21-41. Благодаря использованию в станции фильтров на поверхностно-акустических волнах (ПАВ) реализуется высокая селективность каналов.

Станция фирмы IRCO предназначена для приема и трансляции сигналов наземного телевидения. Она состоит из одноканальных усилителей I-441, I-501 (частотные каналы C2-C4), I-443, I-503 (частотные каналы C5-C12), I-444, I-504 (частотные каналы C21-C65) и линейных источников питания IP-08 и IP-22. Выходной уровень сигнала станции 121 дБмкВ (в усилителях 400 серии) и

125 дБмкВ (в усилителях 500 серии), обеспечивается регулировка коэффициента усиления в пределах 0...20 дБ.

Конвертеры служат для преобразования частоты сигналов из одного телевизионного канала в другой с целью исключения помех, связанных с просачиванием прямого сигнала наземного телевидения. Конвертеры приемных станций спутникового телевидения преобразуют принимаемые сигналы в стандарты наземного телевидения. В составе ГС HVLS-HS/R четыре конвертера метрового и один дециметрового диапазонов. Конвертеры диапазона МВ выполнены для каналов 1/12, 3/9, 11/4 и 8/2, а конвертер ДМВ выполнен для каналов 33/7.

На входы конвертеров ГС могут быть поданы телевизионные сигналы любого из каналов МВ или ДМВ диапазонов. На выходе эти сигналы посредством двойного преобразования переносятся в полосу частот одного из требуемых каналов МВ диапазона. Конвертирование сигналов позволяет исключить так называемые левые повторы, которые возникают за счет приема «просачивающихся» мощных сигналов от близко расположенных передатчиков.

Выходные сигналы отдельных конвертеров для исключения их вредного влияния друг на друга объединяются с использованием направленных ответвителей. Объединенные выходные сигналы отдельных конвертеров поступают на вход широкополосного усилителя, а затем через разветвитель на два независимых выхода ГС.

Основные характеристики конвертеров телевизионных каналов, производимых фирмой «Терра» [4.3], приведены в табл. 4.1.

С целью обеспечения надежности головная станция имеет два полных комплекта аппаратуры (конвертеров, выходных усилителей и др.), причем оба комплекта подключены к питающему напряжению, т.е. используется так называемое «горячее резервирование». Переключение блоков аппаратуры с рабочего на резервный комплект происходит автоматически.

В профессиональной аппаратуре для обеспечения высокого уровня характеристик используются балансные смесители, гетеродины, стабилизированные по частоте кварцевыми генераторами, фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Многовходовые усилители предназначены для объединения телевизионных сигналов от различных источников (антенн) и выравнивания (при необходимости) их уровней перед подачей потребителям в распределительную сеть. Основные характеристики усилителей приведены в табл. 4.2. Современные усилители имеют 5 или 6 входов, перекрывают в отличие от ранее выпускавшихся весь рабочий диапазон частот наземного телевидения.

Типичное значение уровня выходного сигнала 115 дБмкВ. Выпускаются также устройства МА111–МА113 с повышенным выходным уровнем (119 дБмкВ), в которых применяются двухтактные схемы. Их остальные характеристики аналогичны характеристикам усилителей МА011–МА017. Усилители имеют встроенную тестовую точку, стабилизированный выпрямитель, позволяющий обеспечить питание внешних потребителей, а также защиту и индикацию перегрузки по постоянному току.

Широкополосные домовые усилители разработаны и используются вместо канальных и диапазонных усилителей телевизионных сигналов метрового диапазона волн в сетях распределения телевизионных сигналов в пределах нескольких компактно расположенных небольших домов или одного подъезда многоэтажного дома. Основные характеристики широкополосных усилителей HA203, HA203R30, HA203R65 с питанием от сети, и HD203, HD203R30, HD203R65 с дистанционным питанием, производимых фирмой «Терра», приведены в табл. 4.3 [4.3]. Для обеспечения высокого выходного уровня (117...120 дБмкВ) усилители оснащены двухтактным выходным каскадом. Эти усилители предназначены для средних и больших домовых распределительных систем. Необходимо отметить, что современные домовые усилители имеют широкую полосу рабочих частот (до 862 МГц), а также обратный канал с полосой 5...30 или 5...65 МГц.

Для удобства сопряжения с элементами сети усилители имеют встроенный аттенюатор и корректор наклона АЧХ.

Абонентские разветвители и усилители служат для распределения сигнала из домовой распределительной линии к абонентам и устанавливаются при вводах в дом и на лестничных площадках. Абонентские разветвители могут выполняться по трем вариантам схемного построения: по мостовым схемам с ферритовыми сердечниками; на основе направленных ответвителей с электромагнитной связью; на резисторах, соединенных по схеме «звезда». За счет изменения параметров трансформаторов (ответвителей, резисторов) изменяется коэффициент передачи сигналов.

По мостовым схемам с ферритовыми сердечниками выпускаются отечественные разветвители модификаций РА-102, РА-104, РА-202, РА-204 и УАР-2, УАР-4. Рабочий диапазон частот разветвителей РА составляет 40...240 МГц, а разветвителей УАР – 40...300 МГц. КСВ со стороны входа, выхода и отводов не более 1,25; развязка между двумя отводами в диапазоне частот 48...300 МГц – не менее 20 дБ.

Т а б л и ц а 4.3. Основные характеристики широкополосных домовых усилителей

Технические характеристики	Тип усилителя					
	HA203	HA203R30	HA203R65	HD203	HD203R30	HD203R65
Частотный диапазон, МГц: прямой канал	47-862		87-862	47-862		87-862
обратный канал (пассивный)	-	5-30	5-65	-	5-30	5-65
Коэффициент усиления, дБ,	34					
Неравномерность АЧХ, дБ	±05	±07		±05		±07
Пределы регулировки коэффициента усиления, дБ	20					
Пределы регулировки наклона АЧХ, типовой, дБ	18					
Максимальный выходной уровень IMD3 = 60 dB (DIN45004B)	120 dB μ V					
Максимальный выходной уровень IMD3 = 60 dB (EN50083-3)	114 dB μ V					
Максимальный выходной уровень IMD2 = 60 dB (EN50083-3)	117 dB μ V					
Коэффициент шума, дБ	≤ 7					
Ослабление тестовой точки, dB	-30					
Потребляемая мощность	11 ВA /230 В /50 Гц			5 ВA /24 – 65 В /50 Гц		
Сквозной ток, коммутируемый	-			0,8 А	максимальный	
Диапазон рабочих температур, °C	-20...50					
Габариты / масса (в упаковке)	243×120×53 мм / 0,98 кг			243×120×53 мм / 0,7 кг		

Т а б л и ц а 4.4. Параметры усилителей квартирной разводки, выпускаемых фирмой «Терра»

Технические характеристики		Тип			
		AS033	AS033R30	AS033R65	HS013A
Частотный диапазон	Прямой канал	47...862		87...862	47...400/470...862
	Обратный канал	—	5...30	5...65	—
Коэффициент усиления		16 дБ / 47 МГц; 20 дБ / 862 МГц			22 дБ
Пределы изменения коэффициента усиления		0...–16 дБ			0....–15 дБ/ 0...–12 дБ
Максимальный выходной уровень IMD3 = 60 дБ (DIN45004B)		106 дБмкВ			105 дБмкВ
Максимальный выходной уровень IMD2 = 60 дБ (EN50083-3)		95 дБмкВ			
Входной и выходной коэффициент отражения		≥ 10 дБ			
Коэффициент шума		≤ 7 дБ			
Потребляемая мощность		3 ВА / 230 В / 50 Гц			
Диапазон рабочих температур, °C		–20...+50			
Габаритные размеры / масса (в упаковке)		78×118×47 мм / 0,36 кг			

Т а б л и ц а 4.5. Основные характеристики магистральных широкополосных усилителей

Технические характеристики	Тип								
	DA203	DA203P	DA203C	DA204	DA204P	DA204C	DA213	DA231P	DA213C
Частотный диапазон, МГц	47 / 75 / 87–862			47 / 75 / 87–606			47/75/87–862		
Обратный канал, МГц	5...30 / 55 / 65								
Коэффициент отражения на входе и на выходе, дБ	18 дБ / 40 МГц – 1,5 дБ / в октаву								
Коэффициент шума, дБ	Макс. 6			Макс. 5			Макс. 6		
Выходной уровень, дБ мкВ IMD3 = 60 дБ (DIN45004B) на частотах 450, 606, 862 МГц	124 / 123 / 122			124 / 123 / –			129 / 128 / 127		
Выходной уровень, дБмкВ, IMD2=60 дБ (EN50083-3) (CTB, EN50083-3) (CSO, EN50083-3) (XMOD, EN50083-3)	118 109 (42 кан.) 112 (42 кан.) 108 (42 кан.)			119 110 (29 кан.) 113 (29 кан.) 108 (29 кан.)			122 114 (42 кан.) 117 (42 кан.) 111 (42 кан.)		
Напряжение питания, В (50 Гц)	24... 65	187... 250	24...65 /187... 250	24... 65	187... 250	24... 65 / 187... 250	24... 65	187... 250	24... 65 / 187... 250
Максимальный сквозной ток, А	7								
Диапазон рабочих температур	–20...+50°C								
Габаритные размеры / масса (в упаковке)	229×159×87 мм (корпус); 261×159×87 мм (установочный габарит) / 2,5 кг								

П р и м е ч а н и е: У всех типов усилителей входной и выходной импеданс 75 Ом; коэффициент усиления 24 / 36 дБ (при 20°C); неравномерность АЧХ ±(0,5...0,75) дБ.

Таблица 4.6. Основные характеристики субмагистральных широкополосных усилителей

Технические характеристики	Тип			
	DA103	DA103P	DA113	DA113P
Частотный диапазон, МГц	47 / 75 / 87-862			
Обратный канал, МГц	5-30 / 55 / 65			
Входной и выходной импеданс, Ом	75			
Коэффициент усиления (при 20°C)	36			
Неравномерность АЧХ, дБ	± 0,75			
Коэффициент отражения на входе и на выходе, дБ	18 дБ / 40 МГц – 1,5 дБ / в октаву			
Пределы регулировки коэффициента усиления, дБ	18			
Пределы регулировки наклона АЧХ, дБ	18			
Коэффициент шума, дБ	Макс. 6 дБ			
Выходной уровень, дБ мкВ IMD3=60 дБ (DIN45004B) на частотах 450, 606, 862 МГц	124 / 123 / 122		129 / 128 / 127	
Выходной уровень, дБ мкВ (XMOD, EN50083-3)	108 (42 кан.)		111 (42 кан.)	
Напряжение питания, В	24...65	187...250	24...65	187...250
Максимальный входной ток, А	4			
Диапазон рабочих температур, °C	-20...+50			
Габаритные размеры	185×132×76 мм (корпус); 219×132×76 мм (установочный габарит)			
Масса (в упаковке)	1,8 кг			

Разветвительные устройства на резисторах наиболее простые и дешевые. Их основным недостатком является низкое переходное затухание: модификации на два отвода УТР-2.Р1 – 6...7 дБ, на три отвода УТР-3.Р1 – 9...11 дБ.

В настоящее время наиболее широко используются широкополосные усилители квартирной разводки, которые перекрывают весь рабочий диапазон частот наземного телевидения и в отличие от пассивных разветвителей не имеют потерь сигнала. Основные характеристики широкополосных усилителей квартирной разводки фирмы «Терра» приведены в табл. 4.4.

Магистральные и субмагистральные усилители. Для компенсации потерь сигнала в кабельных линиях используются широкополосные усилители. Из отечественных устройств в кабельных сетях могут использоваться усилители двух типов – серии 100 или 200. При небольшой протяженности (до 1,5 км) в линиях применяют усилители серии 100 (УМ-101 – усилитель магистральный с одним выходом; УМ-111 – усилитель магистральный с одним выходом и автоматической регулировкой усиления).

Для линий большой протяженности применяют магистральные усилители серии 200 (УМ-201 – усилитель магистральный с одним выходом; УМ-202 – то же, с двумя выходами; УМ-221 – усилитель магистральный с одним выходом и автоматической регулировкой усиления и наклона; УМ-222 – то же, с двумя выходами и автоматической регулировкой усиления и наклона).

Принципиальное отличие усилителей серии 200 от усилителей серии 100 заключается в наличии устройства автоматической регулировки наклона (АРУН) амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и дополнительного усилителя. Благодаря АРУН обеспечивается постоянство выходного уровня в пределах $\pm 0,5$ дБ при изменении уровней входных сигналов на ± 3 дБ (110 МГц) и на ± 5 дБ (235 МГц).

Более высокими характеристиками обладают современные магистральные усилители серий DA203, DA204, DA213 (табл. 4.5), а также субмагистральные усилители DA103, DA103P, DA113 и DA113P (табл. 4.6). В субмагистральных усилителях, выпускаемых фирмой «Терра» [4.3], используется GaAs двухтактный выходной каскад, что позволяет обеспечивать высокий уровень выходного сигнала (до 124...129 дБмкВ). В магистральных и субмагистральных устройствах предусмотрена изменяемая полоса обратного канала за счет применения встраиваемых модулей диплексеров, а также регулировка коэффициента усиления и регулировка наклона АЧХ. Усилители имеют модульную структуру, что

позволяет встраивать в их состав корректоры, аттенюаторы, дилексеры и модули обратного канала различных типов. За счет этого их характеристики могут быть адаптированы к параметрам проектируемой кабельной сети.

В зависимости от варианта исполнения электропитание осуществляется:

DA2XX, DA1XX – с дистанционным питанием;

DA2XXP, DA1XXP – от сети 220 В;

DA2XXC – с комбинированным питанием. Все варианты усилителей обеспечивают прохождение сквозного тока до 7 А.

Конструктивно эти приборы выполнены в герметичном корпусе и обеспечивают работоспособность в сложных климатических условиях (от -20 до $+50$ °С).

Магистральные ответвители предназначены для разветвления сигнала в линиях и представляют собой, как правило, мостовые устройства, выполненные на высокочастотных трансформаторах. В ответвителях предусмотрены элементы, позволяющие передавать ток дистанционного питания магистральным усилителям.

В первых отечественных распределительных сетях применялись отечественные магистральные ответвители серии 100: ОМ-101 и ОМ-102. Коэффициент стоячей волны ответвителей со стороны входа, выхода и вводов на частоте 40 МГц не превышает 1,15. Развязка между отводами в диапазоне частот 40...240 МГц не менее 26 дБ. Переменный ток дистанционного питания к выходу и через каждый из отводов не более 3 А.

Современные магистральные ответвители, выпускаемые фирмой «Терра», обеспечивают работу в диапазоне частот наземного (5...862 МГц) и спутникового (950...2400 МГц) ТВ. Ответвители обладают низкими потерями сигнала, высокой равномерностью частотной характеристики, широким диапазоном рабочих температур (-20 ... $+50$ °С). Их основные характеристики приведены в табл. 4.7 [4.3].

В табл. 4.8 приведены данные о зарубежных и российских коаксиальных кабелях, которые могут использоваться для объединения активных и пассивных элементов в сетях распределения телевизионного сигнала.

При проектировании сетей распределения телевизионного сигнала, особенно протяженных, наиболее важным параметром является величина затухания. Рекомендуется использовать коаксиальные кабели с минимальным затуханием на верхних частотах 800...860 МГц.

Таблица 4.7. Основные характеристики магистральных ответвителей, выпускаемых фирмой «Терра»

Технические характеристики		Тип усилителя			
		SS504	SS510	SS515	SS520
Диапазон частот		Наземного телевизионного вещания 5...862 МГц Спутникового телевизионного вещания 950...2400 МГц			
Потери на отвод	Потери сигнала на проход, дБ	4	1,5	1,2	1,0
	Потери на наземного телевизионного вещания	4	10	15	20
	спутникового телевизионного вещания	4	8-12	13-17	18-22
Развязка по входам, дБ		30			
Прокходной ток, А		2			
Диапазон рабочих температур, °С		-20...+50			
Габаритные размеры / масса (в упаковке)		117×96×34 мм / 0,3 кг	117×106×34 мм / 0,3 кг		

Т а б л и ц а 4.8. Основные параметры коаксиальных кабелей

Фирма (страна)	Тип	Диаметр, мм	Экранировка, дБ/ на частоте, МГц	Затухание, дБ, на 100 м кабеля / частота
Nokia (Финляндия)	Tellin 3	23	—	5,1 / 860
Nokia (Финляндия)	Tellin 7	11	—	11,0 / 860
Nokia (Финляндия)	Tellin 13	7	80	18,0 / 860
WISI (Германия)	MK33	17	75 / 450	5,7 / 800
WISI (Германия)	MK16	10,1	75 / 450	12,5 / 800
WISI (Германия)	MK90	6,5	75 / 450	16,3 / 800
Cavel (Италия)	27H5F5	15	≥ 80	7,5 / 800
Cavel (Италия)	RF-113	6,8	≥ 75	16,3 / 800
Россия	РК-75-17-13С	17,3	—	7,0 / 860
Россия	РК-75-11-11С	11,5	—	9,7 / 860
Россия	РК-75-312С	6,6	—	12,4 / 860
Россия	РК-75-113	4,6	—	22,4 / 860

4.4. Требования к системам кабельного телевидения

Система кабельного телевидения обеспечивает распределение радиосигналов вещательного телевидения в частотных диапазонах I (48,5...66 МГц), II (76...100 МГц), III (174...230 МГц), радиосигналов УКВ ЧМ-вещания в диапазоне 66...73 МГц и 100...108 МГц.

Радиосигналы вещательного телевидения, принимаемые в диапазонах IV (470...582 МГц) и V (582...790 МГц), преобразуются в радиосигналы диапазонов I–III. Основные параметры распределительной сети КТВ должны соответствовать нормам табл. 4.9 [4.2].

Системы кабельного телевидения появились как способ повышения качества изображения. Поэтому требования к параметрам, определяющим качество передачи телепрограмм, являются одними из основных при проектировании сетей кабельного телевидения. От того, какие параметры будет иметь сигнал на входе в кабельную сеть, будет зависеть качество изображения на экранах телевизионных приемников, максимальное число каналов, пригодных для трансляции, а также протяженность магистралей и число обслуживаемых абонентов. Все перечисленные требования определяются в основном параметрами головной станции (ГС), осуществляющей формирование и распределение телевизионных сигналов в сети.

Критериями качества ГС являются [4.2]:

- выходное отношение сигнал/шум (C/N);
- диапазон входных и выходных рабочих частот;
- уровень входных и выходных сигналов;
- уровень канальных и диапазонных интермодуляционных составляющих;
- уровень взаимной канальной модуляции;
- уровень взаимной интермодуляции;

качество формируемых сигналов (уровень нелинейных искажений, дифференциальное усиление и фаза, канальная неравномерность амплитудно-частотной характеристики, неравномерность группового времени задержки и еще ряд параметров).

Уровень требований зависит от класса и функционального назначения ГС, определяемых главным образом количеством обслуживаемых абонентов. Кроме того, могут также предъявляться дополнительные требования по multifunctionality, надежности и удобству эксплуатации, возможности резервирования каналов, долговременной стабильности выходных параметров.

Т а б л и ц а 4.9. Требования к основным параметрам сети КТВ

Номер	Параметр	Нормированное значение
1	Уровень радиосигнала изображения на выходе абонентской розетки, дБмкВ	57...84
2	Разность уровней радиосигналов изображения, дБ, не более: <ul style="list-style-type: none"> - каналов частотного диапазона - каналов разных частотных диапазонов - соседних каналов 	8 12 3
3	Неравномерность АЧХ в полосе частот между несущими изображения и звукового сопровождения телевизионного сигнала, дБ, не более	3
4	Разность группового времени запаздывания на боковой частоте радиосигнала изображения, соответствующей цветовой поднесущей, и на частоте несущей изображения, нс	± 100
5	Импульсная характеристика: к-фактор, %, не более	7
6	Дифференциальное усиление, %, не более	10
7	Дифференциальная фаза, град., не более	12
8	Отношение сигнал/шум (C/N) в телевизионном канале, дБ, не менее	45
9	Отношение сигнала к фоновой помехе, дБ, не менее	46
10	Отношение сигнал/помеха комбинационной частоты, дБ, не менее: <ul style="list-style-type: none"> третьего порядка (CTB) второго порядка (CSO) 	54 55
11	Вносимая нестабильность частоты, кГц: <ul style="list-style-type: none"> - при преобразовании частоты принимаемого радиосигнала вещательного телевидения - при распределении радиосигналов в соседних телевизионных каналах 	± 75 ± 20
12	Развязка, дБ, не менее: <ul style="list-style-type: none"> - между любыми выходами одной или двух любых абонентских розеток - между выходами для подключения телевизора и радиоприемника на частотах гетеродина УКВ ЧМ-приемника 	22 46

П р и м е ч а н и е. Допускаются другие значения уровней, определяемые условиями работы сети, ее протяженностью, числом последовательно включенных усилителей и сочетанием каналов, выбранных для распределения радиосигналов. Значения уровней конкретной сети указываются в технической документации на систему.

Все головные станции по классификации европейского комитета по электротехнической стандартизации CENELEC делятся на три класса:

- класс 1 – центральная (местная) ГС;
- класс 2 – удаленная ГС;
- класс 3 – индивидуальная приемная ГС.

Наилучшими характеристиками обладают ГС первого класса (центральная), принимающие сигналы наземного и спутникового телевидения и формирующие качественные групповые сигналы для дальнейшей трансляции их в кабельную сеть.

Удаленная ГС (класс 2) предназначена для передачи сигналов к центральным (местным) ГС посредством протяженной линии (эфирной или кабельной). ГС для индивидуального приема (класс 3) снабжает телевизионными сигналами индивидуальное жилье.

Головные станции, обеспечивающие прием спутниковых программ – MATV (Master Antenna Television System) – могут использоваться для телефикации крупных блочных домовых строений телевизионными и ЧМ-сигналами. Если сигналы транслируются в сеть только на первой спутниковой ПЧ, то такая ГС именуется SMATV.

SMATV головная станция (Satellite Master Antenna Television System) – это система, предназначенная для приема и распределения телевизионных сигналов для крупных блочных строений или групп домов.

Если сигналы сети КТВ перемодулированы в традиционный АМ-ТВ формат, то термин «SMATV» не используется.

Выходное отношение сигнал-шум (C/N) является основным параметром при выборе ГС в случае большой протяженности магистралей. Для качественного телевизионного приема необходимо обеспечить на входе телевизионного приемника отношение сигнал-шум не менее 43 дБ. Поэтому типовое значение C/N на выходе центральных и распределительных головных станций должно составлять не менее 54 дБ, а для индивидуальных приемных ГС, соответственно, не менее 43 дБ.

При проектировании кабельных сетей требуется учитывать потери сигнала и, следовательно, ухудшение отношения сигнал-шум при его распределении абонентам. Активные распределительные устройства (усилители, конвертеры и т.п.) также снижают качество сигнала тем больше, чем большим коэффициентом шума они обладают.

Коэффициентом шума называют отношение

$$n_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{с.вых}} / P_{\text{ш.вх}}}{P_{\text{с.вых}} / P_{\text{ш.вых}}},$$

где $P_{\text{с.вх}}/P_{\text{ш.вх}}$ и $P_{\text{с.вых}}/P_{\text{ш.вых}}$ — отношения мощностей сигнала и шума на входе и выходе элемента (усилителя, разветвителя и др.), согласованного с источником сигнала и шума.

Если бы передаточный элемент был нешумящим, то отношения сигнал/шум на выходе и входе приемника были бы одинаковыми и $n_{\text{ш}} = 1$. Превышение $n_{\text{ш}}$ над 1, т. е. величина $n_{\text{ш}} - 1$, называемая избыточным коэффициентом шума, дает представление о мощности шума, добавляемой самим передаточным элементом.

Обозначив коэффициент передачи

$$K_p = P_{\text{с.вых}}/P_{\text{с.вх}},$$

выражение для коэффициента шума можно записать в виде

$$n_{\text{ш}} = P_{\text{ш.вых}}/K_p P_{\text{ш.вх}}.$$

Для системы, состоящей из нескольких последовательных элементов, коэффициент шума $n_{\text{ш}}$ может быть выражен через коэффициенты шума отдельных каскадов по формуле

$$n_{\text{ш}} = n_{\text{ш}1} + (n_{\text{ш}2} - 1)/K_{p1} + (n_{\text{ш}3} - 1)/K_{p1} K_{p2} + (n_{\text{ш}4} - 1)/K_{p1} K_{p2} K_{p3} + \dots$$

Здесь $n_{\text{ш}1}, n_{\text{ш}2}, n_{\text{ш}3}, n_{\text{ш}4}, \dots; K_{p1}, K_{p2}, K_{p3}, \dots$ — коэффициенты шума и коэффициенты передачи по мощности соответственно первого, второго, третьего и т. д. элементов последовательной цепи распределения сигнала.

Из последней формулы следует, что все элементы распределительных цепей, в том числе и пассивные, ухудшают соотношение сигнал/шум. Следовательно, чем более протяженная и разветвленная сеть кабельного телевидения подключена к головной станции, тем большее значение сигнал/шум требуется обеспечить на выходе усилителя телевизионного сигнала головной станции.

Для формирования стабильного выходного сигнала вне зависимости от различных дестабилизирующих факторов — погодных условий, времени года и времени суток, условий приема сигналов используется встроенная система автоматического регулирования усиления (АРУ). Простейшие ГС, состоящие из набора канальных усилителей, как правило, не имеют в своем составе системы АРУ.

Диапазон входных и выходных частот определяет возможности сети КТВ по числу принимаемых и распределяемых

каналов. Требуемый диапазон входных частот сигналов наземного телевидения обеспечивается большинством типов ГС, при этом качественный селектор телевизионных сигналов обычно обеспечивает сплошное частотное перекрытие с управлением по цифровой шине. Полный диапазон выходных частот имеют не все ГС из-за сложности построения повышающих конвертеров с широкополосной электронной перестройкой по частоте.

В случае если конвертация осуществляется канальными высокоизбирательными конвертерами, не имеющими электронной перестройки, то обеспечиваются профессиональные характеристики, в частности, малая неравномерность АЧХ (как правило, не более $\pm 0,5$ дБ), но возникают ограничения по свободной трансформации телевизионных каналов.

При трансляции малого числа каналов (не более 12...16) допустимо использование конвертеров прямого преобразования (однократного), при котором возможно возникновение пораженных каналов гетеродинным напряжением самого конвертера. В конвертерах, предназначенных для обеспечения передачи большого числа каналов, используется, как правило, двойное преобразование частоты, при этом первой промежуточной частотой в большинстве случаев является стандартная ПЧ диапазона 31,5...38,9 МГц.

Уровень входных и выходных сигналов. Уровень входных сигналов не оказывает существенного влияния на выходное отношение сигнал/шум и должен быть не ниже порогового уровня (пороговой чувствительности), приводимого в документации на приемную аппаратуру. Возможный диапазон значений входных сигналов существенно расширяется при наличии АРУ, причем АРУ обеспечивает и постоянство отношения сигнал/шум на выходе канального модуля.

Уровень выходного сигнала не имеет принципиального значения при выборе ГС. При построении средних и крупных систем кабельного ТВ необходимо, чтобы выходной уровень был не менее 80...84 дБ.

Выходной уровень задается изготовителем ГС для случая формирования n телевизионных каналов. При формировании N каналов ($N > n$), заявленный выходной уровень U_{\max} для n каналов следует уменьшить на величину ΔU_{\max} . Уменьшение выходного уровня при увеличении числа транслируемых каналов связано с необходимостью обеспечения заданных требований по уровням канальной и межканальной интермодуляции.

Уровень канальных и диапазонных интермодуляционных составляющих. Канальная интермодуляция связана с возникновением паразитных биений частот звуковой несущей и поднесущей цветности в отсутствие модулирующего сигнала. Уровень канальной интермодуляции является при заданных требованиях к качеству изображения критерием оценки максимальных входных и выходных уровней канальных усилителей и канальных модулей.

При измерениях уровня канальной интермодуляции используют три частоты – несущие изображения (f_a), звука (f_c) и цветовую поднесущую (f_b) частоту, которые должны по уровню соответствовать заданным нормативным требованиям (например, европейскому EN50083-5) – рис. 4.4.



Рис. 4.4. Уровни входных сигналов при изменении канальной интермодуляции

Согласно EN50083-5 максимальный выходной уровень определяется напряжением, при котором отношение сигнала, имитирующего несущую изображения, к помехам комбинационных частот третьего порядка ($P_{Зг} = f_a + f_b - f_c$; $P_{Зд} = f_a - f_b + f_c$) составит 60 дБ.

Уровень взаимной канальной модуляции характеризует помехи, возникающие на выходе ГС вследствие взаимодействия сигналов двух и более телевизионных каналов. Взаимная канальная модуляция (перекрестная или кроссмодуляция) вызвана нелинейными искажениями в выходных каскадах вследствие недостаточной развязки выходного сумматора.

Проявляется межканальная модуляция в «накладывании» на изображение принимаемого канала изображения другого канала. Наиболее заметно это проявляется на темном фоне изображения. Особенностью влияния межканальной модуляции является то, что от этого эффекта не удастся избавиться никакими фильтрами на входе телевизора.

Измерение уровня взаимной модуляции производится согласно EN50083-5 методом трех несущих, при этом первая несущая (f_a) имеет номинальный уровень, а две другие (f_a и f_b) – на 6 дБ меньше. Разница уровней продуктов кроссмодуляции и несущей частоты изображения (f_a) определяет уровень взаимной модуляции (рис. 4.5).

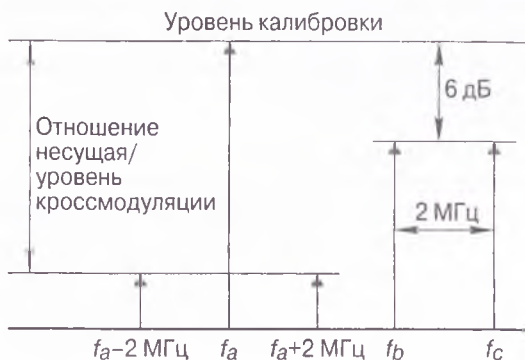


Рис. 4.5. Уровни входных сигналов при измерении взаимной канальной модуляции

Для снижения уровня взаимной модуляции необходимо увеличивать развязку между каналами, т.е. минимизировать проникновение сигналов любого из каналов на выход соседнего канала. Для этого используют такие меры, как установку на выходе повышающих конвертеров полосовых фильтров. В высококачественных ГС в качестве выходного сумматора используют не сплиттеры (многоплечевые сплиттеры или набор сплиттеров), а набор направленных ответвителей с высоким коэффициентом направленности (не менее 30 дБ) при одновременной установке в каждый из повышающих конвертеров выходных высокоизбирательных фильтров.

Уровень взаимной интермодуляции. Взаимная интермодуляция возникает в выходных широкополосных усилителях вследствие нелинейности их амплитудной характеристики. Возникаю-

щие при этом продукты преобразования с частотами, кратными основным частотам сигналов ω_1 , называются гармоническими составляющими, например, вторая гармоника – $2\omega_1$. Другие продукты преобразования, т.е. если выходная частота сформирована из двух и более составляющих, например, $2\omega_2 + \omega_1$, являются продуктом интермодуляционных искажений. При этом сумма номеров гармоник несущих частот, участвующих в процессе получения результирующей частоты интермодуляции, определяет порядок продукта нелинейных искажений.

В соответствии с EN50083-5 отношение амплитуды несущей частоты к пиковому значению продуктов интермодуляции второго и третьего порядков на выходе усилителя должно быть не менее 60 дБ. Измерение продуктов взаимной интермодуляции обычно проводят методом, при котором на вход устройства подают две несущие частоты изображения, имеющие, как правило, достаточно близкие частоты (рис. 4.6).

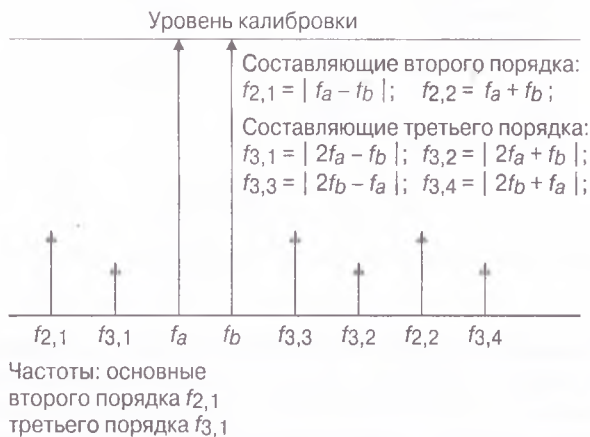


Рис. 4.6. Продукты взаимной интермодуляции

Рассмотренные дополнительные составляющие сигнала (канальные и диапазонные интермодуляционные составляющие, взаимные канальные модуляционные, взаимные интермодуляционные составляющие) связаны с нелинейными искажениями тракта головной станции.

Нелинейные искажения приводят также к снижению качества изображения. Различают нелинейные искажения, не зависящие

от частоты, и динамические, зависящие от частоты. Первые определяют качество воспроизведения градаций яркости и цвета крупных деталей, вторые – качество передачи мелких элементов и их цвет. Нелинейные искажения сигналов яркости оцениваются по амплитудной характеристике канала или наиболее часто по изменению крутизны амплитудной характеристики во всем амплитудном диапазоне сигналов яркости от уровней «черного» до уровней «белого».

Нелинейность амплитудной характеристики и совместная передача сигналов яркости и цветности по такому каналу приводят к появлению перекрестных искажений «яркость–цветность» и «цветность–яркость». Возникновение перекрестных помех «яркость–цветность» связано с изменением размаха и фазы цветовой поднесущей при изменении размаха сигнала яркости. Данный тип перекрестных помех наиболее полно характеризуется *дифференциальным усилением (ДУ)* и *дифференциальной фазой (ДФ)*.

В системе SECAM влияние ДУ на качество изображения незначительно, так как информация о цвете изображения содержится в частоте поднесущей. Искажения из-за ДФ проявляются на изображении как цветные (желтые и голубые) тянущиеся продолжения на границах черно-белых переходов.

Кроме нелинейных искажений в ГС имеют место линейные искажения. Линейные искажения сигналов также приводят к снижению качества изображения и связаны с зависимостью коэффициента усиления от частоты и нелинейностью фазочастотной характеристики (ФЧХ) канала.

Параметры тракта, связанные с линейными искажениями. Используются два подхода к оценке линейных искажений – путем анализа характеристик тракта в частотной или во временной области. При первом подходе рассматривают амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики тракта, а при втором – импульсные и переходные характеристики.

Уменьшение полосы пропускания и искажения, возникающие в пределах полосы пропускания, влияют на уровень сигналов изображения, что становится особенно заметно в режиме переходных процессов. Неравномерность АЧХ характеризуется коэффициентом частотных искажений $p = K(\omega)/K(\omega_0)$, где $K(\omega)$ и $K(\omega_0)$ – модули коэффициентов передачи канала на оцениваемой частоте ω и частоте ω_0 , по отношению к которой измеряется неравномерность.

Линейные искажения телевизионного сигнала возникают также из-за нелинейности ФЧХ канала. При линейной ФЧХ различ-

ные частотные составляющие телевизионного сигнала получают фазовый сдвиг, пропорциональный частоте $\varphi(\omega) = \omega\tau$, $\tau = \text{const}$ – коэффициент пропорциональности (время запаздывания сигнала). В этом случае все составляющие сигнала на выходе канала запаздывают на время τ и искажений в выходном сигнале не возникает. На практике оценивают линейность зависимости ФЧХ от частоты по групповому времени запаздывания (производной ФЧХ от частоты) $t_{rp} = d\varphi(\omega)/d\omega$. Для того чтобы канал не вносил искажений, t_{rp} должно быть постоянно для всех частот полосы канала.

Разность группового времени запаздывания (ГВЗ) сигнала на несущей частоте изображения и частоте, соответствующей цветовой поднесущей, проявляется как искажение цветовой передачи при размытости цветковых переходов. Абсолютное значение времени задержки не имеет принципиального значения. Суммарное ГВЗ всех модулей формирования телевизионного сигнала в полосе 5 МГц не должно превышать 100 нс.

При оценке линейных искажений путем анализа характеристик тракта во временной области используют переходные характеристики канала при подаче на его вход импульсных сигналов. По «выбросам» переходного процесса и перекосу плоских вершин импульсных сигналов легко предсказать появление в телевизионном изображении окантовок, тянущихся продолжений или колебаний яркости при резких перепадах сигнала яркости. Искажения характеристик импульсных сигналов в области фронта или среза определяются формой АЧХ и ФЧХ в диапазоне высоких частот, а искажения плоской части импульса – формой АЧХ и ФЧХ на средних и низких частотах. Неравномерность плоских частей импульсного сигнала нормируется для различных областей времен: больших – $\pm 6\%$, средних – $\pm 3\%$, малых – $\pm 15\%$. Относительные значения максимального размаха «выбросов» импульсной характеристики не должны превышать $\pm 12\%$.

Следует отметить, что кроме рассмотренных параметров на качество передачи изображения и звука телевизионных программ влияет еще целый ряд факторов и параметров. Эти факторы более подробно рассмотрены в литературе, посвященной оценке качества телевизионной аппаратуры, измерениям и испытаниям сетей КТВ, в частности [4.2, 4.4].

4.5. Сети на коаксиальных и оптико-волоконных кабелях

Распределительные кабельные сети могут быть построены без применения головной станции и с головной станцией.

Первый вариант может применяться, когда принимаются телевизионные и радиовещательные программы со спутников на удаленных от кабельной магистрали объектах (дачные коттеджи, небольшие загородные гостиницы, офисы и т.д.), а прием телевизионных сигналов от наземных ретрансляторов невозможен или принимается очень слабый сигнал. В данном варианте телевизионные сигналы по кабельной сети распределяются на первой промежуточной частоте в полосе 950...2150 МГц.

Ограничивающим фактором является протяженность сети.

Например, при использовании кабеля фирмы Cavel диаметром 7 мм затухание сигнала на частоте 2000 МГц составляет около 28 дБ. С учетом максимально допустимого перепада напряжения сигнала на входе ресивера общая длина такого кабеля не должна превышать 100 м, а при использовании кабеля диаметром 10 мм – не более 150 м.

Применение в сети головной станции позволяет распределять в ней как спутниковые, так и наземные телевизионные и радиовещательные программы. В кабельных сетях с обратным каналом возможно представление разнообразных услуг: видео, аудио по требованию, доступ в Интернет и многое другое.

Следует подчеркнуть, что полный набор услуг, в том числе интерактивность, возможен лишь при цифровых методах передачи.

4.5.1. Распределительные сети программ телевизионного и радиовещания при небольшом числе абонентов

При построении сети коллективного приема программ телевизионного вещания с небольшим числом абонентов источниками информации могут быть спутниковые системы, наземные ретрансляторы и видеоманитофоны.

Сети коллективного приема обладают рядом достоинств:

- оперативностью развертывания и ввода в эксплуатацию;
- относительной дешевизной абонентских точек, так как затраты на оборудование, монтаж и последующую эксплуатацию делятся между абонентами группы;
- упрощением решения всех организационных вопросов, так как в соответствии с законом «О связи» при коллективном приеме

с числом пользователей менее десяти оформление лицензии на телевидение не требуется, а в сетях с числом абонентов более десяти, но в пределах одного здания, лицензия оператора кабельной сети не предусматривается.

К недостаткам небольших сетей следует отнести:

- меньшую свободу выбора принимаемых программ;
- лишение практически всех абонентов возможности принимать телевизионные сигналы при неисправности общих элементов сети – головной станции и антенны.

Достоинства кабельных сетей особенно привлекательны для абонентов небольших поселков, где принимается и ретранслируется ограниченное число программ, зданий, в которых размещаются банки или брокерские конторы, а также развлекательные и торговые учреждения (клубы, магазина, кафе, казино и т.п.). Об этом свидетельствует широкое распространение сетей кабельного телевидения с небольшим числом абонентов.

Коллективные системы приема можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся системы с числом абонентов от двух до десяти. В них основными элементами распределительной сети являются многоканальные коммутаторы (мультисвитчи). Они позволяют объединять каналы спутникового телевидения, принимаемые в полосе 950...2050 МГц (первая ПЧ), наземного телевидения в полосе 47...860 МГц, а также производить коммутацию сигналов либо на вход спутникового, либо наземного ресиверов. Ко второй группе относятся коллективные сети с головной станцией, обслуживающей несколько десятков абонентов. В этом случае головная станция выполняет роль многоканального ресивера, принимающего сигналы и со спутников, и от наземных ретрансляторов, преобразуя их далее в соответствующие каналы метрового или дециметрового диапазонов.

Коллективный прием спутникового и наземного телевидения при помощи мультисвитчей

Распределение сигналов обычно осуществляется на промежуточной спутниковой частоте. В мультисвитчах также может происходить объединение спутниковых телевизионных программ с наземным телевидением.

На рис. 4.7 приведена схема сети подачи телевизионных программ для восьми абонентов.

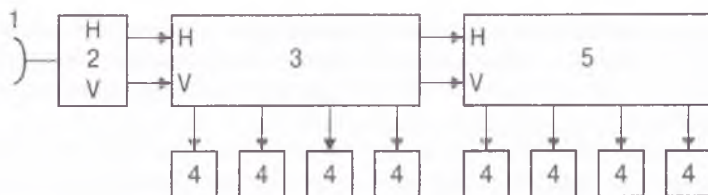


Рис. 4.7. Распределительная сеть на мультисвитчах для восьми абонентов:

1 – антенна; 2 – селектор поляризации сигналов; 3 – проходной мультисвич (MS133); 4 – абоненты; 5 – конечный мультисвич (MS134)

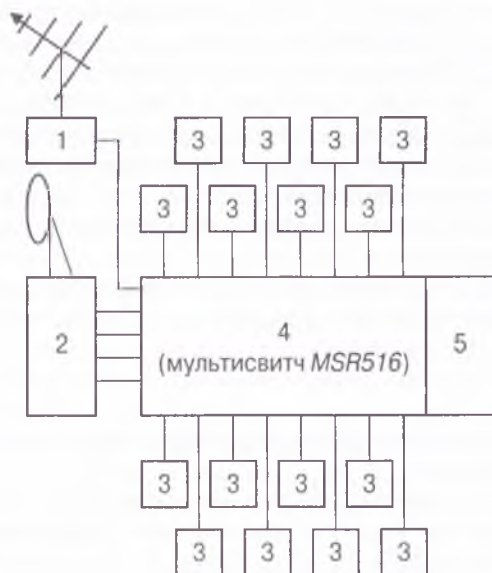


Рис. 4.8. Распределительная сеть на мультисвитчах станции приема каналов спутникового и наземного телевидения:

1 – модуль приема каналов наземного телевидения; 2 – модуль приема каналов спутникового телевидения с селектором поляризации сигналов; 3 – абонентские розетки; 4 – мультисвич MSR516; 5 – сетевой выпрямитель-стабилизатор

На рис. 4.8 приведена схема распределительной сети приема сигналов спутникового и наземного телевидения.

На мультисвич MSR516 (многоканальный коммутатор) подводятся два сигнала с горизонтальной и вертикальной поляриза-

цией с двойного выхода МШУ-конвертера спутниковой антенны и один сигнал от модуля приема каналов наземного телевидения. К выходу мультисвитча MSR516 может быть подключено до 16 абонентов.

У абонента подключение ресивера или телевизионного приемника производится через абонентскую розетку (АО), развязывающую по частоте спутниковые и наземные каналы.

Через многоканальные коммутаторы подводится напряжение питания к малошумящим конвертерам от внешних источников. Абонент переключением напряжения с 14 на 18 В может выбирать независимо от других абонентов спутниковую или наземную телевизионные программы.

Распределительные сети с головной станцией. Сети с головной станцией целесообразно применять при числе абонентов более восьми. В этом случае головная станция играет роль многоканального ресивера, преобразующего сигналы из диапазона частот 950...2050 МГц в дециметровый или метровый диапазоны (47...860 МГц). Вариант распределительной сети рассмотрим на примере оборудования фирмы «Терра».

Аппаратура фирмы «Терра» обеспечивает следующие основные характеристики:

- возможность приема до шестнадцати каналов спутникового, наземного телевизионного вещания или с видеосамер наружного и внутреннего наблюдения;

- распределение указанных выше каналов по домовой кабельной сети;

- возможность программного управления при помощи встроенного процессора.

Процессор системы обеспечивает следующие возможности:

- перестройку частоты принимаемого спутникового канала с дискретностью 1 МГц;

- выбор полярности принимаемого видеосигнала (позитив/негатив);

- настройку на поднесущую частоту звука в пределах 5,5...9 МГц с шагом 10 кГц с одновременной регулировкой полосы приема с целью получения высококачественного звучания;

- коммутацию выходных каналов в любых сочетаниях в пределах метрового (1–12) и дециметрового (21–41) диапазонов.

Конструкция станции предусматривает два каркаса, в каждый из которых может быть установлено до десяти функциональных блоков:

- процессорный блок управления;

- блок питания, обеспечивающий питание восьми модулей;
- блоки спутниковых приемников-демодуляторов (в соответствии с потребностями заказчика);
- блоки усиления и преобразования каналов наземного телевидения;
- модуляторы, преобразующие видео- и аудиосигналы с видеокамер или видеомagneтофонов в соответствующие каналы наземного телевизионного вещания.

Спутниковый приемник осуществляет преобразование радиосигналов с выхода МШУ-конвертера (полоса частот 950...2050 МГц) в один из каналов телевизионного вещания для дальнейшего распределения по кабельной или наземной сети. Уровень входного сигнала может изменяться в пределах 48...78 дБмкВ, уровень выходного сигнала должен быть 90 дБмкВ. Предусмотрена возможность подключения декодера для приема закодированных программ.

Блок усиления и преобразования каналов наземного телевидения предназначен для приема любого канала в полосе 48...862 МГц и преобразования его в заданный канал (1–12) или (21–41). При изменении уровня входного сигнала в пределах 60...90 дБмкВ уровень выходного сигнала автоматически поддерживается равным 90 дБмкВ на нагрузке 75 Ом. Блок обеспечивает также прием и усиление радиовещательных программ в полосе 88...108 МГц.

Типы блоков и их число в головной станции определяется операторами сети.

Таким образом, современные малоканальные головные станции обеспечивают необходимую конфигурацию сети в соответствии с заданием пользователей, а блок управления позволяет любому абоненту сети выбирать желательную для него телевизионную программу.

Радиолюбительские кабельные сети. Интерес к сетям кабельного распределения телевизионных программ проявляют радиолюбители и порой находят довольно оригинальные технические решения при весьма скромных финансовых возможностях. Например, А. Петропавловский предложил описание домовой распределительной сети, требующей минимальных затрат. При создании такой многоуровневой телевизионной сети довольно просто, по его мнению, решаются все организационные и финансовые вопросы.

Основой сети является головная станция со спутниковой антенной, принадлежащая организатору сети. К головной станции подключается сплиттер-сумматор директора-распорядителя сети,

к которому подключаются сплиттеры нескольких менеджеров первого уровня. К этим сплиттерам подсоединяются сумматоры второго уровня, распределяющие программу либо менеджерам третьего уровня, либо абонентам.

По расчетам автора трехуровневая сеть может обслужить более 300 абонентов – жителей одного многоквартирного дома. Абоненты такой сети могут принимать несколько спутниковых каналов за умеренную плату. Лицензирования сети на основании закона «О связи» не требуется.

Радиолюбителем Ю. Колесниковым (Ленинградская область) была предложена схема распределения каналов наземного телевизионного вещания в дециметровом диапазоне на несколько квартир, расположенных в одном подъезде. Предлагаемая сеть включает следующее оборудование:

- антенну волновой канал или логопериодическую антенну;
- кабель SAT-100;
- сумматор, рассчитанный на полосу 5...900 МГц;
- усилитель с двумя входами для метрового и дециметрового диапазонов;
- два разветвителя, каждый из которых рассчитан на восемь выходов;
- антенные разъемы F-типа.

Автору этой схемы удавалось принимать до десяти каналов дециметрового диапазона волн. Достоинство предложенной схемы заключается в простоте и дешевизне каждой абонентской точки, а также в сохранности архитектурного облика здания, когда вместо леса антенн используется только одна. К сожалению, качество сигналов в такой распределительной сети невысокое и вряд ли удовлетворяет заданным нормам.

4.5.2. Кабельные сети с большим числом абонентов

Кабельные сети с числом абонентов более 10 тыс. характеризуются значительной протяженностью – некоторые радиальные линии могут достигать десятков километров. Чтобы удовлетворить различных пользователей, необходимо иметь весьма гибкую информационную структуру сетей, позволяющую пропускать узкополосные и широкополосные сигналы, как в аналоговом, так и в цифровой форме. В этом случае центральная часть сети часто выполняется на оптических кабелях.

Волоконно-оптическая линия связи включает оптические передатчик, приемник и кабель.

Используются одномодовые и многомодовые кабели (под модой понимается основная волна в волноводе, имеющая наименьшую критическую частоту).

Ближайшими к основной волне являются электрическая H_{01} и магнитная E_{01} волны, имеющие одинаковые критические частоты $f_{кр}^E$ и $f_{кр}^H$.

Для получения одномодового режима необходимо, чтобы $f_{кр}^E$ и $f_{кр}^H$ превышала рабочую частоту используемого оптического диапазона (длина волны 1550 или 1310 нм).

Оптимальная структура такой сети – кольцевая (рис. 4.9). Она выполнена на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). От кольцевой линии отходят главные радиальные магистрали протяженностью десятки километров на ВОЛС, заканчивающиеся оптическими приемниками. К выходам приемников подсоединяют магистральные и субмагистральные, а также домовые сети, выполненные на коаксиальных кабелях. Так как кольцевая линия, выполненная на ВОЛС, обслуживает в сотни и тысячи раз большее число абонентов, чем радиальная и субмагистральная линии, то для повышения надежности применяют 100%-ное резервирование как в прямом, так и в обратном каналах.

При «горячем» резервировании время перехода на резерв составляет примерно 50 мс, а при «холодном» резервировании переключение передатчика на резервное волокно при отказе основного волокна производит дежурный техник вручную. При «горячем» резервировании применяют два оптических передатчика, а при «холодном» – один передатчик и два приемника в каждом направлении.

Оптический передатчик предназначен для генерации оптической несущей и модуляции ее телевизионными и радиовещательными сигналами, передаваемыми в полосе 47...860 МГц.

Модуляция несущей осуществляется по интенсивности, причем может быть прямой и внешней.

В случае прямой модуляции в соответствии с изменением амплитуды ТВ сигнала меняется ток лазерного диода (ЛД), на выходе которого выдается модулированный оптический сигнал.

При внешней модуляции применяются диоды с распределенной обратной связью, в которых генерируется несущая, а модуляция производится в оптоэлектронном модуляторе (ОМ). С целью уменьшения интермодуляционных искажений индекс модуляции m выбирается в пределах 3...5%, а на входе модулятора включают корректор нелинейных искажений (КНИ) – см. рис. 4.10.

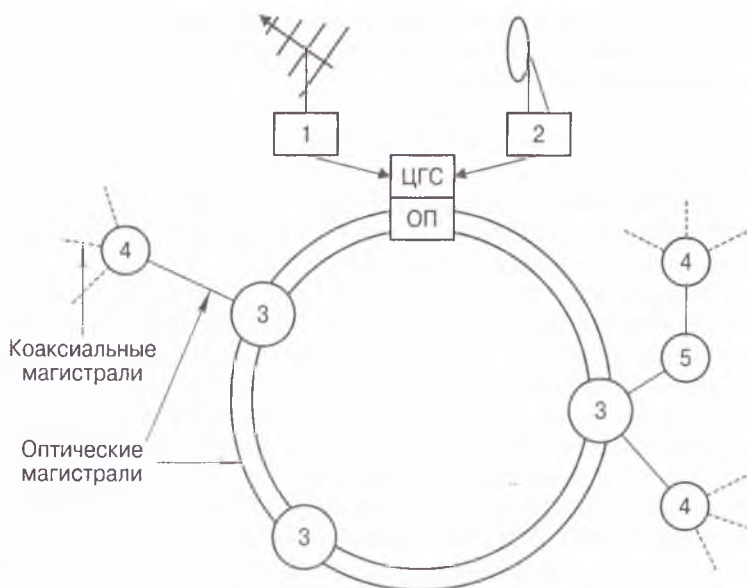


Рис. 4.9. Структурная схема гибридной волоконно-оптической кабельной сети:

ЦГС – центральная головная станция; ОП – оптический передатчик; 1 – модуль (конвертер) наземных каналов; 2 – модуль (конвертер) спутниковых каналов; 3 – периферийные станции; 4 – оптические приемники; 5 – оптический разветвитель

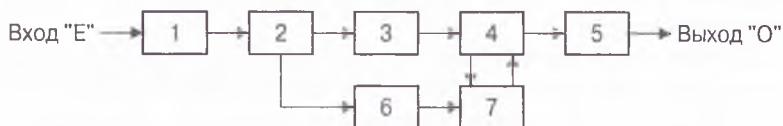


Рис. 4.10. Структурная схема оптического передатчика:

Вход Е – вход видеосигнала; выход О – оптический выход;
1 – линейный усилитель; 2 – направленный усилитель; 3 – корректор нелинейных искажений; 4 – оптический модулятор; 5 – оптический изолятор; 6 – детектор; 7 – блок управления

Корректирующий сигнал, управляющий работой блока КНИ, вырабатывается в микропроцессоре блока управления (БУ). На выходе модулятора обычно устанавливается оптический изолятор (ОИ), позволяющий значительно уменьшить шумы за счет отраженных сигналов. Средний ток лазерного диода (модулято-

ра) и его температуру поддерживают постоянными для уменьшения шумов.

Гибридные волоконно-оптические и коаксиальные сети (HFC – Hybrid Fibre and Coaxial network), как правило, проектируются с обратным каналом, при этом в блок оптического передатчика (ОП) включается соответствующий приемник. Основные характеристики ОП прямого канала: оптический бюджет или средняя выходная мощность, которая может изменяться в пределах 5...13 дБ – рабочая длина волны лазера (1310 или 1550 нм); диапазон модулирующих частот (F_m) – обычно ОП рассчитывают на $F_m = 47...860$ МГц.

Оптический приемник (рис. 4.11.) предназначен для приема оптических сигналов, демодуляции в фотодетекторе (ФД), усиления и, при необходимости, – выравнивания уровней электрических сигналов в рабочей полосе. В системах с обратным каналом в блок оптического приемника входит соответствующий передатчик для передачи обратных сигналов (ОП ОС). Атенкуатор (АТ) включает грубую (скачкообразную) и плавную регулировку уровней выходного сигнала, управляемую от схемы АРУ. Эквалайзер (Э) позволяет выравнивать уровни сигналов в рабочей полосе либо вводить корректировку АЧХ видеоусилителя (ВУ).

Мощность передатчика обратного канала обычно составляет порядка 1 мВт (0 дБ мВт), сигнал к нему может подводиться по отдельному коаксиальному кабелю, что позволяет расширить полосу модулирующих частот до 200 МГц.

Основные технические характеристики приемника прямого канала, учитываемые при проектировании:

- рабочий диапазон длин волн от 1290 до 1600 нм, т.е. перекрывает оба используемых в гибридных сетях окна прозрачности (1310 нм и 1550 нм);
- входная оптическая мощность: максимальная 3...5 дБмВт, минимальная –7...–5 дБмВт;
- выходной уровень телевизионного сигнала при заданных интермодуляционных искажениях;
- выходное соотношение сигнал/шум при мощности выходного оптического сигнала;
- уровень интермодуляционных искажений второго и третьего порядков.

Параметры оптического приемника обратного канала оговариваются отдельно между заказчиком и исполнителем.

Тип оптоволоконна или рекомендуемые размеры сердцевины или оболочки, например 9/125 (сердцевина 9 мкм, а оболочка 125 мкм).

нентов необходимо иметь один домовый усилитель, т.е. в сети потребуется около 1000 домовых усилителей.

В качестве типового жилого дома возьмем 12-этажную сдвоенную башню с двумя подъездами, на каждом этаже которой располагается по семь квартир, всего получилось 168 квартир. Таким образом, в данном случае для домовой кабельной сети необходимо иметь: один оптический приемник, один магистральный усилитель и четыре домовых усилителя, т.е. по два усилителя на подъезд.

Домовая сеть включает также ответвители и абонентские розетки. На три-четыре квартиры принято ставить один ответвитель. На один этаж такого дома понадобится два абонентских ответвителя, на весь дом – 48. Количество розеток определяется числом квартир. Необходимая длина оптического и коаксиального кабелей определяется при детальной разработке схемы сети на обслуживаемой территории.

Окупить спроектированную сеть можно, если в проекте предусмотреть ее развитие и расширение. Развитие заключается в предоставлении дополнительных платных услуг абонентам, а расширение – в объединении локальных сетей в более крупные структуры.

В настоящее время для широкополосной части гибридной волоконно-коаксиальной кабельной сети принят европейский стандарт EN50083. Выполнение требований этого стандарта позволит при дальнейшем развитии сети предоставлять пользователям дополнительные услуги: передачу данных любому абоненту сети, получение видеoinформации по запросу (Video-on-demand), прием информации со скоростью 400 кбит/с в системе Интернет (при наличии у абонента соответствующего модема).

В соответствии с этим стандартом сигнал на абонентской розетке должен удовлетворять следующим требованиям:

уровень ТВ сигналов при амплитудной модуляции
для систем более 20 каналов –77...–80 дБмкВ
неравномерность амплитудно-частотной характеристики:
в полосе телевизионных частот 48...860 МГц ≤ 12 дБ
в полосе радиовещательных частот 68...90 МГц ≤ 6 дБ
на соседних каналах ≤ 3 дБ
ослабление помех, создаваемых другими телевизионными
приемниками на любой абонентской розетке ≥ 42 дБ
отношение несущая/шум (C/N) на розетке ≥ 44 дБ

В широкополосных сетях к нелинейным шумам второго и третьего порядков, а также к кроссмодуляционным (или перекрестным) помехам, предъявляются жесткие требования. Эти значения определяются как максимальный выходной уровень сигнала, измеряемый в дБмкВ, при котором его отношение к нелинейным шумам составляет не менее 60 дБ. Для усилителей, рассчитанных на работу в диапазоне 48...600 МГц, этот параметр должен выполняться для 29 немодулированных каналов, а для усилителей, работающих в диапазоне 48...860 МГц, – для 42 немодулированных каналов.

Производители оборудования в соответствии со стандартом EN50083-3 (1994 г.) обязаны в своих проектах указывать уровни нелинейностей второго (CSO) и третьего (CTB) порядков.

Необходимо учитывать различия в требованиях к техническим параметрам широкополосных усилителей, работающих в интерактивных волоконно-коаксиальных сетях и в обычных многоканальных сетях спутникового и наземного телевизионного вещания (SMATV и MATV).

Требования к оборудованию интерактивных волоконно-коаксиальных сетей выше, а само оборудование дороже. Однако дополнительные затраты довольно быстро компенсируются пользователями сетей – государственными и коммерческими структурами.

Например, фирма Cable Serve предлагает оборудование, позволяющее по волоконно-кабельной сети передавать не только телевизионные программы с аналоговыми и цифровыми сигналами, но и реализовать двустороннюю связь в каналах передачи данных, а также возможность присоединения к телефонной сети общего пользования. Вся полоса 12...860 МГц, отведенная для кабельной сети, распределяется следующим образом (рис. 4.12):

- полоса от 12 до 40 МГц уплотняется по частоте каналами передачи информации в направлении от периферийного оборудования к головной станции, ширина полосы каждого канала составляет 1,8 МГц;

- в полосе от 48 до 600 МГц передаются радиовещательные программы с частотной модуляцией, а также телевизионные сигналы с амплитудной модуляцией;

- полоса 625 ± 15 МГц выделена для передачи сигналов с временным уплотнением (в направлении от головной станции к периферийному оборудованию);

- в полосе 650...860 МГц могут передаваться сигналы как аналогового, так и цифрового телевидения. Эта же полоса рекомендуется для передачи цифровых сигналов в сетях, где передаются одновременно аналоговые и цифровые телевизионные сигналы.

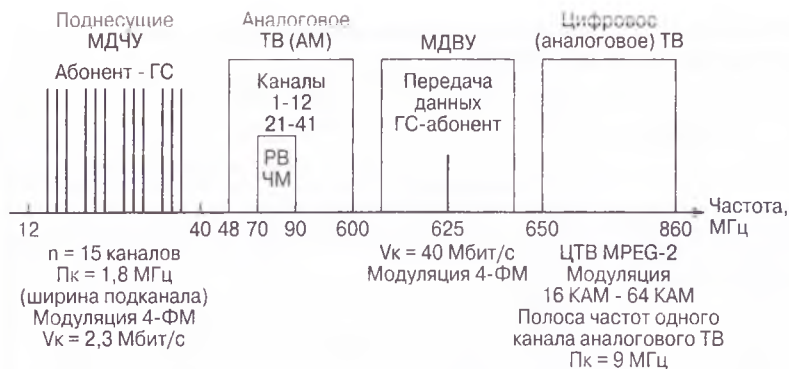


Рис. 4.12. Распределение полосы частот, отведенной для телевидения, в современных многоканальных системах передачи информации

Оборудование фирмы Cable Serve рассчитано на работу по волоконно-оптическим магистралям, смонтированным фирмой Hirschmann во многих городах Европы. Следует отметить возможность выхода на телефонную сеть общего пользования и передачи данных в синхронном режиме со скоростью 2048 кбит/с. По линиям передачи данных может работать цифровая сеть ISDN (Integrated Service Date Network) с интеграцией служб, кроме того, на особых условиях могут быть выделены линии со скоростью передачи 64 кбит/с.

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к коаксиальным кабелям и их технологические характеристики.

В таких крупных городах, как Москва, Санкт-Петербург и др., где уровни сигналов от наземных телевизионных и радиовещательных передатчиков, а также уровни электромагнитных помех высоки, важным требованием к коаксиальным кабелям является степень экранирования от воздействия внешних помех. Для распределительных сетей экранирование кабелей должно быть не менее 85 дБ, для кабелей, монтируемых в квартирах, – не менее 80 дБ. В магистральных кабелях желательно иметь экранирование около 100 дБ.

В табл. 4.10 приведены основные параметры коаксиальных кабелей CAVEL, выпускаемых итальянской фирмой Italiana Conduktorri, в частности, данные кабеля DG-113, имеющего коэффициент экранирования более 90 дБ.

Таблица 4.10. Основные технические характеристики коаксиальных кабелей CAVEL

Параметр	Тип кабеля			
	SAT-703ZH	DG-113	DG-113ZH	CATV-11
Внешний диаметр, мм	6,6	6,6	6,6	10,1
Затухание (дБ/100 м) на частоте, МГц:				
50	4,2	4,1	4,1	2,7
200	8,1	8,0	8,0	5,6
470	12,6	12,5	12,5	8,8
860	17,6	17,3	17,3	12,3
1000	19,1	18,8	18,8	13,5
1350	22,5	22,1	22,1	15,9
1750	26,0	25,5	25,5	17,3
2050	28,5	28	28	18,7

Основные достоинства кабелей CAVEL, широко используемых в России:

- высокая стабильность параметров во времени;
- коэффициент экранирования 90 дБ и более;
- кабели типа 703ZH и DG-113ZH не выделяют ядовитого дыма даже в открытом огне.

Кабели CAVEL сертифицированы в России. Для них выпускаются высококачественные разъемы к профессиональной усилительной аппаратуре.

Появившийся в последнее время кабель типа SAT602DF2 имеет витую пару, рассчитанную на подключение телефонного оборудования.

К сожалению, фирма Italiana Conduittorri не приводит в своих каталогах такой параметр, как максимальное натяжение. Вместе с тем, фирмой освоено производство кабеля типа CAVEL 11AP, повышенной механической прочности. Кабель предназначен для прокладки воздушных магистралей.

В 1997 г. на рынках стран СНГ появились кабели американской фирмы Trilogy Communications, основными достоинствами которых, по мнению специалистов фирмы, являются их высокая механическая прочность, даже при длительных по времени напряжениях и многократных изгибах, а также водонепроницаемость. Последняя достигается благодаря применению специального геля, размещаемого под внешним полиэтиленовым покрытием.

Таблица 4.11. Основные технические характеристики магистральных и абонентских кабелей фирмы Tribody

Параметр	Диаметр магистрального кабеля серии МС ² , мм					Тип абонентского кабеля			
	11,2	12,7	16,5	19,0	25,4	RG-59	RG-6	RG-11	
Частота, МГц:	Затухание (дБ/100 м) при 20° С								
	0,56	0,46	0,36	0,33	0,23	2,28	2,00	1,18	
	1,35	1,15	0,92	0,82	0,59	4,92	3,87	2,39	
	5,38	4,60	3,71	3,18	2,43	17,48	13,74	9,02	
	5,94	5,09	4,10	3,54	2,69	19,42	15,28	10,04	
	6,25	5,36	4,41	3,65	2,86	20,34	16,01	10,56	
	6,99	6,00	4,92	4,10	3,18	22,92	17,96	11,85	
	8,19	7,07	5,82	4,84	3,82	26,73	21,09	13,97	
	Максимальное натяжение, Н								
	977	1199	1598	2219	3684	-	-	-	
	Емкость, пФ/м								
	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9	53	53	53	

Подобная конструкция позволяет прокладывать эти кабели при любом уровне влажности. Кроме того, полная изолированность диэлектрических сот, предусмотренная в конструкции кабеля, предохраняет их от проникновения влаги внутрь даже при неполной герметичности монтажных разъемов усилителей и пассивных устройств распределительной сети.

Применение кабелей фирмы Trilogy позволяет организовать в сети дополнительные услуги: телефонию, передачу справочных данных и видеoinформации по запросу. В России кабели этой фирмы, по-видимому, могут найти применение в регионах с суровыми климатическими условиями.

В табл. 4.11 приведены основные технические характеристики магистральных кабелей серии MC² и абонентских кабелей фирмы Trilogy.

Введение нового европейского стандарта EN-50083 и неукоснительное выполнение его требований облегчает объединение сетей кабельного телевизионного вещания. При модернизации функционирующих сетей, связанных со значительным увеличением числа пользователей и расширением сети, целесообразно вокруг центральной станции формировать волоконно-оптическое кольцо. К этому кольцу через оптико-коаксиальные преобразователи можно присоединять магистральные линии модернизируемой сети, а при необходимости удлинять волоконно-оптические участки магистрали на десятки километров.

4.5.3. Кабельные сети в гостиничных комплексах

В Западной Европе и во всех развитых странах мира современные гостиничные комплексы оснащены интерактивными системами кабельного телевизионного и радиовещания.

Интерактивная (двусторонняя) система телевизионного вещания гостиницы предоставляет абоненту следующий перечень услуг:

- полную информацию о гостинице, интересующую гостя;
- выбор языка общения;
- оповещение о пожаре и сведения о наиболее эффективных путях эвакуации из опасного помещения;
- выбор платного телевизионного канала с указанием стоимости его просмотра;
- заказ в номер блюд и напитков;
- электронный будильник на заданное время;
- вызов такси;

- ускоренное оформление выписки из гостиницы;
- запрос текущего счета гостя в гостинице.

В ряде четырех- и пятизвездочных гостиниц посетителям может быть предоставлен доступ к компьютерным сетям, в том числе и включение в сеть Интернет, организация видеоконференций, при необходимости предоставлен канал передачи данных и выполнены прямо в гостинице требующиеся банковские операции.

Из всего перечня услуг, перечисленных выше, предоставление индивидуальной платной телевизионной программы требует наличия в сети гостиницы специальной системы, так называемого адресного кодирования.

Системы адресного кодирования предназначены для управления каждым каналом телевизионной сети. Система применяется на всех диапазонах наземного и кабельного телевидения и может обслуживать практически неограниченное число коммерческих телевизионных каналов и до нескольких тысяч пользователей.

В состав системы входят кодер и абонентский декодер. Кодер системы обрабатывает передаваемый сигнал таким образом, чтобы он был доступен лишь абоненту, имеющему специальный декодер, который и получает команду на восстановление сигнала.

Методы адресного кодирования можно разделить на три группы:

- простейшие, в которых операции закрытия постоянны во времени и реализуются сравнительно дешевыми техническими средствами;
- системы, в которых операции кодирования изменяются во времени;
- сложные системы, реализуемые с применением цифровых запоминающих устройств и микропроцессоров.

Дополнительная информация, вводимая кодером в видеосигнал для данного абонента, дает либо разрешение на просмотр программы, либо запрет. Кодер включается между источником видеосигнала и модулятором головной станции в гостиничной студии кабельного телевидения.

Данные об абонентах сохраняются в компьютере головной станции.

Некодированные программы проходят декодер напрямую без обработки.

Декодер подключается, как правило, к антенному входу телевизионного приемника.

В состав гостиничной системы интерактивного кабельного телевидения входят:

- кабельная распределительная сеть;
- головная станция кабельного телевидения на соответствующее число каналов с необходимым оборудованием;
- видеоманитофоны или видеосервер, используемые в качестве источника телевизионных программ;
- модемная плата на каждый канал, предназначенный для обмена данными между компьютером головной станции и абонентскими терминалами;
- абонентский терминал (телевизионный приемник и приставка к нему), который обеспечивает передачу по обратному каналу номера абонента, продолжительности просмотра программы и другой служебной информации. Приставка к телевизору может быть как внешней, так и конструктивно встроенной в него;
- видеомаркеры, обеспечивающие установку в телевизионном кадре платного телевидения электронных меток, обозначающих номер платного канала и моменты перерывов в работе;
- компьютер головной станции, управляющий работой системы;
- принтер для печатания необходимой информации;
- программный блок, обеспечивающий: управление системой; гибкое изменение ее параметров (в случае необходимости); контроль исправности работы узлов и блоков; выдачу данных по оптимизации работы персонала.

Кратко поясним роль видеосервера в гостиничном комплексе.

Видеосервер — специализированный комплекс, предназначенный для хранения, обработки и передачи звуковой и видеoinформации в цифровом виде. Видеосервер может обрабатывать большие объемы видеоданных в реальном масштабе времени по большому числу параллельно работающих каналов вводов и выводов. Объем памяти оперативного запоминающего устройства видеосервера составляет 1,5...2 гигабайта, а объем долговременной памяти на диске 2...3 терабайта. Стоимость видеосервера может достигать сотен тысяч долларов. Тем не менее, такие затраты в ряде случаев оправданы значительно более высоким уровнем обслуживания.

Современная кабельная сеть обеспечивает пропускание следующих сигналов:

- 1) до 60 телевизионных программ в аналоговой форме;
- 2) радиовещательных программ в полосах частот 66...74 МГц и 88...108 МГц;
- большого числа цифровых телевизионных программ в стандарте MPEG-2 с модуляцией 16-KAM, 32-KAM или 64-KAM в полосе частот

625...860 МГц (количество программ определяется числом позиций в системе модуляции КАМ);

- двунаправленные цифровые потоки информации с различной скоростью передачи для телефонии, доступа в Интернет, а также служебной информации – телеметрии, пожарной сигнализации, мониторинга сети и т. д.

В крупных гостиничных комплексах, подобных комплексу «Измайлово» (г. Москва), может создаваться гибридная оптокоаксиальная сеть, состоящая из центрального оптического кольца и радиальных сетей, построенных на коаксиальных кабелях.

В соответствии с принятым в Европе стандартом во всей проектируемой сети необходимо обеспечить на абонентских терминалах заданные параметры по шумам (см. табл. 4.9).

Параметры по шумам и нелинейностям головной станции волоконно-оптической линии обычно определяются оборудованием фирмы и практически не зависят от проектировщика.

Оптимизация коаксиально-кабельной сети путем подбора ее конфигурации, а также выбора перспективного оборудования, позволяющего в дальнейшем развивать сеть как по числу обслуживаемых абонентов, так и по расширению перечня предоставляемых услуг, как правило, дает заметный эффект.

Например, фирма IKUSI (Испания) предлагает оборудование для коаксиальных кабельных сетей достаточно легко адаптируемое в широком диапазоне требований пользователей. Магистральные усилители фирмы типа TAL-800 за счет схемы автоматической регулировки усиления и наклона амплитудно-частотной характеристики позволяют поддерживать заданные параметры при изменении температуры окружающей среды в больших пределах.

Регулируемый эквалайзер дает возможность корректировать неравномерность амплитудно-частотной характеристики тракта передачи.

Междукаскадный эквалайзер за счет управления наклоном характеристики на выходе позволяет уменьшить нелинейности второго (CSO) и третьего (CTB) порядков не менее чем на 3...4 дБ и оптимизировать отношение сигнал/шум (C/N) на выходе усилителя.

При построении протяженной трассы магистральный усилитель TAL-800 допускает включение до 20 усилителей в каскаде.

Универсальный распределительный усилитель TAE-900, предназначенный для включения на оконечном участке магистральной сети, позволяет устанавливать верхнюю частоту полосы пропускания 300, 450, 550, 606 МГц, т.е. расширять полосу и тем самым увеличивать пропускную способность сети путем замены модуля выходного эквалайзера.

Таблица 4.12. Основные технические характеристики усилителей BETA-U

Наименование параметра	Значение параметра	
	Прямой канал	Обратный канал
Рабочий диапазон частот, МГц: усилитель типа BETA-U 830 E8 усилитель типа BETA-U 865 E8	47...862 85...862	5...30 5...65
Максимальное усиление, дБ	34	—
Рабочее усиление, дБ	32	—
Нелинейность, не более, дБ	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$
Рабочий уровень сигнала на выходе, дБмкВ	111	—
Максимальный уровень сигнала на выходе, дБмкВ	121	—
Коэффициент шума, дБ	9	—
Пределы регулировки усиления, дБ	0...18	—
Пределы регулировки наклона АЧХ, дБ	0...18	—
Потери на пассивном обратном канале, не более, дБ	—	1
Пределы регулировки затухания, дБ	—	0...10
Усилитель обратного канала		
Рабочий диапазон частот, МГц:		
тип BRA 318,325	—	5...30
тип BRA 318,625	—	5...65
Коэффициенты усиления		
тип BRA 318,325	—	18
тип BRA 318,625	—	25
Нелинейность, не более, дБ	—	$\pm 0,7$
Максимальный уровень на выходе, дБмкВ	—	115
Пределы регулировки усиления, дБ	—	0...10
Пределы регулировки наклона АЧХ, дБ	—	0...10

Пассивный обратный канал усилителя имеет два значения полосы: 5...35 или 5...65 МГц. Усилитель обеспечивает возможность подачи напряжения питания по кабелю или от внешней сети 220 В. Конструкция корпуса усилителя предусматривает хорошую отдачу тепла в окружающую среду. Домовой усилитель ТАЕ-700 имеет обратный канал с полосой 5...35 или 5...65 МГц.

Все усилители предусматривают возможность подключения модема системы мониторинга, которая способна контролировать следующие параметры:

- напряжение переменного тока системы дистанционного питания;

- напряжение и потребляемый постоянный ток;
- температуру внутри корпуса;
- уровень высокочастотного сигнала;
- ошибки при передаче цифровой информации;
- возникновение искажений в обратном канале.

В табл. 4.12 приведены основные технические характеристики универсального усилителя типа BETA-U.

Реализация интерактивных кабельных телевизионных сетей в гостиничных комплексах позволяет не только обеспечить необходимые бытовые удобства, но и дает возможность руководителям различного уровня решать ряд деловых вопросов непосредственно из номера гостиницы. К сожалению, в России пока подобный сервис предоставляется лишь в небольшом проценте гостиниц. Затраты на создание таких сетей, по данным ряда зарубежных фирм окупятся в течение 1,5...2 лет.

Управляемые ответвители для гостиничных сетей платного телевидения

Одной из проблем организации платного телевидения в гостиничных комплексах является обеспечение несанкционированного доступа в эти сети.

Реализация ограниченного доступа возможна двумя способами – управление с помощью адресного кодирования и применение дистанционно управляемых ответвителей.

Первый способ имеет ряд недостатков:

- с повышением эффективности технических средств противодействия «пиратству» существенно увеличивает их сложность, что, в свою очередь, ведет к удорожанию услуги;

- ухудшается качество сигнала в цифровых системах;

- отсутствует 100%-ная гарантия защиты системы от «взлома» ее опытными хакерами;

- сравнительно высокая стоимость оборудования, что может отпугнуть владельцев.

Достижения микроэлектроники последних лет позволяют реализовать эффективный способ защиты от несанкционированного доступа в сети КТВ с помощью управляемых ответвителей,

состоящих из управляемых высокочастотных ключей в интегральном исполнении и недорогих микроконтроллеров.

Управление производится с помощью компьютеров и устройств формирования специальных команд.

Комплект технических и программных средств разработан российской компанией DiTel (г. С.-Петербург) и канадской фирмой UNDSAY Electronics.

Полный состав оборудования включает следующие элементы [4.9]:

- компьютер, управляемый операционной системой MS Windows 98/ME/2000/XP;
- устройство формирования команд управления (отдельный блок);
- программное обеспечение, созданное специально для российского рынка отечественными специалистами;
- ответвители телевизионного сигнала со встроенными модулями управления.

Основные технические характеристики элементов

Устройство формирования команд

Несущая частота, МГц	110,59
Выходное напряжение, дБмкВ	100
Скорость обмена, бит/с	9600
Напряжение питания, В	220
Масса, кг	1,6

Управляемый ответвитель

Диапазон рабочих частот, МГц	5...1000
Количество отводов	8/4/2
Экранирование, дБ	100
Затухание на отводе включено/выключено, дБ	50...70
Габаритные размеры, мм	229×89×76
Рабочий диапазон температур, °С	-40... +60
Аттенюаторные вставки, дБ	0...34
Обратный канал	Есть

По расчетам разработчиков, для гостиницы на 150 номеров при усредненной оплате от одного клиента 30 руб. в сутки коэффициент использования платных телевизионных каналов 0,66. Затраты на оборудование подобной кабельной сети окупаются в течение 3...4 мес.

Анализ развития и совершенствования систем цифрового телевидения и вещания, передаваемых по различным физическим каналам (тропосфера, космос, кабель), показывает дальнейшее увеличение их взаимодействия не только между собой, но и с традиционными информационными сетями (телефония, передача данных вещательных программ и т.п.).

Прослеживается тенденция формирования современных телекоммуникационных сетей, позволяющих транслировать любую информацию независимо от ее вида (речь, музыка, подвижные и неподвижные изображения, цифровые данные и т.п.), а также ее источника, получателя и вида канала связи, т.е. формируются интегральные интерактивные мультисервисные сети.

Далее в разд. 4.6 и 4.7 рассматриваются примеры создания таких сетей в западно-европейских странах и в России. В разделе 4.8 приведены результаты совершенствования ранее созданных кабельных сетей при их переводе на цифровой стандарт, а также расширения телекоммуникационных сетей на высокоширотные области России, вплоть до Шпицбергена и Магаданской области.

4.6. Интегральные интерактивные кабельные сети

В области проектирования и строительства кабельных сетей в настоящее время в Москве, Московской области и других регионах идет процесс объединения локальных сетей, которых в 2000 г. было около 700, в единую систему кабельного телевидения города.

Крупные сети кабельного телевидения с количеством абонентов более 50–100 тыс., как правило, имеют гибридную волоконно-коаксиальную транспортную структуру. Это справедливо как для передачи аналоговых, так и цифровых сигналов.

Особенностью цифровой транспортной сети является возможность использования как синхронных методов передачи SDH (синхронная цифровая иерархия), так и режима асинхронной передачи данных (ATM), позволяющего осуществлять динамическое распределение ресурсов.

Системы SDH/ATM были разработаны и нашли широкое применение в кабельных коммуникационных сетях.

Ряд зарубежных компаний разработали и производят оборудование, предназначенное для использования в цифровых транспортных сетях, оптимизированное для работы в системах кабельного телевидения. В России также ведутся работы по объединению сетей SDH, ATM и цифрового телевидения [4.8].

Основой подобного комплекса оборудования является универсальная многофункциональная головная станция, позволяющая операторам постепенно перейти от традиционных аналоговых структур к современным цифровым системам.

Оборудование такой головной станции обеспечивает возможность использования для распределения сигналов цифрового телевидения по весьма распространенным сетям передачи данных в режимах SDH и ATM.

Современные системы для обработки и распределения цифровых сигналов можно разделить на два комплекса. Первый комплекс предназначен для перемultipлексирования сигналов цифрового телевидения, поступающих от различных источников – спутниковых (DVB-S), кабельных (DVB-C) сетей, а также по каналам наземного телевидения (DVB-T). Оборудование позволяет оцифровывать и сжимать по методу MPEG-2 аналоговые видеосигналы, преобразовывать входящие цифровые потоки DVB-S, DVB-C и DVB-T в единый общий поток, передаваемый в диапазоне рабочих частот гибридной волоконно-коаксиальной сети. Второй комплекс расширяет возможности оборудования систем распределения видеосигналов в направлениях:

- использования существующих сетей передачи данных;
- увеличения пропускной способности и улучшения качества передачи по имеющимся сетям за счет преобразования аналоговых сигналов в цифровые.

Преобразование аналоговых систем распределения видеосигналов в цифровые сети с последующей интеграцией их с сетями передачи данных SDH и ATM предоставляют операторам возможность децентрализованного формирования цифровых потоков. Это означает, что аппаратные видеопроизводства, спутниковые и наземные телепорты, Интернет и телефонные шлюзы, системы управления сетью и ее составляющими могут быть разнесены, т.е. размещаться в удобных для них местах. Обязательным условием для этого является лишь условие подключения к цифровой сети.

Упомянутые выше два комплекса оборудования функционально тесно связаны и, как правило, используются совместно.

При выделении цифровых видео- и аудиосигналов из общего цифрового потока данных и перевода их в телевизионную кабельную или наземную распределительную сеть используют двунаправленный интерфейс STM-1. Несколько потоков STM-1 могут быть объединены в один с максимальной емкостью до 155,52 Мбит/с. Потоки STM-1 через два направленных интерфейса системного узла

объединяются в два потока со скоростью 622,08 Мбит/с для транспортировки по кольцевой волоконно-оптической сети (рис. 4.13). При выделении цифровых видео- и аудиопрограмм через двунаправленные интерфейсы STM-1 любого из системных узлов (СУ) они переносятся в полосу рабочих частот кабельной сети.

Модуляция сигналов в кабельной сети может быть как аналоговой, так и цифровой 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM.

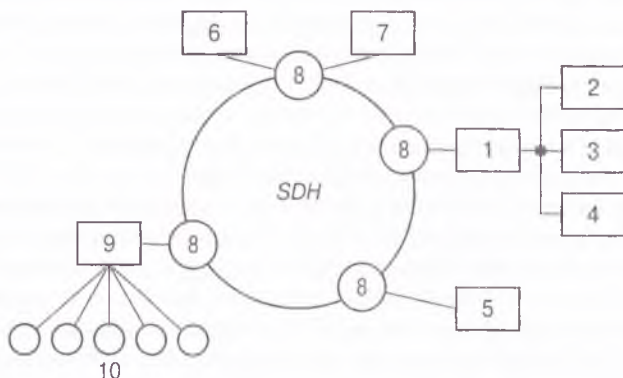


Рис. 4.13. Схема взаимодействия источников и потребителей сигналов в сетях SDH:

1 – видеосервер; 2 – телецентр; 3 – спутниковые цифровые программы (DVB-S); 4 – телестудии; 5 – телепорт; 6 – библиотеки, университеты; 7 – корпоративная сеть; 8 – преобразователь оптика–коаксиал; 9 – системные узлы; 10 – распределительная телевизионная сеть

При отсутствии цифровых потоков в сети передачи данных SDH/ATM оборудование будет выполнять функции перемultipлексирования телевизионных цифровых потоков спутниковой или наземной сети в кабельную. Подобная унифицированная система, удовлетворяющая требованиям общепринятых стандартов, облегчает взаимодействие операторов друг с другом и уменьшает объем работ при последующих модернизациях сетей и систем. Видео- и аудиосигналы, сжатые по методу MPEG-2, хорошо согласуются с синхронными сетями передачи данных SDH, обеспечивающими высокое качество изображения на экране абонентского телевизионного приемника.

Высокая надежность оборудования обеспечивается за счет использования резервной маршрутизации волоконно-оптических линий либо за счет резервирования элементов системы или всей системы в целом.

В схеме резервирования блоков питания используется горячий резерв блоков, находящихся в частично нагруженном режиме, и работа от аккумуляторных батарей 48 В. Автоматическое переключение с неисправного оборудования на резервное или изменение направления передачи по ВОЛС осуществляется сервером резервирования, управляемым специальной программой. При этом регистрируются неисправности системы и некоторые ее параметры.

Если максимально допустимое затухание в транспортной сети не превышает 25 дБ, то возможно организовывать линии связи при длине волны 1550 нм до 80 км, а при длине волны 1310 нм – до 30 км. При необходимости большей длины участка по сравнению с указанными выше значениями в системе предусмотрена установка системного узла в качестве повторителя – регенератора или стандартного оптического усилителя.

Пропускная способность системного узла при передаче цифрового потока по стандарту MPEG-2 превышает 1 Гбит в секунду, что дает возможность транслировать в транспортной сети более сотни цифровых телевизионных программ высокого качества.

Особенности построения SDH структур позволяют иметь практически неограниченное количество каскадно-включенных сетевых узлов, предоставляет возможность построения крупных городских, региональных и даже федеральных кабельных сетей протяженностью сотни километров.

Рассмотренные выше системы внедряются в Швеции крупнейшим скандинавским кабельным оператором Com Hem, который с помощью этого оборудования намеревается соединить цифровой магистралью сорок крупнейших городов Швеции.

Широкополосные сети кабельного телевидения хорошо согласуются с устройством «Телеком-Рикор», разработанным компанией «Рикор-холдинг» (Россия). Устройство совмещает функции телевизора, радиоприемника, компьютера, видеомagneитофона, модема для доступа в Интернет, семейного видеоархива и многое другое.

Все эти многочисленные функции реализуются оригинальными компьютерными программами, разрабатываемыми компанией «Рикор-холдинг». Составные элементы устройства закупаются в основном за рубежом, далее производится некоторая доработка блоков питания, ресивера и установка защиты.

Следует иметь в виду, что информационно-организационное обеспечение устройства «Телеком-Рикор» создано применительно к Москве. Однако все технологии отработаны и могут внедряться в других городах и регионах России и стран СНГ.

4.7. Перспективы развития интегральных мультисервисных телекоммуникационных систем

В современном обществе продолжается интенсивный процесс развития сетей различного назначения: передачи данных, телефонных, компьютерных, телевизионных, интеллектуальных. Внедряются новые виды услуг связи и вещания: спутниковое телевизионное и звуковое вещание при передаче цифровых и аналоговых сигналов, модернизируются наземные сети телерадиовещания путем перехода на цифровые методы передачи, способные интегрировать информацию, передаваемую от различных источников.

В Европе разработана и реализуется исследовательская программа «Передовые услуги и технологии связи» (Advanced Communications Technolo~~g~~s and Services – ACTS), призванная перейти к следующему этапу создания глобального информационного пространства. В программе ACTS разрабатываются следующие направления:

- интерактивные цифровые мультимедийные сети;
- дальнейшее развитие волоконно-оптических сетей или, так называемых фотонных технологий;
- создание интегральных высокоскоростных сетей передачи информации;
- развитие мобильных персональных сетей связи (сотовых, персонального вызова, транкинговых и т.п.);
- развитие интеллектуальных сетей, позволяющих оперативно удовлетворять требования пользователей, поставщиков услуг, и операторов сетей;
- решение вопросов безопасности систем связи, конфиденциальности передаваемой информации и услуг при высоком качестве обслуживания.

Россия практически представлена в каждом из разрабатываемых проектов.

Всего по программе ACTS разрабатывается более 15 проектов, в ней участвуют представители одиннадцати стран мира, в том числе США и Японии.

Одним из основных проектов этой программы является создание «Интегральной широкополосной связи на широкоэмительных сетях» (Integrated Broadband Communications on Broadcast Network – IBCoBN).

Задачи проекта IBCoBN:

- внедрение интегральной широкополосной связи в существующие и вновь создаваемые сети кабельного телевизионного вещания стран – членов Европейского сообщества (ЕС);

- количественная оценка потенциальных пользователей различных категорий предприятий и населения малого и среднего бизнеса, пожилых и нетрудоспособных людей в услугах широкополосной связи;

- разработка спецификаций оборудования для реализации интегральных сетей на базе сетей КТВ и рекомендаций по созданию общеевропейских стандартов и протоколов для таких сетей;

- определение спецификаций для проектирования архитектуры сети с полным набором услуг и проектов преобразования существующих и строящихся кабельных телевизионных сетей в интегральные широкополосные сети связи;

- проведение экспериментов по внедрению широкополосной связи в действующих сетях КТВ стран-участниц проекта.

В число участников программы ACTS входят: Беларусь, Болгария, Канада, Венгрия, Израиль, Литва, Польша, Россия, США, Чехия и Япония. В соответствии с европейским проектом сети с полным набором услуг (Full Service Network – FSN) предполагается создавать на базе современных сетей кабельного телевидения.

Главным условием для преобразования сети КТВ в сеть с полным набором услуг (FSN) является организация канала связи от абонента к головной станции.

К полному набору услуг в интегральной широкополосной сети можно отнести:

- предоставление нескольких пакетов аналоговых и цифровых телевизионных и радиовещательных программ, причем каждый пакет может включать десятки программ;

- наличие обратного канала, предоставляющего возможность абонентам реализовать режимы видео по требованию (Video on demand-VoD) и PPV (pay-per-view) – оплата по факту просмотра программы или за установленный период времени;

- предоставление телефонных услуг;

- реализация интеллектуальных услуг – мультимедиа, телемагазин, охранная и пожарная сигнализация, подключение абонентов к сети Интернет, предоставление каналов передачи данных и многое другое.

В России непосредственное участие в экспериментах по проекту IBCoBN принимают научно-исследовательский институт «Рубин» (г. С.-Петербург) и районный кабельный оператор – компания «ТВ-ИКС» [4.7]. В НИИ «Рубин» был создан испытательный

стенд для отработки технических решений по созданию сети с полным набором услуг, а компания «ТВ-ИКС» организовала экспериментальный участок широкополосной сети КТВ в поселке Горелово Ленинградской области. Этот участок был включен в состав автоматизированной системы учета и управления теплопотребления микрорайона. За три месяца эксплуатации экспериментального участка автоматизированного учета теплопотребления был достигнут экономический эффект более 50 тыс. долл. В дальнейшем компания «ТВ-ИКС» планирует организовать учет потребления электроэнергии в различных районах города С.-Петербурга.

Специалисты НИИ «Рубин» и «ТВ-ИКС» рассчитали, что в регионе с 1,5 млн. потенциальных абонентов современной сети кабельного телевидения рынок широкополосных интерактивных услуг составит не менее 200–300 тыс. абонентов. Перспективная широкополосная кабельная сеть на 100 тыс. абонентов, начиная со второго года эксплуатации, может дать доход более 1800 тыс. долл. ежегодно.

Состояние сетей кабельного телевидения в России и основные направления их развития

В 1980-е годы в России активно развернулось проектирование и строительство сетей кабельного телевидения для распределения программ телевизионного вещания в метровом диапазоне (в полосе 40...240 МГц).

Распределительная сеть выполнялась на коаксиальных кабелях устаревших марок, вносивших довольно заметное затухание при прохождении сигнала и неравномерность в амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики кабельных сетей.

Эти сети включали сравнительно небольшое количество пользователей (от 50–100 до нескольких тысяч), не обеспечивали организацию обратных каналов и возможностей дальнейшего развития их по увеличению числа абонентов.

В Европе, США и других развитых странах в 1990-е годы стали внедряться гибридные сети с применением волоконно-оптических и коаксиальных кабелей. Широкополосные и протяженные магистрали строятся на волоконно-оптических кабелях, а домовые сети на коаксиальных.

Подобные сети позволяют довести до пользователей телевизионной программы метрового и дециметрового диапазонов радиовещательные программы (в полосе 76...108 МГц), а при необ-

ходимости сеть может быть уплотнена сигналами передачи данных и телефонией. Гибридные сети технически позволяют организовать обратные каналы, для которых обычно отводится полоса 5...40 МГц.

Таким образом, для реализации кабельной сети с полным набором услуг использовать старые схемы практически невозможно и нецелесообразно как с технической, так и с экономической точки зрения, ибо потребует замены не только кабеля, но и всех усилительных и развязывающих элементов сети (ответвителей, сумматоров, усилителей и других элементов).

Один из вариантов современной гибридной многофункциональной волоконно-коаксиальной сети с обратным каналом, обеспечивающей полный набор услуг, представлен на рис. 4.14.

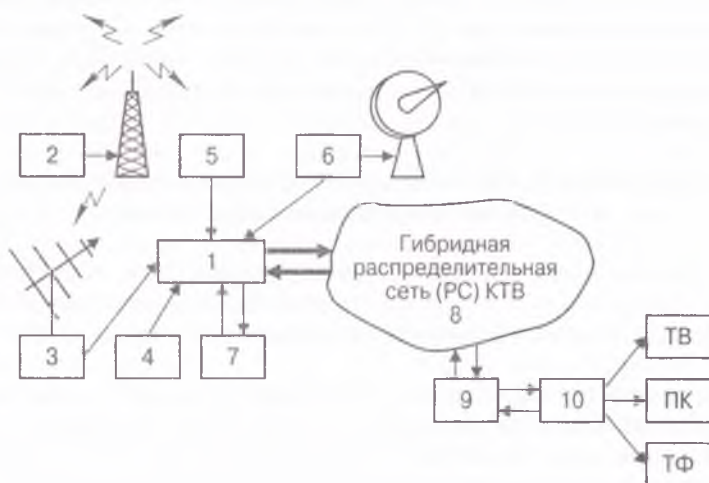


Рис. 4.14. Схема гибридной многофункциональной сети:

1 – центральная станция; 2 – телецентр; 3 – головная станция наземного телевидения; 4 – радиовещательная студия; 5 – студия КТВ; 6 – станция спутникового телевидения; 7 – диспетчерская служба городского хозяйства; 8 – гибридная распределительная сеть (РС); 9 – домовая РС; 10 – абонентский терминал (ТВ – телевизор, ПК – персональный компьютер, ТФ – телефонный аппарат)

Схема включает:

- центральную станцию (1), управляющую всей сетью города, крупного населенного пункта;
- головную станцию спутникового телевидения (6) с антеннами разных размеров, ориентированных на различные спутники;

- головную станцию наземного телевидения (3);
- студии кабельного телевидения (5) и радиовещания (4);
- гибридную интерактивную широкополосную распределительную сеть на волоконно-коаксиальных кабелях (8);
- домовую распределительную сеть кабельного телевидения (9);
- абонентские интерактивные терминалы (10), включающие кроме трансивера компьютер, телевизионный приемник, телефонный аппарат.

Центральная станция сети связана двусторонними каналами с вычислительными сетями предприятий, гостиниц, диспетчерской службой городского хозяйства, со станциями наземного и спутникового телевизионного вещания и студиями.

В указанной на схеме сети можно выделить три уровня: *первый* уровень магистрального доступа от транспортного узла к сети, выполняемой в виде оптического кольца;

второй уровень, включающий также и радиальные ответвления на крупные узлы, проектируется, как правило, на волоконно-оптических кабелях;

третий уровень образуют коаксиальные субмагистральные и домовые распределительные сети, а также абонентские линии и терминалы. Сеть третьего уровня может обслуживать от нескольких сотен до тысячи и более абонентов.

Гибридные волоконно-коаксиальные сети позволяют передавать не только десятки аналоговых телевизионных программ, но и цифровые потоки со скоростями 2,5...10 Гбит/с, что гарантирует пропускание сотен цифровых телевизионных и радиовещательных программ.

В настоящее время в ряде городов России ведутся работы по созданию локальных сетей с полным набором услуг (FSN – Full Service Network).

В частности, в Москве в муниципальном округе «Дорогомилово» создана гибридная широкополосная кабельная сеть, охватывающая 9800 пользователей. Реализация системы передачи данных по сети планировалась по мере поступления заявок на услугу, технические возможности для этого в системе созданы. Московская фирма «КОМКОР-ТВ» строит гибридную волоконно-коаксиальную абонентскую сеть, способную предложить широкий спектр услуг [4.5]: два пакета радиовещательных и телевизионных программ, один из пакетов, состоящий из 16 телевизионных программ, девяти радиовещательных – бесплатный, второй – из 22 кодированных телевизионных программ, принятых с иностранных спутников, платный.

По сети «КОМКОР-ТВ» может быть предоставлен высокоскоростной доступ в Интернет: в прямом канале на скоростях 128, 256 и 512 кбит/с, при этом скорость передачи в обратном канале, работающем в полосе 5...35 МГц – 64 кбит/с, с возможностью ее увеличения по запросу абонента. Фирма готова к предоставлению услуги «индивидуальные виртуальные сети» (Virtual private network – VPN), позволяющей пользователям организовать «офис дома», т.е. через кабельную сеть присутствовать на работе.

К июню 2000 г. полностью построена сеть в Хамовниках на 15 тыс. потенциальных абонентов, в Чертанове на 75 тыс., в Зеленограде на 15 тыс. абонентов. В течение пяти лет сеть «КОМКОР-ТВ» должна охватить около 1,5 млн. квартир города.

В любой локальной кабельной сети, в зависимости от числа абонентов, предусматривается проектом строительство от 1 до 5 головных станций, осуществляющих взаимодействие сети с телевизионными и вещательными студиями, с телецентром и станцией приема спутникового телевидения. В этом случае одна из головных станций выполняет функции центральной.

Применение волоконно-оптических кабелей на первом и втором уровнях объясняется тем, что они обладают следующими уникальными свойствами:

- возможность передачи нескольких цифровых потоков в одном световоде на разных длинах волн (обычно 1310 и 1550 нм);
- независимость сигналов, передаваемых навстречу друг другу на одной и той же волне.

Эти свойства световодов позволяют производить спектральное уплотнение одного оптического кабеля несколькими цифровыми потоками, используя разные длины волн, или организовывать два встречных потока на одной волне.

При встречной передаче независимых сигналов по одному оптическому кабелю применяются оптические ответвители, позволяющие выводить часть мощности и вводить другой оптический сигнал в общий поток.

Для такого варианта сети оптимальной является древовидная структура: от ствола к ветвям направляются широкополосные сигналы – цифровые или аналоговые телевизионные и радиовещательные программы, а в обратном направлении – узкополосные сигналы от различного рода датчиков, звуковые сигналы, запросы абонентов и т.п.

Создается и расширяется широкополосная кабельная сеть «Инфолайн» в Московской области, где размещено 74 города с населением более 100 тыс. человек [4.1].

В настоящее время отдельные участки широкополосной кабельной сети «Инфолайн» уже функционируют в городах: Королеве, Юбилейном, Мытищах, общее количество абонентов около 9 тыс. В сети, предоставляющей пакет из 30 телевизионных программ и услуги телефонии, охвачено около 40 тыс. квартир. Плата за подключение к сети 100 руб., абонентская плата за пакет из 30 телевизионных программ – 45 руб. в мес.

С февраля 2000 г. в Мытищах предоставляются два пакета с частотным разделением каналов. Один из пакетов – социальный включает 20 российских каналов МВ и ДМВ диапазонов, а также спутниковые каналы на разных языках. Стоимость этого пакета 29 руб. в месяц.

Второй пакет – базовый – в него входят широко распространенные европейские телевизионные программы Fox Kids, Animal Planet, Discovery, CNN, BBC World и др. Его стоимость 5 долл., причем для абонентов базового пакета социальный предоставляется бесплатно. Планируется дальнейшее расширение базового пакета.

В настоящее время к экспериментальной сети города Мытищи подключено около 80% общего числа квартир в этой сети.

В кабельной сети «Инфолайн» насчитывается около 10 тыс. телефонных абонентов. Преимущество данной сети особенно проявляется в значительном увеличении скорости получения информации через Интернет до 30 Мбит/с вместо 33 кбит/с при использовании телефонного модема. Стоимость кабельного и телефонного модемов примерно одинакова – 250 и 200 долл. соответственно. Такое резкое увеличение скорости передачи в сети Интернет обеспечивается местной цифровой АТС, соединенной ВОЛС с цифровой АТС в Москве.

Особенности создания волоконно-коаксиальной технологии

Данные сети включают в себя, как правило, два уровня (без учета домовой распределительной сети).

Первый уровень формирует центральное кольцо на оптических кабелях с длиной волны 1550 нм. На втором уровне, включающем оптические узлы, могут применяться кабели с длиной волны 1550 и 1310 нм.

Ориентировочная протяженность линий на волне 1310 нм – 30...50 км, а на волне 1550 нм – до 100 км.

Центральная кольцевая структура включает:

- главную головную станцию (ГГС);
- транспортную сеть;
- подголовные станции (ПГС).

В данном варианте схемы обеспечивается постоянная и одинаковая пропускная способность оптической линии: для кабельной сети на 250 тыс. абонентов общая длина кольца с пятью участками по 10 км и с четырьмя подголовными станциями составит 50 км. Такая линия может быть выполнена на кабеле с 16 оптическими волокнами.

В древовидной структурной схеме сети подголовные станции включаются последовательно с головной, с уменьшением числа волокон к каждой последующей ПГС: ГГС–ПГС – 32 волокна, ПГС1–ПГС2 – 24 волокна, ПГС2–ПГС3 – 16 волокон, ПГС3–ПГС4 – 8 волокон.

Если стоимость кабеля с 8 волокнами принять за единицу, то кабель с 16 волокнами стоит 1,4 единицы, с 24 волокнами 1,81 единицы, с 32 волокнами – 2,16 единиц.

Суммарная стоимость оптического кабеля для древовидной структуры транспортной сети с участками по 10 км составит:

$10 \text{ км} \times 2,16 + 10 \text{ км} \times 1,81 + 10 \text{ км} \times 1,44 + 10 \text{ км} \times 1,0 = 64,6$ единицы.

Для кольцевой структуры из 5 участков по 10 км стоимость оптического кабеля с 16 волокнами составит:

$10 \text{ км} \times 5 \times 1,44 = 72$ единицы.

Несмотря на увеличение стоимости кабеля для кольцевой структуры на 12%, последняя позволяет реализовать полное резервирование, включая оборудование и трассу прокладки кабеля.

В гибридных кабельных сетях используется, как правило, одномодовый оптический кабель, прокладываемый либо в коллекторах, либо на подвесках.

В коаксиальной сети в настоящее время достаточно широко применяются алюминиевые кабели, имеющие повышенную стойкость к окислению по сравнению с медными, а также существенно меньшую стоимость. Затухание сигналов в алюминиевых и медных кабелях на рабочих частотах примерно одинаково.

В заключение кратко сформулируем преимущества волоконно-коаксиальных сетей.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) позволяют:

- передавать цифровые потоки со скоростью до 10 Гбит/с;
- вводить в световод независимые сигналы навстречу друг другу на волне одной длины и несколько цифровых потоков в одном направлении на волнах разной длины;

- практически неограниченно расширять и развивать сети, подключая к оптическому кольцу новые радиальные направления на волоконно-оптических линиях или удлиняя их до 100 и более километров;
- организовывать интеллектуальные сети для обслуживания и диспетчеризации служб городского хозяйства, для предоставления сервисных услуг различным слоям населения;
- осуществлять консультацию и обучение на дому, выбор товаров и т.п.

4.8. Внедрение цифровых телекоммуникационных сетей. Проект цифровой кабельной сети «Версател»

Компания «Версател» (Москва) с 2001 г. ведет работы по уплотнению имеющейся аналоговой телевизионной кабельной сети ОАО «Мостелеком» цифровыми телевизионными сигналами. В настоящее время эксплуатируемая кабельная сеть Москвы, созданная еще в конце 1980-х годов, охватывает около 3 млн. квартир, обеспечивая передачу программ аналогового телевидения в полосе 40...240 МГц. Однако в этой полосе первый, третий, восьмой и одиннадцатый частотные каналы не используются из-за большого уровня помех, создаваемых наземными телевизионными сигналами на этих частотах.

Компания «Версател» получила лицензию на использование четырех полос: 48,5...56,5 МГц (1-й канал), 76...84 МГц (3-й канал), 190...198 МГц (8-й канал), 214...222 МГц (11-й канал) для передачи в них цифровых телевизионных программ [4.10].

В каждой полосе может быть передано до 8 цифровых программ.

Исследования, проведенные научными сотрудниками НИИР, показывают, что если существующие кабельные сети соответствуют всем требованиям для передачи аналоговых сигналов в заданной полосе 40...240 МГц, то они полностью пригодны для прохождения цифровых сигналов.

Источником цифровых телевизионных сигналов являются цифровые программы в стандарте DVB-S, принимаемые со спутников. Затем формируются транспортные потоки из 6–8 программ, которые передаются по оптоволоконной линии к передатчику, размещенному на Останкинской телебашне.

Транспортный суммарный поток модулирует многоканальный передатчик в диапазоне MMDS (2,5...2,7 ГГц), сигналы которого

излучаются всенаправленной антенной. В коаксиальных сетях цифровой сигнал вместо QPSK в спутниковом канале преобразуется в стандарт 64-QAM, что позволит обеспечить полезную скорость (с учетом помехоустойчивого кодирования) 38,1 Мбит/с. Это гарантирует в цифровом пакете передачу 6–8 телевизионных программ по каналу с полосой пропускания 7,92 МГц.

Из общего числа головных приемных станций в настоящее время отобрано 50, удовлетворяющих требованиям по прохождению цифровых телевизионных сигналов, из них формируется опытная зона.

На первом этапе планируется для зрителей подавать 24–28 программ с дальнейшим увеличением их до 32. Кроме того, зритель может получить услугу – видео по заказу. Для пользования платным пакетом из 30 цифровых телевизионных программ абоненту необходимо будет приобрести декодер стоимостью около 100 долл. США. С целью сравнения с цифровым наземным телевидением напомним, что приставка для приема этих программ на современный типовой телевизор будет стоить не менее 180 долл. США, а многофункциональный телевизор – до 6 тыс. долл.

Для защиты сигналов платных программ от несанкционированного доступа планируется применить систему условного доступа Videoguard компании NDS, которая специалистами считается одной из лучших в мире (имеет более 27 млн. подписчиков).

Компания «Версател» планирует, что стоимость базового пакета из 15 программ будет около 8 долл., базовый пакет из 24 программ – 18 долл.

Услуга видео по запросу будет введена несколько позднее, причем просмотр одного свежего кинофильма в цифровом формате, т.е. по качеству сравнимым с компакт-диском (DVD), будет стоить около 4 долл.

Особенности строительства и монтажа кабельных телевизионных сетей в районах Крайнего Севера

Кабельная сеть в Магаданской области

В России довольно большой процент территорий, в которых ведется активная народнохозяйственная деятельность, находятся на широте выше 70°. Характерной особенностью этих территорий являются экстремальные климатические и природные условия, где прокладка кабельных сетей и даже строительство радиорелейных линий прямой видимости является либо невозможной, либо эконо-

мически необоснованной. В этих условиях единственным направлением формирования региональных сетей связи и телерадиовещания является использование спутниковых ретрансляторов.

Корпорация «Белка», по-видимому, одной из первых реализовала в 2000–2001 годах несколько локальных кабельных сетей телерадиовещания в Магаданской области.

Несколько ранее специалисты этой же компании оборудовали в поселке Бошнякова на острове Сахалин телестудию и обеспечили местное население наземным телевизионным вещанием. Доставка центральных телерадиовещательных программ местному населению производится от приемных спутниковых станций.

В районах Крайнего Севера, Якутии и Магадана из-за удаленности и в связи с экстремальными природными и климатическими условиями регулярный прием телевизионных программ теоретически возможен лишь со спутников, находящихся в зоне радиовидимости соответствующих регионов и связан с большими техническими трудностями.

Специалисты фирмы «Белка» спроектировали, произвели монтаж и ввод в эксплуатацию кабельных сетей в ряде населенных пунктов Омогонской золоторудной компании [4.12]. В настоящее время введены в эксплуатацию спутниковые станции приема и распределительная кабельная сеть на рудниках Кубака и Биркочан, расположенных на реке Омогон – притоке Колымы. Зимой температура достигает -50°C , а в летние месяцы доходит до $+25...30^{\circ}\text{C}$.

В зоне радиовидимости этих регионов находятся спутники «Ямал-100» (правда, под очень малыми углами места), «Горизонт-22» (140° в.д.), «Горизонт-33» (145° в.д.) и PanAmSat (169° и 166° в.д.). Учитывая большую прецессию спутников «Горизонт» на орбите (у спутника «Горизонт-22» она составляет $5,4^{\circ}$), у приемных антенн используется двухкоординатная регулировка (по углу места и по азимуту). Для антенн применены сетчатые параболические зеркала, транспортировка которых проще, чем цельнометаллических.

Прокладка и монтаж кабельной сети определялись особенностями жилых зданий рудника. На Кубаке это одно здание в составе трех корпусов и потому монтаж сети не вызывал затруднений. На руднике Биркочан жители поселка размещаются в утепленных коттеджах, удаленных друг от друга на расстоянии около 30 м. Для соединений между ними используется морозостойкий, с повышенной механической прочностью итальянский кабель ти-

па RG-11. При этом кабель должен укладываться при температуре воздуха не ниже -8°C .

В поселке Кубак в настоящее время установлены три антенны: одна диаметром 1,5 м, ориентированная на спутник «Горизонт-22» (принимает программу OPT), другая – диаметром 3 м принимает сигналы со спутника «Горизонт-33» (программа РТР) и третья антенна диаметром 3,6 м рассчитана на прием цифровых телевизионных сигналов с одного из двух спутников PanAmSat (166° в.д. и 169° в.д.).

На руднике Биркочан пока установлена одна антенна диаметром 3 м, рассчитанная на прием сигналов одного из спутников «Горизонт». С учетом перспективы развития данного рудника кабельная сеть выполнена широкополосной с реализацией в ней в дальнейшем обратного канала, а также с расширением сети до 60 точек подключения вместо 20 на момент ввода в эксплуатацию.

Фирма «Белка» взяла на себя обязательства по восстановлению и последующей модернизации сети при переходе на прием цифровых телевизионных программ.

Сеть связи и телерадиовещания на о. Шпицберген

В настоящее время самой северной станцией спутниковой связи в России является станция, построенная около поселка Баренцбург на о. Шпицберген [4.11].

Эта станция была спроектирована и построена по заказу компании «Арктикуголь» Федеральным государственным унитарным предприятием «Космическая связь» (ФГУП КС) и с 2002 г. находится в эксплуатации. Для связи в настоящее время используется спутник «Экспресс-AIR» (40° в.д.). Учитывая, что широта острова Шпицберген составляет около 80° , то угол места на геостационарный спутник будет всего лишь около $2,5^{\circ}$, поэтому земная приемопередающая станция класса VSAT установлена на высоте 361 м.

Комплексная сеть, сформированная в п. Баренцбург на основе ЗС, позволила решить следующие задачи:

- организовать корпоративную и технологическую связь компании «Арктикуголь»;
- обеспечить население Баренцбурга русскоязычными программами РТР, OPT, «Культура» в цифровом формате, с высоким качеством изображения, на основе ранее созданной вещательно-распределительной сети;

- удовлетворить потребности населения поселка в более дешевой телефонной связи по сравнению с ранее использовавшимися международными каналами связи через Норвегию.

Установленная в поселке цифровая АТС на 500 номеров обеспечивает технологической связью все горнодобывающие предприятия и нужды населения, в том числе и организацию каналов междугородной и международной связи.

В комплексной сети Баренцбурга реализованы:

- выход в Интернет путем установки компьютеров в двух общественно доступных местах – в гостинице и на переговорном пункте;

- получение большинства российских и ряда иностранных периодических изданий благодаря подключению к сети Newspaper Direct;

- организован отдельный канал мобильной связи по стандарту GSM с тарифом, соответствующему тарифу Мурманска;

- канал для предоставления услуг телемедицины в тех экстренных случаях, когда квалификация медперсонала больницы поселка оказывается недостаточной.

С помощью земной VSAT-станции обеспечивается надежная телефонная связь компании «Арктиуголь» с представительствами в Москве и Мурманске, а также населению предоставляются два канала по 256 кбит/с: один используется для Интернет-доступа и телефонии, а второй для передачи трафика GSM-сети.

Местная телевизионная распределительная кабельная сеть после установки на телецентре профессионального цифрового ресивера позволила подать жителям поселка три центральных программы РТР, ОРТ и Культура, принимаемых со спутника «Экспресс AIR».

Список литературы к гл. 4

4.1. Мамаев Н.С., Мамаев Ю.Н., Теряев Б.Г. Цифровое телевидение / Под ред. Н.С. Мамаева. – М: Горячая линия–Телеком, 2001. – 180 с.

4.2. Козлов С.И. Требования к оборудованию для создания кабельных сетей. Справочник. – Теле-Спутник. 1999–2000. – С. 22–29.

4.3. Оборудование спутникового, наземного и кабельного телевидения // Каталог фирмы «Терра», 2003.

4.4. Воробьев М.С., Кудрин А.П., Сазонов Н.И., Толкачев А.Б., Хашимов А.Б. Приемные распределительные системы телевидения. – Челябинск, 2002. – 200 с.

4.5. Дмитриев С., Кукк К., Экспер Б. Многофункциональные интерактивные системы кабельного телевидения // Радио. – 2000. – № 4. – С. 73–74.

4.6. Мирошников М. Строительство мультисервисной сети «Комкор-ТВ» в Москве // Теле-Спутник. – 2000. – № 8. – С. 22–24; № 9. – С. 26–28.

4.7. Мамаев Н. Перспективы развития интегральных систем широкополосной связи // «625». – 2001. – №8. – С. 90–94.

4.8. Мамаев Н. Современные кабельные сети – основа будущих интерактивных сетей широкополосной связи // «625». – 2004. – № 2. – С. 42–43.

4.9. Архипов А., Гнездовский В., Левченко В. и др. Управляемые ответители для гостиничных систем платного телевидения и кабельных сетей // Теле-Спутник. – 2004. – № 1. – С. 58–60.

4.10. Проект цифровой кабельной сети «Версател» // Теле-Спутник. – 2002. – № 6. – С. 18–20.

4.11. Колюбакин В. Комплексная кабельная сеть ГПКС в Баренцбурге (о. Шпицберген) // Теле-Спутник. – 2003. – № 7. – С. 34–36.

4.12. Мирошников М. Спутниковый прием и строительство кабельной сети в экстремальных условиях // Теле-Спутник. – 2001. – № 7. – С. 60–61.

Заключение

Развитие систем передачи информации в современных условиях, в том числе и систем для передачи телевизионных и радиовещательных программ, идет по двум направлениям:

1) интеграция всех видов цифровых сигналов от источников информации (телевидение, вещание, телефония, данные и т.п.) в общем информационном потоке;

2) внедрение интерактивных или двухсторонних сетей, позволяющих непосредственное общение пользователя с источником информации.

В предлагаемой читателю книге авторы попытались осветить системы, которые в настоящее время по ряду причин пока не востребованы, но перспективность их применения не вызывают сомнения. К ним относятся, прежде всего, системы наземного со-
тового телевидения.

Внедрение в Европе и США систем передачи цифровых вещательных сигналов в длинноволновом, средневолновом и коротковолновом диапазонах широко используется в радиовещании под общим названием DRM (Digital Radio Mondiale) и позволяет существенно повысить надежность и эффективность сетей связи этих диапазонов.

Привлекательность систем DRM состоит в обеспечении дальности связи на многие тысячи километров, а внедрение их в России позволит создать современные сети связи в труднодоступных и малонаселенных регионах страны.

Кроме того, системы DRM могут сыграть важную роль в оповещении населения при чрезвычайных происшествиях как природного, так и техногенного характера.

Содержание

Предисловие	3
Введение	4
1. СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ	8
1.1. Стандарты, используемые в аналоговом телевизионном вещании	11
1.2. Распределение полос частот для телерадиовещания и некоторые соотношения для расчета напряженности поля	14
1.3. Проектирование сетей наземного телевизионного вещания	17
1.4. Цифровое телевизионное вещание в наземных радиоканалах (стандарт DVB-T)	20
1.5. Внедрение цифрового наземного телевизионного вещания в России и Европе	32
1.6. Совместная передача телевидения и цифровой информации (система «ТВ-Информ»)	42
1.7. Многоканальные системы наземного телевидения (MMDS)	49
1.8. Микроволновые интегрированные телерадиоинформационные системы распределения информации МИТРИС и РАСТР-15	68
1.9. Проект «Телевизионная деревня»	73
1.10. Сотовые системы наземного телевизионного вещания	76
Список литературы к гл. 1	84
2. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАДИОВЕЩАНИЯ	86
2.1. Местное радиовещание в КВ диапазоне	88
2.2. Многопрограммные системы радиовещания в метровом диапазоне с частотной модуляцией (УКВ-ЧМ)	91
2.3. Принципы преобразования звуковых сигналов в цифровые	98
2.4. Многопрограммное цифровое радиовещание в дециметровом (ДМВ) диапазоне	101
2.5. Цифровое радиовещание в ДВ, СВ и КВ диапазонах	105
2.6. Спутниковые системы цифрового радиовещания	111
Список литературы к гл. 2	122
3. СПУТНИКОВОЕ ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ	124
3.1. Спутниковые группировки национальных и корпоративных сетей России	124
3.2. Структурные схемы систем цифрового спутникового телевидения	133
3.3. Энергетический расчет спутниковых радиолиний Земля-ретранслятор и ретранслятор-Земля. Сравнительные характеристики сигналов, используемых в спутниковых и наземных системах цифрового телерадиовещания	141
3.4. Интерактивный доступ в Интернет по спутниковым каналам	159

3.5. Сети распределения цифровых сигналов с наземными станциями системы VSAT	164
3.6. Спутниковые мультисервисные телекоммуникационные сети (СМТС)	169
Список литературы к гл. 3	171
4. КАБЕЛЬНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ	173
4.1. Развитие кабельного телевидения в России	173
4.2. Классификация систем кабельного телевидения	180
4.3. Структурные схемы и основные элементы сетей КТВ	183
4.4. Требования к системам кабельного телевидения	201
4.5. Сети на коаксиальных и оптико-волоконных кабелях	211
4.6. Интегральные интерактивные кабельные сети	233
4.7. Перспективы развития интегральных мультисервисных телекоммуникационных систем	237
4.8. Внедрение цифровых телекоммуникационных сетей. Проект цифровой кабельной сети «Версател»	245
Список литературы к гл. 4	249
Заключение	251

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРЯЧАЯ ЛИНИЯ – ТЕЛЕКОМ»

ВЫШЛИ В СВЕТ И ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ:

Бадялик В. П. Основы телевизионного вещания со спутников. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 368 с.: ил. – (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1269), ISBN 5-93517-155-4.

Рассмотрены принципы построения систем для приема телевизионного вещания через спутники-ретрансляторы. Даны сведения об антеннах различных типов, первичных облучателях, поляризаторах электромагнитных волн, малошумящих усилителях сигналов СВЧ, частотных преобразователях (конвертерах). Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на качество приема и способы снижения помех. Приведена подробная информация о цифро-аналоговой системе D2-MAC/PACKET. Рассмотрены вопросы сжатия цифровых видео- и звуковых данных по протоколу MPEG-2, приема/передачи цифровых данных и повышения помехоустойчивости канала связи в соответствии со стандартом DBV-S.

Для широкого круга читателей, интересующихся приемом телевизионных передач через спутники-ретрансляторы, может быть полезна подготовленным радиолюбителям, а также студентам вузов и аспирантам.

Волков С. В. Сети кабельного телевидения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 616 с.: ил., ISBN 5-93517-190-2.

Содержит исчерпывающий материал о терминологии, структуре и оборудовании сетей кабельного телевидения и принципах их проектирования. Рассмотрены общие понятия и принципы формирования и передачи сигнала, основные показатели приемных и передающих систем, приведены формулы и поясняющие их примеры расчета различных характеристик кабельных систем. Систематизирована информация об активном и пассивном оборудовании, волоконно-оптических и коаксиальных кабелях, питании, прокладке и защите кабельной сети. Рассмотрены вопросы проектирования различных систем, включая двунаправленные и гибридные коаксиально-оптические. Приведена информация по использованию сетей кабельного телевидения как среды для передачи дополнительной информации, не относящейся к телевидению.

Для специалистов, связанных с проектированием систем кабельного телевидения, будет полезна студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Пескин А. Е., Труфанов В. Ф. Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы: Справочник. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 308 с.: ил., ISBN 5-93517-179-1.

Приведены подробные сведения о мировом вещательном телевидении: цифровом, аналоговом черно-белого и цветного изображений, спутниковом (аналоговом и цифровом) и кабельном (аналоговом и цифровом).

Показаны этапы развития мирового вещательного телевидения и концепция построения многостандартных телевизионных приемников.

Пособие рассчитано на технический персонал, занятый внедрением и эксплуатацией телевизионных систем, студентов соответствующих специальностей вузов и средних специальных учебных заведений, а также квалифицированных радиолюбителей.

Смирнов А. В., Пескин А. Е. **Цифровое телевидение: от теории к практике.** – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 352 с.: ил., ISBN 5-93517-222-4.

Изложены основные принципы построения систем цифрового телевидения и телевизионных приемников для таких систем. Рассмотрены действующие стандарты цифрового представления телевизионных сигналов и методы их цифровой обработки. Описаны методы сжатия телевизионных сигналов и сигналов звукового сопровождения по стандартам JPEG, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 и др. Приведены сведения о помехоустойчивом кодировании в системах цифрового телевидения и об используемых методах передачи сигналов цифрового телевидения по радиоканалам. Большое внимание уделено стандартам телевизионного вещания DVB, используемым в Европе. Дан обзор интегральных микросхем для приемников цифрового телевидения, выпускаемых ведущими в этой области фирмами. Подробно описаны структура, принципиальные схемы и работа одного из наиболее современных цифровых телевизоров.

Для специалистов, может быть полезна студентам соответствующих специальностей и подготовленным радиолюбителям.

Цифровое преобразование изображений: Учебное пособие для вузов / Р. Е. Быков, Р. Фрайер, К. В. Иванов, А. А. Манцветов; Под ред. профессора Р. Е. Быкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 228 с.: ил., ISBN 5-93517-119-8.

Изложены теоретические основы формирования и цифрового преобразования сигналов изображений. Рассмотрены принципы обработки изображений, предназначенных для зрительного восприятия и автоматического анализа, вопросы цифровой фильтрации, сжатия, кодирования сигналов изображения и др., изложены принципы построения устройств формирования видеосигналов и основы построения многозональных сканирующих систем.

Для студентов, аспирантов и научных работников.

Щербина В. И. **Основы современного телерадиовещания: техника, технология, экономика телерадиовещательных компаний.** – М.: Горячая линия – Телеком, 2004, – 224 с., CD, ISBN 5-93517-175-9.

Книга посвящена вопросам техники, технологии и экономики телевизионных и радиовещательных компаний в условиях внедрения современных технологий вещания. Под современными технологиями подразумеваются цифровые безленточные технологии подготовки, производства и выпуска вещательных программ. Рассмотрены принципы построения и функционирования современных цифровых комплексов вещания с использованием локальных вычислительных сетей. Приведена технология производственных процессов с детализацией до отдельных операций и шагов. Предложены методики расчета технико-экономических показателей объектов вещания и даны вычислительные программы для расчета этих показателей в зависимости от объемов собственного вещания. Описаны принципы синтеза современных объектов вещания и даны рекомендации по поэтапному переходу телерадиокомпаний к новым технологиям вещания.

Для специалистов технических, экономических и гуманитарных профессий, имеющих отношение к вещанию, будет полезна студентам вузов и аспирантам.

*Вы можете заказать книги наложенным платежом, выслав почтовую открытку или письмо по адресу: 107113, Москва, а/я 10, «Dessy»;
тел. (095) 304-72-31, post@dessy.ru*

*Дополнительная информация для читателей, авторов, распространителей
на сервере WWW.TECHBOOK.RU*

научно-технический журнал

"625"

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ОТ СЪЕМКИ ДО ЭКРАНА

новые технологии
цифровой кинематограф
оборудование
теория
история
обучение
новости

спутниковое и кабельное ТВ
выставки
съемка
регионы
опыт
законы



www.625-net.ru

Работает англоязычная версия
сайта и Интернет-магазин
специализированной литературы

На сайте www.625-net.ru
можно оформить подписку на
журналы "625" и "Звукорежиссер"

ИЗДАТЕЛЬСТВО 625

121069, Россия, Москва, а/я 143
Тел./факс: (095) 291-7724, 202-9588
E-mail: magazine@625-net.ru
[Http://www.625-net.ru](http://www.625-net.ru)

На Украине журнал "625-Украина"

ТЕЛЕВИДЕНИЕ И РАДИОВЕЩАНИЕ

BROADCASTING

Все идеи
НОВОГО
тысячелетия



для топ-менеджмента
рынка вещания:

ИНФОРМАЦИЯ, КОТОРОЙ ДОВЕРЯЮТ

“Broadcasting.

Телевидение и радиовещание”



это не просто
журнал,
а руководство
к действию

Современные
технологии
управления

Новые системы
эфирного,
кабельного,
спутникового
телерадиовещания

Телевидение
высокой четкости

«Цифра»
в эфире и кабеле

Автоматизация
вещания

Интерактивность...

Бесплатная квалифицированная подписка для профессионалов

125993 Москва, Миусская пл., 7

Тел.: (095) 251-2970, факс: (095) 251-3389, e-mail: podpiska@groteck.ru, broadcasting@groteck.ru

Почтовый адрес для корреспонденции: 127055 Москва, а/я 55

Индекс по каталогу агентства "РОСПЕЧАТЬ" - 47343, 79563; по каталогу "Почта России" - 63454

КРУПНЕЙШЕЕ СОБЫТИЕ В ОБЛАСТИ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ

ССТВ - 2006

КАБЕЛЬНОЕ И СПУТНИКОВОЕ ТВ, ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЕ, ТВЧ, ТВ ПО IP ПРОТОКОЛУ,
КОНТЕНТ ДЛЯ СЕТЕЙ ПЛАТНОГО ТВ, СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ, ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ДОСТУП



Искусство коммуникаций

6-9 ФЕВРАЛЯ

МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»

ВПЕРВЫЕ В РОССИИ:

- ЭКСПОЗИЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И КОНТЕНТА
ДЛЯ ТЕЛЕВИДЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЧЕТКОСТИ
- ФЕСТИВАЛЬ КАНАЛОВ ДЛЯ ПЛАТНОГО ТВ



**CONTENT
SHOW**

Организатор

MIDexpo

Генеральные партнеры



Со-организатор

конференция

Спонсор

выставки I-RTV

Генеральные

примечательные спонсоры



Отраслевые

медиа-партнеры



Официальный

туроператор



За более подробной информацией

с: +7 (095) 145 51 33, anastasia@midexpo.ru, www.cstv.ru

ISBN 5-93517-277-1

