



## ■ Международный союз электросвязи

# Справочник по ЦНТВ

**Цифровое наземное  
телевизионное вещание  
в диапазонах ОСЧ/УВЧ**

## СЕКТОР РАДИОСВЯЗИ МСЭ

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

*Обращайтесь по адресу:*

ITU  
Radiocommunication Bureau  
Place des Nations  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Телефон:	+41 22 730 5800
Факс:	+41 22 730 5785
Электронная почта:	<a href="mailto:brmail@itu.int">brmail@itu.int</a>
Web-сайт:	<a href="http://www.itu.int/itu-r">www.itu.int/itu-r</a>

*Обращаем внимание, что заказы не принимаются по телефону. Их следует направлять по факсу или электронной почте.*

ITU  
Sales and Marketing Division  
Place des Nations  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

<b>Факс:</b>	<b>+41 22 730 5194</b>
<b>Электронная почта:</b>	<b><a href="mailto:sales@itu.int">sales@itu.int</a></b>

**Электронный магазин МСЭ:** [www.itu.int/publications](http://www.itu.int/publications)

© ITU 2007

Все права зарезервированы. Не допускается воспроизведение каким бы то ни было способом любой части этой публикации без предварительного письменного разрешения МСЭ.



Международный союз электросвязи

# ***Справочник по ЦНТВ***

***Цифровое наземное  
телевизионное вещание  
в диапазонах ОВЧ/УВЧ***



## ОБЩЕЕ ВВЕДЕНИЕ

Предполагается, что системы цифрового телевидения благодаря многим их преимуществам заменят аналоговые телевизионные системы, которые уже более полувека использовались для предоставления звуковых и визуальных программ многим миллионам людей по всему миру. Сектор МСЭ-R принял решение выпустить руководство для инженеров, ответственных за осуществление цифрового наземного телевизионного вещания (ЦНТВ), в виде единого справочника, содержащего материалы, которые охватывают как системные аспекты, так и вопросы планирования в этой новой, и в то же время весьма сложной области. В результате получилась книга довольно большого объема, в которой каждый интересующийся цифровым телевидением найдет что-то как информативное, так и полезное.

Не следует ожидать, что все существующие аналоговые телевизионные службы будут за один день заменены цифровыми службами. Для этого, скорее всего, потребуются несколько, а, возможно, и много лет. Надеемся, что данный Справочник станет источником информации и помощи в предстоящие интересные годы.

---



**ЧАСТЬ 1**

**СИСТЕМЫ**





# ЧАСТЬ 1

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ГЛАВА 1 – Введение .....	7
1.1 Область применения.....	7
1.2 Предпосылки.....	7
ГЛАВА 2 – Обзор модели ЦНТВ.....	9
2.1 Постановка задачи .....	9
2.2 Модель ЦНТВ, принятая МСЭ.....	10
ГЛАВА 3 – Кодирование источника видео- и звукового сигнала.....	13
3.1 Определения.....	13
3.1.1 Кодирование источника и канальное кодирование.....	13
3.1.2 Кодирование источника .....	13
3.1.3 Прогрессивная развертка .....	13
3.1.4 Квадратные элементы изображения ("пиксели").....	13
3.2 Преимущества.....	13
3.3 Низкоскоростное видеокodирование и качество служб .....	14
3.4 Примеры стандартов развертки изображения .....	14
3.5 Сжатие и кодирование изображений [1] [2] [3].....	14
3.5.1 Введение .....	14
3.5.2 Введение в MPEG .....	14
3.5.3 Методы цифрового сжатия .....	15
3.5.4 Кодирование с межкадровым предсказанием и компенсация движений .....	16
3.5.5 Внутрикадровое кодирование .....	18
3.5.6 Кодирование с дискретным косинусным преобразованием (ДКП).....	18
3.5.7 Квантование коэффициентов.....	19
3.5.8 Кодирование длин серий.....	21
3.5.9 Кодирование с переменной длиной .....	21
3.5.10 MPEG-видеокodер .....	22
3.5.11 I-, B- и P-кадры.....	23
3.6 Цифровой видеопоток MPEG-2.....	24

	Стр.
3.7 Сжатие и кодирование звука .....	29
3.7.1 Введение .....	29
3.7.2 Характеристики звуковых систем для ЦНТВ .....	30
3.7.3 Обзор звуковой системы для ЦНТВ .....	32
3.7.4 Обзор по вопросу сжатия звука и его основы.....	33
3.8 Система ISO/IEC IS 13818-3 (MPEG-2), уровень II.....	34
3.8.1 Введение .....	34
3.8.2 Основные пользовательские характеристики системы ISO/IEC 13818-3, уровень II	35
3.8.3 Технические детали стандарта MPEG-2, уровень II.....	43
3.8.4 Заключение .....	46
3.9 Описание системы AC-3 .....	46
3.9.1 Введение .....	46
3.9.2 Технические детали AC-3 .....	47
3.9.3 Синтаксис цифрового потока .....	50
3.9.4 Громкость и динамический диапазон .....	51
3.9.5 Услуги предоставления основной, дополнительных и многоязычных программ .....	54
3.9.6 Заключение .....	58
3.10 Дополнительные данные.....	58
3.10.1 Телетекст .....	59
3.10.2 Субтитры программ.....	59
3.10.3 Вещательные мультимедийные услуги .....	59
3.11 Структура мультиплексирования MPEG-2 .....	59
3.11.1 Пакетированный элементарный поток (PES).....	61
ГЛАВА 4 – Мультиплексирование программных услуг и транспортировка.....	65
4.1 Возможные структуры .....	65
4.1.1 ATM.....	65
4.1.2 MPEG-2 .....	65
4.1.3 ISDB .....	66
4.2 Мультиплексирование видео, звука и данных.....	66
4.2.1 Введение .....	66
4.2.2 Мультиплексирование программных или транспортных потоков .....	67
4.2.3 Преимущества метода пакетизации с фиксированной длиной.....	68
4.2.4 Общий обзор транспортной подсистемы .....	69

	Стр.
4.3	Возможности мультиплексирования более высокого уровня..... 70
4.3.1	Транспортное мультиплексирование для одной программы ..... 70
4.3.2	Системное мультиплексирование ..... 71
4.4	Формат PES-пакета ..... 72
4.5	Принцип пакетирования и функциональные возможности..... 80
4.5.1	Обзор..... 80
4.5.2	"Канальный" уровень ..... 81
4.5.3	Уровень адаптации ..... 84
4.5.4	Специальная информация о программах (PSI) и поле указателя pointer_field..... 88
4.6	Возможности и услуги ..... 92
4.6.1	Введение ..... 92
4.6.2	Идентификация видов сжатия в звуковых и языковых каналах ..... 92
4.6.3	Информация о программах ..... 92
4.6.4	Субтитры ..... 92
4.6.5	Скрытые субтитры..... 92
4.6.6	Идентификация программ и источников программ..... 93
4.6.7	Идентификация условного доступа ..... 93
4.6.8	Информация о структуре изображения ..... 93
4.6.9	Колориметрия..... 93
4.6.10	Идентификация цветовых полей..... 93
4.6.11	Смена сюжета и точки чистой вставки..... 93
4.6.12	Частота полей/кадров и частота кадровых кадров в кинофильмах ..... 94
4.6.13	Автопанорамирование..... 94
4.6.14	Точки произвольного входа в сжатый цифровой поток ..... 94
4.6.15	Вставка местной программы ..... 94
4.6.16	Идентификация индивидуальных программ..... 95
4.6.17	Другая канальная информация..... 95
ГЛАВА 5 – Физический уровень – канальное кодирование и модуляция ..... 97	
5.1	Введение ..... 97
5.2	Эффективность использования спектра ..... 97
5.3	Методы модуляции..... 98
5.3.1	Общие соображения ..... 98
5.3.2	Модуляция одной несущей (МОН)..... 98
5.3.3	Модуляция множества несущих (ММН)..... 99

	Стр.
5.4	Канальное кодирование (кодирование с коррекцией ошибок) ..... 105
5.5	Сравнение первых реализаций систем с одной и множеством несущих ..... 106
5.5.1	Импульсные помехи ..... 107
5.5.2	Искажения, связанные с многолучевым распространением ..... 107
5.5.3	Помехи от аналогового телевидения в совмещенном канале ..... 108
5.5.4	Проблемы, связанные с отношением максимальной мощности к средней мощности ..... 109
5.6	Проблемы зон охвата..... 110
5.6.1	Иерархическая передача ..... 110
5.6.2	Системы с множеством передатчиков..... 111
ГЛАВА 6 – Обзор систем ..... 113	
6.1	Система ATSC..... 113
6.2	Система DVB-T..... 113
6.3	Система ISDB-T ..... 115
6.3.1	Полосы частот передачи в системе ISDB-T ..... 115
6.3.2	Иерархическая передача ..... 116
6.3.3	Парциальный прием ..... 116
6.3.4	Мультиплексирование для иерархической передачи..... 117
6.3.5	Функциональная блок-схема ISDB-T ..... 117
6.3.6	Параметры передачи..... 118
ГЛАВА 7 – Список Рекомендаций МСЭ-R, относящихся к цифровому наземному телевизионному вещанию (ЦНТВ) ..... 125	

## **ЧАСТЬ 2**

(См. стр. 127)

## ГЛАВА 1

### ВВЕДЕНИЕ

#### 1.1 Область применения

В этой части Справочника содержится вводная информация и обзор по системам цифрового наземного телевизионного вещания (ЦНТВ). Здесь описывается система, предназначенная для передачи высококачественных звуковых и видеопрограмм по единому вещательному каналу с шириной полосы частот 6, 7 или 8 МГц, и содержится учебный курс по технологиям, которые обеспечивают реализацию Рекомендаций, разработанных бывшей Целевой группой 11/3 в течение 1992–1996 годов. Приводится также сводка данных по состоянию разработки спецификаций на системы и планам реализации служб до конца 1998 года.

#### 1.2 Предпосылки

Большинство действующих вещателей использует системы наземного вещания, работающие в частотных диапазонах ОВЧ/УВЧ. Проблема доставки сигналов изображения и соответствующих звуковых сигналов в телевидении высокой четкости (ТВВЧ) по каналам ОВЧ/УВЧ с шириной полосы 6, 7 или 8 МГц заставила рассмотреть применение методов цифрового кодирования к наземной передаче.

Постепенный переход от телевизионной службы, основывавшейся главным образом на аналоговой технологии, к службам на основе цифровых технологий происходил в течение последних тридцати лет. Такое развитие телевизионных служб является частью естественной конвергенции телевидения, техники связи и вычислительной техники, обуславливаемой совместным использованием цифровой технологии.

Входные и выходные сигналы телевизионных систем, соответственно, на передающей камере и на приемнике, по своему существу являются аналоговыми. Поэтому возникает естественный вопрос: "Зачем нужна цифровая технология?"

В то время как искажения аналоговых сигналов имеют свойство накапливаться, а характеристики искажений таковы, что их трудно отделять от видеосигналов, возможность полной регенерации цифровых последовательностей импульсов теоретически позволяет защитить цифровые сигналы от ухудшений под воздействием внешних источников. В пределах одного канала цифровые битовые потоки могут подвергаться перемежению. Такой процесс перемежения дает возможность, наряду с видеосигналом и соответствующими звуковыми сигналами, излучать, передавать, запоминать и обрабатывать некоторые дополнительные сигналы. Кроме того, для цифровых видео- и звуковых программ могут применяться методы сжатия, основанные на сокращении избыточности, что позволяет передавать по существующим вещательным каналам одну программу ТВВЧ или несколько программ стандартного телевидения.

Появление второго и третьего поколения компонентных и композитных цифровых видеоманитонов, коммутаторов, систем динамической графики и устройств спецэффектов, а также согласование в 1990 году интерфейса для последовательных цифровых сигналов ускорило процесс создания полностью цифровых центров производства программ. В практике вещателей при постпроизводстве (компоновке программ) широко применяется монтаж с многократной перезаписью, причем аналоговая технология позволяет использовать перезапись до пятого поколения, а переход на цифровое производство с применением цифровых видеоманитонов позволило использовать десятки поколений перезаписи. Применение цифровой технологии сократило время настройки передающих камер от часов практически до нескольких мгновений. Такие системы, как цифровые видеотеки, сделали поиск записанных материалов прозрачным для пользователя. Компьютерное управление всеми процессами глубоко проникло в центры производства и распределения программ, обеспечив при этом высокую точность и повторяемость функций управления [1].

К немногим областям в вещании, оставшимся в аналоговом мире, принадлежат только передача программ между телецентрами и доставка программ конечному потребителю. Этот последний барьер

был преодолен в начале 90-х годов, когда началось использование цифровых методов сжатия, базирующихся, в общем, на применении кодеров на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) и квадратурной амплитудной модуляции (КАМ) и связанных с ней методов многоуровневой модуляции [2].

К 90-м годам попытки в Северной Америке найти средства передачи ТВВЧ-изображений по существующим 6 МГц телевизионным каналам диапазона УВЧ сосредоточились на применении цифровых методов информационного сжатия и цифровых методов модуляции для выполнения поставленных системных требований. За демонстрациями практической реализуемости различных систем в Северной Америке вскоре последовали аналогичные демонстрации в Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе.

К середине 1991 года появились отчеты о работах, проведенных в Соединенных Штатах, Скандинавских странах, Соединенном Королевстве, Франции, Италии, Японии и в других странах, показывающие, что системы сокращения цифрового потока порядка 60:1 могут с успехом применяться как для изображений, получаемых от ТВВЧ-датчиков, так и для изображений от обычных телевизионных датчиков. Из полученных результатов следует, что ТВВЧ-изображения могут передаваться по относительно узкополосным каналам со скоростями 15–25 Мбит/с, а обычные телевизионные программы – со скоростями от 1,5 Мбит/с до 12 Мбит/с в зависимости от планируемого уровня качества программ. Применение стандартных проверенных методов модуляции позволяет передавать по существующим каналам с шириной полосы 6, 7 или 8 МГц в телевизионных диапазонах ОВЧ и УВЧ одну программу ТВВЧ, либо несколько обычных телевизионных программ.

В период между 1991 и 1995 годами во всем мире происходила разработка связанных между собой стандартов для цифрового спутникового, кабельного и наземного вещания, содержащих общие системные элементы. Рекомендации МСЭ, разработанные бывшей Целевой группой 11/3, были нацелены на общие элементы цифровой наземной системы телевизионного вещания. Спецификации цифровой спутниковой и кабельной вещательной службы проходили тогда заключительную стадию одобрения в нескольких регионах мира и нашли свое отражение в Рекомендациях МСЭ и региональных стандартах. К тому же, в нескольких районах мира были введены в эксплуатацию вещательные службы, выполняющие требования этих стандартов. Спецификации для наземного телевизионного вещания, имеющие общие системные элементы со спецификациями спутникового и кабельного вещания, также были в достаточно продвинутом состоянии, и ожидалось, что работа над ними будет завершена в 1996 году.

К 1996 году в ряде стран стали достаточно реальными планы введения цифрового наземного телевизионного вещания.

Достигнутые успехи в технике связи перевели цифровую передачу телевизионных программ в практическую плоскость. Стало общей точкой зрения, что применение цифровой технологии в телевизионной отрасли обеспечивает более высокое качество изображения и звука, чем достигается при обычной аналоговой наземной телевизионной передаче, и в то же время повышает эффективность использования спектра, обеспечивая вещание нескольких программ по существующим однопрограммным каналам.

Для успешной работы цифровых телевизионных служб требуется достичь консенсуса в области кодирования источников и канального кодирования, методах модуляции, идентификации содержимого (контента), а также защиты от ошибок и их коррекции. Кроме того, важно обеспечить гармонизацию с другими средствами вещания.

## Ссылки

- [1] BARON, S. An Overview of the DTTB Model. ITU/SMPTE Tutorial on Digital Terrestrial Television Broadcasting. SMPTE 1994, ISBN 0-940690-24-1, p. 1-5.
- [2] Рекомендация МСЭ-R ВТ.798 – Цифровое наземное телевизионное вещание в диапазонах ОВЧ/УВЧ.

## ГЛАВА 2

### ОБЗОР МОДЕЛИ ЦНТВ

#### 2.1 Постановка задачи

Применение цифровой технологии в вещании обеспечивает три главных преимущества:

- устойчивое качество службы с улучшенной защитой от шума и почти без ошибок, идеальная передача изображения и звука в пределах соответствующего диапазона характеристик;
- уменьшенные эксплуатационные расходы благодаря применению техники сжатия и повышенной надежности системы и
- большее многообразие программ, возможность предоставления множества услуг в существующем одном канале вещательной службы.

Применение цифровой технологии в телевизионной отрасли включает в себя ряд различных технических дисциплин и процессов, к которым относится:

- разработка систем сжатия изображений, звука и данных, отвечающих на запросы систем цифровой передачи и обеспечивающих соответствующий уровень системных характеристик;
- выявление удовлетворяющих системным требованиям характеристик мультиплексирования изображения, звука и данных, модуляции и канального кодирования;
- осмысление вопросов использования спектра и частотного планирования для цифровых служб, включая зоны охвата для различных условий приема и окружающей обстановки, и
- возможность создания цифровых систем передачи в диапазонах наземного ОВЧ/УВЧ вещания, допускающих одновременную передачу с существующими аналоговыми телевизионными службами.

Процесс оцифровки обычных 525- или 625-строчных телевизионных изображений дает в результате потоки видеоданных порядка 270 Мбит/с [1] [2] [3]. Процесс оцифровки ТВВЧ-изображений дает потоки видеоданных порядка 1200 Мбит/с [4]. Методы, доступные в 1992 году, представлялись пригодными для передачи цифровых потоков данных по наземным телевизионным каналам или для эффективного использования пропускной способности спутниковых ретрансляторов при скорости передачи приблизительно от 3,5 до 4,0 бит/Гц ширины канала. Поэтому можно ожидать, что каналы шириной 6, 7 или 8 МГц позволят передавать потоки данных приблизительно 20 Мбит/с. Отсюда следует, что для удовлетворения потребностей ТВВЧ-служб необходимо обеспечить сжатие данных, представляющих изображения от источника, с коэффициентом 60:1. Поток данных должен также обеспечивать передачу данных соответствующих звуковых программ и дополнительных услуг, таких как субтитры, опознавание программ и т. п.

## 2.2 Модель ЦНТВ, принятая МСЭ

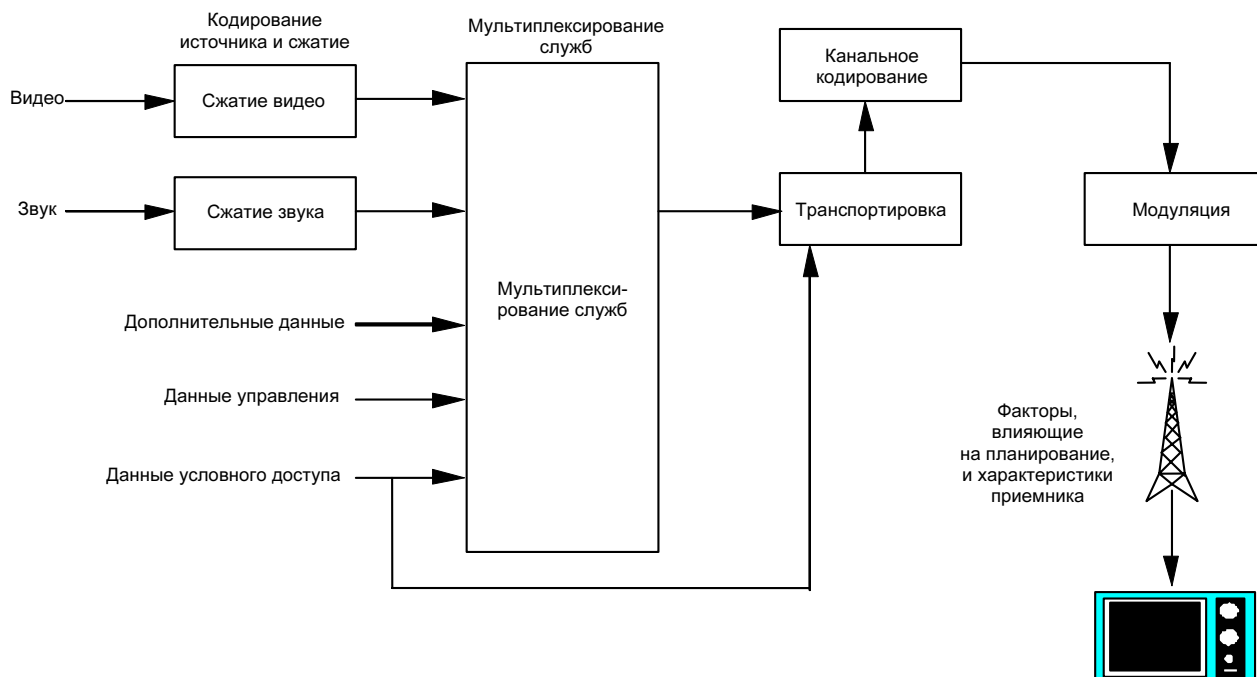


РИСУНОК 2.1

### Модель системы ЦНТВ

В Секторе радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-R) ранее была организована Целевая группа 11/3, которой в 1992 году было поручено заниматься неотложными вопросами цифрового наземного телевизионного вещания [5]. Бывшая Целевая группа 11/3 установила модель системы цифрового телевизионного вещания и использовала эту модель как основу для своих исследований. Модель разделялась на четыре подсистемы (см. рис. 2.1):

- кодирование источника и сжатие;
- мультиплексирование и транспортировка услуг;
- физический уровень (система модуляции) и
- факторы, влияющие на планирование (включая факторы планирования передачи и приема) и стратегии реализации.

"Кодированием источника" называют методы сокращения цифрового потока, известные также как методы сжатия данных и защиты от ошибок, которые пригодны для обработки цифровых видео-, звуковых и дополнительных потоков данных. Термин "дополнительные данные" охватывает данные управления (включающие в себя управление условным доступом) и данные, связанные с программными звуковыми и видеослужбами (такими, как введение скрытых субтитров). "Дополнительные данные" могут также относиться к независимым программным службам и службам передачи данных.



"Мультиплексирование и транспортировка услуг" относится к средствам разделения цифрового потока данных на "пакеты" информации, к средствам однозначной идентификации каждого пакета или типа пакета и к соответствующим средствам мультиплексирования пакетов потока видеоданных, пакетов потока звуковых данных и пакетов потока дополнительных данных в единый поток данных. При разработке соответствующих механизмов транспортировки следует в первую очередь учитывать требование взаимодействия или гармонизации между цифровыми средствами, такими как наземное вещание, кабельное и спутниковое распределение, средства записи и компьютерные интерфейсы.

"Физический уровень" относится к средствам, позволяющим использовать информацию цифровых потоков данных для модуляции передаваемого сигнала. Обсуждение методов модуляции охватывает методы канального кодирования и методы защиты от ошибок при использовании систем как с одной несущей, так и с множеством несущих.

"Факторы, влияющие на планирование, и стратегии реализации" включают в себя рассмотрение стратегий, пригодных для введения и осуществления службы цифрового наземного телевизионного вещания, учитывающих существующие вещательные службы. Планы, относящиеся к любым подобным стратегиям, должны учитывать характеристики мешающего действия радиосредств и практические ограничения, накладываемые при этом на приемник.

### **Ссылки**

- [1] Рекомендация МСЭ-R ВТ.601 – Студийные параметры кодирования цифрового телевидения для стандартного 4:3 и широкоэкранный 16:9 форматов.
- [2] Рекомендация МСЭ-R ВТ.656 – Интерфейсы для цифровых видеосигналов в телевизионных системах с 525 и 625 строками, работающих на уровне 4:2:2, описанных в Рекомендации МСЭ-R ВТ.601 (часть А).
- [3] Рекомендация МСЭ-R ВТ.1200 – Целевой стандарт для студийных цифровых видеосистем и международного обмена программами.
- [4] Рекомендация МСЭ-R ВТ.709 – Значения параметров ТВВЧ стандартов для производства программ и международного обмена программами.
- [5] Вопрос МСЭ-R 121/11 – Цифровое наземное телевизионное вещание.



## ГЛАВА 3

# КОДИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ВИДЕО- И ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

### 3.1 Определения

#### 3.1.1 Кодирование источника и канальное кодирование

Классическая теория связи (т. е. основанная на работе Шеннона) показывает, что при определенных предпосылках можно разделить операции, касающиеся сжатия данных и генерирования сигналов для передачи, так что их можно будет выполнять и оптимизировать независимо. Отсюда и возникает идея раздельного кодирования источника и канального кодирования.

#### 3.1.2 Кодирование источника

Кодирование источника учитывает только характеристики источника. То есть характеристики канала связи не оказывают влияния на кодирование источника. Кодирование источника использует присущую сигналу источника избыточность, чтобы уменьшить количество передаваемых данных. Этот этап сжатия данных может происходить без потерь, либо, как в случае видео- и звуковых сигналов, может вызывать некоторое искажение сигналов. Любые операции, которые отслеживают характеристики источника сигнала и используют их для целей сжатия данных, и есть кодирование источника.

#### 3.1.3 Прогрессивная развертка

Прогрессивная развертка последовательностей растровых изображений в известной степени упрощает фильтрацию и интерполяцию, которые используются для преобразования форматов с различным числом строк развертки, различным числом отсчетов на строку и различной дискретизацией во времени (т. е. частотой кадров). Благодаря тому, что алгоритм MPEG-2 позволяет обрабатывать полные кадры, с его помощью можно кодировать источники с прогрессивной разверткой и обеспечить работу в кинорежиме с частотой 24 кадра/с.

#### 3.1.4 Квадратные элементы изображения ("пиксели")

Для компьютерной графики желательно иметь равные геометрические интервалы между горизонтальными отсчетами в строке и между отсчетами, смещенными по вертикали, чтобы упростить визуализацию объектов, которые после их создания могут подвергнуться трансформации. Элементы изображения ("пиксели"), которые следуют с одинаковым горизонтальным и вертикальным геометрическим интервалом и называются квадратными элементами.

### 3.2 Преимущества

Цифровое телевидение обеспечивает большие преимущества в отношении качества и гибкости, но в своей первоначальной форме занимает гораздо большую полосу частот, чем существующие аналоговые сигналы. Служба ЦНТВ должна обеспечивать возможность работы с компонентными изображениями, имеющими формат кадра 4:3 и 16:9 и, как минимум, получаемыми от источников с разрешением 720 (по горизонтали) и 480 (по вертикали) отсчетов на кадр (Рекомендация МСЭ-R ВТ.601), как предусматривает Рекомендация МСЭ-R ВТ.1208.

В отсутствие ошибок передачи качество изображения должно быть таким, какое обеспечивает низкоскоростное кодирование с сокращением избыточности. Получаемое при этом качество непостоянно и в большой степени зависит от конкретного содержимого кодируемого видеоматериала. Поэтому в конце 1995 года были продолжены работы по методам оценки критичности последовательностей изображений, чтобы разработать методы определения качества служб, обеспечивающих передачу изображений при низкоскоростном кодировании.

### 3.3 Низкоскоростное видеокodирование и качество служб

Студийные сигналы обычного телевидения и ТВВЧ сжимаются для получения более низких скоростей передачи данных и последующей передачи с цифровой модуляцией по обычным ОВЧ/УВЧ каналам в полосе шириной 6, 7 или 8 МГц.

Кроме информации об изображении, требуется еще определенная пропускная способность для передачи звука, сигналов данных (подобных телетексту) и для предкоррекции ошибок (ПКО). Приведем примеры цифровых потоков, требуемых для разных служб:

Видео	24 Мбит/с	(гибридное ДКП-кодирование с компенсацией движений)
Звук	приблиз. 400 кбит/с	(5 звуковых моноканалов)
Данные	64 кбит/с	(неопределенное содержимое)
ПКО	2 Мбит/с	(Рида-Соломона, например, RS (224,208) или RS (227,207))

### 3.4 Примеры стандартов развертки изображения

а) *Пространственные форматы* (отсчет/строка × строка/кадр)

1920 × 1152, 1920 × 1080, 1920 × 1035, 1440 × 1152, 1280 × 720, 960 × 576, 720 × 576, 720 × 480, 704 × 480, 640 × 480, 352 × 240

б) *Временные форматы* (кадр/секунда)

23,98; 24; 25; 29,97; 30; 50; 59,94; 60

Возможна чересстрочная или прогрессивная развертка изображений.

### 3.5 Сжатие и кодирование изображений [1] [2] [3]

#### 3.5.1 Введение

Система цифрового наземного телевизионного вещания (ЦНТВ) рассчитана на передачу высококачественного изображения и звука по одному наземному каналу шириной 6, 7 или 8 МГц. Современные методы цифровой передачи позволяют по такому каналу передавать максимальные потоки между 17 Мбит/с и 20 Мбит/с для кодирования видеоданных в одном наземном канале шириной 6, 7 или 8 МГц. Это означает, что для кодирования видеоисточника ТВВЧ, разрешение которого в типичном случае в пять раз превышает разрешение обычного телевидения (NTSC, PAL или SECAM), потребуется сокращение цифрового потока в 50 или более раз. Для достижения такого сокращения потока существует глобальное соглашение об использовании видеокodирования по стандарту MPEG-2. Чтобы выполнить требования многих возможных приложений и служб, система ЦНТВ должна быть способна к обработке изображений, получаемых как при прогрессивной, так и при чересстрочной развертке в широком диапазоне пространственного и временного разрешения. Сжатие видеoinформации может оказаться самой серьезной проблемой для системы ЦНТВ.

#### 3.5.2 Введение в MPEG

Группа экспертов по подвижному изображению (MPEG) – это международная группа, сформированная под эгидой ИСО и МЭК. Она официально именуется ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11.

Первоначальной целью этой группы было представить "общий метод кодирования подвижных изображений и связанного с ними звука для цифровых средств записи, обеспечивающих цифровой поток до 10 Мбит/с в предположении, что определяемый метод кодирования будет применяться во многих других сферах, включая распределение и связь".

Разработка стандартов была распределена на две фазы – MPEG-1 и MPEG-2.

Позднее MPEG-2 был обобщен на ТВВЧ (для этого варианта используется также неверное название MPEG-3). MPEG-1 появился в 1988 году и охватывал сжатые видеосигналы с цифровыми потоками около 1,5 Мбит/с. Этого было достаточно для запоминающих устройств большой емкости, как, например, компакт-диски (CD-ROM) и для передачи по цифровым каналам PDH (плезихронной цифровой иерархии) с пропускной способностью 1,554 и 2,048 Мбит/с. MPEG был зарегистрирован как документ рабочей группы по этому стандарту под номером ISO/IEC 11172.

Разработка стандарта MPEG-2 началась в июле 1990 года. Цель состояла в определении стандарта для кодового представления аудиовизуальной информации, обеспечивающего вещательное качество при цифровых потоках до 15 Мбит/с и основанного на стандарте цифрового телевидения по Рекомендации МСЭ-R BT.601. В ноябре 1991 года группа MPEG выполнила программу формальных субъективных испытаний для 32 алгоритмов видеокодирования из Европы, Северной Америки и Дальнего Востока. После этой оценки была определена испытательная модель алгоритма. В нем использовался гибридный подход на основе ДКП (см. раздел по методам цифрового сжатия) и обеспечивалась гибкость в отношении последующих улучшений.

В марте 1993 года состоялось собрание MPEG в Сиднее, а в июле – в Нью-Йорке, где по существу были завершены спецификации "профилей" и "уровней." В табл. 3.1 приводятся краткие определения пяти профилей и дается перечень разрешений в элементах изображения, относящихся к четырем уровням. В таблице также указываются максимальные цифровые потоки, применимые к реализуемым сочетаниям профилей и уровней. С учетом интересов вещателей стандарт охватывает:

- изображения, получаемые как при чересстрочной, так и при прогрессивной развертке;
- схемы дискретизации изображения 4:2:0 и 4:2:2;
- множество разрешений изображения (теоретически до 16 000 элементов × 16 000 строк), включая все общеприменимые в вещании значения частот полей/кадров;
- "масштабируемость" кодирования. Говоря коротко, это свойство позволяет декодерам стандартной четкости (SDTV) или ограниченной четкости (LDTV) при необходимости извлекать информацию из цифровых потоков более высокого уровня (ТВВЧ). При этом одной передачей можно обслужить все декодеры, которые предназначены для работы с различной четкостью.

Ожидается, что большинство требований для видеосигналов будет удовлетворяться спецификацией для главного профиля и главного уровня. Но следует заметить, что эта спецификация не будет охватывать дискретизацию по схеме 4:2:2.

На собрании в Нью-Йорке было решено инициировать разработку стандарта MPEG-4 для весьма низких цифровых потоков видео- и звуковых данных, причем планировалось в 1997 году разработать проект спецификации.

MPEG работает в тесном контакте с другими организациями по разработке стандартов и, в частности, с МСЭ-T, МСЭ-R и SMPTE. Бывшая Целевая группа 11/3 сектора радиосвязи по цифровому наземному телевизионному вещанию проявила живой интерес к стандартам MPEG.

Следует отметить наиболее важную особенность стандартов MPEG – они не являются стандартами для точной аппаратной реализации системы, а содержат общее описание того, как сжатый комплект видео- и звуковых сигналов, а также сигналов данных мультиплексируется в поток цифровых пакетов для последующей передачи. Такая стандартизация кодирования позволяет, в свою очередь, обеспечить стандартизацию функций декодирования. В этом смысле стандарт "предполагает" применение определенных аппаратных функций кодирования. Поэтому вполне возможно, что кодеры MPEG, реализуемые разными производителями, будут обеспечивать получение изображения различного качества.

### 3.5.3 Методы цифрового сжатия

Все существующие телевизионные системы переносят избыточную информацию, т. е. информацию, которая не требуется для верной передачи изображения между двумя точками в сети. Умеренная степень сжатия может быть осуществлена простым изъятием этой информации перед передачей. Если при этом не оказывается воздействие на качество изображения, соответствующий метод относят к методам сжатия "без потерь". Например, из видеосигналов PAL/NTSC может быть изъята большая часть информации о синхронизации.

Однако для получения более высоких коэффициентов сжатия приходится применять методы, воздействующие на качество изображения, хотя и в весьма небольшой степени. Такие методы относят к методам сжатия "с потерями". В этом разделе описываются конкретные методы с потерями, используемые в MPEG и подобных системах сжатия. Следует заметить, что описание относится к изображениям, получаемым при прогрессивной развертке, но методы MPEG-2 обеспечивают кодирование изображений, получаемых как при прогрессивной, так и при чересстрочной развертке.

ТАБЛИЦА 3.1

**Профили и уровни MPEG-2**

Уровни	Профили				
	Простой Основной без В-кадров 4:2:0	Основной с В-кадрами 4:2:0	Масштабируемый по С/Ш 4:2:0	Пространственно масштабируемый 4:2:0	Профессиональный 4:2:2
<b>Высокий</b> 1920 × 1152	×	80 Мбит/с	×	×	100 Мбит/с
<b>Высокий -1440</b> 1440 × 1152	×	60 Мбит/с	×	60 Мбит/с	80 Мбит/с
<b>Основной</b> 720 × 576	15 Мбит/с	15 Мбит/с 90% пользователей	15 Мбит/с	×	20 Мбит/с
<b>Низкий</b> 352 × 288	×	4 Мбит/с	4 Мбит/с	×	×

×: непродуктивное сочетание.

**3.5.4 Кодирование с межкадровым предсказанием и компенсация движений**

Эффективный метод сокращения информационного цифрового потока состоит в получении нужных элементов изображения ("пикселей") путем предсказания по предыдущему кадру изображения. Затем передается разница между действительным значением элемента изображения и его предсказанным значением.

Для большинства изображений значение разности (ошибка) мало, поскольку имеется значительное сходство (временная избыточность) между последовательными кадрами. Как будет объяснено позже, передача узкого диапазона значений в течение большей части времени позволяет добиться заметного сокращения цифрового потока. В декодере такой же процесс (алгоритм) предсказания восстанавливает предсказанное значение, после чего к нему прибавляется значение переданной разности и получается амплитуда исходного элемента изображения.

Для улучшения процесса предсказания макроблок 16 × 16 элементов в текущем изображении сравнивается с блоками 16 × 16 элементов в определенной области поиска предыдущего изображения. Выбирается блок, обеспечивающий наилучшее согласование, и он вычитается из текущего блока.

Процесс согласования минимизирует передаваемые значения разностей и, в частности, компенсирует движение объекта по изображению. Этот процесс называют компенсацией движения. Значение

вектора, которое определяет относительное пространственное положение блока, обеспечивающего "наилучшее согласование" с текущим блоком, кодируется и передается декодеру (см. рис. 3.1).

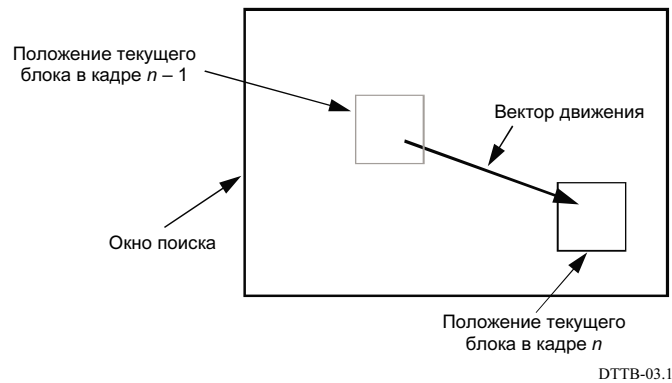


РИСУНОК 3.1

### Компенсация движения

Блок-схема, показанная на рис. 3.2, содержит важные функциональные элементы, необходимые для кодирования с предсказанием.

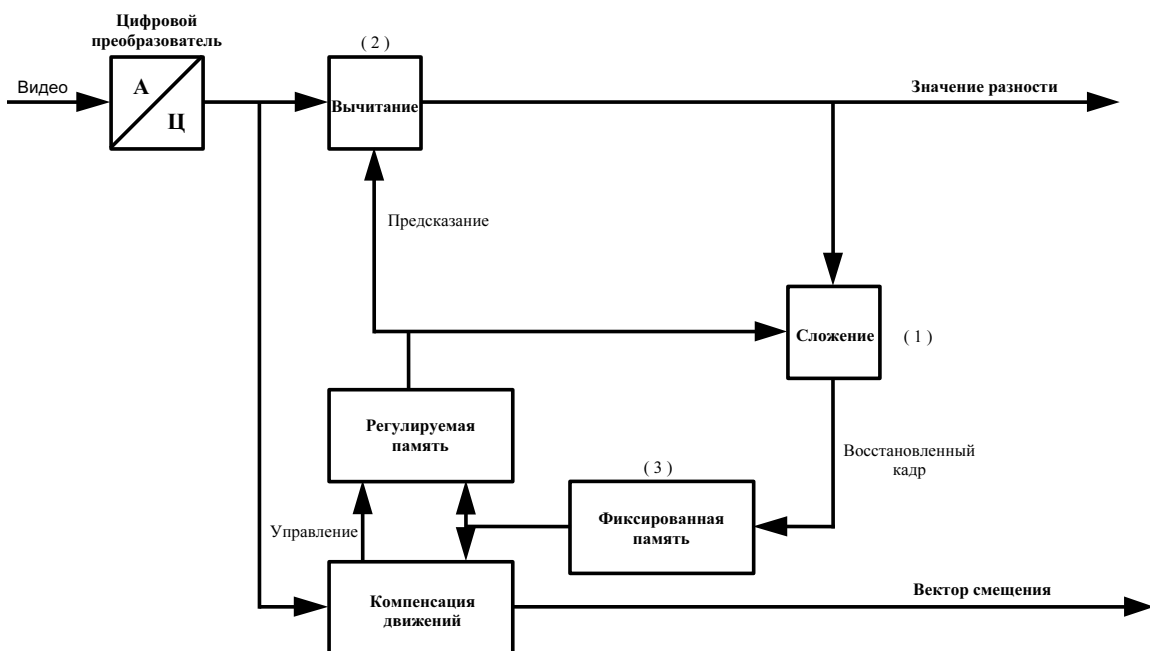


РИСУНОК 3.2

### Межкадровое кодирование с предсказанием

Фиксированная память сохраняет предыдущий кадр; регулируемая память используется для согласования блоков. Блок суммирования (1) точно повторяет инверсное действие декодера, т. е. действие, инверсное по отношению к дифференцирующему блоку (2). Кодер за счет введения блока суммирования в свою цепь обратной связи способен отслеживать и корректировать несоответствия в изображениях между функциями кодирования и декодирования.

Хотя в данном описании предполагается, что предсказание формируется на основе непосредственно предшествующего кадра, стандарты MPEG-1 и MPEG-2 допускают предсказание на основе кадра, отстоящего на несколько кадров от текущего (см. § 3.5.11).

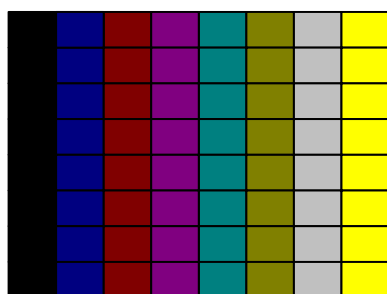
### 3.5.5 Внутрикадровое кодирование

Чтобы начать процесс кодирования фиксированная память (3) вначале заполняется нулевыми значениями. Затем текущий кадр кодируется непосредственно без обращения к предыдущему кадру. Этим создается опора для декодера. Обычно такие опорные кадры с внутрикадровым кодированием передаются время от времени на декодер, чтобы предотвратить накопление любых ошибок предсказания или передачи.

### 3.5.6 Кодирование с дискретным косинусным преобразованием (ДКП)

В качестве метода трансформационного кодирования видеосигнала в кодере MPEG используется дискретное косинусное преобразование (ДКП). ДКП преобразует блок, как правило, размером  $8 \times 8$  элементов из двумерной пространственной области в частотную область, чем и объясняется термин "трансформационное кодирование".

На рис. 3.3 представлена шкала серого (а), ее амплитудные значения (b) и полученные путем преобразования частотные коэффициенты (c). Частоты горизонтальных составляющих увеличиваются слева направо, а вертикальных – сверху вниз. Поэтому верхний левый угол представляет составляющую нулевой частоты или постоянного тока (среднее значение), а нижний правый угол представляет составляющую наивысшей частоты.



a)

0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5
0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5
0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5
0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5
0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5
0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5
0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5
0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5

b)

43.8	-40	0	-4.1	0	-1.1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

c)

РИСУНОК 3.3

Кодирование ДКП



Заметим, что сам по себе процесс преобразования не дает никакого сжатия, поскольку для преобразованного блока требуется такое же число бит на коэффициент, что и для исходного блока. Ключевая особенность процесса состоит в том, что преобразованные частотные коэффициенты больше подходят для последующего применения методов сокращения цифрового потока. В частности, для достижения выигрыша можно использовать присущую преобразованным блокам изображения тенденцию иметь нулевые или близкие к нулю значения коэффициентов – в приведенном примере шкалы серого имеется 60 значений "0".

На практике в MPEG-видеокодерах преобразование ДКП производится над кадром изображения после того, как он был подвергнут межкадровому кодированию с предсказанием. Поэтому значения амплитуд перед преобразованием, в общем, невелики, и это еще усиливает тенденцию преобразованных блоков содержать малые коэффициенты. В качестве еще одной общей особенности укажем, что процесс согласования блоков (компенсация движений) более быстро сходится для низкочастотного содержимого изображения, чем для высокочастотных деталей. Поэтому можно ожидать, что высокочастотные коэффициенты ДКП, представляющие разности при неточном согласовании, будут иметь большие амплитуды. Но это замечание не имеет смысла, когда входной сигнал для ДКП представляет собой изображение, полученное путем внутрикадрового кодирования без применения компенсации движений. Кодированию подвергаются блоки  $8 \times 8$  элементов.

### 3.5.7 Квантование коэффициентов

В любом процессе импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) входной сигнал дискретизируется с определенным периодом, и дискретизированным значениям придаются кодовые значения, соответствующие их амплитудам. Для минимизации любых искажений следует использовать малый шаг квантования, т. е. изменение амплитуды входного сигнала для перехода от одного кодового значения к следующему должно быть небольшим. Например, при квантовании высококачественного звукового сигнала обычно используется 16-битовое кодирование (65 536 ступеней). Если могут быть допущены более высокие искажения, число ступеней можно сократить.

В видеотехнике хорошо известно, что глаз менее чувствителен к высокочастотным деталям, и поэтому высокочастотные ДКП-коэффициенты можно кодировать более грубо, т. е. на меньшее число ступеней квантования, чем низкочастотные коэффициенты, без какой-либо заметной потери качества изображения. Это реализуется путем деления коэффициентов на число " $n$ ", большее единицы, и округления результата до ближайшего целого числа (в цифровом смысле). Взвешивающий коэффициент  $n$  изменяется в зависимости от положения коэффициента в блоке, причем более высокочастотным коэффициентам придаются большие значения  $n$ .

При вычислении "матрицы квантования", содержащей значения  $n$  для данного блока изображения, принимаются также во внимание следующие факторы:

- обрабатывается ли цветовая или яркостная информация – характеристики зрения для них различаются;
- получен ли блок из изображения, подвергнутого межкадровому или внутрикадровому кодированию – как указано в § 3.5.6, распределение амплитуд коэффициентов для этих двух случаев различается;
- положение блока в изображении и содержимое изображения – некоторые блоки приходится кодировать с большей точностью, чем другие; в особенности это относится к блокам, соответствующим очень низким градиентам, когда очень малые неточности становятся заметными.

В дополнение к этому частотно-зависимому квантованию можно еще сократить число ступеней квантования, необходимых для описания диапазона значений коэффициентов ДКП, если использовать нелинейный, т. е. амплитудно-зависимый закон квантования. Как показано на рис. 3.4, коэффициенты, имеющие большие значения, квантуются более грубо, чем имеющие малые значения. При этом длина кодовых слов на выходе квантователя меньше, чем на входе. Кроме того, всем значениям, попадающим в "мертвую зону", дается код "0".

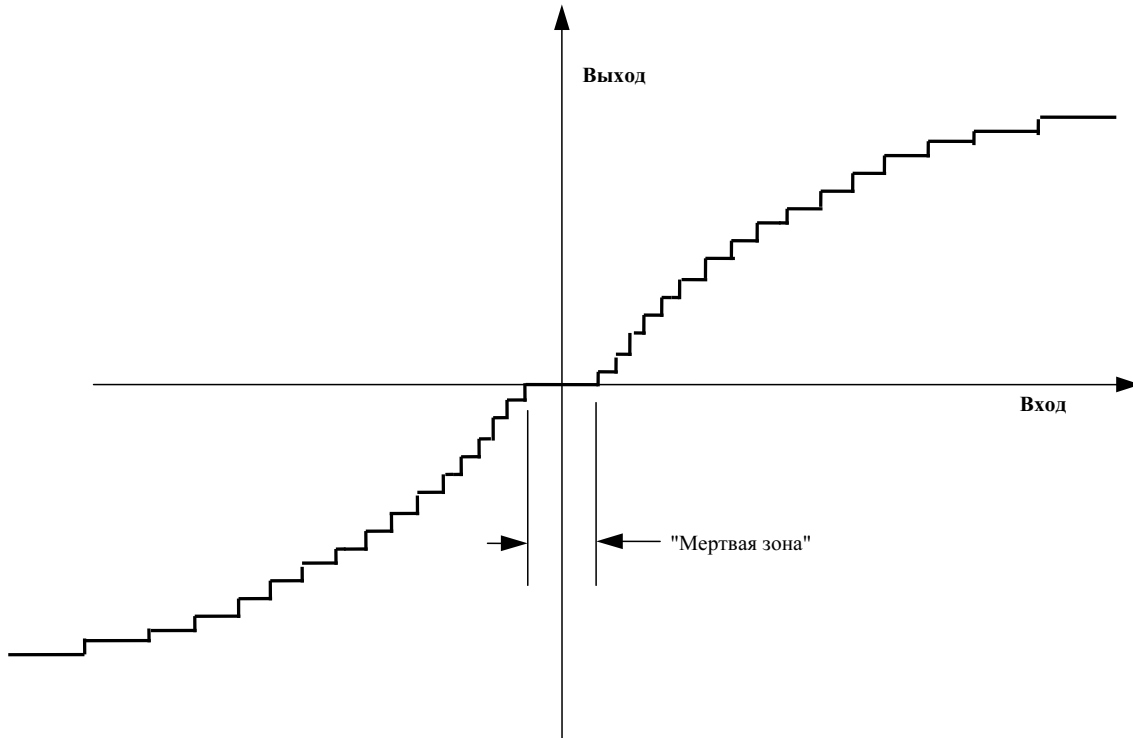


РИСУНОК 3.4

**Нелинейная характеристика квантования**

При кодировании сложных изображений может оказаться необходимым изменять значения матрицы квантования для каждого блока ДКП, и стандарт MPEG позволяет это. Чтобы декодер мог отслеживать действия кодера, очевидно, что любые изменения матрицы должны передаваться в декодер.

Таким образом, стратегия квантования, реализуемая в типичном MPEG-видеокодере, может быть очень сложной, однако она является одним из ключевых факторов для получения изображения хорошего качества при умеренных цифровых потоках. Различные подходы производителей кодеров к стратегии квантования могут приводить к различному уровню качества.

### 3.5.8 Кодирование длин серий (КДС)

Как уже говорилось, различные методы кодирования должны приводить к сведению большинства кодовых значений, подлежащих передаче, к нулевым или близким к нулевым значениям. Можно ожидать, что на практике, когда обработанные коэффициенты ДКП считываются в последовательной форме из памяти, выходной цифровой поток будет содержать цепочки значений "0". Вероятность этого можно повысить, считывая память по зигзагообразной траектории, как показано на рис. 3.5.

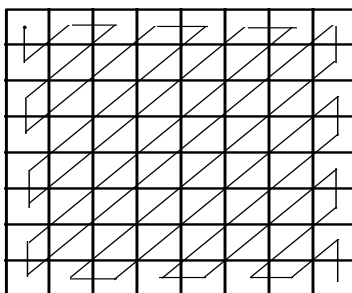


РИСУНОК 3.5

#### Сканирование блока $8 \times 8$ коэффициентов

Благодаря этому процессу происходит группирование средне- и низкочастотных коэффициентов (имеющих более высокую вероятность нулевых значений) при считывании из памяти по нарастающей частоте коэффициентов. Кроме зигзагообразного сканирования, MPEG-2 допускает альтернативный метод.

Вместо передачи цепочки следующих один за другим "нулей", которые, как правило, возникают при считывании из памяти, кодер длин серий (кодер по длинам отрезков) передает уникальное кодовое слово. Поскольку это кодовое слово короче серии нулей, которые оно представляет, происходит сокращение кодированного цифрового потока.

### 3.5.9 Кодирование с переменной длиной

Кодирование с переменной длиной (КПД) обеспечивает выигрыш за счет того, что после того, как кадр изображения был подвергнут кодированию с предсказанием, трансформационному кодированию и квантованию, определенные кодовые значения появляются с большей частотой, чем другие. В частности, эти процессы приводят к увеличению превалирования близких к нулю коэффициентов ДКП (после квантования). Если часто встречающимся значениям приписать более короткие кодовые слова, а нечасто встречающиеся значения передавать с использованием более длинных кодовых слов, то достигается эффективное сокращение цифрового потока.

В качестве аналогии укажем, что при передаче английского текста буквы "а, е, i" следует кодировать короткими словами, а букву "z" передавать с использованием длинного кодового слова. Хорошим примером этого является код Морзе.

КПД называют также энтропийным кодированием. Заметим, что собственно КПД относится к методам кодирования без потерь.

### 3.5.10 MPEG-видеокодер

Как показано на рис. 3.6, цепь обратной связи, имитирующая декодер, теперь включает в себя инверсный квантователь и процессы ДКП. После блоков КДС и КПД включен мультиплексор, с помощью которого в цифровой поток вводится информация о векторах компенсации движения. Поскольку кодовые слова имеют переменную длину, необходимо использовать буфер, чтобы обеспечить возможность передачи цифрового потока с равномерной скоростью. Чтобы предотвратить переполнение или полную разгрузку буфера, предусмотрена цепь обратной связи, подключенная к дополнительному входу управления квантователя. Если заполнение буфера приближается к его емкости, на квантователь подается команда кодировать значения коэффициентов более грубо и тем самым сократить число битов, необходимых для описания диапазона значений. И наоборот, если буфер почти пуст, квантователь может добавлять холостые кодовые слова.

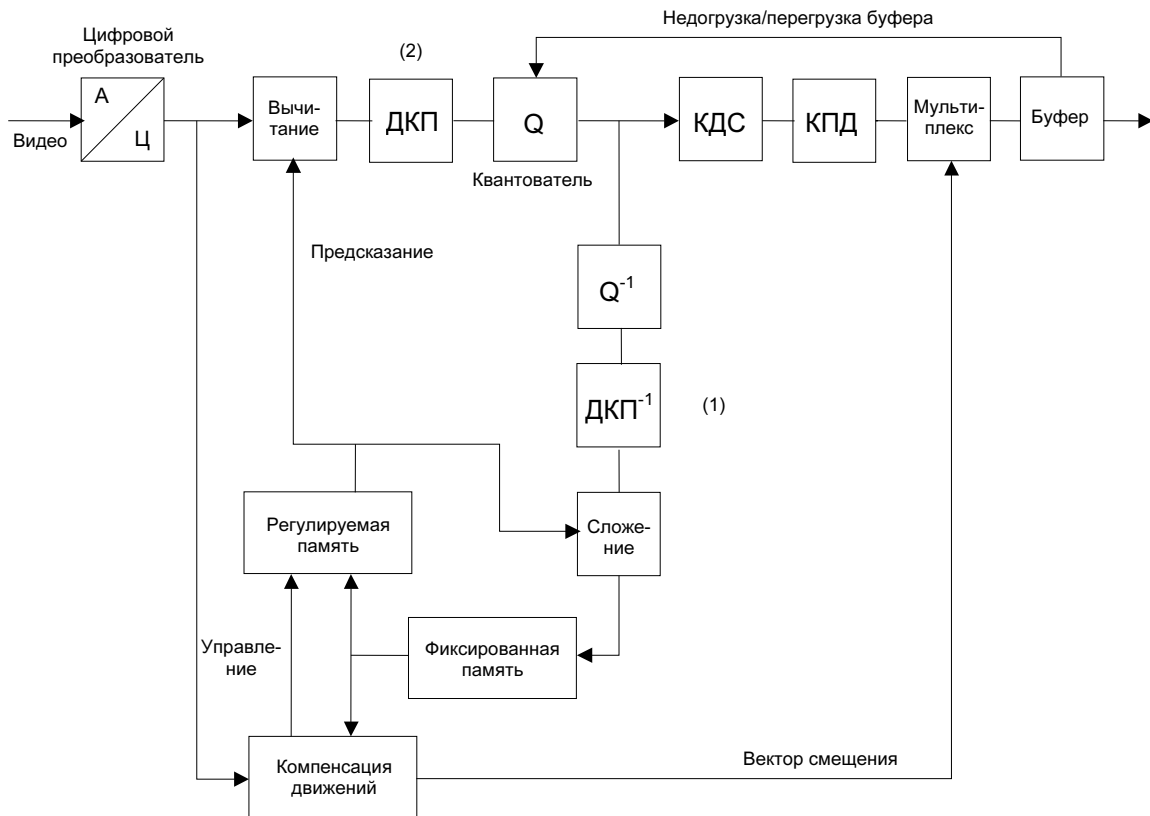


РИСУНОК 3.6

Базовый MPEG-видеокодер

### 3.5.11 I-, B- и P-кадры

На языке MPEG изображения, подвергаемые внутрикадровому кодированию (см. § 3.2), при передаче называют I-кадрами, а изображения, получаемые с помощью межкадрового предсказания (§ 3.1) называют P-кадрами. Как уже упоминалось, вначале всегда передается I-кадр, чтобы создать опорный кадр для декодера при передаваемых после этого P-кадрах. Кроме того, в MPEG предусматривается передача кадров "с предсказанием в двух направлениях", которые вставляются между I- и P-кадрами. Их называют B-кадрами. Это иллюстрирует рис. 3.7.

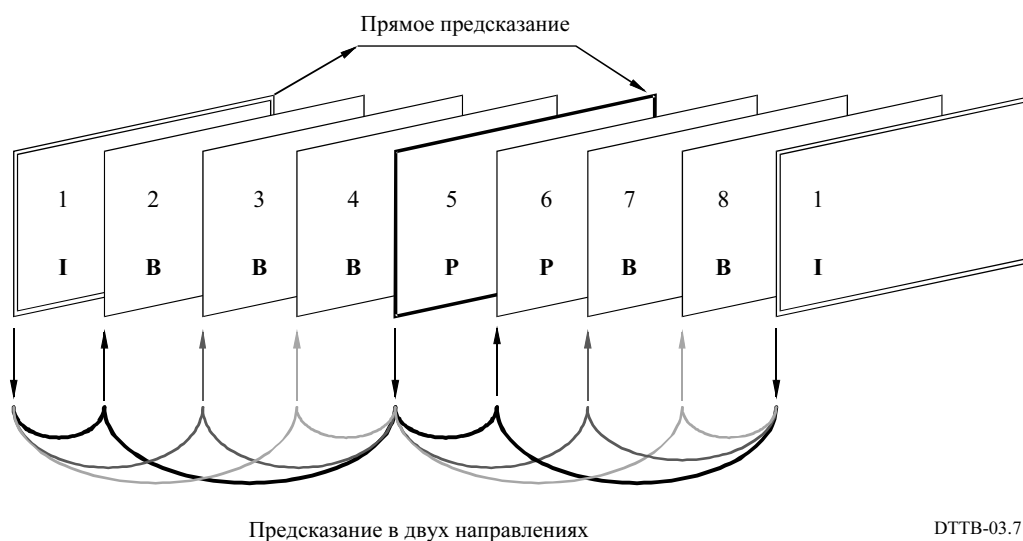


РИСУНОК 3.7

### I-, B- и P-кадры

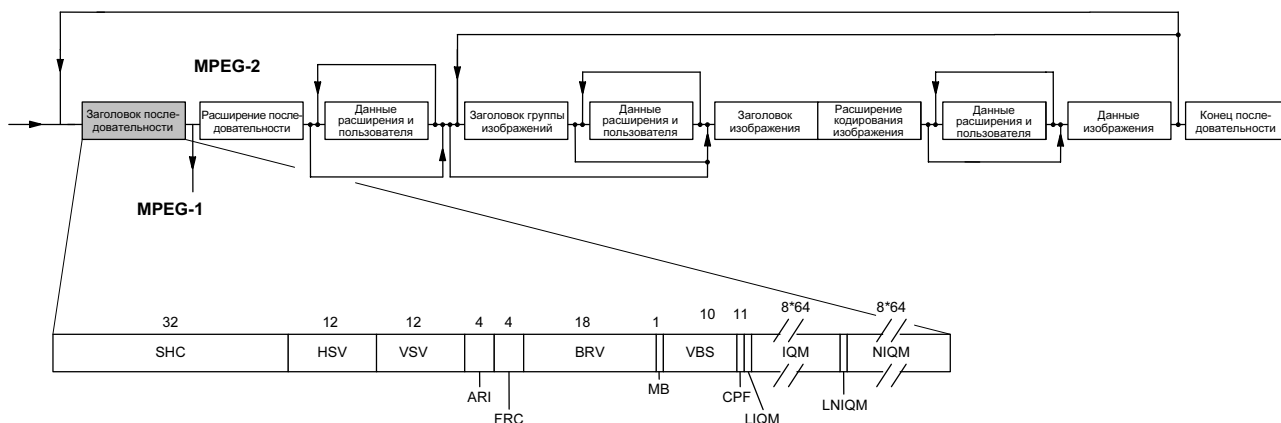
Предсказываемый кадр (5) получается из первоначально переданного кадра (1) с внутрикадровым кодированием, т. е. кадр (1) служит "предшествующим кадром", а кадр (5) "текущим кадром", как описано в § 3.5.4.

В данном примере между I- и P-кадрами передается три B-кадра. Кадры (2), (3) и (4) получаются из прошлого кадра (1) и будущего кадра (5) путем интерполяции. (Заглядывание в "будущее" может быть выполнено, если перед обработкой запомнить все кадры.) Согласование блоков (компенсация движений) производится с использованием информации об изображении из обоих кадров (1) и (5). Одно из преимуществ двунаправленной интерполяции состоит в том, что в будущем кадре может содержаться информация об изменении сцены, которой могло не быть в прошлом кадре. Поскольку B-кадры могут воссоздаваться в декодере без передачи самих этих кадров кодером, достигается сокращение информационного потока (т. е. более сильное сжатие). Недостаток применения B-кадров состоит в увеличении сложности обработки и требуемой емкости памяти, что особенно существенно для декодеров, стоимость которых имеет важное значение.

I, B и P-кадры называются также I, B и P изображениями.

### 3.6 Цифровой видеопоток MPEG-2

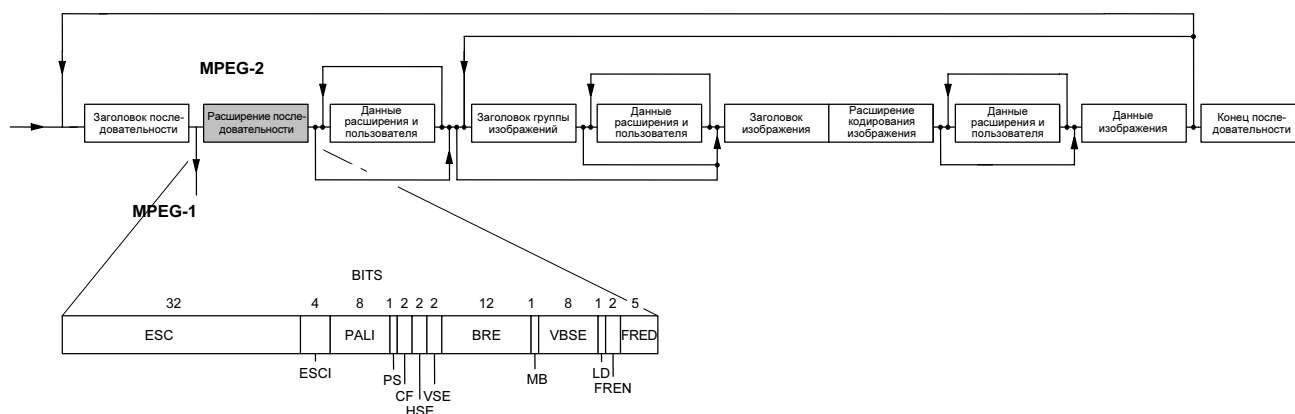
В тексте данного раздела и на рис. 3.8–3.13 дается подробная информация о структуре и содержании цифрового видеопотока MPEG-2.



- SHC – Sequence\_header\_code [код заголовка последовательности] (32 бита)
- HSV – Horizontal\_size\_value [значение горизонтального размера] (12 битов)
- VSV – Vertical\_size\_value [значение вертикального размера] (4 бита)
- ARI – Aspect\_ratio\_information [информация о формате изображения] (4 бита)
- FRC – Frame\_rate\_code [код частоты кадров] (4 бита)
- BRV – Bit\_rate\_value [значение скорости передачи] (18 битов)
- MB – Marker\_bit [бит маркера] (1 бит)
- VBS – Vbv\_buffer\_size\_value [значение размера буфера Vbv] (10 битов)
- CPF – Constrained\_parameter\_flag [флаг ограничения параметров] (1 бит)
- LIQM – Load\_intra\_quantizer\_matrix [загрузка матрицы внутрикадрового квантователя] (1 бит)
- IQM – Intra\_quantizer\_matrix [матрица внутрикадрового квантователя] (8\*64 бита)
- LNIQM – Load\_non\_intra\_quantizer\_matrix [загрузка матрицы не внутрикадрового квантователя] (1 бит)
- NIQM – Non\_intra\_quantizer\_matrix [матрица не внутрикадрового квантователя] (8\*64 бита)

РИСУНОК 3.8

#### Заголовок последовательности



- ESC – Extension\_start\_code [код начала расширения] (32 бита)
- ESCI – Extension\_start\_code\_identifier [идентификатор кода начала расширения] (4 бита)
- PALI – Profile\_and\_level\_indication [индикация профиля и уровня] (8 битов)
- PS – Progressive\_sequence [прогрессивная видеопоследовательность] (1 бит)
- CF – Chroma\_format [формат цветности] (2 бита)
- HSE – Horizontal\_size\_extention [расширение горизонтального размера] (2 бита)
- VSE – Vertical\_size\_extention [расширение вертикального размера] (2 бита)
- BRE – Bit\_rate\_extention [расширение цифрового потока] (12 битов)
- MB – Marker\_bit [бит маркера] (1 бит)
- VBSE – Vbv\_buffer\_size\_extention [расширение размера буфера Vbv] (8 битов)
- LD – Low\_delay [малая задержка] (1 бит)
- FREN – Frame\_rate\_extention\_n [расширение частоты кадров n] (2 бита)
- FRED – Frame\_rate\_extention\_d [расширение частоты кадров d] (5 битов)

РИСУНОК 3.9

### Расширение последовательности

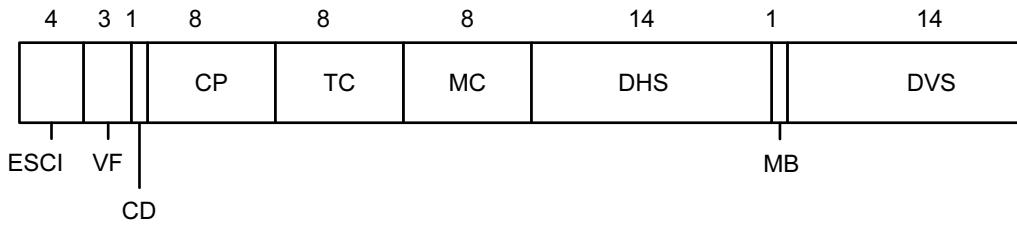
#### Данные расширения и пользователя

Описание относится к первому блоку "Данные расширения и пользователя", который встречается в цифровом потоке.

#### Данные расширения

- Код начала расширения (32 бита)
- Расширение отображения последовательности
- Масштабируемое расширение последовательности
- Расширение матрицы квантования
- Расширение авторских прав
- Расширение отображения изображения
- Масштабируемое расширение пространственного изображения
- Масштабируемое расширение временного изображения

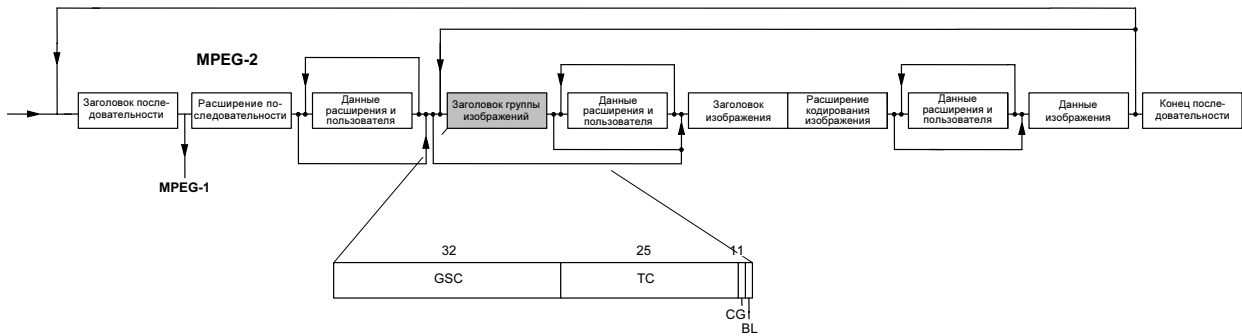
### Данные пользователя



- ESCI – Extention\_start\_code\_identifier [идентификатор кода начала расширения] (4 бита)
- VF – Video\_format [видеоформат] (3 бита)
- CD – Colour\_description [описание цвета] (1 бит)
- CP – Colour\_primaries [основные цвета] (8 битов)
- TC – Transfer\_characteristics [характеристики передачи] (8 битов)
- MC – Matrix\_coefficients [матричные коэффициенты] (8 битов)
- DHS – Display\_horizontal\_size [горизонтальный размер отображения] (14 битов)
- MB – Marker\_bit [бит маркера] (1 бит)
- DVS – Display\_vertical\_size [вертикальный размер отображения] (14 битов)

РИСУНОК 3.10

### Расширение отображения последовательности

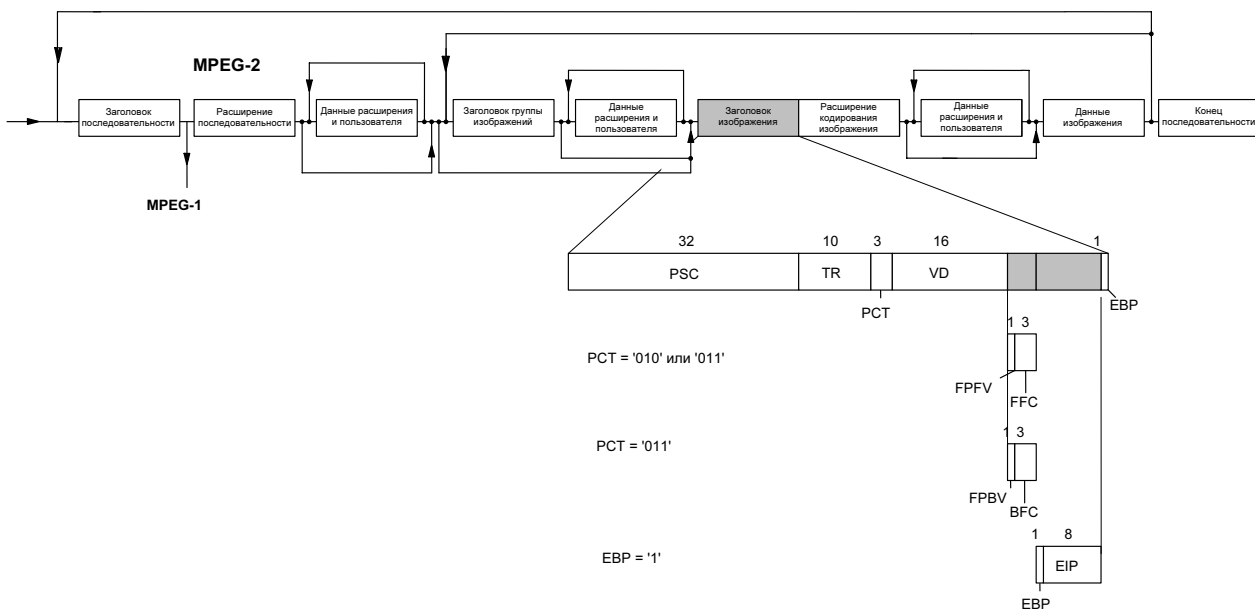


- GSC – Group\_start\_code [код начала группы] (32 бита)
- TC – Time\_code [временной код] (25 битов)
- CG – Closed\_group [замкнутая группа изображений] (1 бит)
- BG – Broken\_link [разрыв связи] (1 бит)

РИСУНОК 3.11

### Заголовок группы изображений

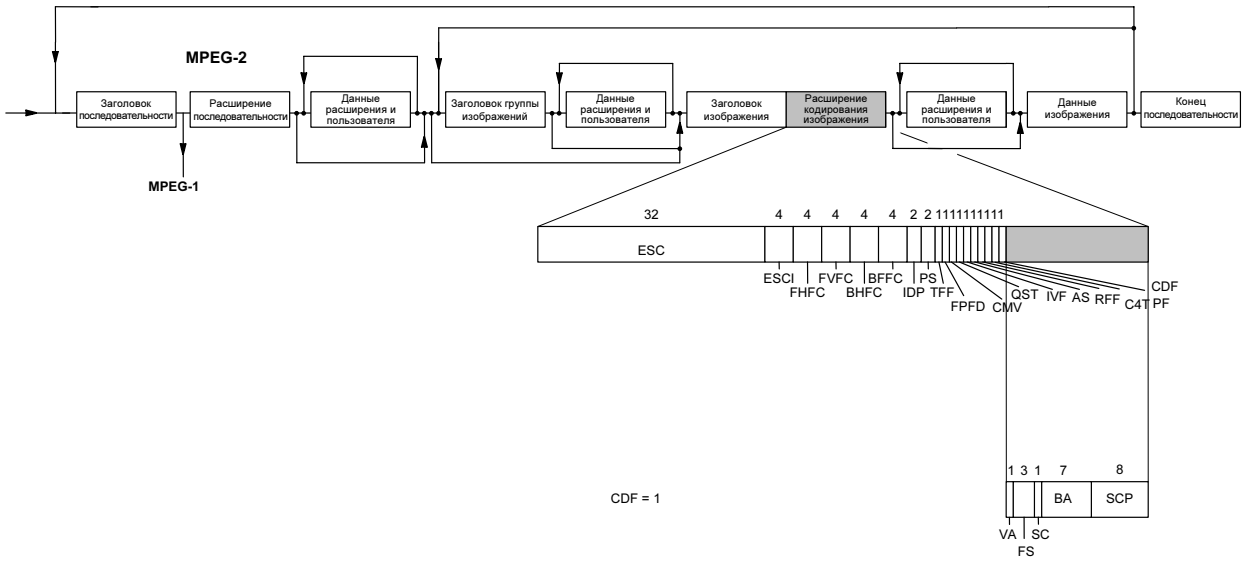




- PSC – Picture\_start\_code [код начала изображения] (32 бита)
- TR – Temporal\_reference [начало отсчета времени] (10 битов)
- PCT – Picture\_coding\_type [тип кодирования изображения] (3 бита)
- VD – Vbv\_delay [задержка Vbv] (16 битов)
- FPFV – Full\_pel\_forward\_vector [прямой вектор движения в целых элементах] (1 бит)
- FFC – Forward\_f\_code [код f прямого движения] (3 бита)
- FPBV – Full\_pel\_backward\_vector [обратный вектор движения в целых элементах] (1 бит)
- BFC – Backward\_f\_code [код f обратного движения] (3 бита)
- EBP – Extra\_bit\_picture [дополнительные биты изображения] (1 бит)
- EIP – Extra\_information\_picture [дополнительная информация об изображении] (8 битов)

РИСУНОК 3.12

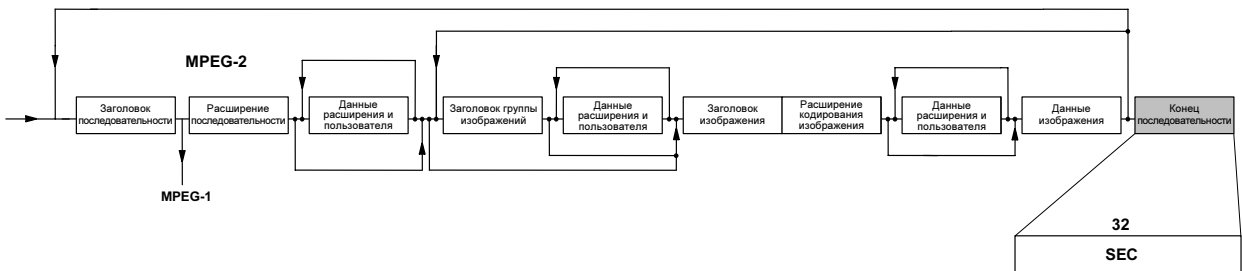
**Заголовок изображения**



- ESC – Extention\_start\_code [код начала расширения] (32 бита)
- ESCI – Extention\_start\_code\_identifier [идентификатор кода начала расширения] (4 бита)
- FHFC – Forward\_horizontal\_f\_code [код f прямого горизонтального движения] (4 бита)
- FVFC – Forward\_vertical\_f\_code [код f прямого вертикального движения] (4 бита)
- BHFC – Backward\_horizontal\_f\_code [код f обратного горизонтального движения] (4 бита)
- BVFC – Backward\_vertical\_f\_code [код f обратного вертикального движения] (4 бита)
- IDP – Intra\_dc\_precision [точность внутрикадрового кодирования постоянной составляющей] (2 бита)
- PS – Picture\_structure [структура изображения] (2 бита)
- TFF – Top\_field\_first [Верхнее поле раньше на выходе] (1 бит)
- FPDF – Frame\_pred\_frame\_dct [предсказание кадра ДКП] (1 бит)
- CMV – Concealment\_motion\_vectors [скрытые векторы движения] (1 бит).
- QST – Q\_scale\_type [тип шкалы квантования] (1 бит)
- IVF – Intra\_vlc\_format [внутрикадровый формат КПД] (1 бит)
- AS – Alternate\_scan [чередующееся сканирование] (1 бит)
- RFF – Repeat\_first\_field [повторить первое поле] (1 бит)
- C4T – Chroma\_420\_type [формат цветности 4:2:0] (1 бит)
- PF – Progressive\_frame [прогрессивный кадр] (1 бит)
- CDF – Composite\_display\_flag [флаг композитного источника] (1 бит)
- VA – V\_axis [ось сигнала V] (1 бит)
- FS – Field\_sequence [последовательность 8 полей] (1 бит)
- SCBA – Sub\_carrier\_burst\_amplitude [амплитуда выброса поднесущей] (1+7 битов)
- SCP – Sub\_carrier\_phase [фаза поднесущей] (8 битов)

РИСУНОК 3.13

**Расширение кодирования изображения**



- SEC – Sequence\_end\_code [код конца последовательности] (32 бита)

РИСУНОК 3.14

**Конец последовательности**

## 3.7 Сжатие и кодирование звука

### 3.7.1 Введение

Цифровой звук стал популярным благодаря компакт-дискам. Их 16-битовый ИКМ-формат стал общепринятым стандартом представления звука, хотя используемый в них цифровой поток 706 кбит/с на монохромный канал довольно высок. При звукопроизводстве применяется разрешение ИКМ до 24 битов. Спецификации интерфейса EBU/AES допускают разрешение от 16 до 24 битов и частоту дискретизации 32 кГц, 44,1 кГц и 48 кГц. Более низкие цифровые потоки приходится применять, когда звуковые сигналы должны передаваться по каналам с ограниченной пропускной способностью или записываться на носители с ограниченной емкостью. Прежние предложения по сокращению ИКМ-потоков нашли применение при кодировании речи. Однако существует множество различий между звуковыми и речевыми сигналами, порождаемые тем, что кодирование звука предполагает более высокие значения частоты дискретизации, разрешения по амплитуде и динамического диапазона, большие вариации спектральной плотности мощности, различия в человеческом восприятии и более высокие ожидания слушателей по качеству. В отличие от речи мы также должны рассматривать стереофонические и многоканальные режимы звука.

В новых методах кодирования высококачественных звуковых сигналов используются такие свойства восприятия звука человеком, как эффекты спектрального и временного маскирования в органе слуха. Качество воспроизводимого звука должно соответствовать получаемому при 16-битовой ИКМ с частотами дискретизации 44,1 или 48 кГц. Оптимум достигается, если при минимальных цифровых потоках и приемлемой сложности кодека не будет заметна разница между исходным звуком и звуком, получаемым из декодируемого звукового сигнала. Были продемонстрированы системы кодирования источника, обеспечивающие сокращение цифрового потока от 768 кбит/с (16 битов при частоте 48 кГц) до приблизительно 100 кбит/с на монохромный канал и сохраняющие субъективное качество цифрового студийного сигнала для критичных сигналов. Достижение такого большого сжатия оказалось возможным благодаря тому, что шум квантования подстраивался к порогу маскирования и передавались только те детали сигнала, которые воспринимались слушателем.

Рекомендация МСЭ-R BS.1115 описывает двухканальное кодирование звука с низким цифровым потоком, используемое для целей цифрового звукового вещания. Для целей распространения рекомендуется использовать ISO/IEC 11172-3 (MPEG-1), уровень II при 128 кбит/с для одноканальной конфигурации и 256 кбит/с для двухканальной конфигурации. Для каналов доставки программ и их распределения МСЭ-R рекомендует применение MPEG-1, уровень II, с цифровым потоком 180 кбит/с на канал и с потоком 120 кбит/с на канал, если не предусматривается последующее каскадирование кодирования.

Для ЦНТВ представляет интерес многоканальный звук. В настоящее время многоканальный звук получил известность, в первую очередь, благодаря кинематографу. Но в последние несколько лет он был использован даже в потребительских приложениях, например в телевизорах и видеомагнитофонах используется система "окружающего звука" (Dolby Surround). С введением телевидения повышенного качества и высокой четкости (ТВПК, ТВВЧ), которые позволили улучшить разрешение и увеличить размер изображения, обеспечивая по получаемому впечатлению приближение к кинематографу, возникла потребность в улучшенных характеристиках звучания. Путь достижения повышенного реализма восприятия состоит в использовании более чем двух звуковых каналов. Субъективные оценки [4] показывают, что переход от монозвука (1/0) к стереозвуку (2/0) эквивалентен одному баллу улучшения по 5-балльной шкале качества МСЭ-R; переход от стереозвука (2/0) к трем каналам (3/0) дает еще один балл улучшения и переход от трех каналов (3/0) к "окружающему звуку" (3/2) добавляет еще полбалла улучшения.

Рекомендация МСЭ-R BS.775 "Многоканальная стереофоническая звуковая система с сопровождающим изображением и без него" определяет применение многоканальной звуковой системы 3/2 (левый, центральный, правый; левый окружающий, правый окружающий). Преимуществом этой системы является большая площадь прослушивания, но она имеет недостаток – для нее требуется передача более высокого цифрового потока. МСЭ-R BS.1196 предлагает в ЦНТВ использовать звуковое кодирование по международному стандарту, определенному в ISO/IEC IS 13818-3, или по североамериканскому стандарту, определенному в ATSC A/52. При применении системы кодирования, рекомендуемой

МСЭ-R, обеспечивается экономичный путь записи и передачи многоканального звука. Наряду с применением в системах ТВПК и ТВВЧ, многоканальный звук находит применение в мультимедийных приложениях, которые приобретают все большую популярность у потребителей, при условии экономного расходования цифровых потоков.

### 3.7.2 Характеристики звуковых систем для ЦНТВ

Звуковые системы, пригодные для телевизионного вещания, должны удовлетворять нескольким основным требованиям и обеспечивать ряд технических и эксплуатационных функций.

#### 3.7.2.1 Стереовоспроизведение 3/2

Для стереофонического воспроизведения Рекомендация МСЭ-R BS.775 в качестве эталонного звукового формата определяет центральный канал С и два окружающих канала Ls и Rs – в дополнение к основным левому и правому стереоканалам L и R. Эта система имеет название "3/2-стерео" (3 фронтальных и 2 окружающих канала), как показано на рис. 3.15, и для нее требуется применение пяти каналов в студии, средствах записи, каналах доставки, распределения и излучения, а также в домах пользователей.

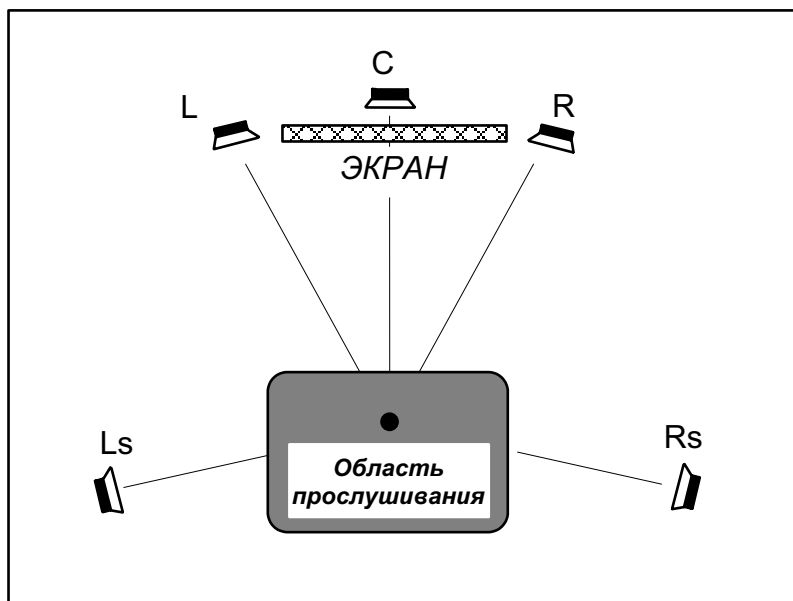


РИСУНОК 3.15

#### Эталонное расположение громкоговорителей в системе 3/2-стерео

В звуковых приложениях с сопровождающим звук изображением три фронтальных канала обеспечивают достаточно стабильную направленность звука и верность фронтальных звуковых образов, связанных с изображением, и это соответствует практике кинематографа. Кроме того, формат 3/2-стерео оказался оптимальным сбалансированным решением для чисто звуковых приложений и для улучшения двухканальной стереофонии. Добавление пары окружающих каналов к трем фронтальным каналам обеспечивает повышенный реализм слухового восприятия.

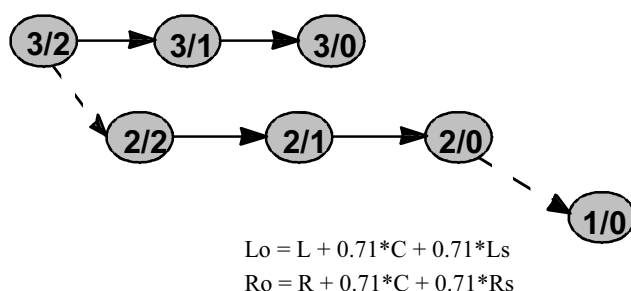
### 3.7.2.2 Низкочастотный улучшенный канал

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.775 в звуковом формате 3/2-стерео в дополнение к полнополосным основным каналам предусмотрена возможность использования низкочастотного улучшенного (LFE) канала, обеспечивающего передачу полосы частот от 20 Гц до 120 Гц. Функция данного канала состоит в том, чтобы обеспечить заинтересованному в этом слушателю улучшение низкочастотного содержания программы как в отношении частот, так и в отношении уровней. Такой канал соответствует сверхнизкочастотному (sub woofer) каналу в звуковом формате цифрового кинематографа, и благодаря этому обеспечивается оптимальная совместимость со звуковым материалом кинофильма.

### 3.7.2.3 Совместимость "сверху вниз"

Для обеспечения совместимости "сверху вниз" звуковых форматов в Рекомендации МСЭ-R BS.775 предлагается иерархия звуковых форматов, предусматривающих меньшее число каналов и пониженные характеристики стереофонического воспроизведения (вплоть до 2/0-стерео или даже монорежима), а также соответствующий набор уравнений для микширования "сверху вниз". Структура иерархии и рекомендуемые коэффициенты для конфигурации 3/2 показаны на рис. 3.16. Полезными альтернативными звуковыми форматами более низкого уровня являются 3/1, 3/0, 2/2, 2/1, 1/0. Они могут быть использованы в обстоятельствах, когда на линию передачи накладываются экономические ограничения или ограничения по пропускной способности канала, либо когда желательно использовать только пониженное число каналов воспроизведения.

Возможности микширования "сверху вниз" каналов окружающего звука  
(см. Рек. МСЭ-R BS.775)



ДТТВ-03.16

РИСУНОК 3.16

### Микширование "сверху вниз" от 3/2 до 1/0 для будущих многоканальных звуковых систем

### 3.7.2.4 Обратная совместимость

На случай расширения существующей двухканальной службы ЦНТВ до многоканальной и необходимости обеспечения совместимости с существующими двухканальными приемниками Рекомендация МСЭ-R BS.775 определяет два пути возможной реализации этой обратной совместимости. Многоканальная служба может реализовываться одновременно с двухканальной (параллельное вещание). Альтернативный вариант состоит в том, чтобы передавать по левому и правому каналам совместимые сигналы, полученные путем матрицирования (микширования "сверху вниз") многоканальных сигналов. Кроме этих стереоканалов могут использоваться дополнительные каналы для передачи соответствующих сигналов, позволяющих восстановить набор исходных многоканальных сигналов с помощью дематрицирования. Преимущество второго метода состоит в том, что для перехода к многоканальной службе требуется передавать меньший объем дополнительных данных.

### 3.7.2.5 Сопутствующие службы и возможности конфигурирования

В дополнение к основной многоканальной службе могут потребоваться сопутствующие службы.

В некоторых местностях могут быть полезными многоязычные службы. Они могут реализовываться разными способами. Например, для каждого языка могут передаваться полные многоканальные наборы сигналов. Другой возможностью является передача отдельного диалогового канала в дополнение к общему многоканальному набору музыки и эффектов.

К дополнительным звуковым услугам можно отнести услуги, предназначенные для людей с ослабленным слухом, либо зрением. Для слабослышащих полезен чистый диалоговый канал (т. е. канал без музыки и эффектов). Для слабовидящих потребуются описательный канал.

Оптимальное использование предоставляемого цифрового потока для реализации многоканального стереовоспроизведения и качества звука, с одной стороны, и для реализации двухязычных программ или сопутствующих услуг, с другой стороны, зависит от применения, типа программы и т. п. По этой причине полезно иметь несколько альтернативных конфигураций по звуковым каналам, услугам и уровням качества.

### 3.7.3 Обзор звуковой системы для ЦНТВ

Как показано на рис. 3.17, звуковая подсистема ЦНТВ охватывает функции кодирования/декодирования и располагается между звуковыми входами/выходами и транспортной подсистемой. Звуковой кодер (кодеры) отвечает(ют) за генерирование звукового элементарного потока (потоков), который является кодовым представлением низкочастотных звуковых входных сигналов. Гибкая транспортная система обеспечивает доставку множества элементарных звуковых потоков на приемник. В приемнике транспортная подсистема отвечает за выбор звукового потока (потоков), доставляемого в звуковую подсистему. Звуковая подсистема отвечает за декодирование звукового элементарного потока (потоков) до исходных (низкочастотных) сигналов.

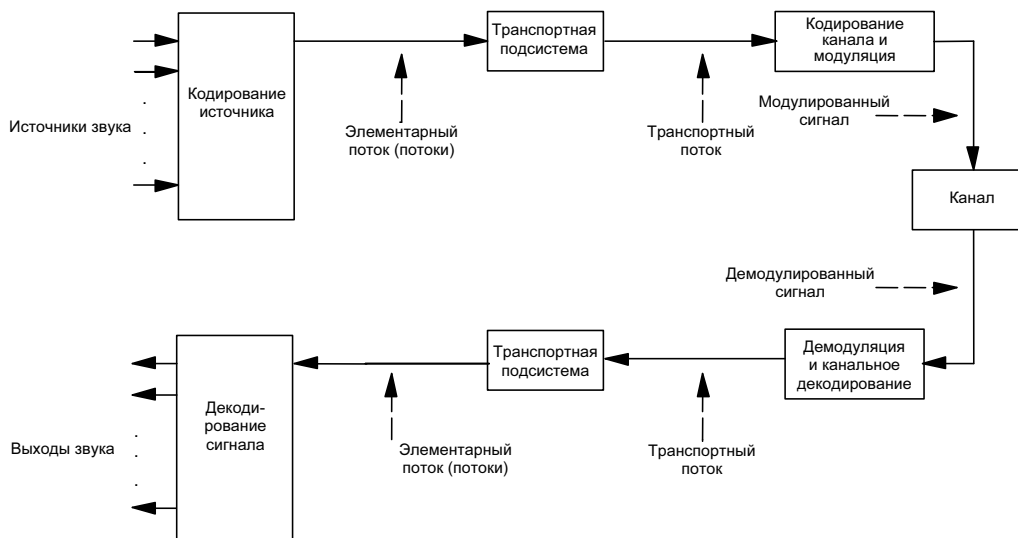


РИСУНОК 3.17

**Звуковая подсистема цифровой телевизионной системы**

Сигнал от источника звуковой программы кодируется цифровым телевизионным кодером звука. Выход кодера звука образует последовательность битов, представляющую источник звука и называемую *звуковым элементарным потоком*. Транспортная подсистема преобразует звуковые данные в пакеты PES (программного элементарного потока), которые далее преобразуются в транспортный поток. Подсистема передачи преобразует транспортные пакеты в модулированный РЧ сигнал для передачи на приемник. В приемнике принятый сигнал демодулируется подсистемой приема. Транспортная подсистема приемника преобразует принимаемые транспортные пакеты в звуковой элементарный поток, который декодируется цифровым телевизионным декодером звука. Показанное разделение на блоки является обобщенным, и практические схемы реализации могут иметь отличия. Например, транспортная обработка может быть разделена между двумя блоками: один блок будет формировать пакеты PES, а другой – образовывать транспортные пакеты. С другой стороны, некоторые из транспортных функций могут быть включены либо в кодер звука, либо в подсистему передачи.

Дополнительные источники звука, такие как многоязычные каналы, могут быть встроены в основной элементарный звуковой поток – при кодировании по ISO/MPEG-2, либо могут передаваться дополнительными элементарными потоками – при кодировании по AC-3.

### **Интерфейс кодера звука**

Звуковая система получает низкочастотные звуковые входные сигналы, сформированные в соответствии с Рекомендацией ITU-R BS.775 "Многоканальная стереофоническая звуковая система с сопровождающим изображением и без него".

### **Частота дискретизации**

Система переносит цифровой звук, дискретизированный с частотой 48 кГц, которая привязывается к системной тактовой частоте 27 МГц. Может также предусматриваться работа с частотами дискретизации 44,1 кГц и 32 кГц. В системе MPEG-2 может также поддерживаться предоставление вспомогательных услуг на половинных значениях этих частот.

### **Разрешение**

В общем, входные сигналы должны квантоваться с разрешением, по меньшей мере, 16 битов. Системы сжатия звука могут обрабатывать звуковые сигналы с разрешением выше 16 битов.

### **3.7.4 Обзор по вопросу сжатия звука и его основы**

Главная задача сжатия звука состоит в том, чтобы представить источник звука, насколько возможно, малым числом битов, сохраняя при этом уровень качества, требуемый для данного приложения. При предоставлении звуковых услуг с сокращением цифрового потока возникает проблема кодирования сигнала так, чтобы возникающие ошибки были незаметными на слух. В системах ISO/IEC MPEG-2, уровень II и AC-3 используется полосовое представление звукового сигнала, которое позволяет реализовать преимущества эффекта частотного маскирования, присущего слуховой системе человека. Частотный спектр звукового сигнала разделяется на подполосы частот с помощью набора полосовых или трансформирующих фильтров. В результате получается представление звукового сигнала через отсчеты в подполосах частот (MPEG-2) или через частотные коэффициенты (AC-3).

Сигналы в подполосах можно квантовать, поскольку результирующий шум квантования получается на сходной частоте, причем благодаря психоакустическому явлению маскирования допустимы относительно низкие отношения сигнал/шум (S/N). Психоакустическая модель человеческого слуха позволяет определить, какое фактическое отношение сигнал/шум допустимо для каждой подполосы частот. Операция присвоения битов распределяет имеющиеся в наличии биты по подполосам частот в соответствии с требуемым отношением сигнал/шум. Значения сигналов в подполосах квантуются с точностью, определяемой операцией присвоения битов, и затем формируется звуковой элементарный поток. Основным элементом кодируемого звука является звуковой опорный блок (цикл), состоящий из фиксированного числа отсчетов в подполосах частот. Каждый звуковой цикл представляет собой независимо декодируемый объект. Знание присвоения битов позволяет декодеру "распаковывать" сигналы в подполосах и выполнять операцию, обратную квантованию. Синтезирующий набор фильтров является инверсным по отношению к анализирующему набору, и он выполняет преобразование реконструированных сигналов в подполосах частот в линейный ИКМ сигнал.

## 3.8 Система ISO/IEC IS 13818-3 (MPEG-2), уровень II

### 3.8.1 Введение

Выбор схемы кодирования источника звука, подходящей для цифрового телевидения, является крайне важным, и эту задачу следует выполнить весьма тщательно с учетом нескольких точек зрения. Выбор схемы кодирования оказывает решающее влияние на получаемое качество звука, требуемый цифровой поток и сложность кодеров и декодеров.

Уровень II стандарта ISO/IEC IS 13818-3 соответствует цифровой системе окружающего звука, обычно называемой звуком MPEG-2. В Рекомендации МСЭ-R BS.1196 она принята в качестве системы кодирования многоканальных звуковых сигналов. Эта система строится на основе и совместима с двухканальной системой кодирования звуковых сигналов, описанной в стандарте ISO/IEC 11172-3, которую обычно называют звуком MPEG-1; в Рекомендации МСЭ-R BS.1115 она предлагается для целей доставки программ, их распределения и излучения. Из трех уровней, определенных в MPEG-1, наиболее широко применяется уровень II, поскольку в нем достигнуто оптимальное сочетание сжатия при кодировании и сложности кодера/декодера.

Звуковая система MPEG-2 является совместимым продолжением MPEG-1, расширяющим и улучшающим его технические и эксплуатационные возможности за счет включения дополнительных частот дискретизации и многоканального кодирования. Может передаваться до пяти каналов (в дополнение к возможным семи комментаторским каналам) и еще один улучшенный низкочастотный канал (часто называемый "канал-5.1"). В кодере MPEG-2 генерируется и передается в цифровом потоке MPEG-2 двухканальная матрицированная версия многоканального звукового сигнала. Многоканальный звуковой сигнал получается путем декодирования цифрового потока MPEG-2 декодером MPEG-2. Для двухканального декодирования многоканального цифрового потока MPEG-2 существуют две возможности, в соответствии с желаемой гибкостью двухканального матрицирования:

- можно использовать декодер MPEG-1; при этом получают матрицированные сигналы в том виде, как они выбраны и сгенерированы в кодере;
- упрощенный многоканальный декодер MPEG-2 со встроенным каскадом матрицирования обеспечивает генерирование любых матрицированных сигналов, удовлетворяющих требования пользователя, независимо от того, какое матрицирование было использовано в кодере.

Второй вариант имеет несколько более высокую сложность, чем первый; гибкость и сложность идут "рука об руку".

Многоканальная звуковая система MPEG-2 имеет следующие особенности:

- звуковая система MPEG-2 была тщательно испытана и проверена в соответствии с тестовыми процедурами Рекомендации МСЭ-R BS.1116;
- звуковая система MPEG-2 была спроектирована как часть полной системы мультиплексирования MPEG-2, охватывающей цифровые потоки видеосигнала, звука и данных, а также удовлетворяющей требованиям по синхронизации и буферизации для кодированных видеопотоков по ISO/IEC 13818-2 и кодированных звуковых потоков по ISO/IEC IS 13818-3;
- при передаче в составе транспортного цифрового потока MPEG-2 звуковая система MPEG-2 обеспечивает эффективную систему перекрестных ссылок по системным характеристикам (таким, как анонсы, типы программ, виды языков, управление доставкой программ и т. п.);
- звуковой поток MPEG-2 устойчив к битовым ошибкам и способен обеспечивать маскирование ошибок в приемнике для повышения субъективного качества звука при неблагоприятных условиях приема, что позволяет спроектировать такую систему, в которой точка отказа в работе по звуку достигается после других составляющих сигнала (например, видеосигнала и данных), входящих в один и тот же мультиплексированный поток данных;



- могут применяться неодинаковые уровни защиты от ошибок, что позволяет улучшить характеристики системы при определенных уровнях ошибок;
- звуковая система MPEG-2 сконструирована таким образом, чтобы обеспечивалась совместимость с существующими аналоговыми декодерами Dolby ProLogic.

Использование системы кодирования MPEG-2 позволяет многоканальную службу надстроить над двухканальной службой MPEG-1, работающей в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.1115. По сравнению с одновременным вещанием отдельных двухканальных и многоканальных программ это позволяет снизить общие требования к объему передаваемых данных и облегчить эксплуатацию.

### **3.8.2 Основные пользовательские характеристики системы ISO/IEC 13818-3, уровень II**

В этом разделе дается сводка характеристик многоканального кодирования звука по ISO/IEC 13818-3, уровень II. В частности, рассматриваются именно те пункты, которые при цифровом наземном телевизионном вещании имеют существенное значение для поставщиков услуг, вещателей, сетевых операторов и потребителей.

#### **3.8.2.1 Гармоничный проект системы MPEG-2**

Звуковые стандарты MPEG-1 и MPEG-2 входят как составные части в систему стандартов MPEG-1 и MPEG-2, соответственно. После частей, определяющих кодирование звука и видеокодирование, оба стандарта содержат такие части, как "системы", "проверка на соответствие" и "технический отчет".

В системной части, кроме всего прочего, определяется, каким образом множество звуковых и видеопотоков MPEG могут быть мультиплексированы в единый цифровой поток и каким образом может быть реализовано синхронное воспроизведение. Сюда входит определение механизма временных меток и модели буфера декодера. Мультиплексированный поток содержит также дополнительную информацию о видео- и звуковых потоках, к которой желательно иметь легкий доступ на системном уровне – это язык и вид звука (для людей с ослабленным слухом, ослабленным зрением, ...), находятся ли звук и изображение в точном синхронизме и может ли использоваться при передаче звука переменная скорость кодирования.

В части, посвященной проверке на соответствие, определяются методики проверки правильности цифровых потоков MPEG и методики проверки на соответствие стандарту конкретных реализаций декодеров. В ней также определяются минимальные требования по точности реализации декодера звука MPEG.

Технический отчет 13818-S, который находится в стадии подготовки, содержит исходные коды для программного кодера и декодера, написанные на языке C. Эта часть должна помочь тем, кто хотел бы быстро приспособить видео- и звуковые стандарты MPEG к своим требованиям, ускорить работы по реализации и облегчить испытание реализованных устройств.

Стандарты MPEG содержат также перечень компаний и учреждений, которые заявили об обладании правами интеллектуальной собственности, относящейся к этим стандартам.

Таким образом, звук MPEG является неотъемлемой частью набора стандартов, в которых не только определяется кодирование, но также рассматриваются проблемы, относящиеся к реализации системы в целом.

#### **3.8.2.2 Обобщенная многоканальная система кодирования**

Система кодирования звука MPEG-2, уровень II предусматривает иерархию звуковых форматов от полного формата 5.1 цифрового окружающего звука до форматов с малым числом звуковых каналов и пониженными характеристиками стереофонического воспроизведения, с дополнительными многоязычными/комментаторскими каналами или без них. Альтернативные звуковые форматы могут быть реализованы двумя способами: либо на передающей стороне, где кодируется и передается лишь пониженный звуковой формат, либо на приемной стороне, где более низкие по иерархии звуковые форматы получаются в декодере MPEG-2, уровень II путем формирования соответствующих матрицированных сигналов.

Звуковая система MPEG-2, уровень II поддерживает любые общепринятые частоты дискретизации (т. е. 32 кГц, 44,1 кГц и 48 кГц), и кодовые слова длиной до 24 битов для входных и выходных звуковых ИКМ сигналов. Многоязычные/комментаторские каналы могут работать на тех же частотах дискретизации, что используются для основной звуковой программы "окружающего звука", либо на половинных значениях этих частот.

### **3.8.2.3 Возможность взаимодействия и совместимость**

Вещатель может проявить интерес к оценке совместимости существующих систем с тем, чтобы минимизировать число требуемых транскодеров или циклов записи. Это может оказаться существенным, например, при выборе схемы кодирования для каналов доставки программ, их распределения или для комментаторских линий, при одновременном вещании звуковых и телевизионных программ, при использовании ранее закодированных программных материалов и при архивации. В этой связи следует заметить, что оба стандарта – ISO/IEC 11172-3, уровень II (который всегда можно поднять до совместимого многоканального кодирования по ISO/IEC 13818-3) и ISO/IEC 13818-3, уровень II широко используются во множестве приложений.

Для существующих приложений может потребоваться прямая и обратная совместимость со звуком MPEG-1. Кроме того, с учетом наличия декодеров Dolby ProLogic, обеспечивающих аналоговую реализацию окружающего звука, может потребоваться и совместимость с декодерами ProLogic.

При разработке многоканального кодирования MPEG-2, уровень II была обеспечена совместимость с:

- существующими приложениями с применением одиночных и сдвоенных/стереоканалов на основе стандарта MPEG-1, уровень II;
- многоканальными системами, использующими систему окружающего звука Dolby Surround.

Кроме того, для тех приложений, где не требуется обратная совместимость, стандарт MPEG-2, уровень II допускает использование нематричного режима. При этом обеспечивается даже более высокий коэффициент сжатия благодаря тому, что в таком режиме могут быть сняты некоторые ограничения.

Гибкий матричный принцип, используемый в MPEG-2, уровень II, позволяет делать выбор между указанными возможностями. Сигнал управления, передаваемый в многоканальном заголовке цифрового потока MPEG-2, уровень II, указывает декодеру, какая процедура дематрицирования должна быть применена, чтобы восстановить полный многоканальный звуковой сигнал, в типичном случае содержащий пять дискретных звуковых каналов.

### **Совместимость со звуком MPEG-1**

Одной из важнейших характеристик стандарта кодирования звука MPEG-2 является его прямая и обратная совместимость с существующими звуковыми форматами. Обратная совместимость с двухканальным стерео может стать строгим требованием для многих поставщиков услуг, которые в будущем смогут предложить высококачественный цифровой окружающий звук. Выполнение требований Рекомендации МСЭ-R BS.1115 уже привело к широкому распространению звуковых декодеров по стандарту MPEG-1, уровень II, которые поддерживают моно- и стереофонические звуковые программы.

Обратная совместимость кодирования звука по MPEG-2, уровень II означает, что существующие двухканальные декодеры звука по MPEG-1, уровень II должны правильно декодировать основную 2/0-стереоинформацию, извлекаемую из многоканального цифрового потока.

Прямая совместимость кодирования звука по MPEG-2, уровень II означает, что многоканальный декодер может правильно декодировать цифровой поток MPEG-1, уровень II в одиночном и сдвоенном канале, работающих в стерео- или совмещенном стереорежиме.

Многоканальный цифровой поток по ISO/IEC 13818-3 может декодироваться декодером ISO/IEC IS 11172-3, либо декодером ISO/IEC IS 13818-3, в соответствии с требуемыми характеристиками воспроизведения. Этим обеспечиваются преимущества не только в отношении совершенствования существующих служб с точки зрения многоканальности, но и в отношении цен: MPEG-2 предусматривает основную двухканальную службу минимальной сложности, для которой используется декодер ISO/IEC 11172-3 на одной из простых интегральных схем, обеспечивающих извлечение закодированных матрицированных сигналов.

### **Возможность работы с декодером Dolby ProLogic**

Совместимость с декодером Dolby ProLogic является еще одной важной особенностью кодирования звука по MPEG-2, уровень II. Декодеры Dolby ProLogic особенно широко используются в звуко/видеоприложениях, таких как стереотелевидение, системы CD-i, Video CD, компьютерные мультимедийные системы, DVD, а также в чисто звуковых приложениях, например в цифровом звуковом радиовещании (DAB).

Двухканальный окружающий сигнал Dolby Surround (Lt/Rt) можно без проблем передавать, используя MPEG-1, уровень II. Этот способ уже используется, например, в Video CD.

Благодаря гибкому матричному методу MPEG-2, уровень II обеспечивает совместимость с декодером Dolby ProLogic, т. е. окружающий сигнал Dolby Surround может быть получен путем декодирования цифрового потока MPEG-2, уровень II с помощью декодера MPEG-1, к которому подключен декодер ProLogic. Все дискретные звуковые каналы 5.1 могут быть реконструированы с помощью многоканального декодера MPEG-2, в котором для этого должна использоваться специальная процедура дематрицирования, инверсная по отношению к кодированию окружающего звука Dolby Surround.

Упрощенный декодер MPEG-2, в который встроен каскад матрицирования сигналов с последующим двухканальным набором синтезирующих фильтров, может использоваться для реконструирования совместимых матрицированных сигналов окружающего звука Dolby Surround из многоканального цифрового потока MPEG-2, независимо от вида матрицированных сигналов, выбранных и применяемых в кодере MPEG-2.

#### **3.8.2.4 Значения цифрового потока**

Кодирование звука MPEG-2, уровень II допускает широкий диапазон значений цифровых потоков – от 32 кбит/с до 1066 кбит/с, включая все 15 значений (до максимального 384 кбит/с), определенных в стандарте MPEG-1. Совместимость с MPEG-1 реализуется за счет допускаемого стандартом MPEG-2 расщепления звукового цикла на две части:

*Часть А:* Первичный цифровой поток совместим с MPEG-1 и содержит начальную специфическую информацию MPEG-2 в области, которую декодер MPEG-1 считает вспомогательными данными.

*Часть В:* Дополнительный цифровой поток содержит остальную специфическую информацию MPEG-2. Дополнительный цифровой поток измеряется в байтах и может изменяться до максимального значения 2047 байт.

Если общий цифровой поток не превышает 384 кбит/с, вся специфическая информация MPEG-2 может быть введена в первичный цифровой поток; дополнительный цифровой поток не требуется. Более подробное описание с соответствующими рисунками содержится в ISO/IEC 13818-3 и в Рекомендации МСЭ-R BS.1196, Приложение 1, § 3.1.2.

Широкий диапазон цифровых потоков предусматривает приложения, в которых требуется низкий цифровой поток и высокое качество звука, например, когда должен использоваться только один процесс кодирования и не применяется каскадирование. Предусматриваются и приложения, в которых может оказаться желательным более высокий цифровой поток – приблизительно до 180 кбит/с на канал, если должно приниматься во внимание каскадирование кодеров или постобработка сигналов.

#### **Переменные цифровые потоки**

MPEG-2 допускает переменные цифровые потоки. Это может представлять интерес при передаче в режиме АТМ или при записи, например, на диск DVD. Также это может оказаться полезным при вещании, когда по каналу постоянной пропускной способности передается множество независимых звуковых и видеопотоков. Поскольку использование недостаточного цифрового потока может привести к появлению различных заметных на слух искажений, служба фиксированной пропускной способности должна назначить для передачи звука такой цифровой поток, при котором будет обеспечен желательный уровень качества для наиболее критичного материала.

Кодирование с переменным цифровым потоком основано на том, что одни звуковые последовательности содержат меньше существенной информации, чем другие, и что мгновенный цифровой поток может значительно изменяться. Для типичного телевизионного программного материала отношение

наивысшего требуемого цифрового потока к среднему может быть значительным: например, для большей части киноматериала было зафиксировано отношение около двух. В результате, применение кодирования с переменным цифровым потоком вместо фиксированного может обеспечить существенное снижение требуемой пропускной способности.

### **3.8.2.5 Каскадное кодирование**

Эксперименты, проведенные группой специалистов МСЭ-R, показали, что процесс кодирования MPEG-1, уровень II может быть повторен девять раз без каких-либо серьезных субъективных искажений при условии, что цифровой поток достаточно высок, например 180 кбит/с на канал. Однако, если цифровой поток составит лишь 120 кбит/с, кодирование может производиться до трех раз (см. Рекомендацию МСЭ-R BS.1115).

Благодаря аналогичной природе кодирования ISO/IEC 13818-3, уровень II ожидается, что для многоканального кодирования также можно будет выполнять многократное каскадирование (без матрицирования при доставке и распределении программ, но с матрицированием при излучении).

### **3.8.2.6 Устойчивость к ошибкам**

Характеристики ухудшения звуковой информации из-за потерь при передаче должны быть такими, чтобы качество звука всегда оставалось выше, чем качество изображения, при любом уровне искажений в канале. Свойственные кодированию звука по MPEG-2, уровень II нечувствительность к битовым ошибкам и структура кодированного цифрового потока в сочетании с эффективным методом канального кодирования обеспечивают высокую устойчивость к ошибкам ценой введения лишь небольшой избыточности для защиты от ошибок.

Цифровое звуковое радиовещание (DAB) с кодированием звука по MPEG-1, уровень II демонстрирует, что рациональное канальное кодирование с минимальными цифровыми потоками в сочетании с маскированием ошибок позволяет обеспечить:

- плавное ухудшение на границах зоны охвата для одиночных и пакетных ошибок;
- улучшенное качество звука при приеме на портативные или мобильные устройства в зонах с плохим приемом;
- разборчивость диалога в случае выпадения изображения из-за слишком большого коэффициента битовых ошибок.

Технические подробности приводятся в § 3.8.3.7 и в спецификации DAB.

### **3.8.2.7 Монтаж**

Цифровой звуковой материал может быть сохранен в памяти (предварительная запись, архивная запись и т. п.), а затем смонтирован в кодированном виде. Цифровые потоки звука, закодированного по ISO/IEC 13818-3, уровень II, легко доступны в виде звуковых циклов. Лучше всего монтаж производить по границам циклов. Благодаря эффекту сглаживания при полосовой фильтрации, применяемой в декодере (см. § 3.8.3.3), в декодированном звуке монтажные точки будут проявляться как плавные переходы. Таким образом, предотвращается возникновение раздражающих щелчков.

Временное разрешение при монтаже зависит от длительности циклов. В ISO/IEC 13818-3, уровень II длительность циклов зафиксирована для каждой заданной частоты дискретизации звука. Этим обеспечивается четко определенный детерминистический подход в отношении вычисления наиболее удобных монтажных точек.

### **3.8.2.8 Улучшенный низкочастотный (LFE) канал**

Звуковая система MPEG-2 предусматривает улучшенный низкочастотный канал LFE в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.775. Цель его применения состоит в том, чтобы позволить слушателю расширить низкочастотное содержание воспроизводимой программы как в отношении частот, так и в отношении уровней. Это то же самое, что используется в звуковых системах цифрового кино. Этот канал обеспечивает высокоуровневые низкочастотные звуковые эффекты, которые предназначены для воспроизведения специальными сверхнизкочастотными динамиками. При этом низкочастотное содержание основных каналов ограничивается по величине, так что от основных динамиков не требуется воспроизведения сигналов этих специальных эффектов.

При многоканальном представлении звука улучшенный низкочастотный канал не используется для передачи всего низкочастотного содержания. Этот канал обеспечивает дополнительную возможность, используемую на месте воспроизведения, и в нем передается только дополнительная низкочастотная информация. В основных каналах передаются обычные низкочастотные звуки, и сами по себе они достаточны, если воспроизведение эффектов для пользователя нежелательно.

### 3.8.2.9 Громкость и динамический диапазон

#### Управление динамическим диапазоном (УДД)

Динамический диапазон звукового программного сигнала – это диапазон между используемыми в программе наивысшим и наименьшим уровнями полезного сигнала. Звуковой стандарт MPEG-2 обеспечивает кодирование звуковых сигналов, связанных с телевизионной программой, в широком динамическом диапазоне; обычно он соответствует полному динамическому диапазону источника программного материала. Это означает, что зритель может воспроизводить звук, сопровождающий изображение, в реалистическом динамическом диапазоне и без артефактов, связанных с работой быстродействующей системы компрессии динамического диапазона.

Во многих случаях динамический диапазон источника программы может оказаться гораздо более широким, чем требуется в домашних условиях, например, в случае высокого уровня фонового шума, или когда слушатель желает прослушивать звуковую составляющую программы как фон к каким-то другим занятиям, или если просто предпочтителен сокращенный динамический диапазон. При этом становятся полезными устройства сжатия динамического диапазона в приемнике.

Система кодирования звука MPEG-2, уровень II позволяет реализовать встроенную систему управления динамическим диапазоном, которая цифровому потоку, закодированному обычным образом, позволяет доставлять программы с динамическим диапазоном, подходящим для каждого конкретного слушателя. Регулировки усиления, необходимые для управления динамическим диапазоном, могут быть выполнены незаметно при условии, что вещатель будет использовать улучшенный контроллер динамического диапазона, аналогичный применяемому в системах цифрового звукового радиовещания (DAB). В вещательной аппаратной генерируется сигнал УДД, описывающий изменение усиления звука, которое должно быть применено в приемнике, как последовательность значений. Эти данные управления динамическим диапазоном передаются в кодовой форме вместе с сигналом звука. При этом важно, чтобы:

- звуковой сигнал передавался с первоначальным динамическим диапазоном, без какой бы то ни было предварительной компрессии, чтобы обеспечить максимальное качество, если этого пожелает пользователь;
- во всех каналах многоканальной звуковой передачи устанавливалось одинаковое значение усиления – для предотвращения ложных перемещений источников звука в результате изменений усиления УДД.

Данные УДД могут быть введены в поле дополнительных данных MPEG-2, уровень II как данные, связанные с программой (PAD). В приемнике регенерированные данные УДД могут быть использованы для управления усилением звука, чтобы согласовать динамический диапазон с требованиями слушателя и чтобы улучшить восприятие на слух в неблагоприятных условиях.

Кроме того, в декодер MPEG-2, уровень II может быть встроена самостоятельная система управления динамическим диапазоном, для которой не требуются данные УДД от кодера. При этом обеспечивается управление динамическим диапазоном в любом случае, например, если поставщик программы не передает данных УДД. Система основывается на взвешивании по масштабным коэффициентам. Принимаемые масштабные коэффициенты используются в качестве информации об уровне звука и по ним производится взвешивание в соответствии с желательными характеристиками статической и динамической компрессии. Для получения удовлетворительных результатов не требуется существенного усложнения декодера и дополнительной задержки.

#### Нормализация громкости

В цифровых телевизионных системах важно обеспечивать для всех звуковых программ одинаковую субъективную громкость. Потребители испытывают сильное раздражение, когда уровни звука меняются от канала к каналу (что наблюдается при переключении каналов) или для различных фрагментов одной программы на конкретном канале (реклама звучит гораздо громче, чем развлекательные программы).

Нормализация громкости здесь ничем не отличается от требуемой для аналогового звука или цифрового звука, передаваемого с помощью линейной ИКМ.

В Рекомендации МСЭ-R BS.645 определяются термины "допустимый максимальный уровень сигнала" и "уровень настройки". Звуковой программный сигнал должен управляться таким образом, чтобы уровень, отсчитываемый по пиковому измерителю уровня, не превышал допустимого максимального уровня; при этом мгновенные пиковые значения будут иметь более высокие уровни. Уровень настройки должен быть на 9 дБ ниже допустимого максимального уровня сигнала.

Техническая рекомендация EBU R68-1992 определяет, что в цифровом оборудовании звукопроизводства уровень настройки должен быть на 18 дБ ниже максимального уровня кодирования сигнала.

На вход кодера звука подается линейный цифровой звуковой ИКМ сигнал, который должен соответствовать приведенным выше рекомендациям.

### **3.8.2.10 Многоязычные возможности**

Звуковой стандарт MPEG-2 предусматривает множество конфигураций для многоязычных служб. Они могут быть реализованы с использованием синтаксиса единого звукового потока MPEG-2 (включая расширение цифрового потока для скоростей выше 384 кбит/с). Простой путь реализации основной программ в двух или трех каналах с программой на альтернативном языке в двух каналах состоит в использовании "конфигурации со второй стереопрограммой". Это индицируется в "окружающем" поле заголовка `MC_header` в звуковом цикле MPEG-2, уровень II.

В дополнение к основной программе (которая может иметь многоканальную конфигурацию 5.1) имеется в распоряжении до семи "многоязычных каналов". Это могут быть одиночные каналы комментариев или диалога, альтернативные двухканальные стереопередачи или альтернативная многоканальная передача. Многоязычные каналы могут передаваться с той же частотой дискретизации, что и основная программа, либо на половинной частоте дискретизации. Пониженная частота дискретизации полезна в тех случаях, когда может быть допущена сокращенная полоса звуковых частот, например в случае комментаторских каналов для освещения спортивных событий.

С другой стороны, в транспортном потоке MPEG-2 может быть передан более чем один звуковой поток. В каждом звуковом потоке может использоваться свой язык, индицируемый в дескрипторе `ISO_639_language_descriptor`. Поле `audio_type` в этом дескрипторе может содержать указание "clean effects" [чистые эффекты], т. е. независимые от языка.

### **3.8.2.11 Данные, связанные с программой (PAD)**

В ISO/IEC 13818-3, уровень II предусматриваются возможности передачи дополнительных данных в составе кодированного цифрового потока. Такой канал данных используется для передачи так называемых данных, связанных с программой (PAD), чтобы обеспечить реализацию ряда услуг, имеющих отношение к звуковым. Например, PAD может содержать указания об ассоциированных услугах (см. § 3.8.2.12), музыку/речь, передний/задний планы, относящуюся к звуку текстовую информацию для воспроизведения и т. п.

Пропускная способность канала PAD может быть распределена по желанию и даже изменяться во времени. Работа декодера звука ISO/IEC 13818-3 не зависит от содержания данных, связанных с программой, и стандарт ISO/IEC 13818-3 не предписывает определенного форматирования данных PAD. Таким образом, соответствующий поток данных может быть организован под каждое применение, независимо от потенциальных возможностей основного кодирования звука.

Данные, связанные с программой, передаются по одному блоку на цикл. Результирующая синхронизация данных PAD и звуковых данных может быть использована для реализации услуг, связанных со звуковыми и критически зависящих от времени. Примером является информация об управлении динамическим диапазоном, которая может использоваться в соответствующем декодере для регулировки усиления с целью изменения динамического диапазона декодируемого звука (см. также § 3.8.2.9).

### 3.8.2.12 Ассоциированные услуги и возможность конфигурирования

Звуковая система ЦНТВ предусматривает возможность конфигурирования звуковых каналов. Она обеспечивает возможность одновременного декодирования нескольких каналов, которые могут быть назначены различным звуковым службам, использующим разные форматы звуковых сигналов. Благодаря возможностям альтернативной конфигурации звуковых каналов при разумных затратах могут быть обеспечены характеристики, с одной стороны, обеспечивающие оптимальное представление звука для основной звуковой программы, и, с другой стороны, максимальное число дополнительных ассоциированных услуг.

MPEG-2, уровень II полностью поддерживает гибкое применение звуковых каналов. Для каждого звукового потока в мультиплексированном потоке дескриптор `ISO_639_language_descriptor` определяет язык, а также типы ассоциированных услуг (музыка/эффекты, диалог, услуги для людей с ослабленным слухом и для людей с ослабленным зрением, комментарии и т. п.).

Система позволяет комбинировать отдельные услуги. Например, имеется возможность комбинировать с основной звуковой программой такие ассоциированные (необязательные) услуги, как программы для людей с ослабленным слухом или зрением, комментарии. Могут создаваться и другие ассоциированные услуги, предназначенные для составления основной звуковой программы, в частности может формироваться выходной набор сигналов услуги музыка/эффекты в сочетании со специфическим языком услуги диалога.

#### Многоязычные программные услуги

Для обеспечения такого важного качества, как двуязычный или многоязычный режим работы, существуют два основных подхода.

##### 1. *Окончательное матрицирование сигналов перед передачей*

Для каждого языка или программной услуги предусматривается отдельный цифровой поток. При таком методе сохраняется полная творческая свобода. Совершенно независимо от эксплуатационных ограничений может быть создан любой набор сигналов музыки, эффектов и диалога на требуемом языке. Для каждого языка могут использоваться различные конфигурации (двухканальное стерео, канал 5.1 – в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.775) и/или цифровые потоки. Недостаток, однако, состоит в том, что для  $N$  языков потребуется цифровой поток в  $N$  раз больше, чем для одного языка. В некоторых случаях цифровой поток можно сэкономить, если передавать, например, по каналу 5.1 только основную программу, а для альтернативных языков ограничиться двухканальным стерео.

##### 2. *Окончательное матрицирование сигналов в приемнике*

Предварительный набор музыка/эффекты (программа музыка/эффекты без диалога) может передаваться в виде полного канала окружающего звука 5.1 в сопровождении, по меньшей мере, одного диалогового канала на язык. Окончательный набор из этих сигналов формируется в приемнике.

Добавочный цифровой поток, необходимый для каждого дополнительного языка, определяется только потребностями одного диалогового канала. Недостаток состоит, конечно, в ограничении творческих возможностей: здесь не имеется возможности неограниченного перемещения диалога и введения диалоговой реверберации в другие каналы. Однако для определенных видов программ (например, спортивных) окончательная комбинация диалога с программой музыка/эффектов может оказаться привлекательной с точки зрения экономии цифрового потока.

Различные методы предоставления многоязычных программных услуг особенно хорошо обеспечиваются звуковым и системным стандартами MPEG. Передача независимых потоков данных для каждого языка полностью поддерживается на системном уровне MPEG. Дескриптор языка `ISO_639_language_descriptor` определяет язык и формат для каждого звукового потока MPEG в мультиплексированном потоке. Предпочтения пользователя в отношении определенного языка и/или типа звука, запоминаемые в памяти приемника, могут использоваться вместе с информацией в дескрипторе языка для автоматического выбора одного из звуковых потоков, содержащихся в мультиплексированном потоке MPEG.

В типичном варианте диалог может быть замикширован в центральный канал, однако приемник может предоставить пользователю и возможность присоединить диалог к любому каналу. Кроме того, услуга диалога может создаваться не только в монофоническом формате, но и в стереофонических форматах (2/0-стерео или 3/0-стерео), благодаря чему обеспечивается более реалистичное впечатление за счет более высокого цифрового потока. Диалог может быть присоединен к фронтальным каналам, и по ним может быть распределена его реверберация.

Возможности предоставления услуг музыки/эффектов в сочетании с услугой диалога могут реализовываться весьма эффективно. Каждый звуковой поток MPEG-2 может нести до семи дополнительных (монофонических) языковых программ в одном и том же цифровом потоке. Преимущества этого метода состоят в том, что требуется только один декодер звука (для разных языков не требуется иметь доступ к различным цифровым потокам) и что диалог в принципе синхронизирован с соответствующими фрагментами музыки/эффектов. Важное дополнительное преимущество обусловлено тем, что в результате передачи нескольких диалоговых каналов вместе с музыкой/эффектами в едином цифровом потоке происходит усреднение требуемых скоростей передачи цифрового потока: вероятность того, что все звуковые каналы одновременно потребуют пикового цифрового потока мала, и, следовательно, общий потребный цифровой поток для основного звука и  $N$  диалоговых каналов будет ниже, чем цифровой поток основного звука в сумме с  $N$ -кратным цифровым потоком для одного диалогового канала. Например, в те моменты, когда диалог не происходит, для услуг диалога требуется лишь очень небольшой цифровой поток, и его можно использовать для других целей.

### **Услуги для людей с ослабленным слухом**

Для людей с ослабленным слухом в службе ЦНТВ может быть предусмотрена специальная звуковая программа. Некоторые слушатели могут испытывать трудности понимания диалога, когда в программном наборе присутствует музыка или эффекты со значительным уровнем. Услуги, предоставляемые для людей с ослабленным слухом, помогают обеспечить более разборчивый диалог. В одном варианте эта услуга содержит один канал чистого диалога (который может быть обработан, например, для сжатия его динамического диапазона). Этот сигнал может быть использован сам по себе или вместе с основным программным звуком, причем баланс этих сигналов может подбираться пользователем для достижения оптимального эффекта.

В типичном варианте сигнал для людей с ослабленным слухом вводится в центральный канал или выдается на отдельный выход (который может, например, обеспечивать питание радионаушников, которыми пользуется только слушатель с ослабленным слухом).

В другом варианте услуги для людей с ослабленным слухом могут быть организованы в виде отдельной законченной программы двухканального или многоканального стереосигнала. В этом случае программа будет содержать заново сматрицированную версию сигналов исходной программы с повышенным уровнем диалога и устранением необязательных или отвлекающих звуков.

Услуги для людей с ослабленным слухом могут предоставляться с помощью одного или нескольких "многоязычных" звуковых каналов MPEG-2. При этом сигналы для этой услуги передаются в том же звуковом потоке, что и основной программный звук. В этом случае соответствующее поле `audio_type` [тип звука] в транспортном потоке MPEG-2 должно иметь значение `0x02`, указывающее на услугу для людей с ослабленным слухом.

### **Услуги для людей с ослабленным зрением**

Для людей с ослабленным зрением в службе ЦНТВ может быть предусмотрен специальный комментарий. В этом виде услуги ведущий описывает визуальное содержание сцены, благодаря чему программа может доставить большее удовольствие незрячим или людям с ослабленным зрением. При тщательной проработке этот вид комментария может быть встроен в существующий программный диалог. Обычно такая услуга предоставляется в виде одиночного звукового канала, добавляемого к существующему программному звуку.

В другом варианте для людей с ослабленным зрением может создаваться отдельная законченная полная программа в виде двухканального или многоканального стерео. Это может потребоваться в случаях, когда для введения комментария потребуется модификация существующего программного звука.



Услуги для людей с ослабленным зрением могут быть предоставлены с использованием одного или нескольких "многоязычных каналов" звука MPEG-2. При таком способе эта услуга передается в том же звуковом потоке, что и основной программный звук. Возможен вариант и с созданием для этой услуги отдельного звукового потока. В этом случае соответствующее поле `audio_type` [тип звука] в транспортном потоке MPEG-2 должно иметь значение 0x03, указывающее на услугу для людей с ослабленным зрением.

### **Комментаторские услуги**

Комментаторские услуги обеспечивают передачу необязательных программных комментариев, которые могут быть добавлены слушателем в канал любого динамика. Типичным применением такой комментаторской услуги может быть введение дополнительного комментария во время спортивных событий, либо введение комментариев различного типа или уровня для документальных или образовательных программ.

При предоставлении комментаторской услуги (или услуг) приемник может уведомлять слушателя об их наличии. Слушатель может вызвать (вероятно, на экран) информацию о наличии различных доступных комментаторских услуг и выбрать одну из них для декодирования наряду с основной программой.

### **Услуги оповещения о чрезвычайных ситуациях**

Эти услуги предназначены для того, чтобы можно было вводить объявления о возникновении чрезвычайных ситуаций. При этом не обязательно потребуется заменять обычные звуковые услуги сообщением с высоким приоритетом. Такой звуковой службе транспортный демультимплексор будет придавать высший приоритет. Когда звуковой декодер примет сообщение, он может прекратить воспроизведение любой основной принимаемой программы и обеспечить воспроизведение только сообщения о чрезвычайной ситуации. Эта служба может быть реализована, в частности, с помощью дескриптора `ISO_639_language_descriptor`, предусмотренного в системе ISO/IEC 13818-3, уровень II.

## **3.8.3 Технические детали стандарта MPEG-2, уровень II**

В этом разделе приводится сводка основных технических элементов многоканального звукового кодирования по ISO/IEC 13818-3, уровень II. Более развернутое руководство по техническим деталям международного стандарта кодирования звука ISO/IEC содержится в соответствующем "Техническом отчете" ISO/IEC и в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R BS.1196.

### **3.8.3.1 Матрицирование совместимости**

Обратная совместимость требует предусмотреть в многоканальном кодере матрицы совместимости, имеющие соответствующие коэффициенты матрицирования, чтобы формировать совместимые стереосигналы  $L_0$  и  $R_0$ . В многоканальном декодере MPEG-2 для восстановления пяти отдельных звуковых каналов должна применяться обратная матрица. В кодере используются основные матричные выражения, чтобы преобразовать пять входных сигналов  $L$ ,  $R$ ,  $C$ ,  $L_s$  и  $R_s$  в пять транспортных каналов  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_4$  в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.775.

Что касается синтаксиса, то совместимость реализуется с использованием поля вспомогательных данных в звуковом цикле ISO/IEC 11172-3, позволяющего предусмотреть дополнительные каналы. "Переменная длина" поля вспомогательных данных обеспечивает возможность передавать полную многоканальную информацию о расширении. Стандартный двухканальный декодер звука MPEG-1 просто игнорирует эту часть поля вспомогательных данных.

Более подробная информация приводится в Рекомендации МСЭ-R BS.1196, Приложение 1.

### **3.8.3.2 Формируемые циклы**

Закодированный многоканальный цифровой сигнал организуется в циклы, соответствующие 1152 входным звуковым ИКМ отсчетам. Поэтому длительность цикла зависит от частоты дискретизации:

Частота дискретизации	32 кГц	44,1 кГц	48 кГц
Длительность цикла	36 мс	26,1 мс	24 мс

Звуковой цикл MPEG-2 состоит из двух частей: основной части и возможного расширения. Если общий цифровой поток для многоканального звукового сигнала не превышает 384 кбит/с, вся информация о кодированном сигнале может содержаться в составе основного цифрового потока.

Совместимый стереосигнал размещается в звуковой части совместимого цикла MPEG-1. Каналы расширения (центральный, окружающий, улучшенный низкочастотный, многоязычный) – в поле вспомогательных данных MPEG-1. Это поле начинается с многоканального заголовка, содержащего конкретную информацию о многоканальном звуке. За заголовком следует многоканальное CRC-поле. В нем содержится обязательное 16-битовое CRC-слово для обнаружения ошибок, начиная с первого бита многоканального заголовка и заканчивая последним битом поля, содержащего информацию о выборе коэффициентов масштабирования. За многоканальным CRC-полем следует информация о статусе многоканального комбинированного кодирования, содержащая сведения о динамических перекрестных искажениях, многоканальном предсказании и переключении передаваемых каналов. Далее следуют многоканальные звуковые данные (информация о распределении битов, информация о выборе коэффициентов масштабирования, коэффициенты предсказателя, компенсация задержки предсказания, коэффициенты масштабирования, отсчеты сигналов в подполосах).

Цикл расширения, в котором передается часть многоканальных звуковых данных, может быть добавлен к основному циклу, что позволяет выйти за верхний предел общего цифрового потока MPEG-1, составляющий 384 кбит/с. Цикл расширения начинается с синхрослова, за которым следует 16-битовое CRC-слово и поле, указывающее число байтов в цикле расширения. Далее передаются многоканальные звуковые данные, которые не помещаются в основной части. При необходимости в конце основной части звукового цикла MPEG-2 могут передаваться вспомогательные данные. Подробные цифровые сведения, относящиеся к структуре звукового цикла MPEG-2 содержатся в Рекомендации МСЭ-R BS.1196, Приложение 1, § 3.1.2.

### **3.8.3.3 Полосовая фильтрация**

Для того чтобы уменьшить объем информации, содержащейся в звуковом ИКМ сигнале, в уровне II стандарта MPEG используется метод частотного формирования шума, получаемого в результате процессов квантования и кодирования, в соответствии с характеристиками восприятия. В этот метод входит частотно/временное преобразование, основанное на разделении входного звукового ИКМ сигнала на частотные подполосы с помощью набора полифазных фильтров. Спектр широкополосного звукового сигнала разделяется на 32 подполосы частот одинаковой ширины, и для каждой из них формируется по одному отсчету, приходящемуся на 32 последовательных входных ИКМ отсчета. В этом хорошо оптимизированном полосовом анализе используется прототипный фильтр с 512 отводами, которые варьируются в частотной области так, чтобы получить 32 желаемых полосовых фильтра. Такой подход, описанный в стандарте ISO/IEC 11172-3, позволяет использовать эквивалентную структуру с полифазной фильтрацией и быстрым дискретным косинусным преобразованием. Стандарт MPEG изучался многими авторами, которые предлагали весьма быстрые реализации линейки фильтров.

Эта линейка фильтров, оптимизированная по задержке и вычислительной нагрузке, обеспечивает хороший баланс между разрешением по времени и частоте и, естественно, позволяет надежно обрабатывать звуковые сигналы любого вида, как стационарные, так и переходные (причем не возникает искажений типа "опережающего эха").

### **3.8.3.4 Распределение битов**

Звуковой сигнал в каждом канале разбивается на циклы по 1152 отсчета, которые преобразуются в 1152 отсчета в подполосах (по 36 отсчетов на подполосу).

Одновременно этот сигнал проходит через психоакустическую модель, которая для каждого цикла определяет динамическую маскирующую кривую в частотной области. Эта кривая используется, чтобы получить верхний предел (называемый также порогом маскирования) для энергии шума, которая может быть введена в каждую подполосу звукового канала в процессе информационного сжатия (например, за счет квантования отсчетов в подполосах), но без возникновения какого-либо заметного на слух искажения.

Число битов, отводимых на блок из 36 отсчетов в каждой подполосе, прямо соотносится с порогом маскирования этой подполосы, входящей в рассматриваемый звуковой канал. Прямым путем получения

такой кривой является анализ каждой звуковой составляющей с помощью одной из психоакустических моделей, приведенных в ISO/IEC 11172-3. Этим обеспечивается высокий уровень качества, который многократно оценивался в процессе международной стандартизации ISO/MPEG.

Стандартами ISO/IEC 11172-3 и ISO/IEC 13818-3 допускается применение более сложных психоакустических моделей и распределений битов. Этим обеспечивается возможность дальнейшего повышения эффективности кодирования с учетом прогресса, достигнутого в области психоакустического моделирования, без потери совместимости с существующими декодерами.

Информация, описывающая распределение битов, передается на декодер в каждом цикле. Кодирование этой информации оптимизировано с учетом долговременного статистического распределения квантователей по подполосам частот.

### **3.8.3.5 Масштабирование и квантование**

Число ступенек, используемых для квантования отсчетов в данной подполосе (выражаемое через распределение битов) вычисляется динамически в соответствии с отношениями сигнал/маска в связи с желаемым цифровым потоком и с нормализованными таблицами возможной точности квантования на подполосу. Этот процесс выполняется в каждом цикле.

Отсчеты в подполосах частот кодируются с помощью простого блочно-однородного квантователя. Коэффициент масштабирования определяется для каждого набора из 12 отсчетов на подполосу. Эти отсчеты нормализуются, чтобы обеспечить согласование с характеристиками квантователей. Используемые в данной подполосе коэффициенты масштабирования и закодированные числа ступенек квантования передаются на декодер. Число уровней квантования может изменяться в диапазоне от 3 до 65 535, причем имеется возможность вообще не передавать сигналы некоторых подполос.

### **3.8.3.6 Совместное стереокodирование**

В соответствии с бинауральными моделями можно в основном определить такую часть стереофонического сигнала, которая не имеет отношения к пространственному восприятию стереофонического воспроизведения. Такие несущественные для стереовосприятия составляющие сигнала не маскируются; однако, с другой стороны, они не дают вклада в локализацию источника звука. Следовательно, эти несущественные составляющие могут воспроизводиться через любой динамик, не воздействуя на стереофоническое восприятие, и в определенные временные интервалы и в определенных областях спектра могут быть допущены перекрестные помехи.

Этот эффект используется в режимах "intensity stereo" [стерео по интенсивности] и "dynamic crosstalk" [динамические перекрестные искажения]. Если один из этих режимов разрешен для определенной группы частотных подполос, то в цифровом потоке не передаются распределение битов и закодированные отсчеты в подполосах, поскольку они могут быть скопированы с передаваемых отсчетов в подполосах в соответствующем канале передачи. Однако информация о выборе коэффициентов масштабирования и коэффициенты масштабирования, которые будут использованы для восстановления масштаба отсчетов в подполосах, передаются в цифровом потоке.

### **3.8.3.7 Маскирование ошибок**

Структура звукового цикла по стандарту звука MPEG-2, уровень II тесно связана со структурой цикла по стандарту звука MPEG-1, уровень II, который используется для DAB. В кодере могут выполняться следующие операции для того, чтобы реализовать эффективные стратегии маскирования:

#### **CRC цикла (первый циклический избыточный код, специфицированный в ISO/IEC 13818-3)**

- 16-битовое слово проверки на четность может быть использовано для обнаружения ошибок в основной звуковой информации, передаваемой в составе закодированного цифрового потока, т. е. ISO-заголовка, информации о распределении битов и выборе масштабирующих коэффициентов. Если цикл будет идентифицирован как недостоверный или недекодируемый, в декодере может быть выполнен ряд мер;
- простое приглушение всего звукового цикла обеспечивает улучшение приема по сравнению с весьма раздражающим ухудшением вследствие неправильного приема основной звуковой информации;

- если существенная ошибка возникает только в заголовке или в неосновной информации каналов расширения (центральный и окружающие каналы), то можно применить простое приглушение или замещение совместимым стереосигналом. Такое замещение обеспечивает минимальную степень раздражающего воздействия.
- Замещение цикла предыдущим правильно декодированным циклом обеспечивает улучшение качества звука, что для большинства сигналов дает гораздо лучший результат, чем простое приглушение.

### **Код CRC масштабирующих коэффициентов (второй циклический избыточный код)**

В дополнение к контрольному слову CRC, определяемому звуковым стандартом MPEG-2, которое используется для обнаружения ошибок в неосновной, но важной информации цикла MPEG-2, уровень II, может использоваться еще одно слово CRC для обнаружения ошибок в трех старших разрядах коэффициентов масштабирования. В типичном случае в цифровой звуковой поток MPEG-2, уровень II вводится четыре контрольных слова CRC, которые располагаются непосредственно перед двумя последними байтами поля вспомогательных данных. Каждое контрольное слово связывается с группой смежных подполос частот.

Контроль по CRC вводится для трех старших разрядов всех коэффициентов масштабирования в группе полос частот, в соответствии с порядком их следования в цифровом потоке. Используется тот же метод вычисления слов CRC, что определен для слов CRC в стандарте ISO/IEC 11172-3 для неосновной информации в одном звуковом цикле MPEG, уровень II.

### **Информация о достоверности**

Если для защиты от ошибок используются обычные или выколотые сверточные коды, в канальном декодере образуется дополнительная информация о достоверности. Тем самым получается больше сведений об искаженных данных и создается основа для адаптации маскирования к характеру ошибок.

### **3.8.4 Заключение**

Система кодирования звука ISO/IEC 13818-3 (MPEG-2), уровень II, в сочетании с ISO/IEC 13818-1 (MPEG-2), системный уровень, позволяет создать весьма гибкую и эффективную звуковую службу для цифрового наземного телевизионного вещания. При этом также обеспечивается совместимость с приемниками, выполняющими Рекомендацию МСЭ-R BS.1115 по двухканальному звуковому радиовещанию.

## **3.9 Описание системы AC-3**

### **3.9.1 Введение**

Первая реализация системы AC-3 была разработана для киноиндустрии, чтобы использовать ее при изготовлении 35-мм фильмокопий. Система поступила на рынок в 1991 году. Вскоре после этого было предложено использовать ее для передачи звука в системе цифрового телевидения. Развитие системы продолжалось, пока она не была в 1994 году окончательно стандартизована в Соединенных Штатах Америки Комитетом систем перспективного телевидения (ATSC). В ходе работ по стандартизации обсуждались и требования к звуковым службам ЦНТВ. Стандарт AC-3 (ATSC A-52) вместе со стандартом цифрового телевидения (ATSC A-53) определяют все звуковые характеристики для всей службы ЦНТВ. После испытаний, проведенных Консультативным комитетом Федеральной комиссии связи (ФКС), система AC-3 была включена в систему ЦНТВ, рекомендованную ФКС для использования в Соединенных Штатах.

В 1995 году AC-3 стала в МСЭ-R рекомендуемой системой кодирования для применения в ЦНТВ (см. Рекомендацию МСЭ-R BS.1196). В том виде как она стандартизована, система AC-3 несовместима с тесно связанной с ней системой кодирования, используемой в кинематографе. (Различия сохранены как форма защитного барьера против нарушения авторских прав в кинематографе.) Опыт, накопленный при использовании многоканальной системы кодирования звука в кинематографе, сыграл большую роль при разработке окончательного стандарта на кодер AC-3.

В коде АС-3 используется идея прямого кодирования индивидуальных звуковых каналов. Для получения наивысшего коэффициента сжатия в системе не используется матрицирование ни в какой форме. Считается, что формирование матрицированной версии многоканальных звуковых сигналов является подходящей функцией для декодера, который вместо воспроизведения единственного заранее определенного двухканального набора матрицированных сигналов позволяет создавать наборы матрицированных сигналов, пригодные для слушателей с оборудованием, которое позволяет воспроизводить моно-, стерео- или матрицированный окружающий звук. Реализация этой идеи приводит к некоторому проигрышу в отношении сложности декодера, однако обеспечивает гибкость в отношении матрицирования, которое может быть настроено в соответствии с конкретными требованиями каждого слушателя. Двухканальный декодер АС-3 с матрицированием будет менее сложным, чем многоканальный декодер АС-3.

### **3.9.2 Технические детали АС-3**

#### **3.9.2.1 Формирование звуковых блоков**

Процесс преобразования звука из временной области в частотную требует, чтобы звук был разделен на перекрывающиеся блоки по 512 отсчетов. Для каждых 256 новых звуковых отсчетов блок из 512 отсчетов формируется из 256 новых отсчетов и 256 предшествующих отсчетов. Каждый звуковой отсчет оказывается представленным в двух звуковых блоках, так что количество обрабатываемых отсчетов сначала удваивается. Перекрытие блоков необходимо для того, чтобы предотвратить появление заметной на слух звуковой блочной структуры. Новые звуковые блоки формируются каждые 5,33 мс. Группа из 6 блоков кодируется в один синхроцикл АС-3.

#### **3.9.2.2 Функция окна**

Перед преобразованием в частотную область блок из 512 временных отсчетов подвергается операции взвешивания с помощью функции окна. Эта операция состоит в векторном перемножении 512-точечного блока на 512-точечную функцию окна. Функция окна имеет в центре значение 1,0 и плавно ослабляется почти до нуля у краев. Форма функции окна такова, что процесс наложения/суммирования в декодере обеспечивает восстановление без артефактов в виде блочной структуры. Форма функции окна определяет также форму каждого отдельного фильтра в наборе полосовых фильтров.

#### **3.9.2.3 Преобразование с временным подавлением ложных частот**

Анализ с помощью набора фильтров основывается на быстром преобразовании Фурье. Конкретный применяемый вариант представляет собой необычно сконструированное преобразование с подавлением ложных частот во временной области (TDAC). Такой вариант преобразования обеспечивает преимущества за счет 100%-избыточности, вводимой в процесс формирования блоков, что и позволяет предотвратить их возникновение. Входом для преобразования TDAC служат 512 точек, взвешенных во временной области, а выходом является 256 коэффициентов в частотной области. Разрешение по частоте набора фильтров составляет 93,75 Гц.

#### **3.9.2.4 Обработка переходных явлений**

Когда во временной области встречаются критические переходные явления (такие, как ударные звуки или щелчки кастаньет), существует возможность того, что ошибка квантования, возникающая при грубом квантовании частотных коэффициентов переходного явления, станет слышимой из-за расплывания во времени, поскольку ошибка квантования, возникшая внутри кодированного звукового блока, воспроизводится по всему блоку. Может оказаться, что часть ошибки квантования станет слышимой раньше ударного звука. Расплывание во времени шума квантования может быть уменьшено путем изменения длины производимого преобразования. Вместо единого 512-точечного преобразования можно выполнить пару 256-точечных преобразований – одно над первыми 256 взвешенными функцией окна отсчетами, а другое над последними 256 взвешенными функцией окна отсчетами. Момент изменения длины преобразования определяет детектор переходных явлений в коде. Уменьшение длины преобразования предотвращает расплывание ошибки квантования во времени свыше нескольких миллисекунд, благодаря чему снижается ее слышимость.

### 3.9.2.5 Кодированное представление звука

Получаемые в результате преобразования частотные коэффициенты преобразуются в двоичную форму с плавающей запятой. Производится такое масштабирование преобразования, что все значения оказываются меньше 1,0. Примером двоичной (т. е. по основанию 2) записи с 16-битовой точностью является следующее число:

$$0,0000\ 0000\ 1010\ 1100_2.$$

Наличие нескольких начальных нулей в коэффициенте (8 в данном примере) показывает, что характеристика (показатель степени) числа не обработана. После смещения на порядок числа влево значение справа от десятичной запятой (1010 1100) превращается в нормированную мантиссу, которая и подвергается грубому квантованию. Динамический диапазон характеристик чисел достаточен для 24-битовых звуковых ИКМ сигналов.

#### 3.9.2.5.1 Кодирование характеристик чисел

Исходные характеристики чисел подвергаются определенной обработке для уменьшения объема данных, требуемых для их кодирования. Вначале исходные характеристики шести блоков, включаемых в один синхрорцикл АС-3, исследуются на межблочные разности. Если разности невелики, генерируется единый набор характеристик, которые могут использоваться во всех шести блоках, и тем самым в 6 раз сокращают объем кодируемых данных. Если в пределах цикла характеристики сильно изменяются, тогда их наборы формируются для блоков, где такие изменения несущественны. Благодаря действию частотных характеристик отдельных фильтров в наборе анализирующих фильтров, характеристики чисел для соседних частот редко различаются больше, чем на  $\pm 2$ . Чтобы получить пользу из этого факта, характеристики кодируются дифференциально по частоте. Первая характеристика кодируется непосредственно, после чего кодируются разности между текущей и последующей характеристиками. Благодаря этому цифровой поток для характеристик сокращается в 2 раза. Наконец, когда спектр является относительно плоским или когда набор характеристик относится только к 1–2 блокам, дифференциальные характеристики могут совместно использоваться двумя или четырьмя частотными коэффициентами, что дает дополнительную экономию еще в 2 или 4 раза.

Результирующая эффективность кодирования в типичном случае составляет 0,39 бита на одну характеристику (или 0,39 бита на отсчет, поскольку характеристика имеется у каждого звукового отсчета). В типичном случае наивысшая по частоте слышимая звуковая составляющая в сигнале имеет частоту ниже 20 кГц. Если же неслышимы составляющие сигнала выше 15 кГц, кодируются только начальные 75% значений характеристик, что позволяет снизить цифровой поток до величины  $< 0,3$  бита на отсчет.

Обработка характеристик приводит к изменению их значений по сравнению с исходными. Кодер генерирует локальное представление характеристик, аналогичное декодированному представлению, используемому декодером. Затем декодированное представление используется для смещения исходных частотных коэффициентов и последующего генерирования нормированных мантисс, подвергаемых квантованию.

#### 3.9.2.5.2 Мантиссы

Получаемые с помощью набора анализирующих фильтров частотные коэффициенты имеют полезную точность, зависящую от длины слова входных звуковых ИКМ отсчетов и от точности вычисления преобразования. В типичном случае эта точность составляет 16–18 битов, однако может достигать до 24 битов. Каждая нормированная мантисса квантуется с точностью от 0 до 16 битов. Целью сжатия звука является достижение наилучшего качества звука при заданном цифровом потоке. Для этого требуется оптимальное (или близкое к нему) распределение наличных битов по отдельным мантиссам.

#### 3.9.2.6 Распределение битов

Число битов, отводимых на каждое отдельное значение мантиссы, определяется процедурой распределения битов. В кодере и декодере запускаются одинаковые основные процедуры, так что они генерируют идентичные распределения битов. Распределение битов в АС-3 имеет разрешение по

времени, равное длительности блока (5,3 мс), а по частоте – в соответствии с подполосой частот одного фильтра в наборе (94 Гц).

#### 3.9.2.6.1 Обратная адаптивность

Основной алгоритм распределения битов считается обратно адаптивным в том смысле, что некоторая часть закодированной звуковой информации в составе цифрового потока (поступающая в декодер как обратная связь) используется для вычисления окончательного распределения битов. Первичным входом основной процедуры распределения являются декодированные значения характеристик, которые дают общую картину спектра сигнала. По этой версии спектра сигнала вычисляется кривая маскирования. Вычисление модели маскирования основывается на модели слухового восприятия человека. Кривая маскирования показывает, какой уровень ошибок квантования может быть допущен в зависимости от частоты. Вычитание (в области логарифмов показателей степеней) кривой маскирования из спектра сигнала дает требуемые отношения сигнал/шум (SNR) как функцию частоты. Требуемые значения SNR отображаются в наборе указателей распределения битов, которые показывают, какой квантователь применять для каждой мантиссы.

#### 3.9.2.6.2 Прямая адаптивность

В декодере AC-3 могут применяться более сложные психоакустические модели, чем применяется в декодере. В основной процедуре распределения кодера и декодера используется ряд настраиваемых параметров. Если в декодере применяется психоакустическая модель, более сложная, чем в основной процедуре распределения, кодер может производить подстройку этих параметров так, чтобы основная процедура распределения давала лучший результат. Эти параметры вводятся кодером в цифровой поток и прямо подаются в декодер.

В случае, когда имеющиеся параметры распределения битов не позволяют сгенерировать идеальное распределение, кодер может ввести в цифровой поток определенные коды для изменения вычисляемой кривой маскирования и, следовательно, для изменения окончательного распределения битов. Вводимые коды выражают изменения относительно базового распределения, и их называют дельта-кодами распределения битов.

#### 3.9.2.7 Перематрицирование для режима 2/0

Когда сигналы, закодированные как "левый" L и "правый" R, декодируются декодером Dolby ProLogic Surround, встречаются такие ситуации (для сигналов "преобладающий центральный" =  $L + R$  или "окружающий" =  $L - R$ ), которые приводят к возникновению артефактов, состоящих в том, что "преобладающий" сигнал воспроизводится другими динамиками, которые для него не предназначены. Это может вызывать ухудшение маскировки артефактов. Слышимость таких артефактов можно понизить, вынуждая кодер работать с более высоким цифровым потоком, чем приемлемо в обычном режиме для двухканального стереовоспроизведения.

Когда кодер AC-3 работает в двухканальном стереорежиме, вводится дополнительный этап обработки, чтобы улучшить интероперабельность с программами Dolby Surround, закодированными с помощью матриц 4-2-4. Этот дополнительный этап называют **перематрицированием**. Данный метод снижает необходимость кодировать сигналы AC-3 с увеличенным цифровым потоком, когда они могли бы декодироваться декодерами ProLogic.

Спектр сигнала разделяется на четыре частотных полосы перематрицирования. Для каждой полосы определяется энергия "левого", "правого", "суммарного" и "разностного" сигналов. Если наибольшая энергия сигналов получается в "левом" или "правом" канале, то данная полоса кодируется обычным образом. Если же наибольшая энергия сигналов получается в "суммарном" или "разностном" канале, то эти каналы кодируются вместо "левого" и "правого". Решение, кодировать "левый" и "правый" каналы, либо "суммарный" и "разностный", производится для каждой полосы частот, и об этом сигнализируется декодеру в закодированном цифровом потоке.

#### 3.9.2.8 Соединение

В случае, когда число битов, требуемых для "прозрачного" кодирования звуковых сигналов, превышает доступное количество, кодер может вызвать процедуру соединения (coupling). Соединение заключается

в комбинировании высокочастотного содержания отдельных каналов и передаче огибающих сигналов отдельных каналов вместе с комбинированным каналом соединения. Психоакустическая основа соединения состоит в том, что в пределах узких частотных полос человеческое ухо определяет высокочастотную локализацию исходя из огибающей сигнала, а не его точной формы.

Частота, начиная с которой вызывается процедура соединения, и каналы, которые принимают участие в этом процессе, определяются кодером AC-3. Кодер определяет также структуру частотных полос, используемых в процессе соединения. Для каждого соединяемого канала и каждой соединяемой полосы частот кодер создает последовательность координат соединения. Координаты соединения для конкретного канала указывают, какая часть общего соединенного канала должна воспроизводиться от выхода данного конкретного канала. Координаты соединения представляют индивидуальные огибающие сигналов для каналов. Кодер определяет частоту, с которой передаются координаты соединения. Когда соединение используется, координаты соединения всегда передаются в блоке 0 цикла. Если огибающая сигнала остается неизменной, координаты соединения не требуется передавать в каждом блоке, и они используются декодером повторно, пока не будут переданы новые координаты. Кодер определяет, насколько часто нужно передавать новые координаты, и может передавать их в каждом блоке (каждые 5, 3 мс).

### 3.9.3 Синтаксис цифрового потока

#### 3.9.3.1 Синхроцикл

Звуковой цифровой поток состоит из повторяющихся звуковых циклов, которые называют синхроциклами AC-3. Как показано на рис. 3.18, каждый синхроцикл AC-3 является законченным объектом, содержащим информацию о синхронизации (SI), информацию о цифровом потоке (BSI), 1536 отсчетов кодированного звука и код CRC проверки ошибок. Синхроцикл может рассматриваться как звуковой элемент доступа. В составе SI имеется 16-битовое синхрослово, индикатор частоты дискретизации звука и индикатор размера синхроцикла. Поддерживаются частоты дискретизации звуковых сигналов 32 кГц, 44,1 кГц и 48 кГц. Размер цикла может быть зафиксирован в каждом цикле для работы с фиксированным цифровым потоком, либо сделан динамически изменяемым для поддержки работы с изменяемым цифровым потоком. Поддерживаются цифровые потоки от 32 кбит/с до 640 кбит/с. Неиспользуемая пропускная способность для передачи данных в конце цикла может быть применена для передачи данных, связанных с программой, или вспомогательных данных. Формат этих данных не определяется.

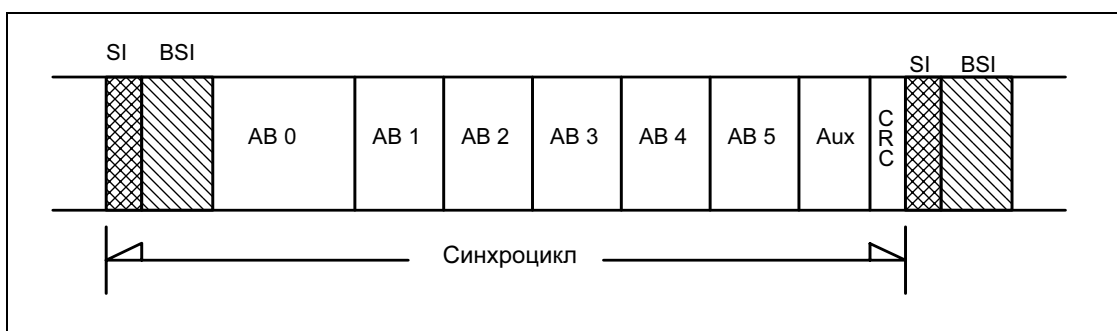


РИСУНОК 3.18

#### Синхроцикл AC-3

#### 3.9.3.2 Склейка, вставка

Кодированные цифровые потоки AC-3 могут редактироваться. Идеальное место для склейки кодированного звукового цифрового потока находится на границе синхроцикла. Если склейка цифрового потока производится по границе синхроцикла, процесс декодирования звука будет



происходить без прерываний. Взвешенный функцией окна процесс наложения/суммирования в наборе синтезирующих фильтров декодера позволяет получить очень плавные переходы в месте склейки. Если склейка цифрового потока происходит случайным образом, то могут возникать прерывания звука. Цикл, оказавшийся неполным, не может пройти проверку на наличие ошибок в декодере, и это может вызвать блокировку (приглушение сигнала) декодера. В следующем цикле декодер не обнаружит синхронизацию на должном месте и перейдет в режим поиска синхронизации. Сразу же после обнаружения кода синхронизации в новом цифровом потоке синхронизация восстанавливается, и может снова начаться воспроизведение звука. Перерыв может быть порядка двух циклов, или около 64 мс. Благодаря процессу взвешивания набором фильтров переход в состояние приглушения звука происходит с плавным затуханием в течение 5,3 мс. При восстановлении звука переход происходит с плавным нарастанием за 5,3 мс. За исключением времени приблизительно 64 мс, когда звук приглушается, действие случайной склейки элементарного потока AC-3 оказывается относительно неопасным.

### **3.9.3.3 Коды, обнаруживающие ошибки**

Каждый синхроцикл AC-3 заканчивается 16-битовым CRC-кодом для обнаружения ошибок. Декодер может использовать этот код, чтобы определить, не является ли цикл неполным или поврежденным. Кроме того, декодер может воспользоваться флагом ошибки, предусмотренном в транспортной системе. В случае обнаружения ошибок декодер может попытаться выполнить маскирование ошибки, либо просто приглушить звук. Второй 16-битовый CRC-код располагается внутри синхроцикла AC-3, что позволяет создавать декодеры с размером входного буфера всего в 2/3 цикла.

Если имеется доступ к дополнительной информации об ошибках данных (от системы ECC – схемы коррекции ошибок), то звуковой декодер может принять решение о воспроизведении искаженных данных. Например, если известно, что имеется ошибка в байте, содержащем только мантиссу, воспроизведение такого неверного значения мантиссы может, возможно, оказаться предпочтительнее, чем повторение цикла или приглушение звука. Если ошибка содержится в критически важном байте, то должно выполняться маскирование или приглушение звука. Большая часть данных в цифровом потоке состоит из данных о мантиссах.

### **3.9.3.4 Мультиплексирование AC-3 в транспортные потоки MPEG-2**

Гибкость системного уровня MPEG-2 обеспечивает возможность передачи звуковых потоков, не определяемых MPEG. Спецификации, относящиеся к возможности передачи элементарного потока AC-3 содержатся в Дополнении 1 к Приложению 2 Рекомендации МСЭ-R BS.1196 и в Рекомендации МСЭ-R BT.1300. Эти спецификации допускают реализацию систем, имеющих правильную синхронизацию, соответствующие буферы и все необходимые дескрипторы. При любом значении цифрового потока элементарный поток AC-3 может передаваться как единый поток в мультиплексированном потоке MPEG-2, причем требуется присвоение только одного значения идентификатора пакетов (PID). Приемники могут получать доступ к какой-либо одной звуковой услуге, используя один PID-фильтр.

## **3.9.4 Громкость и динамический диапазон**

### **3.9.4.1 Нормирование громкости**

В цифровых телевизионных системах важно обеспечивать для всех звуковых программ одинаковую субъективную громкость. Потребители испытывают сильное раздражение, когда уровни звука меняются от канала к каналу (что наблюдается при переключении каналов) или для различных фрагментов одной программы на конкретном канале (реклама звучит гораздо громче, чем развлекательные программы). В большинстве звуковых программ можно обнаружить общий элемент – человеческий голос. Желательно, чтобы во всех звуковых программах обеспечивался уровень, приблизительно соответствующий диалогу (когда говорят нормальным голосом, но не шепчут и не кричат). Звуковая система AC-3 предусматривает синтаксические элементы, которые обеспечивают достижение этой цели.

Поскольку цифровые системы кодирования звука могут обеспечивать динамический диапазон свыше 100 дБ, то с технической точки зрения нет причин кодировать диалог почти всегда с уровнем приблизительно 100%, как делается обычно в аналоговом телевидении. В то же время нет никакой

уверенности, что все программные каналы, либо все программы или все фрагменты программ на данном канале будут содержать диалоги, закодированные с одинаковым (или хотя бы близким) уровнем. Из-за необеспеченности кодирования диалогов с одинаковыми уровнями (что подразумевает наличие одинакового запаса по уровню для всех программ) неизбежно происходят колебания уровня звука между программными каналами или даже между фрагментами программ. В крайнем случае, может оказаться, что объявления о товарах в коммерческих сообщениях будут закодированы с таким уровнем, какой соответствует наивысшему уровню звуковых эффектов в передаваемом кинофильме.

В кодированные элементарные потоки AC-3 вводятся метки (синтаксический элемент `dialnorm`) с указанием субъективного уровня кодирования диалога. Различные звуковые программы могут быть закодированы с разным запасом по уровню над уровнем диалога, чтобы обеспечить динамический диапазон для музыки и звуковых эффектов. Цифровой телевизионный приемник (и все декодеры AC-3) в состоянии использовать значение `dialnorm` для подстройки уровня воспроизведения звуковых программ, так чтобы в разных принимаемых программах диалоги воспроизводились с близкими уровнями. Некоторые конструкции приемников обеспечивают слушателя даже регулировкой громкости звука, прокалиброванной в абсолютных уровнях звукового давления. Слушатель может набрать желаемый уровень прослушивания диалога, и приемник будет масштабировать уровень каждой декодируемой звуковой программы, чтобы всегда обеспечивать воспроизведение диалога с желаемым уровнем. Все соответствующие стандарты декодеры AC-3 используют параметр `dialnorm` и выполняют нужное масштабирование. Эта характеристика заложена в стандарт AC-3, которому должны удовлетворять все декодеры.

Элемент BSI (информация о цифровом потоке) синхроцикла содержит 5-битовое поле `dialnorm`, которое указывает средний уровень диалога в кодируемой звуковой программе. Индикация выполняется относительно уровня полномасштабной синусоиды 1 кГц. Измерение уровня диалога выполняется методом, который обеспечивает получение субъективно точных значений. Измерение субъективной громкости не относится к точным наукам, и в будущем будут разработаны новые методы измерений. Метод измерения, который доступен и вполне полезен в настоящее время, – это метод взвешенного (с характеристикой "A") интегрального измерения ( $L_{Aeq}$ ). Этот метод измерения будет применяться до тех пор, пока не будут стандартизованы более точные методы и станет практически доступно соответствующее оборудование. Любая разрабатываемая новая методика измерений должна быть нормирована (проградуирована) таким образом, чтобы результаты измерений в общем соответствовали получаемым по методике  $L_{Aeq}$ .

Для вещателей и тех, кто осуществляет поставку кодированных звуковых цифровых потоков, важно, чтобы параметр `dialnorm` имел правильные значения. Неправильные значения будут порождать нежелательные изменения уровня в домах пользователей. Наихудшим примером неправильности (или злоупотребления) в установке `dialnorm` могла бы быть передача коммерческих сообщений, в которых диалог индицируется с низким уровнем, а фактически кодируется с полным уровнем. Это может привести к тому, что коммерческое сообщение будет воспроизведено как полномасштабный по уровню взрыв в художественном фильме (в некоторых домашних театральных установках получится звуковое давление >100 дБ!). Если такие злоупотребления встретятся, потребуются принятие надлежащих мер в целях соблюдения регламентарных положений, касающихся уровней звука. К счастью, цифровые потоки, содержащие неверные значения `dialnorm`, легко корректируются простым изменением значения 5-битового поля `dialnorm` в заголовке BSI.

Существуют два основных метода, которые могут применить вещательные организации для обеспечения правильной установки `dialnorm`. Первый метод состоит в том, чтобы выбрать подходящий уровень диалога для использования во всех программах и подгонять все низкочастотные звуковые программы под этот уровень перед кодированием по AC-3. Тогда для `dialnorm` может быть установлено одно общее значение для всех кодируемых программ. Подгонка всех программ под общий уровень диалога может означать, что в одних программах звуковой уровень никогда не будет доходить до цифрового уровня 100% (поскольку для них усиление было понижено), тогда как в других программах придется вводить необратимое ограничение (в приемнике), чтобы предотвратить выход за цифровой уровень 100% (поскольку для них усиление было повышено). Предварительно закодированные программы могут вводиться в передачи, если в них установлено правильное значение `dialnorm`, и это позволит приемнику производить подгонку уровня под желательное значение.

Второй метод состоит в том, чтобы допустить ввод в кодер всех программ на полном уровне и настраивать их на разные уровни путем установки правильного кодированного значения `dialnorm` для каждой программы. В этом случае подгонка под общий уровень делается в приемнике. Этот метод представляется более практичным, поскольку дистанционное компьютерное управление кодирующим оборудованием получило широкое распространение. База данных для каждой кодируемой звуковой программы содержит уровень диалога (наряду с такими данными, как число каналов, язык и т. п.). При этом главный управляющий компьютер передает данные об уровне диалога на звуковой кодер, который, в свою очередь, вводит соответствующее значение в цифровой поток.

В случае, когда законченная звуковая программа формируется в виде комбинации основной и дополнительной программ, обе эти программы имеют параметр `dialnorm`, причем их значения могут не совпадать. В этом случае значения `dialnorm` в каждом цифровом потоке должны использоваться для изменения уровня декодируемого из него звука – перед процессом микширования, при котором звуковые сигналы, получаемые из двух цифровых потоков, комбинируются для формирования законченной звуковой программы.

### **3.9.4.2 Компрессия динамического диапазона**

Широкое распространение получила практика создания высококачественных программ с широким динамическим диапазоном звука, рассчитанных на условия воспроизведения с наивысшим качеством. Обслуживающие широкую аудиторию вещатели обычно используют обработку звука, чтобы уменьшить его динамический диапазон. Обработанный звук более удобен для большей части аудитории, у которой не имеется звуковоспроизводящего оборудования, соответствующего оборудованию студии, где производилась оригинальная звуковая программа.

В системе кодирования AC-3 предусмотрена встроенная система управления динамическим диапазоном, которая позволяет – при использовании общего кодированного цифрового потока – предоставлять каждому слушателю программу с удобным для него динамическим диапазоном. Для каждого звукового блока (т. е. каждые 5 мс) передается значение параметра управления динамическим диапазоном (`dynrng`). Эти значения используются в каждом звуковом декодере для поблочного изменения уровня воспроизводимого звука. Могут индиферентно изменяться уровни до  $\pm 24$  дБ. Такие значения `dynrng` генерируются с целью обеспечения субъективно приятного, но ограниченного динамического диапазона. При этом не оказывается воздействие на уровни диалога. Для звуков громче диалога значения `dynrng` указывают на уменьшение усиления. Для звуков тише диалога значения `dynrng` указывают на увеличение усиления. Значения `dynrng` контролируются вещателем, и он может вводить такие значения, которые обеспечивают степень компрессии, которую вещатель считает подходящей. Сохранение неизменного уровня диалога позволяет добиться более однородной громкости. Информация об управлении диапазоном является неотъемлемой частью элементарного потока AC-3.

По умолчанию, значения `dynrng` будут использоваться соответствующим звуковым декодером. При этом не играет роли, что декодера AC-3 может не быть в приемнике ЦНТВ. Даже если декодер AC-3 будет в составе другого блока аппаратуры, его поведение по отношению к управляющему сигналу `dynrng` будет одинаковым. Таким образом, приемник будет воспроизводить звук с сокращенным динамическим диапазоном, как и задумывалось вещателем. Приемник может также предоставить зрителю возможность масштабировать значение `dynrng`, чтобы ослабить степень воздействия на сжатие динамического диапазона, установленную вещателем. В предельном случае, когда значение `dynrng` ослабляется до нуля, звук будет воспроизводиться с полным динамическим диапазоном исходного звука. Возможно введение разной степени масштабирования `dynrng` для значений, указывающих на уменьшение усиления (которое вызывает снижение уровня громких звуков), и для значений, указывающих на увеличение усиления (которое повышает громкость тихих звуков). Таким образом, зритель получает возможность независимого управления величиной компрессии для громких и тихих звуков. И хотя вещатель может вводить компрессию динамического диапазона, чтобы удовлетворить потребности большей части аудитории, отдельные слушатели получают возможность выбора, чтобы получать удовольствие от звуковой программы с повышенным или полным исходным динамическим диапазоном.

Слова управления динамическим диапазоном могут генерироваться кодером AC-3. Эти слова могут также генерироваться процессором, включенным до или после кодера. Если процессор динамического диапазона включен перед кодером, то имеется возможность передавать слова управления динамическим диапазоном из процессора в кодер или в процессор цифрового потока, что позволит вводить слова управления непосредственно в цифровой поток. Если процессор динамического диапазона включен после кодера, он может воздействовать на цифровой поток и прямо вводить слова управления без изменения закодированного звука. В общем, слова управления динамическим диапазоном могут быть введены в закодированные цифровые потоки либо модифицированы без воздействия на закодированный звук.

Если требуется произвести изменение субъективно воспринимаемого динамического диапазона звуковых программ, следует использовать метод, предусмотренный в подсистеме кодирования звука. Система должна обеспечить прозрачный тракт передачи от источника звуковой программы, т. е. студии звукового постпроизводства, до дома потребителя. В цепь звукового сигнала не должны вводиться такие устройства обработки сигнала, как компрессоры или ограничители, которые вносят изменения в звуковой сигнал. Использование системы управления динамическим диапазоном, встроенной в систему кодирования звука, позволяет вещателю или поставщику программы произвести надлежащее ограничение динамического диапазона передаваемого звука без фактического воздействия на звуковой сигнал как таковой. Исходный звук доставляется в неизменном виде и остается доступным для тех слушателей, кто любит именно такой звук.

В случаях, когда полная звуковая программа формируется как комбинация основной и дополнительных услуг, каждая из комбинируемых услуг может иметь сигнал управления динамическим диапазоном. В большинстве случаев сигнал управления динамическим диапазоном, содержащийся в конкретном цифровом потоке, относится к звуковым каналам, закодированным в этом потоке. Возможны три исключения: услуга одноканальной дополнительной программы для людей с ослабленным зрением (VI), которая содержит только словесное описание содержания изображения; услуга одноканальной комментаторской программы (C), содержащей только комментаторский канал, и дополнительная услуга "Голос за кадром" (VO). В этих случаях сигнал управления динамическим диапазоном, содержащийся в элементарном потоке дополнительной услуги, используется декодером для управления уровнем звука основной звуковой программы. Это дает поставщикам услуг VI, C или VO возможность изменять уровень основной звуковой программы так, чтобы обеспечить разборчивость программ дополнительных услуг. В этих случаях уровень основной звуковой программы управляется как сигналом управления основной программы, так и сигналом управления дополнительной услуги.

### **3.9.5 Услуги предоставления основной, дополнительных и многоязычных программ**

#### **3.9.5.1 Обзор**

Элементарный поток AC-3 содержит закодированное представление одной звуковой программы. Для нескольких звуковых программ требуется несколько элементарных потоков. Мультиплексирование звуковых программ производится на системном уровне, а не на уровне кодирования звука. Каждый элементарный поток передается в транспортном мультиплексированном потоке со своим уникальным PID. Существуют несколько типов звуковых программ, которые могут кодироваться (по отдельности) в отдельные элементарные потоки. Каждый элементарный поток маркируется по типу содержащейся в нем программы с помощью битового поля *bsmod*. Существуют два типа *основных программных услуг* и шесть типов *дополнительных программных услуг*. Каждая дополнительная программа может быть промаркирована (в звуковом дескрипторе AC-3, а именно в данных PSI транспортного потока) как связанная с одной или несколькими основными звуковыми программами. Каждый элементарный поток AC-3 может быть также снабжен языковой меткой. Количество звуковых программ (основных и дополнительных) ограничивается только возможностями мультиплексированного потока MPEG-2 (как максимум может быть 8192 потока). Описываемые в следующих разделах возможности предоставления услуг предусмотрены в системе ЦНТВ, специфицируемой стандартах ATSC A/52 и A/53.

Дополнительные программные услуги могут содержать полные наборы программ, либо только один программный элемент. Дополнительные программные услуги, содержащие полные наборы программ, могут декодироваться и использоваться "как есть" (т. е. в той форме, в какой они принимаются).

Они идентифицируются битом `full_svc` в дескрипторе AC-3 (см. Рекомендацию МСЭ-R BS.1196, Дополнение 1 к Приложению 2). Дополнительные программные услуги, которые содержат только один программный элемент, предназначаются для комбинирования с программными элементами основной звуковой программной услуги.

В этом разделе описываются все типы программных услуг и приводятся указания по их использованию. В общем, полная звуковая программа (которая предоставляется слушателю через набор громкоговорителей) может состоять из основной звуковой программы, дополнительной звуковой программы, представляющей собой полный набор сигналов, либо из основной звуковой программы, скомбинированной с одной из дополнительных звуковых программ. Чтобы сформировать полную звуковую программу из определенных комбинаций программ, описываемых в данном разделе, требуется возможность одновременного декодирования одной основной и одной дополнительной программы. Звуковые декодеры могут не принимать входные данные, представляющие такие звуковые программы, которые не нужно декодировать. Благодаря этому уменьшается размер необходимой для приемника буферной памяти.

### 3.9.5.2 Перечень типов программных услуг

Типы программных услуг, соответствующих каждому из возможных значений `bsmod`, определяются в стандарте цифрового сжатия звука AC-3 (Приложение 2 к Рекомендации МСЭ-R BS.1196). Соответствующие сведения приводятся в табл. 3.2, а в следующих параграфах описывается сущность этих типов программных услуг.

ТАБЛИЦА 3.2

Таблица типов программных услуг

<b>bsmod</b>	<b>Тип программной услуги</b>
000 (0)	Основная звуковая программа: полная основная (CM)
001 (1)	Основная звуковая программа: музыка и эффекты (ME)
010 (2)	Дополнительная программа: для людей с ослабленным зрением (VI)
011 (3)	Дополнительная программа: для людей с ослабленным слухом (HI)
100 (4)	Дополнительная программа: диалог (D)
101 (5)	Дополнительная программа: комментарий (C)
110 (6)	Дополнительная программа: чрезвычайные ситуации (E)
111 (7)	Дополнительная программа: "голос за кадром" (VO)

### 3.9.5.3 Многоязычные программные услуги

Каждый звуковой цифровой поток может быть на любом языке. Чтобы обеспечить звуковые программы на нескольких языках, необходимо предусмотреть несколько основных звуковых программ на соответствующих языках. Такой метод предпочтителен в художественном отношении, поскольку позволяет неограниченный ввод диалогов с диалоговой реверберацией. Недостаток этого метода состоит в том, что требуемый полный цифровой поток должен обеспечивать доставку многоканальных программ формата 5.1 для каждого языка. Один из методов снижения требуемого цифрового потока состоит в сокращении числа звуковых каналов для языков с ограниченной аудиторией. Например, альтернативные языковые версии могут передаваться в двухканальном стереофоническом или монофоническом режиме – с соответствующим снижением цифрового потока.

Другой метод, обеспечивающий программы на нескольких языках, основан на том, что предусматривается основная многоканальная звуковая программа (ME), в которой не содержатся

диалоги. При этом может создаваться несколько одноканальных дополнительных диалоговых программ (D), каждая из которых будет иметь надлежащий цифровой поток. Для формирования законченной звуковой программы требуется, чтобы программа на соответствующем языке (D) декодировалась одновременно и замешивалась в программу ME. Такой метод обеспечивает эффективную передачу на большом числе языков, но ценой ограничения творческих возможностей. Одноканальный диалог подмешивается в центральный канал воспроизведения, и его нельзя будет панорамировать. К тому же, реверберация ограничивается центральным каналом, что не оптимально. Тем не менее, для некоторых типов программ (спортивных и т. п.) этот метод оказывается весьма привлекательным благодаря обеспечиваемой им экономии цифрового потока.

Стереофоническая (двухканальная) программа без творческих ограничений может быть реализована на нескольких языках с высокой эффективностью путем передачи основной стереопрограммы ME и стереопрограмм D. В приемнике программы ME просто комбинируются с программой D на соответствующем языке для получения законченной стереопрограммы. При этом диалог может панорамироваться, а реверберация может быть устроена с введением в оба канала.

Заметим, что в те моменты, когда диалог отсутствует, программа D немедленно изымается, а требуемая для нее пропускная способность используется для других целей.

### **3.9.5.4 Детальное описание типов программных услуг**

#### **3.9.5.4.1 CM – полная основная звуковая программная услуга**

Основная звуковая программная услуга типа CM является полной основной программой (укомплектованной диалогом, музыкой и эффектами). Обычно предоставляется именно этот тип звуковой программы. Программа CM может содержать от 1 до 5.1 звуковых каналов. Она может быть еще улучшена с помощью описываемых ниже дополнительных программ HI, C, E или VO. Звук на нескольких языках может быть обеспечен путем передачи нескольких программ CM на разных языках.

#### **3.9.5.4.2 ME – основная звуковая программная услуга: музыка и эффекты**

Основная звуковая программная услуга типа ME содержит музыку и эффекты звуковой программы, но в ней не содержится диалог программы. Программа ME может содержать от 1 до 5.1 звуковых каналов. Отсутствующий диалог основной программы (если какой-либо диалог имеется) передается путем введения дополнительной программы D. В дополнение к одной программе ME может быть предусмотрено несколько программ D на различных языках.

#### **3.9.5.4.3 VI – программная услуга для людей с ослабленным зрением**

Дополнительная программная услуга VI обычно содержит словесное описание содержания зрительной программы. В этом случае программа VI реализуется как один звуковой канал. Одновременное воспроизведение программы VI и основной звуковой программы дает пользователю с ослабленным зрением получать удовольствие от основной многоканальной звуковой программы и в то же время следить за происходящим на экране. При этом имеется возможность замешивать программу VI в один из основных каналов воспроизведения (выбор канала может быть оставлен за слушателем), либо предусмотреть для нее отдельный выход (этот сигнал может быть доведен до пользователя VI, например, с помощью радионаушников).

Сигнал управления динамическим диапазоном в программе VI такого типа предназначен для использования в декодере звука для изменения уровня основной звуковой программы. Таким образом, уровнем основной звуковой программы будет управлять поставщик программы VI, который сможет сигнализировать декодеру (путем изменения слов управления динамическим диапазоном, вводимых в элементарный звуковой поток VI) об уменьшении уровня основной звуковой программы вплоть до 24 дБ, чтобы обеспечить разборчивость словесного описания.

Кроме передачи программы VI как отдельного описательного канала, программная услуга VI может также предоставляться в виде законченного программного набора, содержащего музыку, эффекты, диалог и словесное описание. В этом случае программа может кодироваться с использованием любого числа каналов (вплоть до 5.1), и тогда сигнал управления динамическим диапазоном будет относиться только к этой программе. Если программа является таким законченным набором, то это отражается в дескрипторе AC-3.

#### **3.9.5.4.4 HI – программная услуга для людей с ослабленным слухом**

Дополнительная программная услуга HI в типичном случае содержит только одноканальный диалог и предназначена для тех людей, чей ослабленный слух затрудняет понимание диалога в присутствии музыки и звуковых эффектов. Диалог может подвергаться обработке для повышения разборчивости людьми с ослабленным слухом. Слушатель с ослабленным слухом может пожелать прослушивать смесь одноканального диалога HI со звуком основной программы. Одновременное воспроизведение программы HI и программы SM позволяет слушателю произвести настройку матрицирования, чтобы управлять степенью превышения диалога над музыкой и эффектами. В типичном случае сигнал HI замешивается в центральный канал. В другом варианте сигнал HI может выводиться на отдельный выход (который может, например, обеспечивать сигналом радионаушники, используемые только слушателем с ослабленным слухом).

Кроме передачи программы HI как отдельного описательного канала, программная услуга HI может также предоставляться в виде законченного программного набора, содержащего музыку, эффекты и диалог повышенной разборчивости. В этом случае программа может кодироваться с использованием любого числа каналов (вплоть до 5.1). Если программа является таким законченным набором, то это отражается в дескрипторе AC-3.

#### **3.9.5.4.5 D – программная услуга диалога**

Дополнительная программная услуга диалога используется, когда желательно наиболее эффективно передавать многоканальный звук одновременно на нескольких языках, а программный материал таков, что могут быть допущены ограничения, присущие единственному каналу диалога (невозможность панорамирования и многоканальной реверберации). При использовании программы D основная программа должна быть типа ME (музыка и эффекты). В случае, когда программа D содержит единственный канал, одновременное декодирование программы ME и выбранной программы D дает возможность сформировать полную звуковую программу путем замешивания канала D в центральный канал программы ME. В типичном случае, когда в качестве основной используется программа типа ME, возможна передача нескольких программ D на разных языках. Транспортный демультимплексер может быть спроектирован так, чтобы обеспечить выбор подходящей программы D для подачи на декодер звука с учетом языка, предпочитаемого слушателем (сведения о котором обычно хранятся в памяти приемника). У слушателя имеется также возможность непосредственно ввести в приемник инструктивные данные о выборе программы на конкретном языке, пересиливая выбор языка по умолчанию.

Если в основной звуковой программе ME имеется более двух звуковых каналов, программа D будет монофонической (режим 1/0). Если в основной звуковой программе имеется два звуковых канала, программа D может содержать два канала (режим 2/0). В этом случае полная звуковая программа формируется путем одновременного декодирования программ D и ME с последующим матрицированием левого канала программы ME с левым каналом программы D, а правого канала программы ME с правым каналом программы D. В результате получается двухканальный стереосигнал, содержащий музыку, эффекты и диалог.

#### **3.9.5.4.6 C – услуга комментаторской программы**

Дополнительная услуга комментаторской программы аналогична программной услуге D, за исключением того, что вместо передачи диалога основной программы в программе C передается дополнительная программа комментариев. Если предусмотрена программа (или программы) C, приемник может сообщить слушателю об их наличии. Слушатель имеет возможность вызвать (скорее всего, на дисплей) информацию о различных доступных программах C и при необходимости запросить одну из них для декодирования вместе с основной программой. Программа C может быть добавлена в любой канал воспроизведения (управление этим процессом может быть предоставлено слушателю). Типичным применением программы C может быть дополнительный возможный комментаторский канал во время спортивных событий, либо комментарии различного уровня (для новичков, слушателей промежуточного уровня, продвинутых слушателей), доступные в качестве сопровождения документальных и образовательных программ.

Программа C может представлять собой одиночный звуковой канал, содержащий только комментарии. В этом случае одновременное воспроизведение программ C и SM позволит слушателю прослушивать

дополнительную программу комментариев. Сигнал управления динамическим диапазоном, вводимый в одноканальную программу С, предназначен для использования в звуковом декодере, чтобы модифицировать уровень основной звуковой программы. Таким образом, уровнем основной звуковой программы будет управлять поставщик программы С, который сможет сигнализировать декодеру (путем изменения слов управления динамическим диапазоном, вводимых в элементарный звуковой поток С) об уменьшении уровня основной звуковой программы вплоть до 24 дБ, чтобы обеспечить разборчивость комментария.

Кроме передачи программы С как отдельного комментаторского канала, программа С может также передаваться в виде законченного программного набора, содержащего музыку, эффекты и комментарий. В этом случае программная услуга может предоставляться с использованием любого числа каналов (вплоть до 5.1). Если программа является таким законченным набором, то это отражается в дескрипторе АС-3 (см. ATSC Doc. A/52, Приложение А).

#### **3.9.5.4.7 Е – программная услуга при чрезвычайных ситуациях**

Дополнительная программная услуга Е должна обеспечивать возможность ввода сообщений о чрезвычайных ситуациях. Обычные звуковые программы не обязательно должны заменяться передачей сообщений о чрезвычайных ситуациях. Звуковым программам такого типа транспортный демультиплексер предоставляет первый приоритет. Если программа Е присутствует, то транспортная подсистема доставляет ее на звуковой декодер. При приеме дополнительной программы типа Е декодер прекращает воспроизведение любой основной звуковой программы и переходит к воспроизведению программы Е. Программа Е может также использоваться не в чрезвычайных обстоятельствах. Она может использоваться в тех случаях, когда вещатель хочет вынудить все декодеры прекратить воспроизведение основной звуковой программы и заменить ее одиночным каналом более высокого приоритета.

#### **3.9.5.4.8 VO – программная услуга "голос за кадром"**

Имеется возможность использовать программную услугу Е для передачи объявлений, однако ее применение приводит к полному замещению основной звуковой программы голосом за кадром. Дополнительная программа "голос за кадром" подобна программе Е, за исключением того, что она предназначена для воспроизведения наряду с основной программой. Системный демультиплексер придает дополнительным программам этого типа второй приоритет (второй только по отношению к программам типа Е). Программа VO предназначена для декодирования одновременно с основной звуковой программой и последующим замешиванием в центральный канал основной декодируемой звуковой программы. Сигнал управления динамическим диапазоном в программе VO предназначен для использования в звуковом декодере для изменения уровня основной звуковой программы. Таким образом, уровнем основной звуковой программы будет управлять вещатель, который сможет сигнализировать декодеру (путем изменения слов управления динамическим диапазоном, вводимых в элементарный звуковой поток VO) об уменьшении уровня основной звуковой программы во время передачи голоса за кадром вплоть до 24 дБ. Программная услуга VO позволяет вводить типовой голос за кадром в уже закодированный цифровой поток без необходимости декодирования звука до низких частот и последующего повторного кодирования. Однако в мультиплексированном транспортном потоке должно быть отведено место для введения программы VO.

### **3.9.6 Заключение**

Система кодирования АС-3 обеспечивает основное кодирование звука и обладает рядом характеристик, полезных для системы ЦНТВ. Дополнительные программы, передаваемые благодаря гибкости системы мультиплексирования MPEG-2, обеспечивают почти неограниченные возможности предоставления большого количества связанных звуковых программ.

### **3.10 Дополнительные данные**

ЦНТВ предоставляет возможность наращивания основных услуг видео- и звуковых программ услугами передачи дополнительных цифровых данных. Гибкость системы MPEG-2 позволяет в любое время без трудностей вводить новые услуги, сохраняя полную обратную совместимость. Эти услуги предусматривают передачу таких программ, как субтитры, сообщения о чрезвычайных ситуациях, путеводители по программам и телетекст.



### 3.10.1 Телетекст

Один из источников сигнала, который может быть отнесен к данным, является датчик сигналов телетекста, который соответствует одной из существующих систем, описанных в Рекомендации МСЭ-R BT.653. Специфицированные в ней системы А, В, С и D должны работать в условиях среды 50 Гц и 60 Гц. Поскольку сигнал телетекста уже является цифровым, для его передачи требуется только укладка в пакеты, снабженные заголовком и дополнительными данными. Пример организации системы телетекста для ЦНТВ приведен на рис. 3.19.

### 3.10.2 Субтитры программ

Субтитры играют важную роль в любой телевизионной программе. Для передачи скрытых надписей имеется ряд возможностей, в числе которых:

- передача в виде пользовательских данных в составе видеосигнала MPEG-2 (это аналог существующей системы передачи скрытых титров в строке 21);
- передача в виде частных потоков в системах MPEG так, как это используется в существующих системах телетекста;
- передача в виде зарегистрированного потока в системах MPEG с использованием дескриптора регистрации.

### 3.10.3 Вещательные мультимедийные услуги

В системе ЦНТВ имеется возможность предоставлять мультимедийные услуги – такие как услуги дополнительной информации, связанной с текущими ТВ программами, услуги навигации, обеспечивающие легкий выбор программ, и службы последних новостей с презентацией в стиле мультимедиа и гипермедиа. Мультимедийные услуги успешно развивались в области компьютерной техники и электросвязи. Системы кодирования для мультимедийных услуг стандартизируются, как, например, MHEG (Multimedia/Hypermedia Expert's Group – группа экспертов по мультимедиа и гипермедиа) и Open ODA (Open Document Architecture – открытая архитектура обработки документов). Для реализации единых приемников или БИС необходимо обеспечивать интероперабельность мультимедийных систем кодирования и соответствующих стандартов. Пользователи смогут просматривать видеоматериалы от мультимедийных услуг в интерактивном режиме на экранах телевизоров или домашних компьютеров.

## 3.11 Структура мультиплексирования MPEG-2

Сжатые и кодированные видео- и звуковые сигналы, а также дополнительные данные образуют сжатые элементарные потоки. Затем эти потоки организуются в последовательности пакетов для дальнейшего запоминания и передачи.

В MPEG-2 определяется три типа потоков:

### Пакетированный элементарный поток (PES)

Это основной пакетированный поток для видеоматериалов, звука, данных и любых других видов потоков. Пакетированный PES содержит кодированные байты от одного и только от одного элементарного потока. Поток PES представляет собой логическую конструкцию, которая может оказаться полезной при реализации программного потока, либо транспортного потока, однако PES не определяется как поток для обмена и интероперабельности.

### Программный поток (PS)

Это комбинация нескольких программных элементарных потоков, которые имеют общую временную базу; программный поток используется в условиях отсутствия ошибок. Пакеты программного потока могут быть различной и относительно большой длины. Программный поток пригоден для приложений, в которые может входить программная обработка.

### Транспортный поток (TS)

В нем комбинируются один или более пакетированных элементарных потоков с одной или большим числом независимых временных баз; он используется, когда среда передачи вносит ошибки. Элементарные потоки, имеющие общую временную базу, образуют программу. Пакеты транспортного потока имеют длину 188 байтов. Транспортный поток сконструирован так, что обеспечивает запоминание или передачу в средах, вносящих потери или ошибки.

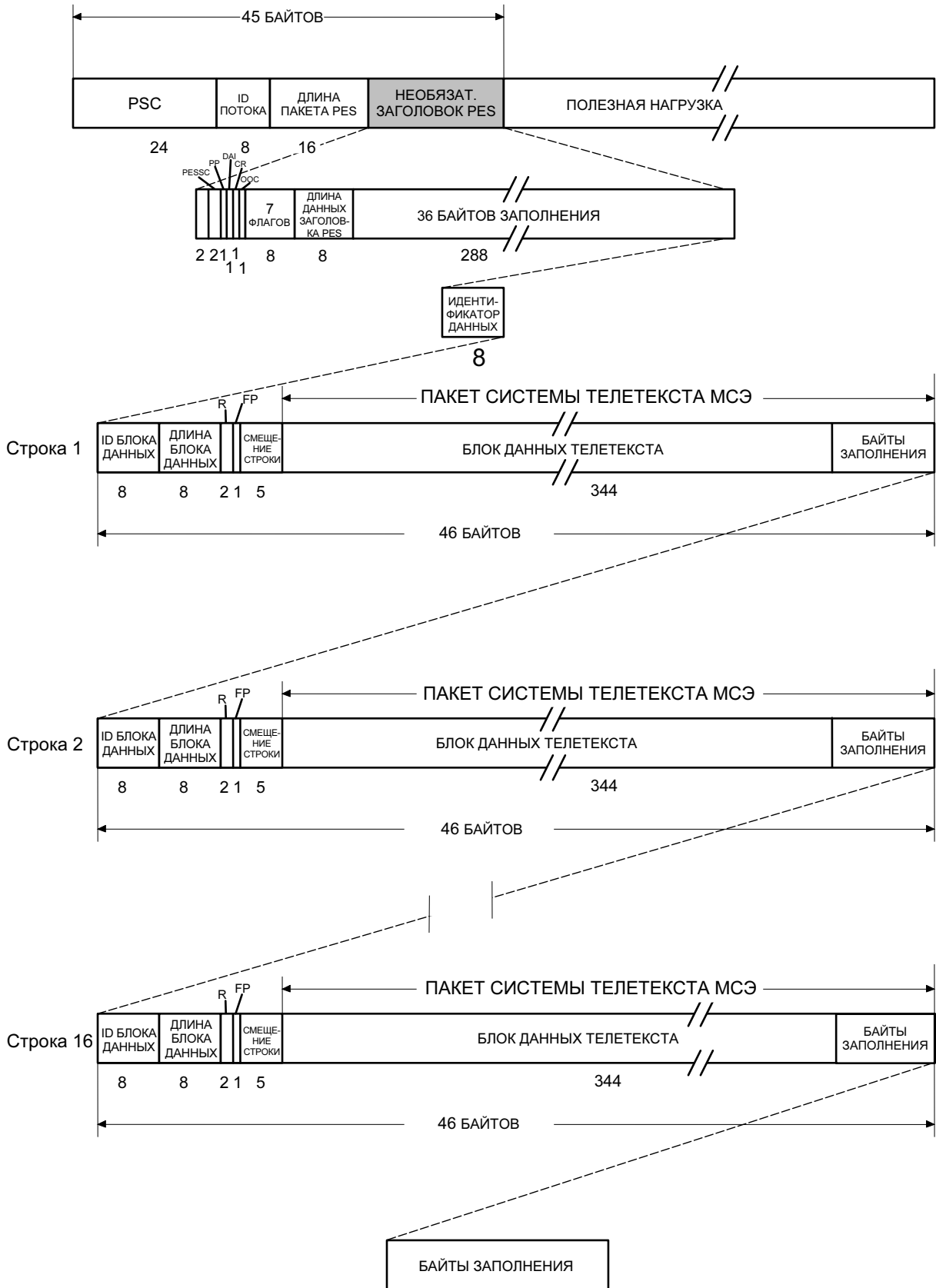


РИСУНОК 3.19

**Пакетированный элементарный поток телетекста**

### 3.11.1 Пакетированный элементарный поток (PES)

На рис. 3.20 показана структура пакета элементарного потока.

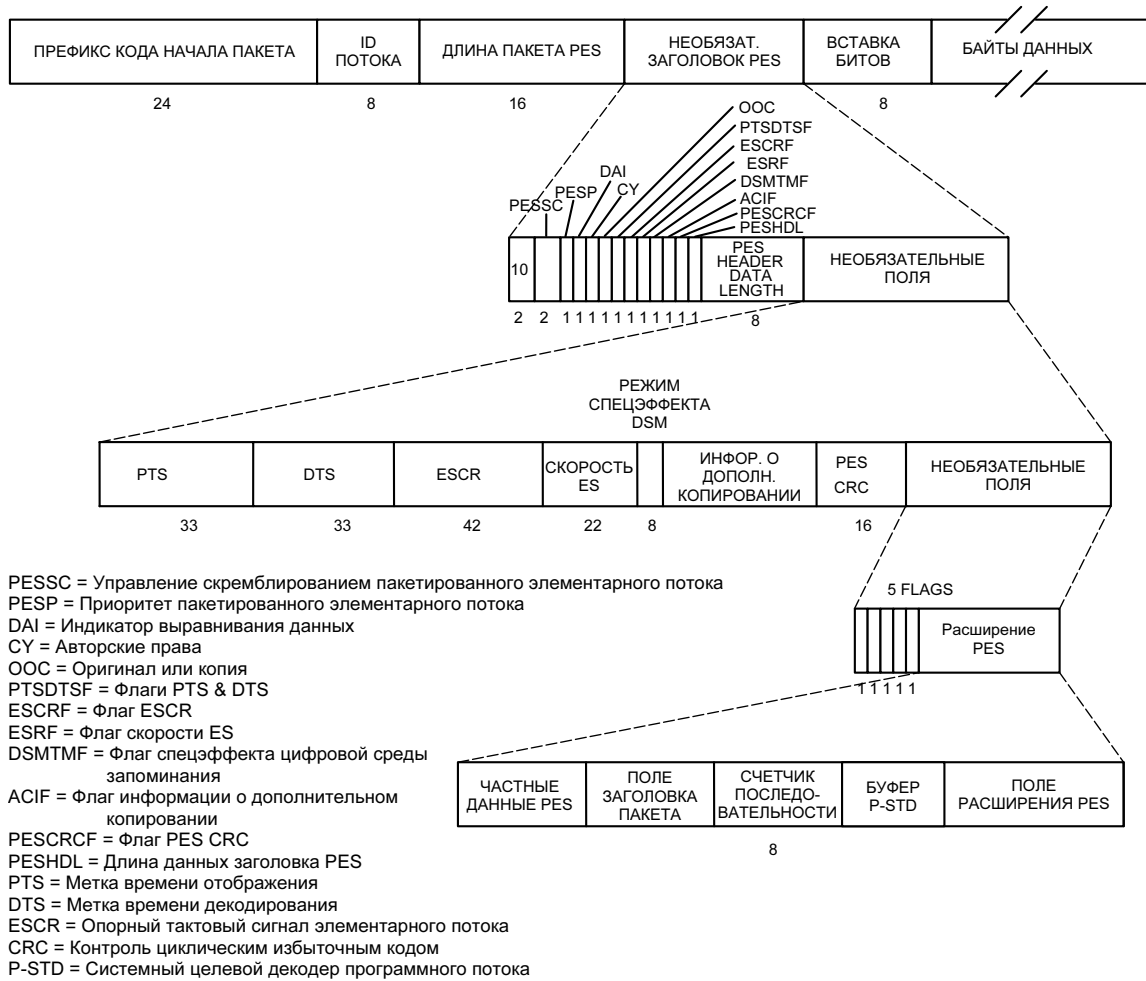


РИСУНОК 3.20

Структура пакета

### **Префикс стартового кода**

Префикс имеет фиксированное значение \$00 \$00 \$01, как указано выше.

### **ID (идентификация) потока**

Каждый тип потока имеет конкретное значение идентификатора:

\$BF	Частный поток 2
\$C0 – \$DF	Номер звукового потока.
\$E0 – \$EF	Номер видеопотока.
\$F0 – \$FF	Номер потока данных.

### **Длина пакета**

Здесь приводится длина пакета – максимальный размер до 65 536 битов.

### **Размер буфера**

Это поле может содержать размер буфера, требуемого для декодера.

## **Ссылки**

- [1] ISO/IEC 13818-2 [1995] Recommendation ITU-T H.262. Information Technology Coding of Moving Pictures and Associated Audio, Video.
- [2] ATSC [1994] Terrestrial HDTV Standard, Appendix I, Video System Characteristics.
- [3] BARON, S. and WILSON, W. R. [1994] MPEG Overview. ITU/SMPTE Tutorial on Digital Terrestrial Television Broadcasting, ISBN 0-940690-24-1, p. 28-36.
- [4] FLETCHER, J. A. [1994] Multi-channel sound for HDTV: Subjective tests on sound channel configuration. BBC Research and Development Report No. BBC RD 1994/4.

## **Литература**

ATSC [February 1992] Doc. T3/186. Advanced Television Systems Committee.

ATSC [16 September 1995] ATSC Digital Television Standard, Doc. A/53. Advanced Television Systems Committee.

ATSC [4 October 1995] Guide to the use of the ATSC Digital Television Standard, Doc. A/54. Advanced Television Systems Committee.

ATSC [December 1995] Digital Audio Compression (AC-3) Standard, Doc. A/52. Advanced Television Systems Committee.

- ETSI [January 1995] European Telecommunication Standard pr ETS 300 401, Radio Broadcasting System; Digital Audio Broadcasting (DAB) to Mobile, Portable and Fixed Receivers.
- HOEG, W., GILCHRIST, N., TWIETMEYER, H. and JUENGER, H. [1995] Dynamic Range Control (DRC) and Music/Speech Control (MSC): Programme-Associated Data Services for DAB. *EBU Techn. Rev.*, **261**, p. 56-70.
- v.d. KERKHOF, L. [5-9 September 1993] Compatible 5.1 Channel Extension to the MPEG Layer II Audio Coding Standard in Audio and Video Digital Radio Broadcasting Systems and Techniques, Proceedings of the 1993 Tirrenia Intern. Workshop on Digital Communications, Tirrenia (Pisa), Italy, p. 89-95.
- KONSTANTINIDES, K. [February 1994] Fast Sub-band Filtering in MPEG Audio Coding. *IEEE Signal Proc. Lett.*, Vol. 1, **2**, p. 26-28.
- ISO/IEC 11172-3 [1992] Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to 1.5 Mbit/s – Audio Part. International Standard.
- ISO/IEC 13818-3 [November 1994] Information Technology: Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio – Audio Part. International Standard.
- NIELSEN, S., STOLL, G. and v.d. KERKHOF, L. [February 1994] Perceptual Coding of Matrixed Audio Signals. 96th AES Convention, Amsterdam, Preprint 3867 (P1.9).
- PRINCEN and BRADLEY [1986] *IEEE Trans. ASSP*, Vol. 34, **5**, p. 1153-1161.
- RAULT, J. B., DEHERY, Y. F. and LEVER, M. [January 1995] The ISO/MPEG Audio MUSICAM Family, Institution of Electrical Engineers Colloquium on 'MPEG-2 – What It Is and What It Isn't', Digest 1995/012, London.
- Рекомендация МСЭ-R BS.1196 – Кодирование звука в цифровом наземном телевизионном вещании.
- STOLL, G. [September 1995] MPEG Audio Layer II: A Generic Standard for Coding of Two and Multichannel Sound for DVB, DAB and Computer Multimedia. Conference Papers IBC95, Amsterdam.
- STOLL, G., THEILE, G., NIELSEN, S., SILZLE, A., LINK, M., SEDLMEYER, R. and BREFORT, A. [1993] Extension of ISO/MPEG – Audio Layer II to Multi-Channel Coding: The Future Standard for Broadcasting, Telecommunication, and Multimedia Applications. 94th AES Convention, Preprint 3550 (W4-3).
- THEILE, G. and LINK, M. [1993] Low-Complexity Dynamic Range Control System Based on Scale-Factor Weighting. 94th AES Convention, Preprint 3563 (D4-2).
- TODD, *et. al.* [1994] AC-3: Flexible perceptual coding for audio transmission and storage. 96th AES Convention preprint 3796, Amsterdam.
- TODD, C. [14 September 1995] Loudness Uniformity and Dynamic Range Control for Digital Multichannel Audio Broadcasting. IBC '95 Conference Papers.



## ГЛАВА 4

### МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ УСЛУГ И ТРАНСПОРТИРОВКА

#### 4.1 Возможные структуры

##### 4.1.1 ATM

Технология ATM была специально разработана для того, что разрешить проблемы мультимплексирования и транспортировки, которые встретились в области связи применительно к телефонии. Как указано в Рекомендации МСЭ-Т I.361, ATM представляет собой структуру, в которой любой вид информации капсулируется в ячейки размером 53 байта. Первые 5 байтов (заголовок) содержат общую информацию о мультимплексировании, а остальные 48 байтов (полезная нагрузка) – информацию пользователя. Для того чтобы обеспечить передачу информации из точки в точку и прозрачность во времени, на верхнем уровне ATM был специально определен адаптационный уровень ATM (AAL). Для обеспечения всего спектра поддерживаемых служб могут быть определены различные виды AAL.

Такой подход может быть приспособлен и для цифрового наземного телевизионного вещания (ЦНТВ). Здесь может быть принята аналогичная пакетная структура с оптимизацией функциональных характеристик и структуры заголовка ячейки применительно к условиям ЦНТВ. Однако для улучшения характеристик мультимплексирования при передаче в тяжелых условиях может потребоваться введение какой-то формы рекуррентной цикловой структуры.

##### 4.1.2 MPEG-2

Группа экспертов по подвижному изображению (MPEG), созданная под эгидой ИСО/МЭК, разработала структуру мультимплексирования, которая может быть также использована в ЦНТВ. Используемый в Северной Америке механизм транспортировки, предусмотренный стандартом ATSC (Advanced Television System Committee), является подмножеством синтаксиса транспортного потока системы MPEG-2.

В Европе цифровые системы многопрограммного телевидения были разработаны в рамках проекта DVB для применения в спутниковом и кабельном (CATV) телевидении, а также в спутниковом телевидении с коллективным приемом (SMATV). В этих системах для кодирования видео и звука используются методы MPEG-2, а также схема мультимплексирования транспортного потока, принятая в стандарте MPEG-2. Для достижения максимальной общности способов передачи телевидения в различных средах, методы кодирования источника и транспортного мультимплексирования MPEG будут одобряться проектом DVB для использования и в разрабатываемой системе ЦНТВ.

Структуры пакетного мультимплексирования системы MPEG-2 были специально подогнаны под требования вещания видео-, звуковых и информационных сигналов; при этом также учитывалась необходимость обеспечения совместимости со структурами ATM. Принятая в системе MPEG-2 структура пакета состоит из 188 байтов, включающих в себя 4 байта заголовка и 184 байта полезной информационной нагрузки. Такой размер пакета был определен, чтобы обеспечить капсуляцию одного пакета в 4 ячейки ATM в виде четырех полезных нагрузок по 47 байтов ( $4 \times 47 = 188$ ) с сохранением места для размещения одного AAL-байта системы ATM в каждой ячейке ATM. Система MPEG-2 позволяет передавать полезную цифровую информацию с меньшим объемом служебной информации, чем система ATM. Величина дополнительной служебной информации является важным фактором для ЦНТВ, где на передачу накладываются весьма жесткие условия.

### 4.1.3 ISDB

Администрация Японии предложила для цифрового вещания использовать систему ISDB с учетом следующих присущих ей свойств:

- гибкость,
- возможность расширения,
- возможность взаимодействия,
- хорошие характеристики передачи,
- простой прием программ,
- возможность условного доступа,
- другие свойства, такие, как низкие эксплуатационные затраты для вещателей и простота и низкая стоимость приемников.

В настоящее время разрабатываются спутниковые, наземные и кабельные вещательные системы, ориентированные на максимальную приемственность в части спецификаций, основанных на концепции ISDB.

## 4.2 Мультиплексирование видео, звука и данных

### 4.2.1 Введение

Для образования единого комплексного ансамбля сигналов для системы ЦНТВ необходимо мультиплексировать различные элементарные цифровые потоки, включая видео, звук и данные. На этой стадии обработки могут быть также использованы различные стратегии защиты от ошибок, позволяющие повысить устойчивость мультиплексированных цифровых данных. Могут применяться такие методы, как рандомизация и перемежение цифровых данных, которые позволят кодекам с предкоррекцией ошибок обрабатывать пакеты канальных цифровых ошибок как некоррелированные ошибки. Кроме того, через определенные интервалы могут замешиваться синхронизирующие цифровые последовательности, которые будут обозначать их границы и обеспечат упорядоченный ввод в процессор цифровых потоков, относящихся к видеосигналам, сигналам звука, данных/текста и управления.

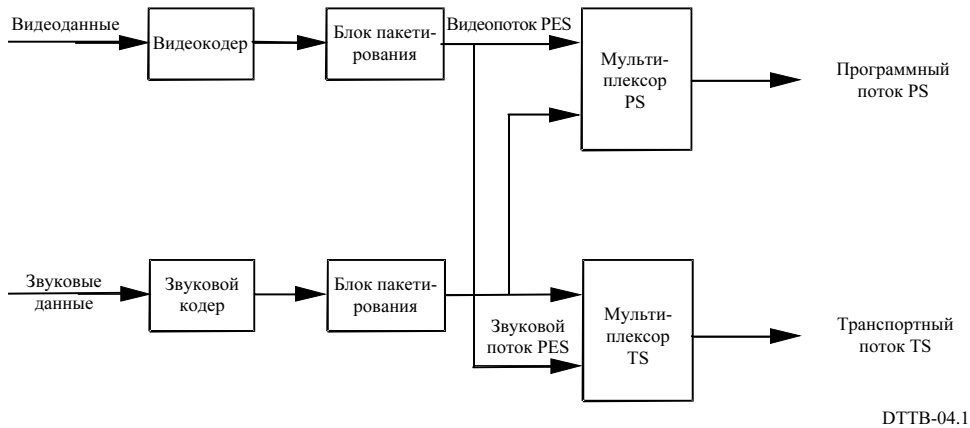
Один из подходов к транспортному мультиплексированию состоит в том, чтобы организовать передачу байтов в виде упорядоченной структуры, аналогичной структуре строк и кадров существующих аналоговых телевизионных сигналов. Это может привести к созданию структуры сигнала, содержащей периодические последовательности, которые могут использоваться для синхронизации, а также в качестве обучающих сигналов для систем подавления повторов или коррекции характеристик канала.

Другой подход к транспортному мультиплексированию состоит в том, чтобы использовать цифровой транспортный уровень с передачей информации с помощью "ячеек", который поддерживает приоритетную доставку видеоданных и при этом обеспечивает плавное ухудшение предоставляемых услуг при появлении искажений в канале связи. Передача с помощью ячеек позволяет также обеспечивать логическую синхронизацию, которая имеет важное значение для надежной доставки сжатой видеoinформации, закодированной кодами переменной длины, в присутствии ошибок передачи. Такой транспортный протокол данных обеспечивает также гибкость предоставляемой услуги для всевозможных комбинаций видео, звука и вспомогательных данных. Транспортный процессор производит асинхронное мультиплексирование полезной нагрузки с различными приоритетами в базовые транспортные элементы, называемые ячейками. Ячейка имеет сходство с цифровыми пакетами в обычных пакетных сетях современных систем связи. Ячейка имеет заголовок и продолжение, включающее в себя зону для размещения полезной нагрузки. Каждая ячейка имеет фиксированный размер и содержит свои собственные биты контроля ошибок. Следует заметить, что формат ячейки обеспечивает транскодирование в формат Ш-ЦСИС (широкополосная цифровая сеть с интеграцией служб) и таким образом подготавливает путь к созданию будущих информационных систем.

Использование в цифровом потоке "заголовков дескрипторов" считается полезным принципом, облегчающим обработку цифровой информации.



#### 4.2.2 Мультиплексирование программных или транспортных потоков



DTTB-04.1

РИСУНОК 4.1

#### Методы мультиплексирования на системном уровне

В общем, существуют два подхода к мультиплексированию элементарных цифровых потоков от разных источников в единый канал. Первый подход основан на использовании пакетов фиксированной длины, а второй – на использовании пакетов переменной длины. Как показано на рис. 1, в обоих случаях элементарные цифровые потоки видео и звука формируются в элементарные потоки пакетов переменной длины **PES (packet elementary stream)**. Но следует отметить, что некоторые источники вырабатывают PES-пакеты фиксированной длины. Отличия между подходами к формированию мультиплексированных цифровых потоков возникают только на конечной стадии мультиплексирования.

На рис. 4.2 представлены примеры цифровых потоков, которые иллюстрируют отличия между принципами формирования программного и транспортного потоков. Как видно из рис. 4.2, при формировании **программного потока** PES-пакеты от различных элементарных цифровых потоков мультиплексируются посредством последовательной передачи всех битов каждого из PES-пакетов, что приводит к образованию в канале последовательности пакетов **переменной длины**.

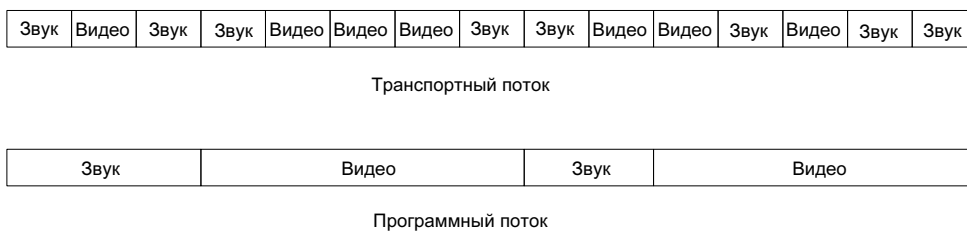


РИСУНОК 4.2

#### Принципы пакетизации

В отличие от первого подхода, при формировании **транспортного потока**, как показано на рис 4.2, PES-пакеты (включая заголовки PES-пакетов) передаются в виде полезной нагрузки транспортных пакетов **фиксированной длины**. Каждый такой транспортный пакет снабжен транспортным заголовком, который содержит информацию для идентификации цифрового потока. Каждый PES-пакет для конкретного элементарного цифрового потока занимает в транспортном потоке переменное число транспортных пакетов, при этом данные от разных элементарных цифровых потоков на уровне транспортного потока обычно перемежаются друг с другом. Идентификация каждого элементарного цифрового потока упрощается с помощью данных, содержащихся в транспортных заголовках. Каждый новый PES-пакет всегда начинается с нового транспортного пакета, при этом для загрузки транспортных пакетов с недостающими PES-данными используются байты заполнения.

Появление двух схем мультиплексирования обусловлено различными прикладными требованиями. Транспортные потоки подходят для условий, где вероятны ошибки и потери данных; такие условия возникают в некоторых средствах накопления и при передаче по зашумленным каналам. Программные потоки хорошо подходят для таких средств, как CD-ROM, которые относительно свободны от ошибок. Ошибки или потери данных в PES-пакетах потенциально могут приводить к полной потере синхронизации процесса декодирования. Подход, основанный на программном потоке, используется в тех случаях, когда предъявляется требование совместимости с MPEG-1.

Тем не менее, следует заметить, что и программный и транспортный цифровые потоки, в общем, используют функциональные возможности одних и тех же уровней протокола, и, таким образом, не имеет особого значения, передавать ли программный цифровой поток с помощью транспортного или наоборот. В любом случае возможно взаимное транскодирования обоих форматов и создание между ними необходимых интерфейсов.

#### 4.2.3 Преимущества метода пакетизации с фиксированной длиной

Метод пакетизации с фиксированной длиной обеспечивает гибкость и ряд дополнительных преимуществ в тех случаях, когда необходимо в единый цифровой поток мультиплексировать данные от различных источников.

Хотя цифровые системы, в общем, считаются гибкими, использование пакетов с фиксированной длиной обеспечивает более высокую степень гибкости для распределения канальной емкости между службами видео, звука и дополнительных данных. Использование поля идентификации пакета **PID** в заголовке пакета в качестве средства идентификации цифрового пакета позволяет формировать комбинации видео, звуковых и вспомогательных данных, которые являются достаточно гибкими и не требуют предварительной спецификации. Полная пропускная способность канала может перераспределяться с целью удовлетворения текущих потребностей услуг, включая выделение части цифрового потока для услуг передачи данных. Соответствующий принцип носит название **динамического распределения пропускной способности**.

Способность динамически распределять системную пропускную способность может быть использована для введения на вход мультиплексора дополнительных элементарных цифровых потоков или для вторичного мультиплексирования этих элементарных цифровых потоков с исходным цифровым потоком. Наличие в канале передачи данных множества элементарных цифровых потоков позволяет создавать **масштабируемые системы**.

Система ЦНТВ была разработана с учетом понимания того, что в будущем возможно появление новых услуг, которые нельзя было предвидеть на этапе внедрения системы. Поэтому весьма важно, чтобы транспортная архитектура была открытой и допускала изменения по времени. Новые элементарные цифровые потоки могут вводиться на транспортном уровне без каких-либо изменений в аппаратной части просто путем присвоения им новых пакетных идентификаторов **PID** на передающей стороне и выделения составляющих с новыми **PID** из цифрового потока на приемной стороне с помощью фильтров. При введении в транспортную систему новых элементарных цифровых потоков гарантируется обратная совместимость, поскольку существующие декодеры будут автоматически игнорировать вновь введенные **PID**. Возможно, что это качество найдет применение для сохранения совместимости при введении новых программных услуг с более высоким временным или пространственным разрешением или же стереоскопических программных услуг путем передачи специальных дополнительных данных наряду с данными для нормальных телевизионных программ. Присутствие в канале данных множества элементарных цифровых потоков и предусмотренная возможность идентификации (еще не описанная) будущих служб делает систему **расширяемой**.

Другое фундаментальное преимущество метода пакетирования с фиксированной длиной состоит в том, что пакет фиксированной длины может служить основой для обработки ошибок, которые могут возникать во время передачи. Процесс обнаружения и коррекции ошибок (который предшествует

демультиплексированию пакетов соответствующей подсистемой приемника) может быть синхронизирован со структурой пакетов таким образом, чтобы в случае потери данных из-за искажений передачи декодер продолжал работу на пакетном уровне. По существу, восстановление данных цифрового потока передачи после обнаружения ошибок здесь происходит с помощью первого неискаженного пакета. Восстановление синхронизации по каждому приложению осуществляется также с помощью информации, содержащейся в заголовке пакета. Без этого восстановление синхронизации цифровых потоков полностью было бы в полной зависимости от конкретных свойств каждого элементарного цифрового потока. Применение пакетов с фиксированной длиной улучшает **устойчивость** системы.

Транспортная система, основанная на пакетах фиксированной длины, позволяет реализовывать в декодере простые архитектуры демультиплексирования цифрового потока, удобные для высокоскоростных реализаций. Декодер не требует детального знания стратегии мультиплексирования или информационно-скоростных характеристик источника программы для того, чтобы выделять индивидуальные элементарные цифровые потоки с использованием демультиплексора. Для приемников требуется только идентификация пакетов. Необходимая информация передается в заголовке каждого пакета в фиксированных и заранее известных местах цифрового потока. Единственно важная временная информация связана с синхронизацией на битовом и пакетном уровне.

#### 4.2.4 Общий обзор транспортной подсистемы

Транспортная подсистема находится между подсистемой кодирования/декодирования источника (например, звука, видео или данных) и подсистемой передачи. На своем низшем уровне транспортная подсистема кодера отвечает за форматирование кодированных данных и мультиплексирование различных компонентов программы для передачи. На приемной стороне транспортная подсистема декодера отвечает за восстановление цифровых потоков для декодеров отдельных приложений и за соответствующую сигнализацию об ошибках. (На более высоком уровне, мультиплексирование и демультиплексирование нескольких программ в пределах одного цифрового потока может обеспечиваться посредством дополнительной стадии мультиплексирования и демультиплексирования на системном уровне, соответственно до или после модема в передатчике или в приемнике.) Транспортная подсистема выполняет и другие функции высокого уровня, имеющие отношение к идентификации приложений и синхронизации приемника.

Механизм транспортировки данных, основанный на использовании пакетов фиксированной длины, которые идентифицируются заголовками, позволяет осуществлять идентификацию программных потоков конкретных приложений (называемых также **элементарными цифровыми потоками**), образующих полезную нагрузку пакетов. К поддерживаемым приложениям относятся видео, звук, данные, программы передач, а также информация, касающаяся управления системой. Перед обработкой на транспортном уровне элементарные цифровые потоки видео и звука могут сами по себе быть уложены в пакетную структуру PES с переменной длиной пакетов. PES-уровень обеспечивает выполнение функций по идентификации, синхронизации декодирования и воспроизведению отдельных приложений.

Элементарные цифровые потоки, имеющие общую временную базу, могут затем мультиплексироваться совместно с потоком управляющих данных, образуя **программы**. Затем эти программы и поток данных управления всей системой асинхронно мультиплексированы, образуя системный цифровой поток. Программы в данной системе аналогичны современным обычным каналам вещательного телевидения. При таком подходе транспортная среда становится гибкой в двух отношениях:

1. Она позволяет определять программы в виде любой комбинации элементарных цифровых потоков. Например, один и тот же элементарный цифровой поток может присутствовать в более чем одной программе (в частности, два цифровых потока с одним и тем же звуком); программа может быть образована путем комбинирования основного элементарного цифрового потока и дополнительного цифрового потока (например, цифровые потоки для декодеров масштабируемого уровня); наконец, программы могут быть составлены с учетом специфических потребностей (например, выбор языка для региона), и т. д.
2. Гибкость на системном уровне позволяет мультиплексировать различные программы в систему по потребности и при необходимости легко реконфигурировать систему. Процедура извлечения программ в системе также очень проста и хорошо определена.

Такой подход обеспечивает реализацию и других функций, используемых как при нормальной работе декодера, так и при решении специальных задач, возникающих в области вещания и кабельного телевидения. К этим функциям, в частности, относятся:

- синхронизация декодера,
- условный доступ,
- врезка местных программ.

Рассмотренный подход к конфигурированию цифрового потока непосредственно затрагивает вопросы, относящиеся к записи и воспроизведению программ. Хотя это напрямую не связано с проблемой передачи ЦНТВ, однако желательно иметь возможность создавать программы заранее, записывать их в виде сжатых мультиплексированных цифровых потоков и затем повторно воспроизводить в желаемое время. Наибольшую эффективность обеспечивает запись программ в том же формате, в котором они передаются, т. е. в виде транспортных цифровых потоков. Предпочтение следует отдавать таким способам реализации, которые пригодны для создания бытовых цифровых устройств на основе записи и воспроизведения этих цифровых потоков, причем эти устройства не должны уступать современным аналоговым кассетным видеомагнитофонам в отношении трюковых или спецрежимов. Необходимо отметить, что проблемы, возникающие при записи и воспроизведении сжатых цифровых видеопотоков, весьма далеки от соответствующих проблем в обычных системах аналогового телевидения.

Желательно, чтобы транспортный цифровой поток ЦНТВ без особых трудностей передавался и другими системами электросвязи, и чтобы транспортный цифровой поток ЦНТВ был способен передавать цифровые потоки, генерируемые другими системами электросвязи.

### 4.3 Возможности мультиплексирования более высокого уровня

Мультиплексирование в общем виде можно рассматривать как комбинацию мультиплексирования двух различных уровней. На первом, транспортном уровне формируются программные транспортные потоки путем мультиплексирования одного или нескольких элементарных цифровых потоков, а на втором уровне происходит объединение программных транспортных потоков (посредством асинхронного пакетного мультиплексирования) для формирования полного цифрового потока системы. Функциональный уровень системы, который содержит информацию, относящуюся как к данной программе, так и ко всей системе, носит название **PSI (Program Specific Information)**, или "специфическая информация о программах". Приведенный пример иллюстрирует лишь один из путей создания системы, но он не является единственным, и для некоторых архитектур может оказаться не самым предпочтительным.

#### 4.3.1 Транспортное мультиплексирование для одной программы

Программный транспортный цифровой поток может быть сформирован путем мультиплексирования индивидуальных транспортно пакетированных элементарных цифровых потоков (с использованием PES-пакетирования или без него), имеющих общую временную базу, и управляющего цифрового потока, который описывает данную программу. Каждый элементарный цифровой поток и управляющий цифровой поток (также называемый схемой соответствия или картой элементарных потоков) идентифицируются с помощью уникальных пакетных идентификаторов PID в полях канальных заголовков. Реализация такой функции мультиплексирования иллюстрируется на рис. 4.3. Управляющий цифровой поток содержит таблицу соответствия программ `program_map_table`, которая представляет собой карту элементарного цифрового потока. В таблице соответствия программ `program_map_table` содержится информация о пакетных идентификаторах PID транспортных потоков, образующих программу; информация для идентификации программных компонентов, которые передаются с помощью этих цифровых потоков, информация о связях между этими цифровыми потоками и т. п.

Транспортный синтаксис позволяет составлять программу из большого числа элементарных цифровых потоков, без каких-либо ограничений на типы программных компонентов, требуемых для данной программы. Программный транспортный поток не обязательно должен содержать только сжатые видео- или звуковые цифровые потоки. В нем могут передаваться несколько звуковых цифровых потоков для данного цифрового видеопотока. Предусмотренная передача данных обладает достаточной гибкостью, причем действует единственное ограничение, что потоку должен быть присвоен соответствующий идентификатор `stream_type ID`, обеспечивающий возможность распознавания совместимым декодером этих данных в соответствующем цифровом потоке.

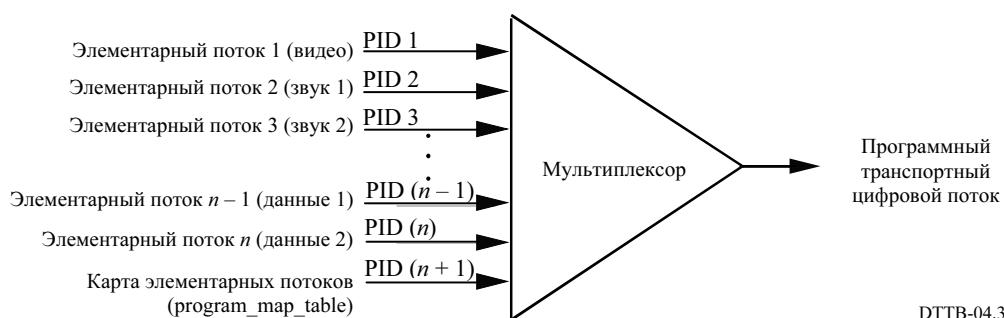


РИСУНОК 4.3

### Формирование мультиплексированного программного транспортного потока

Следует учесть, что многие функции канального уровня выполняются независимым образом, без какой-либо координации различных элементарных цифровых потоков, образующих программу, на программном уровне. К ним относятся такие функции, как операции с пакетными идентификаторами PID, фильтрация цифровых потоков, скремблирование и дескремблирование, определение случайно введенных пакетов и т. п. Координация между компонентами программы, в первую очередь, обеспечивается на стадии представления (отображения), на основе использования общей временной базы. Эта общая временная база обеспечивается благодаря тому, что все присутствующие в программе элементарные цифровые потоки получают синхронизирующую временную информацию от единого тактового сигнала, информация о котором передается с помощью опорного тактового сигнала PCR (Program Clock Reference) в одном из элементарных цифровых потоков, образующих данную программу. Информация о времени представления присутствует в элементарных цифровых потоках индивидуальных программ.

#### 4.3.2 Системное мультиплексирование

Системное мультиплексирование позволяет объединить разные программные транспортные потоки. В дополнение к транспортным цифровым потокам (с соответствующими им пакетными идентификаторами PID), описывающим индивидуальные программы, определен специальный управляющий цифровой поток системного уровня с пакетным идентификатором PID = 0. Этот цифровой поток содержит в себе таблицу объединения программ `program_association_table`, которая соотносит собственно программы с соответствующими им программными цифровыми потоками. Каждая данная программа представлена в таблице `program_association_table` определенным номером. То есть программа соответствует тому, что в традиционных телевизионных системах называется каналом. В таблице содержится PID того цифрового потока, в котором передается таблица соответствия программ `program_map_table` для программы с данным номером. Таким образом, процесс идентификации программы и ее содержимого протекает в два этапа: сначала используется таблица объединения программ `program_association_table` из цифрового потока с PID = 0, в которой содержится таблица соответствия программ `program_map_table` для данной программы, а на следующем этапе из соответствующей таблицы `program_map_table` выделяются пакетные идентификаторы PID всех элементарных цифровых потоков, образующих нужную программу. После выполнения последнего этапа в демultipлексоре может быть произведена настройка соответствующих фильтров на прием транспортных цифровых потоков, которые относятся к интересующей программе.

Системный уровень мультиплексирования показан на рис. 4.4. В процессе мультиплексирования на системном уровне возникает возможность приема одинаковых пакетных идентификаторов PID от различных программных потоков. Это приводит к определенным трудностям, поскольку PID для разных цифровых потоков должны быть уникальными. Одно из возможных решений состоит в изменении пакетных идентификаторов PID непосредственно перед этапом мультиплексирования. Эти изменения необходимо обязательно зафиксировать в таблице объединения программ `program_association_table` и в таблице соответствия программ `program_map_table`. Аппаратная реализация функции переназначения пакетных идентификаторов PID в реальном времени облегчается тем фактом, что этот процесс синхронизируется с тактовой частотой пакетов.

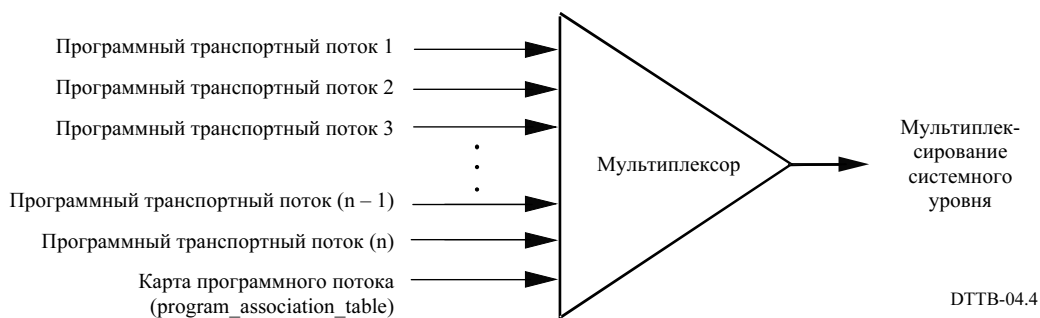


РИСУНОК 4.4

### Мультиплексирование цифрового потока на системном уровне

Можно обеспечить масштабируемость такого процесса посредством мультиплексирования нескольких цифровых потоков системного уровня для передачи по каналу связи с более широкой полосой пропускания, для чего требуется из всех системно мультиплексируемых цифровых потоков извлечь таблицы объединения программ `program_association_tables` и создать новый цифровой поток с идентификатором `PID = 0`.

Рис. 4.5 иллюстрирует один из возможных, хотя это и не обязательно самых эффективных методов извлечения в приемнике элементарных цифровых потоков для конкретной программы. На практике для извлечения управляющих цифровых потоков, содержащих как таблицу `program_association_table`, так и таблицу `program_map_table`, может использоваться один и тот же аппаратный демультимплексор. Эта схема также иллюстрирует минимальный набор функций, которые нужны на транспортном уровне для извлечения цифрового потока любой программы (включая и те, которые могут быть частными). На рис. 4.6 показан пример блок-схемы обработки потока данных в приемнике другим способом.

Важно понимать, что такой уровневый подход к определению функции мультиплексирования не обязательно означает, что программное и системное мультиплексирование должно всегда выполняться в отдельных каскадах. До тех пор пока обеспечивается получение выходного мультиплексированного цифрового потока с требуемыми свойствами, может приниматься во внимание и аппаратная реализация, при которой программный и системный уровни мультиплексирования выполняются одним каскадом мультиплексирования.

## 4.4 Формат PES-пакета

Как уже указывалось ранее, перед попаданием на транспортный уровень некоторые элементарные цифровые потоки проходят уровень пакетирования PES. В PES-заголовке содержится различная скоростная, временная и описательная информация, задаваемая кодером. Длина PES-пакета описывается в предусмотренном для этого поле. Интервал пакетирования PES зависит от источника информации, и это приводит к образованию пакетов переменной длины, причем максимальный определяемый размер составляет  $2^{16}$  байтов. При установке нулевого значения длины PES-пакета он может иметь любую длину. Нулевое значение длины пакета может быть использовано только, когда полезной нагрузкой PES-пакета является элементарный видеопоток.

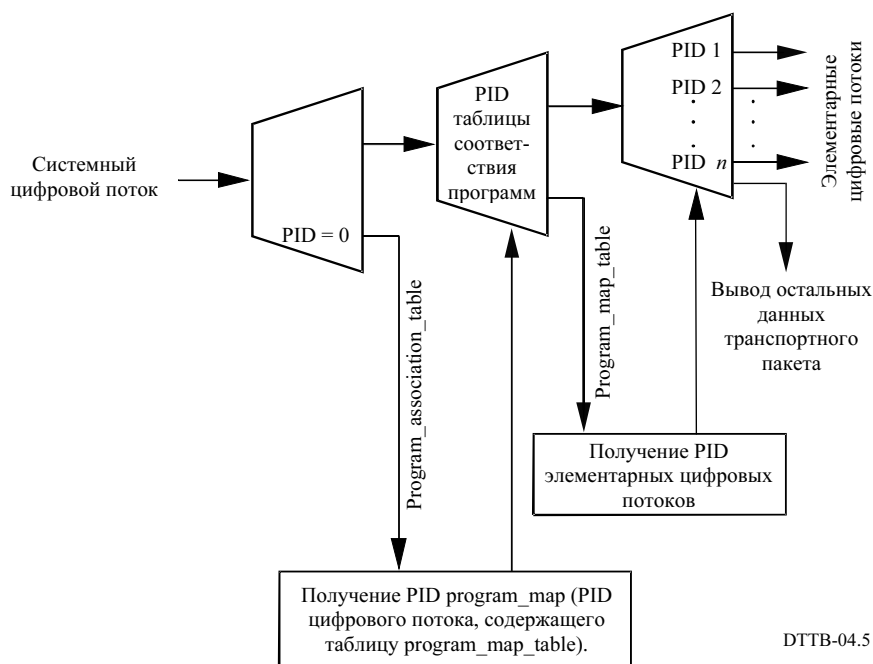


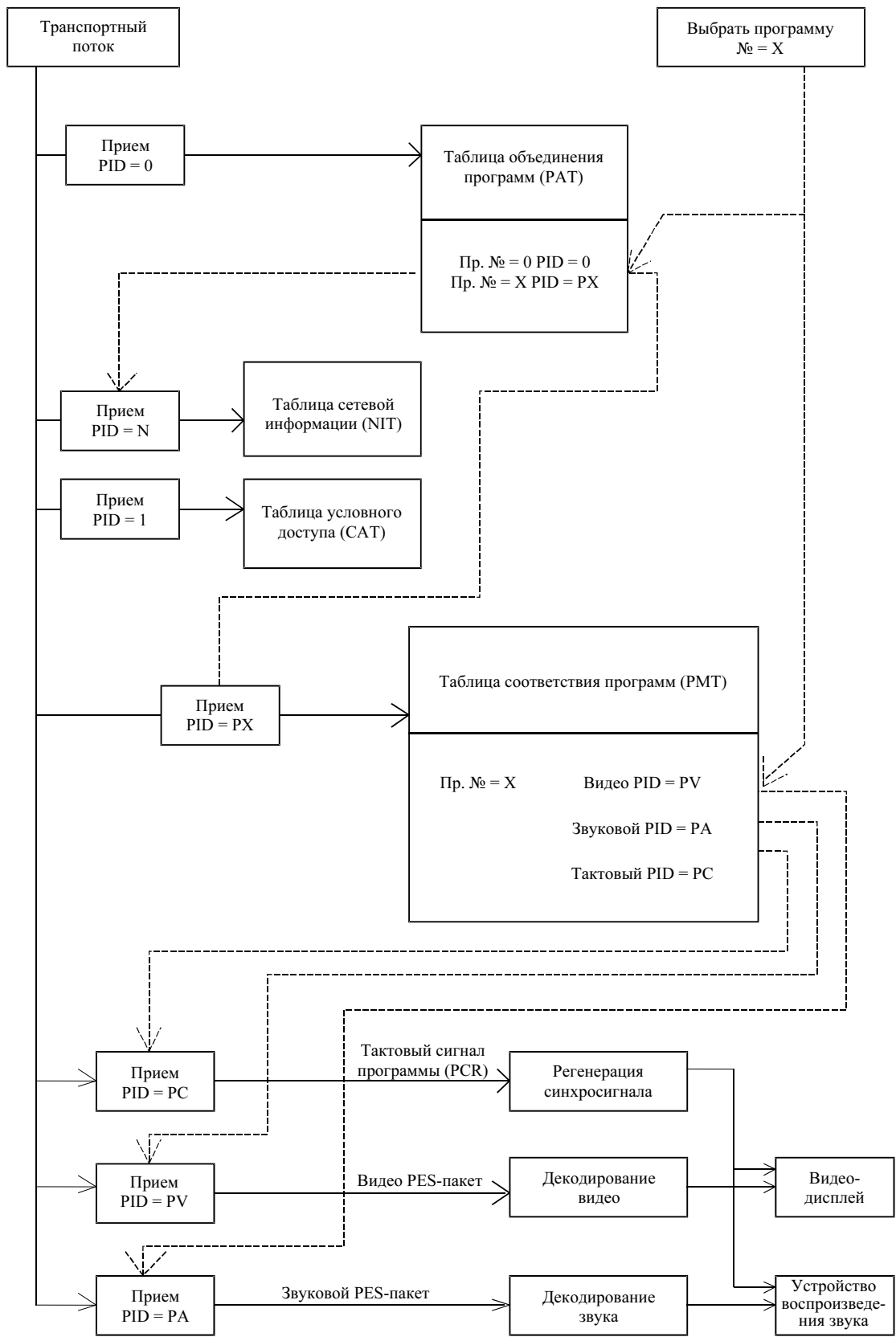
РИСУНОК 4.5

### Процесс транспортного демультиплексирования

В тех случаях, когда приходится иметь дело со сжатым видеосигналом и соответствующим ему звуком, полезно, чтобы PES-пакеты начинались с границ групп изображений (GOP). Описываемый в данном разделе пример представляет собой подмножество общего описания MPEG-2, позволяющим упростить приемник. В данном примере все данные PES-пакета, включая заголовок, передаются непрерывно в качестве полезной нагрузки транспортных пакетов. Каждый новый PES-пакет всегда начинается с нового транспортного пакета, и после PES-пакетов, заканчивающихся в середине транспортного пакета, всегда вставляются байты заполнения, загружающие оставшуюся часть транспортного пакета.

Как показано на рис.4.7, PES-пакет включает в себя стартовый код PES-пакета (PES\_packet\_start\_code), флаги PES-заголовка (PES header flags), поля заголовка PES-пакета (PES packet header fields) и блок данных полезной нагрузки. Полезная нагрузка пакета представляет собой поток непосредственно следующих друг за другом байтов одного элементарного потока, причем для видео- или звуковых пакетов полезной нагрузкой является последовательность формируемых кодером элементов доступа, которые соответствуют кадрам ТВ изображения и циклам звука.

Каждый элементарный поток идентифицируется уникальным идентификатором потока stream\_id, который передается в составе PES-пакета. PES-пакеты, несущие элементарные потоки различного типа, могут мультиплексироваться для формирования программного или транспортного потока. Как показано в табл. 4.1, идентификатор stream\_id может принимать ряд значений, которые указывают тип данных, содержащихся в полезной нагрузке.



DTTB-04-6

РИСУНОК 4.6

Пример блок-схемы обработки потока данных в приемнике



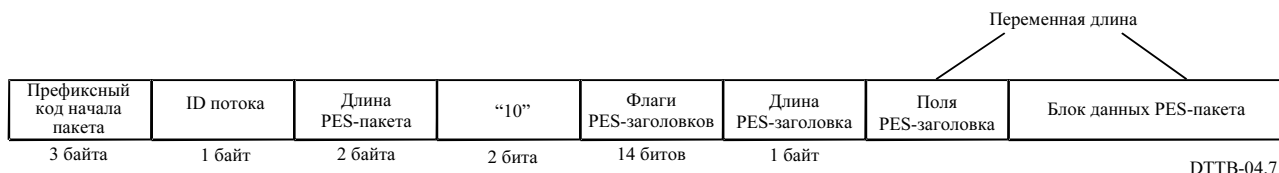


РИСУНОК 4.7

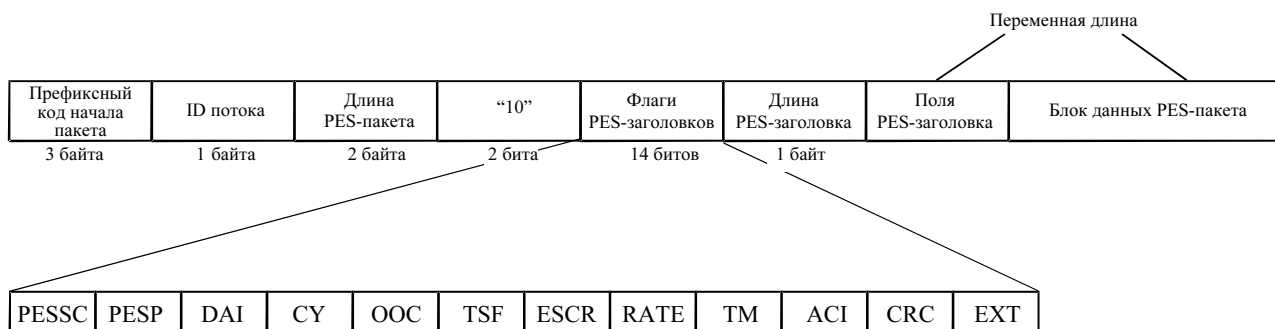
**Структура PES-пакета**

ТАБЛИЦА 4.1

**Обзор структуры PES-пакета**

Поле	Функция/применение
packet_start_code_prefix [префиксный код начала пакета]	Указывает начало нового пакета. Совместно с идентификатором потока stream_id формирует код начала пакета. Имеет значение 0x00 0001.
stream_id [идентификатор потока]	Указывает тип и номер потока, к которому принадлежит данный пакет:  1011 1100 – зарезервированный поток 1011 1101 – частный поток 1 1011 1110 – заполняющий поток 1011 1111 – частный поток 2  110x xxxx – звуковой MPEG-поток номер xxxx 1110 xxxx – видео MPEG-поток номер xxxx 1111 0000 – поток ECM 1111 0001 – поток EMM 1111 0010 – поток DSM CC 1111 0011 – поток MHEG 1111 0100 – 1111 1000 – тип А– тип Е Рек. ITU-R H.222.1 1111 1001 – дополнительный поток 1111 1010 – 1111 1110 – зарезервированный поток данных 1111 1111 – каталог программных потоков
PES_packet_length [длина PES-пакета]	Указывает число байтов в оставшейся части пакета, следующей за этим полем.  0x000 – это значение разрешено только для видеоданных. Для звуковых данных подлежит определению.

Флаги PES-заголовков для ограниченного примера, относящегося к системе MPEG-2, показаны на рис. 4.8 и описаны в табл. 4.2. Они служат индикаторами характеристик цифрового потока и указывают на наличие дополнительных флагов в PES-заголовке.



ДТТВ-04.8

РИСУНОК 4.8  
Флаги PES-заголовков

ТАБЛИЦА 4.2  
Флаги PES-заголовков

Поле	Функция/применение
PESSC (PES_scrambling_control) [управление скремблированием PES-потока]	Информирует о скремблировании принятого PES-пакета:  00 – Скремблирования нет. 01 – Определяется пользователем. 10 – Определяется пользователем. 11 – Определяется пользователем. (В данном примере установлено значение 00.)
PESP (PES_priority) [приоритет PES-потока]	Указывает приоритет данного пакета относительно остальных пакетов: 1 = высокий приоритет; 0 = приоритета нет
DAI (data_alignment_indicator) [индикатор выравнивания данных]	Указывает тип выравнивания первого стартового кода, встречающегося в полезной нагрузке. Тип данных в полезной нагрузке обозначается дескриптором data_stream_alignment_descriptor. 1 – Выровненный. 0 – Индикация выравнивания отсутствует. (Выравнивание должно производиться по видеоданным.)

ТАБЛИЦА 4.2 (окончание)

Поле	Функция/применение
СУ [авторские права]	Информирует об авторских правах на полезную нагрузку PES-пакета: 1 – Авторские права имеются. 2 – Авторские права не определены
ООС (original_or_copy) [оригинал или копия]	Указывает, является ли полезная нагрузка PES-пакета оригинальной программой или копией: 1 – Оригинал. 2 – Копия
TSF (PTS_DTS_flags) [флаги PTS и DTS]	Указывает, присутствуют ли поля PTS или PTS и DTS в PES-заголовке: 00 – В заголовке не присутствуют ни PTS, ни DTS. 1x – Поле PTS присутствует. 11 – Как PTS, так и DTS присутствуют в заголовке. (Флаг PTS устанавливается в том случае, когда установлен индикатор выравнивания видеоданных. Флаг DTS может устанавливаться для сигнализации декодеру о наличии любых специальных требований. Передача флагов PTS должна производиться с интервалом не более 700 мс.)
ESCR (ESCR_flag) [флаг ESCR]	Указывает, присутствует ли в PES-заголовке поле опорного тактового сигнала элементарного потока. (В данном примере установлено значение 0.)
RATE (ES_rate_flag) [флаг RATE]	Указывает, присутствует ли в PES-заголовке поле скорости элементарного потока. (В данном примере установлено значение 0.)
TM (DSM_trick_mode_flag) [флаг TM]	Указывает на наличие в PES-заголовке 8-битового поля, описывающего режим работы DSM (Digital Storage Media – цифровой среды запоминания): 1 – Поле присутствует. 0 – Поле не присутствует
ACI (additional_copy_info_flag) [флаг ACI]	Указывает на наличие в PES-заголовке поля информации о дополнительной копии. 1 – Поле присутствует. 0 – Поле не присутствует
CRC (PES_CRC-flag) [флаг CRC]	Обозначает, присутствует ли в PES-пакете поле CRC. (В данном примере установлено значение 0.)
EXT (PES_extention_flag) [флаг EXT]	Этот флаг устанавливается, когда необходимо указать в PES-заголовке на наличие флагов расширения. Его использование включает в себя поддержку частных данных. 1 – Поле присутствует. 0 – Поле не присутствует

PES-заголовков следует непосредственно за полем PES\_header\_length, которое обозначает размер заголовка в байтах. Размер заголовка учитывает все поля заголовка, любые поля расширения и байты заполнения stuffing\_bytes. Организация PES-заголовка описывается флагами PES-заголовка, а все поля PES-заголовка являются факультативными (т. е. могут присутствовать или отсутствовать). Некоторые режимы передачи программ требуют наличия конкретных полей. Так, например, для транспортировки PES-видео пакетов в ЦНТВ требуется, чтобы было задано поле data\_alignment\_indicator. Флаг режима спецэффектов обычно не устанавливается. Извлечение видеoinформации для цифровой системы запоминания (DSM) требует, чтобы были истинными противоположные условия. Связанный с каждой конкретной программой кодер должен устанавливать соответствующие флаги и кодировать соответствующие поля.

PES-заголовок показан на рис. 4.9 и описан в табл. 4.3.

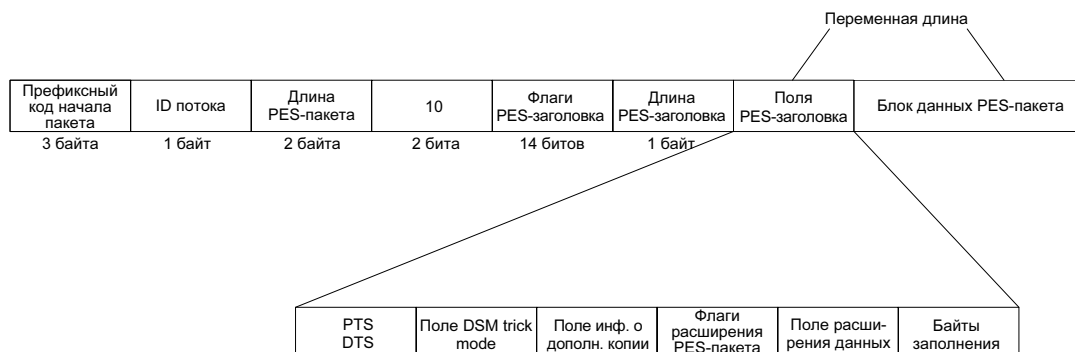


РИСУНОК 4.9  
Организация PES-заголовка

ТАБЛИЦА 4.3  
PES-заголовок

Поле	Функция
PTS (presentation_time_stamp) [метка времени представления] DTS (decoding_time_stamp) [метка времени декодирования]	Метка PTS сообщает декодеру намеченное время представления на соответствующем устройстве. Метка DTS сообщает декодеру намеченное время декодирования элемента доступа. Элемент доступа представляет собой закодированный элемент представления. После кодирования метка PTS относится к элементу представления, соответствующему первому элементу доступа, встретившемуся в пакете. Если в пакете отсутствует элемент доступа, то он не должен содержать метку PTS. В нормальных условиях метка DTS может быть получена из метки PTS и не требует кодирования. Элемент доступа для видео будет иметься в том случае, когда в полезной нагрузке PES-пакета присутствует первый байт стартового кода изображения. Элемент доступа звука будет иметься в том случае, когда присутствует первый байт звукового цикла
DSM_trick_mode [режим спецэффектов DSM]	Восьмибитовое поле, указывающее природу кодируемой информации. Это поле подразделяется на следующие части:  3 бита: управление режимом спецэффекта trick_mode_control; 2 бита: идентификатор поля (field_id) 1 бит: обновление внутренних слоев (intra_slice_refresh); 2 бита: усечение частоты (frequency_truncation)

ТАБЛИЦА 4.3 (окончание)

Поле	Функция
trick_mode_control [управление режимом спецэффектов]	Указывает вид режима DSM:  000 – Быстрая прокрутка вперед. 001 – Замедленное движение. 010 – Стоп-кадр. 011 – Быстрая прокрутка назад. 1xx – Зарезервированные значения
field_id [идентификатор поля]	Этот идентификатор действует только для чересстрочных изображений и указывает, как должен воспроизводиться текущий кадр:  00 – Воспроизводится только поле 1. 01 – Воспроизводится только поле 2. 10 – Воспроизводится полный кадр. 11 – Зарезервированное значение
frequency_truncation [усечение частоты]	Это поле указывает выбор коэффициентов из DSM:  00 – Передаются только коэффициенты постоянной составляющей. 01 – Первые 3 коэффициента в порядке сканирования (в среднем). 10 – Первые 6 коэффициентов в порядке сканирования (в среднем). Это поле служит только для информационных целей. В определенные моменты времени может передаваться больше или меньше коэффициентов, чем указано выше
intra_slice_refresh [обновление внутренних слоев]	Это поле указывает, что каждое изображение состоит из внутренних слоев с возможными просветами между ними. Декодер должен замещать пропущенные слои путем повторения соответствующих мест из предыдущего декодированного изображения
field_rep_control [управление повторением поля]	Это поле указывает, сколько раз декодер должен повторить поле кадра № 1 в качестве "верхнего" и "нижнего" полей поочередно. После того как поле № 1 будет полностью воспроизведено, столько же раз воспроизводится поле № 2. Установка значения "0" для этого идентификатора эквивалентна введению режима стоп-кадра с помощью field_id = 10

PES-заголовок может содержать дополнительные флаги, если установлен флаг расширения EXT. Эти флаги передаются в однобайтовом поле данных так, как показано на рис. 4.1 и описано в табл. 4.4. Флаги указывают, имеются ли дальнейшие расширения для PES-заголовка. В каждом случае устанавливается значение флага "1", если в заголовке присутствует соответствующее поле расширения.

Флаг частных данных PES-пакета	Флаг поля заголовка пакета	Флаг счетчика программной частной последовательности	Флаг стандартной буферной памяти	Зарезервировано	Флаг поля расширения PES-пакета
--------------------------------	----------------------------	--	----------------------------------	-----------------	---------------------------------

РИСУНОК 4.10  
Поле флагов расширения PES-пакета

ТАБЛИЦА 4.4  
Флаги расширения PES-пакета

Поле	Функция	Использование
PES_private_data_flag [флаг частных данных в PES-пакете]	Указывает, содержит ли PES-пакет частные данные	По определению
program_private_sequence_counter_flag [флаг счетчика частной последовательности]	Указывает, присутствует ли пакетный заголовок системы MPEG-1, либо пакетный заголовок программного потока MPEG-2	По определению
STD_buffer_flag [флаг буфера STD]	Указывает, кодируются ли флаги STD_buffer_scale и STD_buffer_size.	Для данного примера установлен "0".
PES_extension_field_flag [флаг поля расширения PES]	Указывает на наличие в PES-заголовке дополнительных данных.	По определению

## 4.5 Принцип пакетирования и функциональные возможности

### 4.5.1 Обзор

Транспортный цифровой поток в системе передачи ЦНТВ может состоять как из пакетов фиксированной длины, так и из пакетов переменной длины. Принцип пакетирования, описываемый в данном разделе, основан на пакетах фиксированной длины с постоянной и переменной компонентами в поле заголовка, как показано на рис. 4.11.

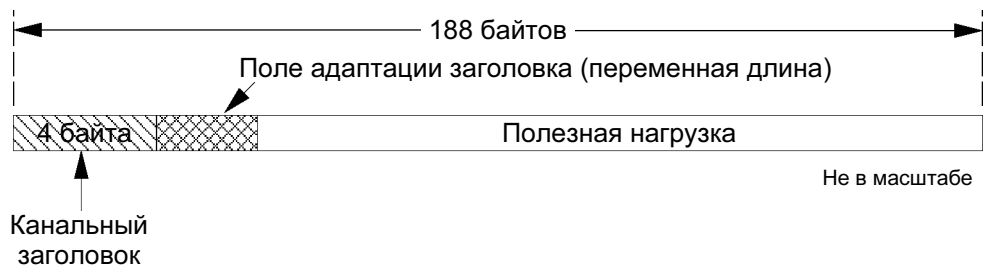


РИСУНОК 4.11  
Транспортный пакет

Согласно этому подходу, основанному на синтаксисе MPEG-2, каждый пакет содержит 188 байтов. Выбор такого размера пакета объясняется несколькими факторами. Пакеты должны быть достаточно большими, чтобы служебная информация, содержащаяся в транспортных заголовках, не стала существенной частью передаваемых данных. В то же время пакеты не должны быть настолько большими, чтобы существенно возросла вероятность пакетной ошибки при стандартных рабочих условиях (вследствие неэффективной коррекции ошибок). Кроме того, желательно иметь длину пакетов, согласованную с размерами блоков, используемых в типовых методах коррекции ошибок, чтобы пакеты можно было синхронизировать с блоками коррекции ошибок, а физические уровни системы могли поддерживать процесс синхронизации в декодере на пакетном уровне. Еще одним аргументом для выбора конкретной длины пакета является обеспечение взаимодействия с форматом АТМ. Общая идея такого подхода состоит в том, чтобы передавать один транспортный пакет ЦНТВ в четырех ячейках АТМ.

Содержание каждого пакета и характер передаваемой в нем информации идентифицируются с помощью **заголовков пакетов**. Структура заголовка пакета является многоуровневой и может быть описана как комбинация **канального уровня** с фиксированной длиной и **адаптационного уровня** с переменной длиной. Каждый уровень используется для выполнения различных функций по аналогии с функциями канального и транспортного уровней модели ВОС в системах электросвязи. Эти функциональные возможности канального и адаптационного уровней напрямую используются в каналах наземного вещания, по которым передаются цифровые потоки ЦНТВ. Однако указанные заголовки могут полностью игнорироваться в других системах (например, в АТМ), в которых цифровой поток ЦНТВ является только передаваемой полезной нагрузкой. В таких условиях заголовки цифровых потоков ЦНТВ будут служить идентификаторами содержания потоков данных, а не средством реализации протокольного уровня во всей системе передачи.

Элементы синтаксиса цифрового потока возможного уровня транспортной системы определяются здесь для изучения требований к подобным системам. Подразумевается, что хотя большинство элементов синтаксиса, по-видимому, будет вызывать реакцию транспортного декодера, на определенном уровне приемника должны распознаваться все элементы синтаксиса.

#### 4.5.2 "Канальный" уровень

Канальный уровень реализуется с помощью 4-байтового поля заголовка. На рис. 4.12 представлен возможный заголовок канального уровня и указаны выполняемые каждым битом функции. В табл. 4.5 приведены описания каждой функции. Не обязательно, чтобы все общие функции были применимы к каналу ЦНТВ, однако они полезны для обеспечения взаимодействия (при передаче одного и того же цифрового потока по разным каналам, включая кабельные линии, компьютерные сети, спутниковые распределительные системы и т. п.).

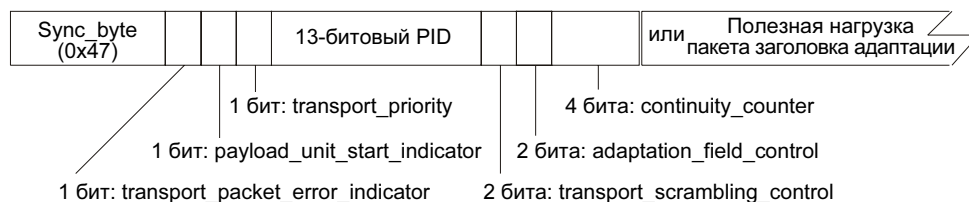


РИСУНОК 4.12

**Формат канального заголовка**

ТАБЛИЦА 4.5

**Формат канального заголовка**

Поле	Функция/применение
sync_byte (Значение: 0x47) [синхробайт]	Синхронизация пакетов
transport_packet_error_indicator [индикатор ошибки транспортного потока]	Указывает, что пакет содержит ошибки: 0 → ошибок нет 1 → пакет с ошибками (может использоваться для сигнализации о наличии ошибок из модема в транспортный демультиплексор. Значение "1" указывает, что полезная нагрузка не должна использоваться)
payload_unit_start_indicator [индикатор начала блока полезной нагрузки]	Указывает, присутствует ли в полезной нагрузке текущего транспортного PES-пакета заголовок начала таблицы со специфической информацией о программах (PSI). Полезная нагрузка пакета всегда начинается с заголовка PES-пакета. Стартовый байт таблицы PSI в пакете отмечается с помощью поля указателя. 0 → заголовок PES или начало таблицы PSI не присутствует. 1 → заголовок PES или начало таблицы PSI присутствует.
transport_priority [транспортный приоритет]	Индикатор приоритета на входе каналов/сети передачи, поддерживающих процедуру назначения приоритетов. 0 → меньший приоритет. 1 → больший приоритет. (В системе, которая позволяет определять приоритеты для передачи пакетов либо путем назначения несущей с более высокой мощностью, либо путем введения пакетов с более высокой защитой от ошибок, а также разрешает выбор тракта передачи с соответствующим приоритетом).
PID [идентификатор пакета]	Идентификатор пакета для мультиплексирования и демультиплексирования.
transport_scrambling_control [управление скремблированием транспортного пакета]	Указывает, используется ли для данного пакета ключ дескремблирования. 00 → скремблирование отсутствует. 10 → "четный" ключ. 11 → "нечетный" ключ. 01 → зарезервированное значение.
adaptation_field_control [управление полем адаптации]	Указывает, следует ли за заголовком поле адаптации. 00 → зарезервированное значение. 01 → поле адаптации отсутствует; присутствует только полезная нагрузка. 10 → присутствует только поле адаптации; полезная нагрузка отсутствует. 11 → присутствует поле адаптации, за которым следует полезная нагрузка.
continuity_counter [счетчик непрерывности]	Значение увеличивается на единицу для каждого следующего пакета с одним и тем же PID и одинаковым транспортным приоритетом. Если два последовательных транспортных пакета с одним и тем же PID имеют одинаковое значение параметра continuity_counter, а значение параметра adaptation_field_control равно 01 или 11, то эти два транспортных пакета считаются дублями. Данный параметр используется декодером для обнаружения потерянных пакетов. Для пакетов со значением adaptation_field_control 00 или 10 нарастание continuity_counter не производится.



**Пакетная синхронизация** обеспечивается с помощью синхробайта `sync_byte`, являющегося первым байтом пакета. Этот `sync_byte` имеет заранее определенное фиксированное значение для всех цифровых потоков ЦНТВ. В некоторых типах декодеров функция пакетной синхронизации может быть реализована на физическом уровне канала связи (который предшествует стадии демультиплексирования пакетов). В этом случае поле синхробайта может быть использовано для верификации функции пакетной синхронизации. В декодерах других типов этот байт может использоваться в качестве главного источника информации для осуществления пакетной синхронизации.

Важным элементом канального заголовка является 13-битовое поле, называемое идентификатором пакета **PID**. Это поле создает необходимый механизм для мультиплексирования и демультиплексирования цифровых потоков, идентифицируя пакеты, принадлежащие одному и тому же элементарному потоку или потоку управляющих данных. Поскольку поле PID в заголовке имеет всегда постоянное фиксированное местоположение, то после установления пакетной синхронизации извлечение пакетов, соответствующих конкретному элементарному потоку, реализуется очень просто – путем фильтрации пакетов по признаку PID. Фиксированная длина пакета обеспечивает возможность реализации простых фильтров и демультиплексоров применительно к высокоскоростным системам передачи.

**Обнаружение ошибок** может быть осуществлено в декодере на уровне пакетов посредством использования поля счетчика непрерывности (`continuity_counter`). На передающей стороне значение этого поля меняется циклическим образом от 0 до 15 для всех пакетов с одним и тем же PID, несущих полезную информационную нагрузку (как будет показано ниже, синтаксис транспорта позволяет определять пакеты, которые не содержат полезной информационной нагрузки). На приемной стороне при нормальных условиях прием пакетов для потока данного PID с нарушением непрерывности значений счетчика `continuity_counter` свидетельствует о том, что в процессе передачи произошла потеря данных. В этом случае транспортный процессор декодера сигнализирует декодеру данного элементарного потока о потере данных. Спецификация MPEG-2 допускает нарушения непрерывности `continuity_counter` с тем, чтобы обеспечить возможность вставки локальных пакетов данных и склейки цифровых потоков. Таким образом, нарушения непрерывности `continuity_counter` могут происходить даже при безошибочной передаче.

Поскольку определенная информация (такая, как заголовки, метки времени и карты программ) весьма важна для обеспечения плавной и непрерывной работы всей системы, в транспортной системе должны предусматриваться средства повышения устойчивости этой информации к воздействию канальных ошибок путем реализации в кодере механизма дублирования пакетов. Пакеты, содержащие важную информацию, должны дублироваться в кодере. В декодере эти дубли пакетов должны использоваться в том случае, когда исходный пакет поступил с ошибкой или оказался пропущенным. Семантика идентификации дублированных пакетов представлена в описании счетчика непрерывности `continuity_counter`.

Транспортный формат позволяет осуществлять скремблирование передаваемой в пакетах информации. Каждый элементарный цифровой поток в системе может скремблироваться независимо. Один из подходов к универсальному стандарту заключается в точном специфицировании применяемого метода дескремблирования, но без спецификации дескремблирующего ключа и способа получения ключа декодером. Ключ должен доставляться в декодер в пределах временного интервала его пригодности. Для передачи необходимой дополнительной информации условного доступа может быть использована часть пропускной способности транспортного потока ЦНТВ, выделяемой под "частные" данные. При этом возможны два варианта :

- передача в виде отдельного частного потока со своим собственным PID;
- передача с использованием частного поля в пределах адаптационного заголовка, транспортируемого в составе PID скремблируемого сигнала.

Секретность системы условного доступа может обеспечиваться шифрованием дескремблирующего ключа при его передаче в приемник системы и частым обновлением ключа. При этом система не должна накладывать никаких ограничений ни на число ключей, которые могут использоваться, ни на частоту их обновления. Единственным требованием, которое должно налагаться на приемник с точки зрения удовлетворения стандарту, является наличие в декодере интерфейса для аппаратного средства дешифрирования (например, для микропроцессорных, или смарт-карт), которое удовлетворяет стандартизованным спецификациям интерфейса.

Информация в канальном заголовке транспортного пакета может содержать признак того, используется ли скремблирование для полезной нагрузки пакета, и если используется, то производится сигнализация о необходимости применения ключа для дескремблирования. Информация, содержащаяся в заголовке пакета, всегда передается в открытом виде, т. е. без скремблирования. Объем информации, подлежащей скремблированию в пакете, может быть переменным в зависимости от длины заголовка адаптации. Следует заметить, что для некоторых алгоритмов блочного типа может потребоваться заполнение поля адаптации холостыми данными.

Отметим, что по общему определению транспорта MPEG-2 предусматривается механизм скремблирования на двух уровнях: в пределах структуры пакетов PES и на транспортном уровне. Скремблирование на уровне структуры пакетов PES оказывается полезным, в первую очередь, для программного потока, в котором отсутствует уровень протокола, аналогичный транспортному, который и делает возможным выполнение данной функции.

### 4.5.3 Уровень адаптации

Заголовок адаптации для системы ЦНТВ, определяемый стандартом MPEG-2, использует поле переменной длины. О его наличии сигнализируется в секции канального уровня заголовка. Функция этих заголовков связана, в основном, с декодированием элементарного цифрового потока, который выделяется с использованием функций канального уровня.

О наличии **поля заголовка адаптации** сигнализируется в поле управления полем адаптации (`adaptation_field_control`) канального уровня, как было описано выше. Заголовок адаптации содержит информацию, которая является полезной для функций декодирования более высокого уровня, и в нем используются специальные флаги для указания о наличии конкретных расширений поля адаптации.

Заголовок начинается с компонента фиксированной длины, который появляется всякий раз, когда передается заголовок адаптации. Формат заголовка показан на рис. 4.13.

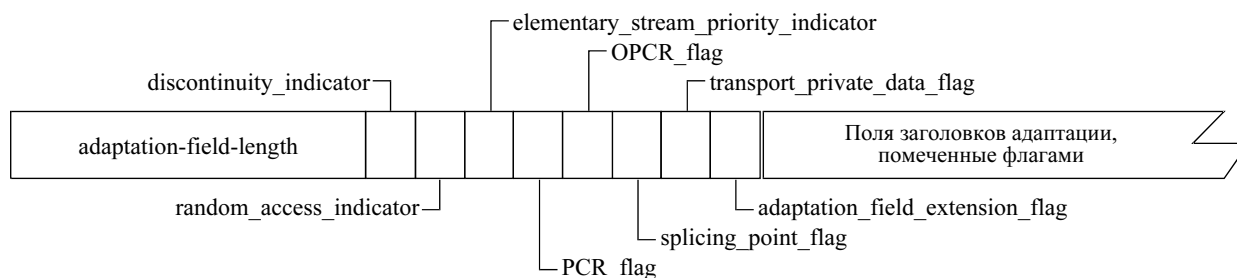


РИСУНОК 4.13

#### Компонент фиксированной длины заголовка адаптации

ДТТВ-04.13

Поле `adaptation_field_length` (длина поля адаптации) является однобайтовым; оно определяет число байтов, следующих за ним в заголовке адаптации. За последним полем компонента заголовка адаптации в нем могут присутствовать байты заполнения. Байты заполнения не интерпретируются декодером. При наличии байтов заполнения поле `adaptation_field_length` учитывает и их количество. Значение `adaptation_field_length` может также использоваться декодером для пропуска заголовка адаптации и, при необходимости, для быстрого перехода к полезной нагрузке.

Наличие дополнительных полей заголовков адаптации индицируется состоянием пяти последних однобитовых флагов, показанных на рис. 4.13, причем значение 1 указывает на наличие в заголовке соответствующих полей. Первые три однобитовых флага, не создающие расширений в заголовке адаптации, описаны в табл. 4.6.

ТАБЛИЦА 4.6

Поле	Функция/применение
discontinuity_indicator [индикатор нарушения непрерывности]	Указывает, имеется ли нарушение непрерывности значений PCR, которые далее будут выделяться из пакетов. Это происходит при склейке цифровых потоков. Данный индикатор используется в приемнике для изменения фазы местной синхронизации.
random_access_indicator [индикатор условного доступа]	Указывает, содержит ли пакет данные, которые могут служить точкой условного доступа в поток информации. Одним из примеров является соответствие началу информации в заголовке последовательности видеопотока.
elementary_stream_priority_indicator [индикатор приоритета элементарного транспортного потока]	Логическая индикация приоритета, если в пакете передаются данные.

Другие компоненты заголовка адаптации появляются в зависимости от состояния соответствующих флагов.

**Синхронизация** процессов декодирования и отображения для приложений, выполняемых в приемнике, представляет собой особо важный аспект в работе систем доставки цифровых данных в реальном времени. Поскольку предполагается, что принимаемая информация должна обрабатываться с некоторой конкретной скоростью (согласованной со скоростью генерирования и передачи информации), то потеря синхронизации неизбежно приводит либо к переполнению, либо к опустошению буферной памяти декодера, и, как следствие, к потере синхронизации отображения. Проблемы синхронизации, с которыми приходится иметь дело при передаче битовых потоков с цифровым сжатием, несколько отличаются от проблем обычного аналогового телевидения. В обычном аналоговом телевидении информация передается в виде последовательности изображений строго синхронным образом, поэтому сигнал синхронизации всегда можно выделить непосредственно из информации о синхронизации изображения. В системе с цифровым сжатием количество данных, генерируемых для каждого изображения, является переменным (зависит от принципа кодирования изображения и сложности его реализации), вследствие чего синхронизация не может быть получена непосредственно из данных о начале передачи изображения. На самом деле не существует какого-то естественного принципа получения импульсов синхронизации из цифровых потоков (как это делается в обычном аналоговом телевидении).

Решение проблемы состоит в передаче синхронизирующей информации в заголовках адаптации определенных пакетов и в использовании этой информации в качестве эталонного сигнала для целей синхронизации в декодере. Это достигается посредством передачи значений отсчетов тактового сигнала программы с частотой 27 МГц в поле эталонного тактового сигнала **program\_clock\_reference (PCR)**, указывающих ожидаемое время завершения считывания этого поля из цифрового потока в транспортном декодере. В декодере фаза местного тактового генератора сравнивается со значением PCR в цифровом потоке в момент его выделения из цифрового потока, на основании чего определяется правильность синхронизации процесса декодирования. В целом, значения PCR, извлекаемые из цифрового потока, не оказывают непосредственного влияния на фазу местного тактового генератора, а служат только управляющим сигналом для подстройки тактовой частоты. Исключения могут иметь место только при переключении каналов и вставке местных программ. Следует обратить внимание на то, что тактовые частоты отсчетов, или дискретизации видеосигнала и звука в декодере привязываются к системному тактовому сигналу, получаемому из значений PCR. Это позволяет упростить реализацию приемника в отношении количества местных генераторов, требуемых для управления всем процессом декодирования, и получить ряд дополнительных преимуществ, включая быстрое вхождение в синхронизм.

Поля PCR и OPCR представлены на рис. 4.14 и в табл. 4.7

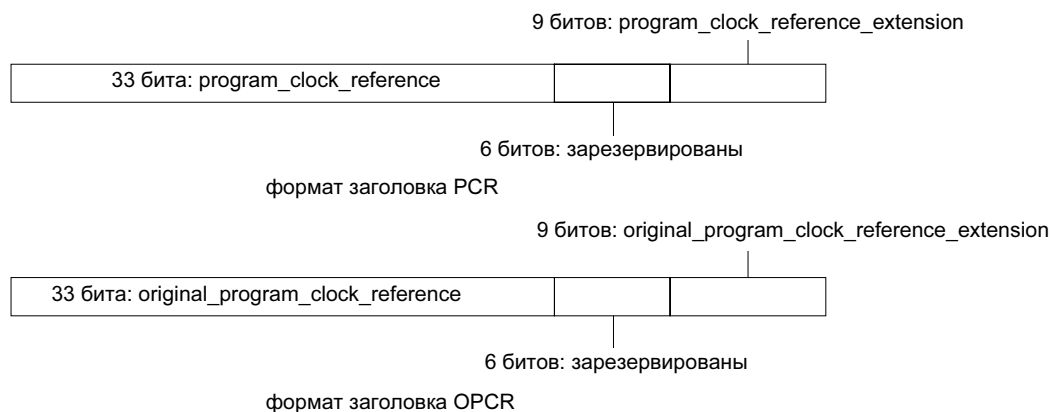


РИСУНОК 4.14

**Формат заголовков PCR и OPCR**

ТАБЛИЦА 4.7

Поле	Функция/применение
PCR [тактовый сигнал программы]	Указывает требуемое время поступления в декодер приемника последнего байта расширения тактового сигнала программы (program_clock_reference_extension). Используется для синхронизации процесса декодирования в системе. Это поле может изменяться в процессе передачи (поэтому PCR передается не реже, чем каждые 100 мс).
OPCR [исходная метка времени тактового сигнала программы]	Обозначает требуемое время поступления в декодер приемника последнего байта расширения исходного тактового сигнала программы (original_program_clock_reference_extension) для одной программы. Это поле не изменяется в процессе передачи. (Может использоваться для записи и воспроизведения одной программы.)

Полное значение PCR определяется по состоянию тактового сигнала 27 МГц. 9-битовое поле расширения пробегает значения от 0 до 299 с частотой 27 МГц, после чего значение 33-битового поля увеличивается на единицу. В результате образуется 33-битовое поле, совместимое с полем, которое используется в системе MPEG-1 с тактовой частотой 90 кГц. Полный цикл смены всех значений PCR составляет примерно 26 часов.

Поля транспортных частных данных (`transport_private_data`) и расширения поля адаптации (`adaptation_field_extention`) представлены на рис. 4.15 и в табл. 4.8

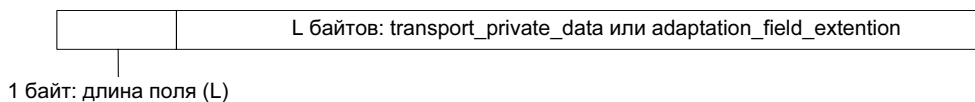


РИСУНОК 4.15

**Формат заголовков полей `transport_private_data` и `adaptation_field_extention`**

ТАБЛИЦА 4.8

Поле	Функция/применение
<code>transport_private_data</code> [транспортные частные данные]	Для частных данных.
<code>adaptation_field_extention</code> [расширение поля адаптации]	Для будущих расширений заголовка адаптации.

Поле `splice_countdown` применяется для вставки в основной цифровой поток нисходящего потока (местной программы). Поле `splice_countdown`, описанное в табл. 4.9, представляет собой однобайтовое поле, которое присутствует, когда установлен флаг `splicing_point_flag`.

ТАБЛИЦА 4.9

Поле	Функция/применение
<code>splice_countdown</code> [обратный отсчет до склейки]	Указывает число пакетов в цифровом потоке с тем же значением PID, что и у текущего пакета, до появления пакета с точкой склейки. Пакет с точкой склейки определяется как пакет, содержащий точку элементарного цифрового потока, начиная с которой данные могут быть удалены и заменены другим цифровым потоком. Передается в виде дополнительного двоичного кода. (Используется для поддержки режима вставки местных программ и пакетов).

#### 4.5.4 Специальная информация о программах (PSI) и поле указателя `pointer_field`

Таблица объединения программ (`program_association_table`) и таблицы соответствия программ (`program_map_tables`), описывающие организацию мультимплексированного цифрового потока ЦНТВ, являются составной частью уровня PSI. В целом таблицы PSI передаются в соответствующих цифровых потоках последовательно без каких-либо промежутков между таблицами. Это означает, что начало таблицы не обязательно должно совпадать с началом транспортного пакета, и поэтому требуется специальный индикатор, указывающий, где в цифровом потоке начинается передача таблиц. Эта функция реализуется с помощью поля указателя (`pointer_field`). Такой указатель присутствует в пакете, если в нем начинается таблица PSI. Об этом событии сигнализируют на канальном уровне путем установки значения 1 для индикатора `payload_unit_start_indicator`. Индикатор `pointer_field` указывает число байтов, следующих за ним до начала таблицы PSI. Так, например, если `pointer_field` имеет значение 0x00, новая таблица PSI начинается сразу же после указателя.

Таблица объединения программ (`program_association_table`) передается как полезная нагрузка цифрового потока с идентификатором PID = 0; она описывает, каким образом номера программ, связанные с соответствующими программными услугами, отображаются в цифровых потоках, содержащих таблицы `program_map_tables` для всех указанных программ. Таблица `program_association_table` может также передаваться в виде множества отдельных сегментов `program_association_segments`, причем каждый сегмент может иметь максимальную длину 1024 байта. Описание таблицы `program_association_table` дается в табл. 4.10. Транспортный декодер может извлекать отдельные сегменты таблиц из цифрового потока в требуемом для него порядке. Как показано на рис. 4.16, каждый сегмент таблицы имеет заголовок фиксированной длины 8 байтов, обеспечивающий идентификацию сегмента таблицы, и содержит компонент переменной длины, которая зависит от числа содержащихся записей, а также 4-байтовое поле CRC-32.

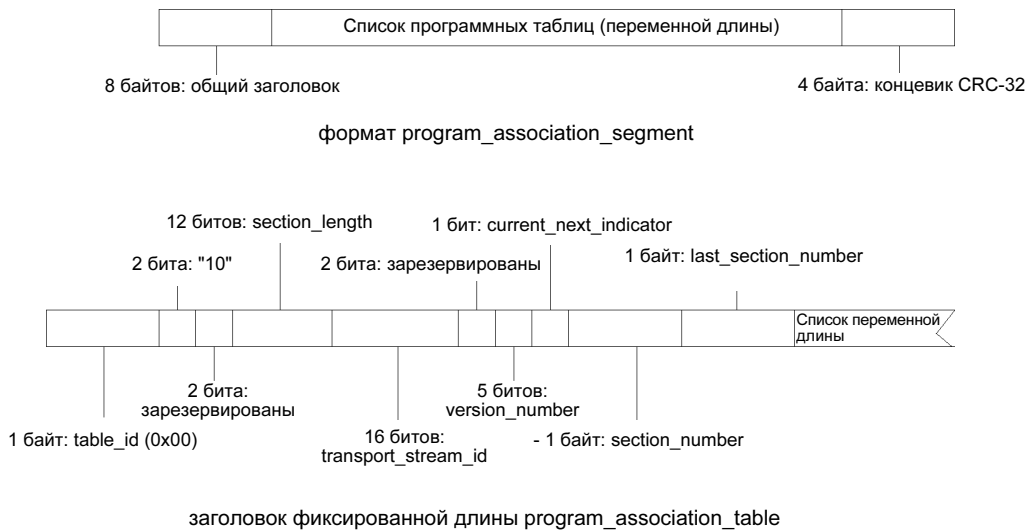


РИСУНОК 4.16

Форматы сегмента таблицы объединения программ и заголовка таблицы

ТАБЛИЦА 4.10

**Заголовок таблицы program\_association\_table**

Поле	Функция/применение
table_id [идентификатор таблицы]	1 байт; указывает тип таблицы. Значение 0x00 обозначает program_association_table.
section_length [длина секции]	12 битов; длина секции program_association_table. Длина включает все байты, следующие за этим полем, и байты CRC. Два старших разряда этого поля установлены равными 00, что дает максимальную длину поля 1024. Данное поле позволяет транспортному декодеру при необходимости пропускать отдельные секции в процессе считывания данных из цифрового потока.
transport_stream_id [идентификатор транспортного потока]	2 байта; идентификация конкретного мультиплексированного потока из нескольких, имеющихся в сети (может быть использована в наземных применениях для указания номера программной службы).
version_number [номер версии]	5 битов; значение возрастает при каждом изменении передаваемой таблицы program_association_table.
current_next_indicator [индикатор "текущий/следующий"]	1 бит; значение 1 свидетельствует, что карта в текущий момент является верной. Значение 0 свидетельствует, что карта в данный момент не используется и будет использоваться позже.
section_number [номер секции]	1 байт; идентифицирует конкретную передаваемую секцию.
last_section_number [номер последней секции]	1 байт; section_number для последней секции в таблице program_association_table. Необходим для подтверждения, что вся program_association_table получена декодером.

Значения зарезервированных бит не определены. Декодером должно правильно приниматься двухбитовое слово "10", следующее за полем table\_id.

Таблица с перечнем программ переменной длины состоит из номеров program\_count в виде записей фиксированной длины для каждой программы и байтов заполнения stuffing\_bytes (для заполнения program\_association\_segment\_length). Формат каждой записи фиксированной длины показан на рис. 4.17.

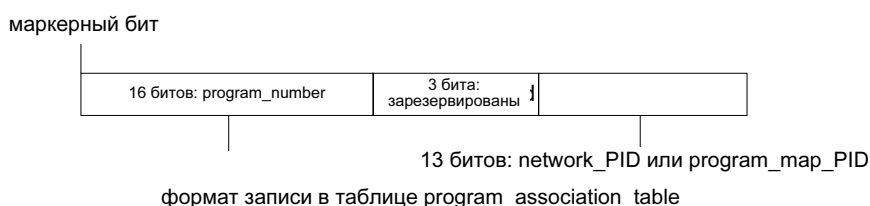


РИСУНОК 4.17

**Формат записи в таблице объединения программ**

Программный идентификатор "0" зарезервирован для сетевого идентификатора network\_PID (пакетный идентификатор цифрового потока, несущего информацию о конфигурации всей системы). Подразумевается, что этот цифровой поток является частным цифровым потоком. Для всех других программных идентификаторов program\_map\_PID является идентификатором PID цифрового потока, содержащего таблицу program\_map\_table для конкретной программы.

Таблица объединения программ (`program_association_table`) заканчивается 4-байтовым полем CRC, которое содержит результат вычисления CRC по всему сегменту соответствия программ, начинающемуся с префикса `segment_start_code_prefix`. Вычисление CRC производится по формуле полинома  $x^{32} + x^{26} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ .

Таблица соответствия программ (`program_map_table`) передается как полезная нагрузка цифрового потока с пакетным идентификатором `PID = program_map_PID` (как указано в `program_association_table`). Таблица `program_map_table` несет в себе информацию обо всех составляющих, которые образуют каждую конкретную программу. Каждая таблица `program_association_table` передается в виде единой секции `TS_program_map_section`. Формат секции `TS_program_map_section` может быть описан как комбинация поля общего заголовка, полей, которые описывают каждую программу в пределах таблицы, и поля с кодом CRC, как показано на рис. 4.18. Код CRC аналогичен коду, используемому в таблице `program_association_table`. Каждый идентификатор `program_map_PID` может содержать более одной секции `TS_program_map_section`, каждая из которых описывает свою программу.

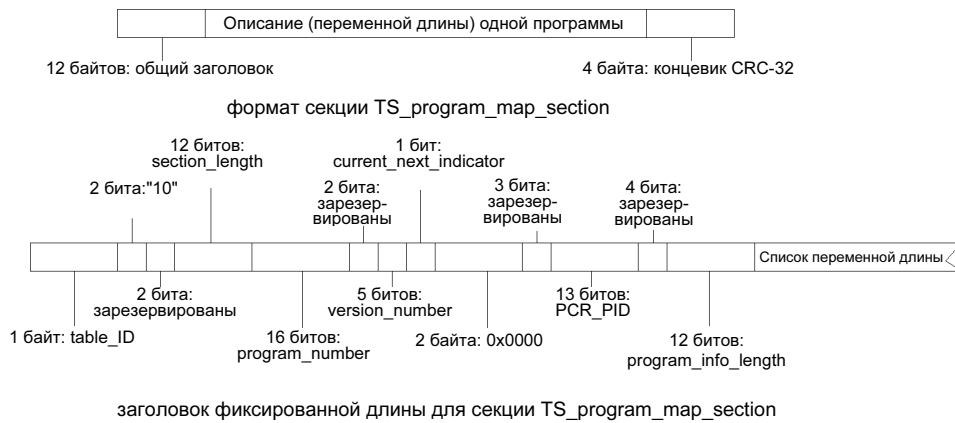


РИСУНОК 4.18

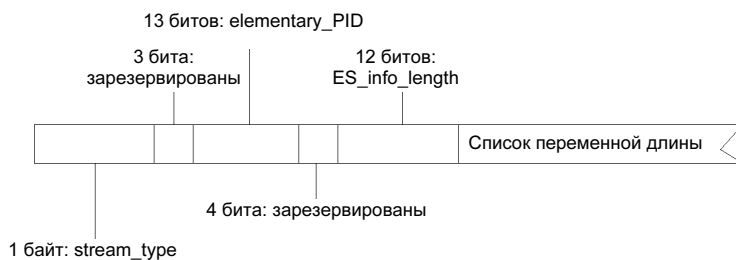
### Форматы соответствия программ транспортного потока (TS)

Формат заголовка `TS_program_map_section` показан на рис. 4.18. Он включает в себя: поле содержания таблицы `table_id` (0x02); два байта, используемые для идентификации номера описываемой программы (`program_number`); два нулевых байта, следующие за индикатором `current_next_indicator`, поскольку описание каждой программы определено таким образом, чтобы оно помещалось в одну секцию; 13-битовый идентификатор `PCR_PID`, который идентифицирует `PID` конкретного пакетированного элементарного цифрового потока программы, содержащего код `PCR` данной программы; и поле `program_info_length`, в котором указывается число байтов следующих за этим полем дескрипторов программы `program_descriptor`. Все другие поля имеют аналогичный формат и функциональное назначение, как можно видеть в `program_association_table`.

Описание программы, которое следует за заголовком, состоит из необязательного поля дескриптора программы (`program_descriptor`) переменной длины (длина которого указывается в поле `program_info_length`), и следующих за ним описаний каждого из индивидуальных элементарных цифровых потоков, образующих программу.

Каждое описание элементарного потока содержит 5-байтовый компонент фиксированной длины и компонент `elementary_stream_descriptor` переменной длины, как показано на рис. 4.19 и описано в табл. 4.11.





описание формата элементарного потока

РИСУНОК 4.19

**Описание элементарного потока**

ТАБЛИЦА 4.11

**Описание элементарного потока**

Поле	Функция/применение
stream_type [тип потока]	Указывает тип информации, содержащейся в данном элементарном потоке 0x00 Зарезервировано ИТУ-Т/ИСО/МЭК 0x01 Видео MPEG-1 0x02 Видео MPEG-2 0x03 Звук MPEG-1 0x04 Звук MPEG-2 0x05 Частные секции MPEG-2 0x06 Пакеты PES, содержащие частные данные MPEG-2 0x07 MHEG 0x08 MPEG-2, Часть 1, DSM CC 0x09 Рек. ИТУ-Т, Н.222.1 0x0A – 0x0D MPEG-2, Часть 6, Тип А – Тип D 0x0E Вспомогательные данные MPEG-2 0x0F – 0x07 Зарезервированные позиции для MPEG-2 0x80 – 0xFF Позиции частного пользователя <sup>(1)</sup>
elementary_PID [PID элементарного потока]	Указывает PID транспортного потока, содержащего элементарный цифровой поток.
ES_info_length [информационная длина элементарного потока]	Указывает длину следующего далее поля (переменной длины) elementary_stream_descriptor.

<sup>(1)</sup> Значение stream\_type для звука системы AC-3 равно 0x81.

В полях program\_descriptor и elementary\_stream\_descriptor передаются дескрипторы, описывающие некоторые характеристики программы или элементарного цифрового потока. Каждый из дескрипторов program\_descriptor или elementary\_stream\_descriptor может состоять из нескольких отдельных элементов дескрипторных полей, передаваемых последовательно во времени.

Для использования дескрипторов требуется механизм, указывающий на их наличие. Эти функции реализуются с помощью таблиц специальной информации о программах (PSI), где указывается длина поля, которое предшествует дескриптору с нулевым значением, свидетельствующим о том, что дескриптор отсутствует. Также требуется идентификация дескриптора, которая обеспечивается с помощью заголовка самого дескриптора, состоящего из однобайтового поля `descriptor_tag`, за которым следует однобайтовое поле `descriptor_length`, указывающее число байтов, содержащихся в следующем далее дескрипторе. Набор допустимых значений поля `descriptor_tag` определен в документации по MPEG-2.

## **4.6 Возможности и услуги**

### **4.6.1 Введение**

Транспортная архитектура ЦНТВ должна быть достаточно гибкой и способной поддерживать несколько услуг передачи видео, звука и данных с использованием механизма системного мультиплексирования. Услуги передачи данных могут быть либо связаны, либо не связаны с программами. SMPTE и другие организации определили услуги передачи данных, связанных с программами, которые могут поступать от источника программы и поддерживать процесс воспроизведения программы. Подобные функции представляются желательными для использования на приемной стороне для повышения качества работы системы или улучшения обслуживания телезрителей. Некоторые из функций могут оказаться полезными в распределительных сетях для поддержки международного обмена программами, в условиях предоставления масштабируемых услуг или для использования в сценарии реализации одновременного вещания.

### **4.6.2 Идентификация видов сжатия в звуковых и языковых каналах**

Синтаксис транспортного уровня позволяет задавать карту программы, которая позволяет идентифицировать отдельные звуковые программы по используемому алгоритму сжатия, а также идентифицировать многоязыковые каналы, которые могут выбираться зрителем или распределительной сетью. Требование идентификации алгоритма сжатия позволяет производить выбор нужных звуковых программ (монофонические и стереофонические программы, программы окружающего звука) и скоростей передачи, подходящих для передачи соответствующей программы.

### **4.6.3 Информация о программах**

Услуга информации о программах может предоставляться как услуга вспомогательных данных со своим идентификатором PID. Эта информация может принимать форму электронной программы передач, которую поставщик услуг адресует различным группам зрителей. Обновление требуемой информации может происходить с низкой частотой, благодаря чему для ее передачи будет затрачиваться незначительная доля пропускной способности канала.

### **4.6.4 Субтитры**

Передача субтитров, как и передача звука, сопровождающего видеосигнал, должна быть синхронизирована с каждым телевизионным кадром. Субтитровая информация должна быть снабжена однозначной идентификацией, и ее следует передавать в виде данных пользователя на уровне передачи видеосигнала. Однако значения используемых для этого PES-пакетов или секций, необходимых для унификации обработки субтитровой и других видов информации в приемнике, будут рассмотрены далее.

### **4.6.5 Скрытые субтитры**

Передача скрытых субтитров является услугой, которая предназначена для лиц с ослабленным слухом. Как и субтитровая информация общего назначения, информация скрытых субтитров должна быть синхронизирована с каждым телевизионным кадром и снабжена однозначным идентификатором, и ее следует передавать в виде данных пользователя на уровне передачи видеосигнала. Однако в синтаксисе MPEG-2 ничто не препятствует передаче информации скрытых субтитров с использованием отдельного PID, и в некоторых приложениях это может иметь определенные преимущества перед передачей субтитров на уровне видеосигнала. Значения используемых PES-пакетов или секций, необходимых для поддержки унификации процессов обработки субтитровой и других видов информации в приемнике, будут рассмотрены далее.

#### **4.6.6 Идентификация программ и источников программ**

Информация, относящаяся к идентификации источников программ и собственно программ, имеет множество применений. Одно из применений состоит в обеспечении зрителю возможности автоматического доступа к программированию видеозаписи с отложенным на определенное время воспроизведением. Источник программы и сама программа должны идентифицироваться единственным образом, и информация об идентификации должна передаваться в виде услуги дополнительных данных со своим собственным пакетным идентификатором (PID).

#### **4.6.7 Идентификация условного доступа**

Системы условного доступа могут поддерживаться транспортным синтаксисом с помощью специальных битов, идентифицируемых в заголовке пакета. Информация с данными об условном доступе, включая информацию о ключе, должна однозначно идентифицироваться и передаваться как частные данные.

#### **4.6.8 Информация о структуре изображения**

Некоторые компании, заинтересованные в реализации услуг ЦНТВ, хотели бы обеспечить передачу определенного набора масштабируемых программ для использования в различных условиях приема. Сжатые и кодированные видеосюжеты могут также стать основой единого формата обмена программами. Применяемый видеосинтаксис позволяет передавать детали структуры дискретизации изображения, используемой при его кодировании, включая число элементов изображения в строке, число строк в кадре, частоту кадров, вид развертки (прогрессивный или чересстрочный) и формат кадра; благодаря этому один программный материал может использоваться в широком спектре приложений.

#### **4.6.9 Колориметрия**

Передача информации о колориметрических характеристиках кодируемого изображения может обеспечиваться на уровне видеосюжетов. Эта информация включает в себя описание параметров основных цветов, характеристику передачи уровней и коэффициентов цветовой матрицы, что позволяет приемному устройству правильно воспроизводить изображения, получаемые от источников с различной колориметрией.

#### **4.6.10 Идентификация цветовых полей**

На начальном этапе внедрения услуг ЦНТВ ведущее положение на рынке будут занимать обычные телевизионные приемники, причем их присутствие на рынке сохранится в течение десятилетий. В то же время, преимущества системы ЦНТВ могут привести к желанию обеспечить прием программ ЦНТВ на существующие стандартные (NTSC, PAL или SECAM) телевизионные приемники.

Применяемый видеосинтаксис предусматривает передачу информации о цветовых полях, что помогает декодеру транскодировать видеосюжеты в программы, совместимые с обычными системами цветного телевидения, но с пониженным уровнем артефактов, особенно в тех случаях, когда исходные видеосюжеты были получены из связанного между собой программного материала.

#### **4.6.11 Смена сюжета и точки чистой вставки**

Для повышения эффективности кодирования в некоторых кодерах могут использоваться алгоритмы автоматического обнаружения смены сюжета. Такая информация о смене сюжетов, если она сохраняется при производстве программ, может оказаться полезной для видеокодера как на уровне сжатия, так и на транспортном уровне. Эта информация может оказаться полезной и в системах распределения для опознавания точек цифрового потока, где происходит переключение источников передаваемых цифровых потоков.

Кроме места смены сюжетов, в передаваемом цифровом потоке необходимо опознавать еще такие точки, в которых переключение источников передаваемых цифровых потоков либо замена пакетов может происходить без заметного нарушения работы приемника. Эти точки называют "точками чистой вставки"; они могут быть полезными для поставщиков услуг нисходящего потока (местного, национального или регионального), когда требуется произвести модификацию общественных или сетевых программ, чтобы адаптировать их для местного использования.

#### **4.6.12 Частота полей/кадров и частота кадровен в кинофильмах**

Системы, предназначенные для применения в среде с частотой 60 герц, можно оптимизировать для передачи видеосюжетов на основе кинофильмов, обеспечив передачу значения частоты кадров кодируемого цифрового потока. При этом в кодерах достигается максимум эффективности кодирования благодаря тому, что из передачи исключаются избыточные поля и декодерам сообщается о правильном порядке воспроизведения декодируемых изображений. В синтаксисе частоты кадров ЦНТВ на уровне видеосюжетов предусматривается поддержка для частот кадров 23,976 (24 : 1,001), 24, 25, 29,97 (30 : 1,001), 50, 59, 59,94 (60 : 1,001) и 60 Гц и возможность расширения этих значений в будущем.

#### **4.6.13 Автопанорамирование**

На начальной фазе широкоэкранный вещания с форматом кадра 16:9 на рынке будут доминировать телевизионные приемники с форматом экрана 4:3, и они будут занимать значительную часть этого рынка еще в течение многих десятилетий. Преимущества широкоэкранных программ ЦНТВ могут породить желание сделать их доступными для существующих (аналоговых в своей основе) телевизоров и других устройств отображения с форматом кадра 4:3.

Информация об автопанорамировании (pan and scan) может передаваться как расширение синтаксиса на уровне изображения. Такое относящееся к автопанорамированию расширение позволит декодеру определять прямоугольную область, которая может быть выбрана из полного кодированного изображения, и тем самым создавать окно с форматом 4:3 внутри кодированного изображения с форматом 16:9.

#### **4.6.14 Точки произвольного входа в сжатый цифровой поток**

Точки произвольного входа в программные цифровые потоки, как, например, в звуковые или видеопотоки, необходимы для поддержания таких функций, как настройка на программу и переключение программ. Создание точек произвольного входа в программный поток возможно только при условии, что кодирование элементарного цифрового потока данной программы непосредственно поддерживает эту функцию. Например, цифровой видеопоток ЦНТВ может поддерживать режим произвольного входа благодаря принципу внутрикадрового кодирования (изображения, или I-кадры кодируются без какого-либо предсказания и поэтому могут декодироваться без какой-либо предварительной информации). Начало заголовка видеосюжета, за которым следует информация I-кадра, может служить точкой произвольного входа в элементарный цифровой видеопоток. В общем, точки произвольного входа должны также совпадать с началом PES-пакетов, независимо от того, используются ли они, например, для видео и звука. Поддержка точки произвольного входа на транспортном уровне обеспечивается соответствующим флагом в заголовке адаптации пакета, который указывает, содержит или не содержит данный пакет такую точку для элементарного цифрового потока. Кроме того, полезная нагрузка пакетов, представляющих точки произвольного входа, также начинается с данных, которые образуют точки произвольного входа в самом элементарном цифровом потоке. Благодаря этому имеется возможность выбрасывать пакеты непосредственно на транспортном уровне в случае переключения каналов и поиске точки в цифровом транспортном потоке для повторной синхронизации, а также упрощает поиск точки произвольного входа в элементарный цифровой поток после установления повторной синхронизации на транспортном уровне.

Главная цель состоит в том, чтобы точки произвольного входа встречались в программе как можно чаще, что необходимо для обеспечения быстрого переключения каналов.

#### **4.6.15 Вставка местной программы**

Эта функция имеет важное значение для переключения пакетов в нисходящих потоках (для вставки местных программ, таких как сообщения служб общего пользования или реклама) в существующий цифровой поток. В общем, в элементарных цифровых потоках существуют только строго определенные фиксированные точки, где разрешается вставка местных программ. Точка вставки местной программы должна быть точкой произвольного входа, однако не все точки произвольного входа годятся для вставки программ. Например, чтобы разрешить вставку местной программы, VBV\_delay (video buffer verifier delay – указатель задержки верификатора видеобуфера) должен быть не просто точкой произвольного входа, но должен еще принадлежать конкретному системно определенному уровню.

Параметр `VBV_delay` может вычисляться и передаваться как часть данных заголовка для изображения в сжатом видеопотоке. Этот параметр показывает, каким должен быть уровень наполнения видеобуфера декодера перед тем, как биты текущего изображения начнут извлекаться из буфера и использоваться для синхронизации процессов в кодере и декодере. Это необходимо для управления памятью, которая требуется декодеру для временного хранения данных, а также для предотвращения переполнения или опустошения буфера. Вставка местной программы производится всегда на уровне транспортных пакетов, где точки стыка цифровых потоков выравниваются по пакетам. Реализация вещателем процесса вставки программы осуществляется с помощью поля обратного отсчета до точки стыка (`splice_countdown`) в заголовке адаптации, в котором заранее указывается число пакетов для обратного счета до пакета, после которого становится возможной склейка потоков и вставка местной программы. Вставка местной программы обычно приводит к нарушению непрерывности значений меток времени PCR, принимаемых декодером. Поскольку такое изменение в последовательности PCR совершенно непредсказуемо (изменение значений PCR обычно ожидается только при смене программы), тактовый сигнал декодера может полностью выйти из синхронизма. Чтобы этого не происходило, в заголовке адаптации первого пакета после точки склейки передается специальная информация, которая уведомляет декодер об изменении значений PCR (благодаря чему декодер может непосредственно изменить фазу тактового генератора, а не делать попытку изменить его частоту). Кроме того, имеются ограничения на:

- длину цифрового потока, который должен быть "вклеен", чтобы гарантировать соответствующее наполнение буфера декодера как при склейке, так и в ее отсутствие, и
- начальное значение параметра `VBV`, принимаемое при кодировании "вклеиваемого" цифрового потока, чтобы исключить переполнение или опустошение буфера декодера.

#### 4.6.16 Идентификация индивидуальных программ

При организации вещания необходимо одновременно выполнять две существенные функции: функцию непрерывного приема определенного вещательного канала без каких-либо дополнительных действий и функцию автоматического приема или записи отдельной программы. Поэтому необходимо определить новый дескриптор, называемый "дескриптором событий" (Event Descriptor), который требуется для идентификации отдельной программы, поскольку номер программы в системе соответствует номеру канала. Пример этого дескриптора показан на рис. 4.20.

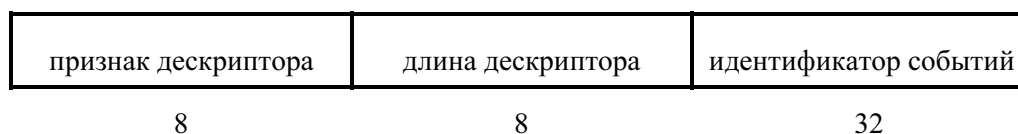


РИСУНОК 4.20

#### Структура дескриптора событий

#### 4.6.17 Другая канальная информация

В системах MPEG-2 каждая программа может приниматься только после того, как полностью приняты таблица объединения программ (PAT) и таблица соответствия программ (PMT), поэтому при выборе или изменении канала происходит задержка. Для ее минимизации в таблицу PAT или в таблицу сетевой информации (NIT) вводится специальный перекрестный индикатор.

Он указывает, относится ли данная таблица PAT или NIT к информации транспортного потока, из которого принимается наблюдаемая программа, или же она имеет отношение к другим транспортным потокам (каналам), которые могут приниматься. Благодаря этой функции информация о других каналах (потоках) может приниматься при просмотре какой-либо программы, что помогает выбирать или переключать каналы.



## ГЛАВА 5

# ФИЗИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ – КАНАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ И МОДУЛЯЦИЯ

### 5.1 Введение

Давно известно, что передача информации в цифровой форме обеспечивает большие преимущества по сравнению с аналоговой передачей. Цифровая модуляция представляет собой естественное развитие наиболее известных аналоговых методов модуляции, таких как амплитудная, частотная и фазовая модуляции. В Рекомендации МСЭ-R ВТ.1306 содержится перечень основных параметров системы модуляции ЦНТВ и приводятся значения параметров или диапазон их значений. Эта Рекомендация позволяет разработчику системы варьировать системные характеристики, чтобы учесть ряд системных ограничений. В указанной Рекомендации предлагаются методы модуляции, применимые как для одной, так и для множества несущих при разных полосах пропускания каналов связи – доступны варианты для каналов 6, 7 и 8 МГц. В данной главе даются разъяснения по проблемам, связанным с выбором системы модуляции для конкретных применений.

### 5.2 Эффективность использования спектра

Общеизвестно, что для реализации системы ЦНТВ, позволяющей доставлять одну программу ТВВЧ или нескольких программ стандартного телевидения (SDTV), требуется цифровой поток 20 Мбит/с (и более). Для того чтобы удовлетворить таким требованиям по цифровому потоку, необходимо обеспечить эффективность использования спектра 4 бит/с/Гц для национальных систем с полосой 6 МГц и 3 бит/с/Гц для национальных систем с полосой 7 или 8 МГц.

Теоретически эффективность использования спектра до 4 бит/с/Гц может быть достигнута с помощью систем 16-КАМ, 4-VSB и 16-ФМн. Эти методы модуляции могут применяться как для модуляции одной несущей одним высокоскоростным цифровым сигналом, так и для модуляции большого числа несущих низкоскоростными модулирующими цифровыми сигналами. Глобальные стандарты передачи могут строиться на основе модуляции как одной, так и множества несущих.

Однако статистика ошибок реальных наземных каналов передачи такова, что в пригодные для практики системы модуляции/передачи должно быть обязательно включено кодирование с предкоррекцией ошибок (ПКО). Функционирование используемых в системе фильтров может еще больше снизить эффективные скорости передачи информации. В результате "чистая" скорость передачи информации будет значительно ниже, чем следует из простых рассуждений на основе теоретической эффективности использования спектра и полосы частот канала связи. При практической реализации системы двухступенчатого канального кодирования может "чистая" скорость передачи может оказаться значительно ниже "валового" значения скорости. Например, схема кодирования на основе решетчатого 2/3-кода (trellis code) с последующим кодированием по Риду-Соломону (207, 187) позволяет получить "чистую" скорость передачи, которая составляет всего 60% от "валовой" скорости.

Это стимулировало рассмотрение более сложных систем модуляции. Усложнение модуляции оправдывается возможностью обеспечить требуемую "чистую" скорость передачи по каналу с высоким уровнем защиты от ошибок. В результате разработчиками было проведено исследование характеристик систем модуляции более высокого порядка, таких как 64-КАМ и 8-VSB.

Эффективность использования спектра определяется не только принципиальной спектральной информационной плотностью системы модуляции для канала заданного вида, выражаемой в единицах "бит/с/Гц", но в очень сильной степени зависит и от характеристик повторного использования частот в конкретной цифровой системе.

К факторам, влияющим на повторное использование частот в данной системе, относятся:

- требуемое отношение  $C/N$  (несущая/шум) в цифровой системе, определяющие уровни мощности передатчика, которые, в свою очередь, ограничиваются необходимостью защитить от помех действующие системы;
- защитные отношения по совмещенному и по соседнему каналу для действующих и новых служб;

- способность системы работать в режиме одночастотной сети – в локальном, региональном или национальном масштабе;
- способность системы работать в режиме двухчастотной сети.

### **5.3 Методы модуляции**

#### **5.3.1 Общие соображения**

Среди обобщенных методов модуляции (*m*-VSB, *m*-QAM, *m*-PSK, *m*-DAPSK) метод *m*-PSK (*m*-ФМн) требует более высокой мощности передачи (что может обострить проблемы планирования каналов) и поэтому не является предпочтительным. Системы модуляции QAM (КАМ) и VSB предъявляют аналогичные требования к мощности передатчика и шумовым характеристикам.

Эти системы модуляции могут применяться как для высокоскоростной модуляции одной несущей, так и для низкоскоростной модуляции большого количества несущих. В настоящее время большая часть усилий исследователей в области ЦНТВ направлена на системы с одной несущей, использующие модуляцию 8-VSB, и системы со множеством несущих, использующие модуляцию 16-КАМ, 64-КАМ или даже 256-КАМ.

В обоих случаях исследовательская работа проводится с учетом опыта, приобретенного в других областях. Опыт работы по системам КАМ и КФМн с одной несущей был получен от решения прикладных задач в области наземной и спутниковой СВЧ связи. Хотя опыт работы по системам со множеством несущих был получен от разработки высокочастотных модемов для военных применений и для телефонии, в настоящее время он пополняется знаниями, полученными при разработке системы цифрового звукового радиовещания в Европе.

Поскольку в телевизионных каналах диапазонов ОВЧ и УВЧ могут возникать серьезные помехи, условия передачи ЦНТВ могут оказаться значительно более тяжелыми, чем при спутниковой или кабельной передаче.

#### **5.3.2 Модуляция одной несущей (МОН)**

Метод модуляции для системы с одной несущей, предложенный для системы ATV в США, а именно 8-VSB (vestigial sideband), т. е. метод 8-уровневой модуляции с частично подавленной боковой полосой, был выбран после сравнительных испытаний с методом КАМ, показавших, что с общетехнической точки зрения метод 8-VSB обеспечивает лучшие характеристики вещания в условиях одновременной работы аналогового телевизионного вещания. Этот метод модуляции предоставляет средства для передачи высокоскоростного 8-уровневого сигнала основной полосы частот. Для компенсации эффектов многолучевого распространения в системах с одной несущей (МОН) в приемных устройствах зачастую приходится использовать адаптивные корректоры, что будет рассмотрено ниже.

##### **5.3.2.1 Модуляция 8-VSB**

Схема модуляции с одной несущей 8-VSB в целом характеризуется следующим: по каналу с шириной полосы частот 6 МГц передается 19,29 Мбит/с.

Последовательный цифровой поток образуется из MPEG-совместимых пакетов данных длиной по 188 байтов. После обработки, включающей в себя рандомизацию и предкоррекцию ошибок (ПКО), пакеты данных формируются в "циклы данных", к которым добавляется "синхронизация сегментов данных" и "синхронизация полей данных".

Любой цифровой цикл состоит из двух полей данных, каждый из которых содержит 313 сегментов данных. Первый сегмент данных в каждом поле данных служит синхронизирующим сигналом, который включает в себя также обучающую последовательность, используемую корректором канала в приемнике. Каждый из остальных 312 цифровых сегментов переносит информацию, эквивалентную одному 188-байтовому транспортному пакету плюс соответствующую служебную информацию предкоррекции ошибок (ПКО).



Каждый сегмент содержит 832 символа. Первые четыре символа передаются в двоичной форме и обеспечивают синхронизацию сегмента. Этот синхронизирующий сигнал сегмента данных представляет также синхробайт в совместимом 188-байтовом транспортном пакете MPEG-2. Остальные 828 символов каждого сегмента данных переносят информацию, соответствующую остальным 187 байтам транспортного пакета с учетом служебных данных для предкоррекции ошибок. Эти 828 символов передаются как 8-уровневые сигналы, так что на каждый символ приходится по три бита. В итоге символьная скорость составляет 10,76 Мсимвол/с, а скорость передачи данных – 20,66 цикл/с.

Для поддержки нормальной работы приемника к информационному сигналу добавляется пилот-сигнал с частотой приблизительно на 310 кГц ниже нижней границы полосы частот.

Эксплуатационные показатели работы системы обуславливаются применением фильтра Найквиста в связанных между собой передатчике и приемнике, что дает линейную фазовую характеристику, а амплитудно-частотную характеристику в виде приподнятого косинуса. В полосе пропускания системный фильтр фактически имеет плоскую характеристику, за исключением переходных зон на ее границах. Поскольку передаваемый сигнал по своей природе является сигналом с частично подавленной боковой полосой, то не требуется обеспечивать одинаковую избирательность фильтра на обеих сторонах полосы частот канала, хотя этот параметр и должен иметь согласованные значения, поскольку приемник должен быть приведен в соответствие с передатчиком. Плавный спад амплитудно-частотной характеристики передатчика определяется применением линейно-фазового фильтра с амплитудно-частотной характеристикой в виде квадратного корня из приподнятого косинуса.

Дополнительное подавление соседнего канала (сверх того, что достигается подавлением одной боковой полосы) может быть достигнуто с помощью линейно-фазового фильтра на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с плоской амплитудно-частотной характеристикой. Помеха для соседнего канала на выходе промежуточной частоты должна быть не менее чем на 57 дБ ниже требуемой мощности сигнала ATV.

### 5.3.3 Модуляция множества несущих (ММН)

Из предложенных систем ММН наиболее известной является система OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), т. е. система с ортогональным частотным разделением каналов (ОЧРК).

#### 5.3.3.1 OFDM

Принцип OFDM состоит в распределении передаваемой информации по большому числу несущих, каждая из которых модулируется низкоскоростным цифровым потоком. При обычном частотном разделении каналов несущие фильтруются так, чтобы исключить спектральное перекрытие. В результате этого исключаются межсимвольные помехи между несущими, но весь имеющийся спектр используется не с максимальной эффективностью. Если же разнос между несущими выбран так, что сигналы несущих оказываются ортогональными за период символов, то символы можно будет восстановить без взаимных помех даже при определенном спектральном перекрытии. Для достижения максимальной эффективности использования спектра разнос несущих должен быть равен обратной величине периода символов. Набор мультиплексированных несущих может без особого труда генерироваться цифровым способом с помощью обратного быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Предпочтительные варианты реализации БПФ базируются на алгоритмах, использующих счисление по основанию 2 или 4, либо некоторую их комбинацию. Это приводит к тому, что число несущих, генерируемых в реальных системах OFDM, оказывается равным некоторой степени числа 2. В качестве примера можно привести системы с числом несущих 2048 (2k) и 8192 (8k). Однако число действительно передаваемых несущих всегда меньше максимально возможного числа, поскольку некоторые несущие на обеих границах канала не используются. Эти неиспользуемые несущие образуют защитные частотные полосы, которые позволяют осуществлять реальную фильтрацию сигнала по промежуточной частоте (ПЧ). Активные несущие служат для передачи данных или синхронизирующей информации. Для модуляции активных несущих может использоваться любая схема цифровой модуляции, например КФМн, *n*-КАМ или *n*-DAPSK, где *n* обычно равно 16 или 64.

Система OFDM, имеющая в своей основе множество несущих, позволяет использовать относительно длительные символьные периоды – около 224 мкс в системе 2k. Такой продолжительный символьный период обеспечивает определенную степень защиты от межсимвольных помех, вызываемых многолучевым распространением. Но этот уровень защиты может быть существенно повышен с помощью защитного интервала. Защитный интервал образуется путем циклического удлинения символа. В простейшей форме циклическое удлинение достигается путем добавления начальной части символа к его концу. Защитные интервалы для систем 2k и 8k составляют 1/32 от символьного периода (7/28 мкс), 1/8 от символьного периода (28/112 мкс), 1/4 от символьного периода (56/224 мкс) и 1/2 от символьного периода (112/448 мкс). По мере увеличения доли символа, используемой для защитного интервала, пропускная способность канала передачи уменьшается.

Однако если используется система с бóльшим числом несущих, символьный период увеличивается, и при той же доле защитного интервала происходит увеличение защиты в абсолютных временных единицах. Например, для системы 8k символьный период составляет 896 мкс и защитный интервал, равный 1/4 символьного периода, будет иметь длительность 224 мкс. Но увеличение числа несущих приводит к усложнению приемника и затрудняет слежение за изменяющимися во времени каналами, так что приходится искать компромиссные решения. На рис. 5.1 показано, как окно выборки БПФ, которое эквивалентно символьному периоду, может быть размещено в пределах символа и защитного интервала, чтобы минимизировать межсимвольные помехи (ISI).

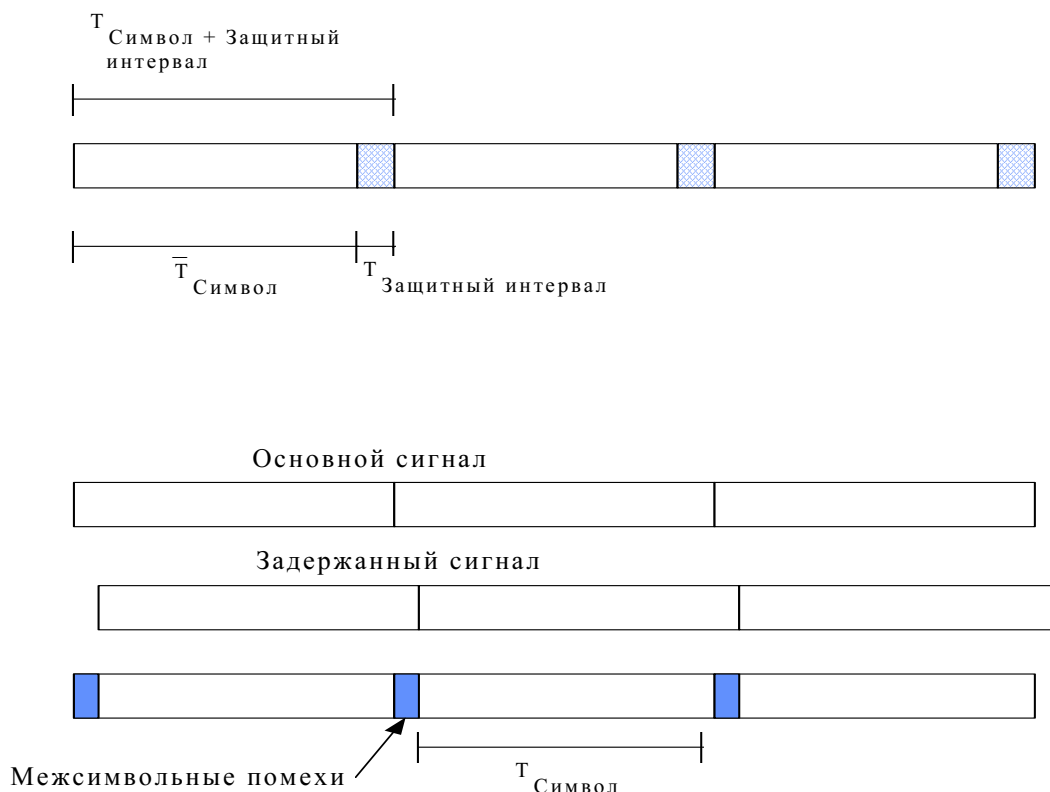


РИСУНОК 5.1

### Использование защитного интервала

Система OFDM в сочетании с соответствующим канальным кодированием (кодированием с коррекцией ошибок) может обеспечивать очень высокий уровень защиты от многолучевого распространения и от помех в совмещенном канале, порождаемых, например, сигналами NTSC, PAL и SECAM. Системы OFDM обладают также высокой гибкостью с точки зрения вещателя, поскольку позволяют осуществлять обмен между значением цифрового потока и уровнем защиты в зависимости от характера предоставляемых услуг. Например, можно организовать мобильный прием сигнала OFDM, если учесть такие факторы, как скорость транспортного средства, разнос между несущими, скорость передачи информации и схема модуляции, тогда как для условий стационарного приема могут применяться схемы модуляции более высокого порядка и, как следствие, могут передаваться бóльшие цифровые потоки.

Сигналы OFDM позволяют также создать одночастотную сеть (SFN). Это становится возможным благодаря нечувствительности сигналов OFDM к многолучевому распространению. Работа в режиме SFN возможна в том случае, когда один и тот же (по времени и частоте) сигнал излучается множеством передатчиков. При этом, если какая-либо точка приема окажется в перекрывающихся зонах охвата передатчиков, то самые слабые принимаемые сигналы будут действовать как опережающие или отстающие эхо-сигналы относительно более мощного сигнала. Однако если передатчики достаточно удалены друг от друга, то задержка между принимаемыми сигналами может оказаться большой, и для системы может потребоваться более длительный защитный интервал.

Выбор основных параметров системы OFDM определяется требованиями работы в режиме SFN.

Для обеспечения ортогональности разнос несущих в системе OFDM должен быть обратно пропорционален длительности символа, и именно по этой причине число несущих в канале определяется длительностью символа. Для получения приемлемой скорости передачи полезной информации максимальный используемый защитный интервал должен составлять приблизительно 1/4 активной длины символа. В системе SFN сигналы от различных передатчиков, попадающие вне защитного интервала, будут приводить к появлению помех.

В системах OFDM могут применяться два основных метода цифровой модуляции. Первый метод использует модуляцию  $n$ -КАМ, синхронизирующие сигналы и "разбросанные пилот-сигналы". Второй метод использует модуляцию  $n$ -DAPSK и несколько непрерывных пилот-несущих. В обеих системах предусмотрен также перенос информации, содержащей сигнализацию о параметрах передачи (TPS). В TPS включена информация о передаваемом сигнале, например скорость кодирования и тип модуляции. На рис. 5.2 показаны диаграммы, позволяющие сопоставить диаграммы созвездий для различных систем модуляции.

Хотя использование защитных интервалов и устраняет межсимвольные помехи в условиях многолучевого распространения, они не позволяют устранить влияние частотно-избирательного замирания. В этих условиях происходит искажение амплитуды и фазы каждой несущей. Если приемник OFDM должен выполнить когерентную демодуляцию сигнала, ему требуется выполнять коррекцию фазы и амплитуды каждой несущей. После быстрого преобразования Фурье эта задача может быть решена с помощью простого корректора. Такой процесс носит название "оценка и коррекция канала". Для оценки канала и, как следствие, для коррекции сигналов КАМ и DAPSK предлагаются различные методы. В системе  $n$ -КАМ используется набор специальных пилот-сигналов, разбросанных в частотной и временной области, в сочетании с интерполяционной фильтрацией для оценки характеристик канала. В системе  $n$ -DAPSK характеристика канала формируется отдельно по каждой несущей на основе данных, полученных с использованием методов простой рекурсивной фильтрации для оценки и коррекции фазовых и амплитудных ошибок. Имеется еще один метод, который обходится без пилот-несущих и состоит в фильтрованной оценке канала и демодуляции с решающей обратной связью. В нем используется схема быстрой оценки канала на основе OFDM символов, которая может быстро адаптироваться к изменениям канала. Поскольку пилот-сигналы не применяются, может быть достигнута более высокая эффективность использования спектра.

В случае частотно-избирательного замирания или при действии на сигнал OFDM помех от аналоговых сигналов в совмещенном канале, некоторые несущие будут искажаться в большей степени, чем другие. Как видно из рис. 5.4, в случае частотно-избирательного замирания отношение  $S/N$  для одних несущих будет меньше, чем для других. В случае помех в совмещенном канале несущие OFDM, расположенные вблизи несущих изображения и звука аналоговой программы, будут подвержены действию помех в значительно большей степени, чем остальные несущие OFDM сигнала. Оценка состояния канала представляет собой процесс оценки того, насколько каждая несущая подвержена комбинированному воздействию частотно-избирательного замирания и помех. Эта информация об оценке состояния канала может поступать в подсистему коррекции ошибок, которая может использовать данную информацию для мягкого решения об изменении каждого восстанавливаемого бита полезной информации. Алгоритм декодирования Витерби, указанный для внутреннего декодера системы коррекции ошибок, идеально подходит для использования информации о мягком решении, формируемой подсистемой оценки состояния канала.

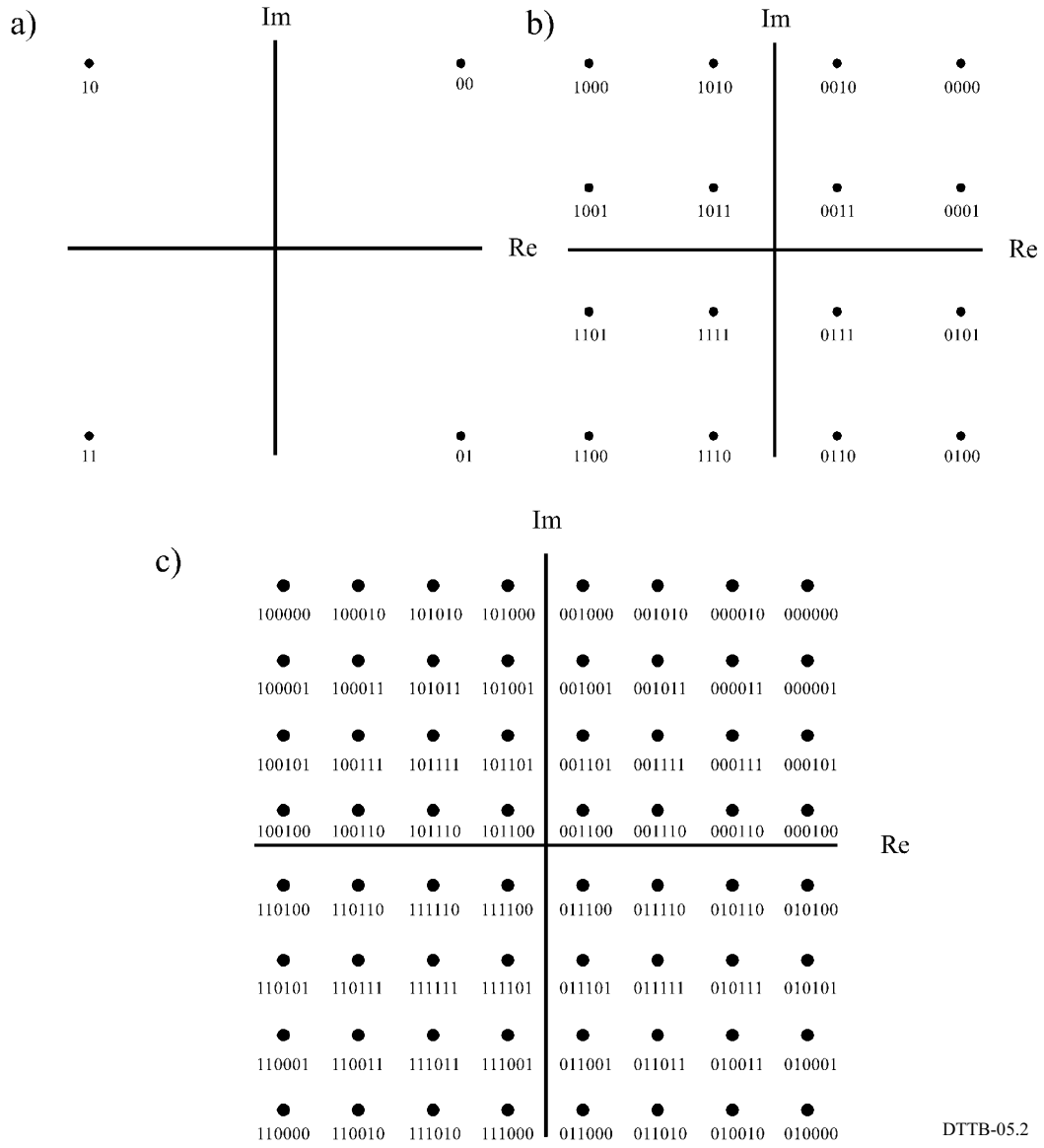


РИСУНОК 5.2

Сравнение диаграмм созвездий для разных видов модуляции

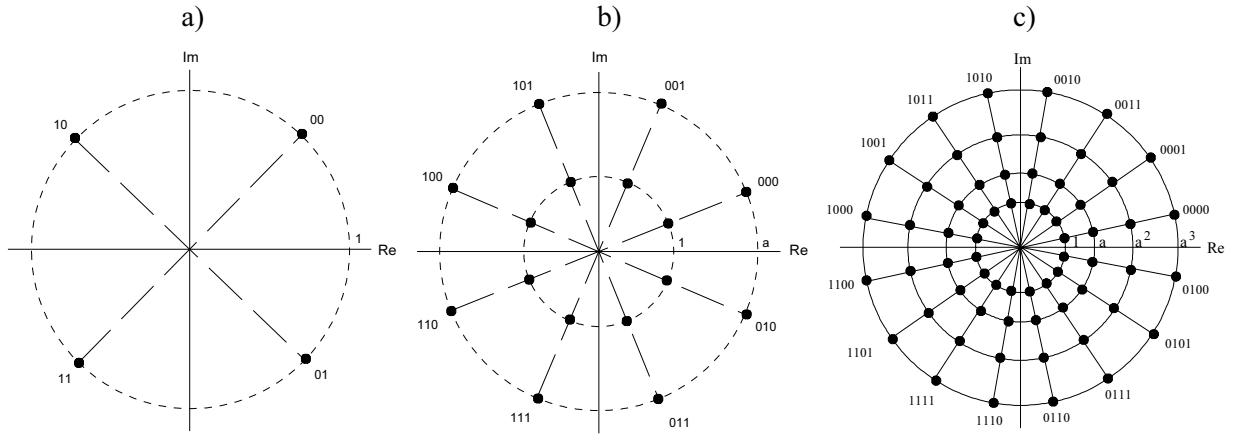
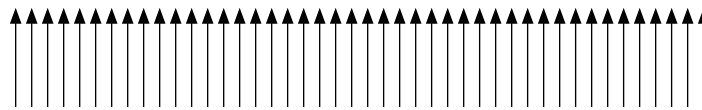
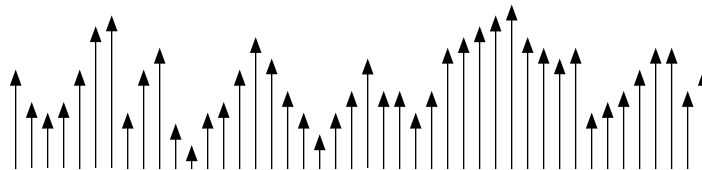


РИСУНОК 5.3

Диagramмы созвездий для систем модуляции а) DPSK, б) 16-DAPSK и в) 64-DAPSK



Амплитуды несущих до замирования



Амплитуды несущих в результате замирования

РИСУНОК 5.4

Влияние частотно-избирательного замирования на амплитуды несущих

В табл. 5.1 приводятся типовые наборы характеристик систем OFDM, использующих канал 8 МГц с соответствующими защитными интервалами. Приведенные в колонках таблицы скорости передачи даны в Мбит/с.

ТАБЛИЦА 5.1  
Сравнение систем декодирования с мягким решением  
(требуемые отношения  $C/N$  для получения  $BER = 2 \times 10^{-4}$  после декодера Витерби)

	4-KAM <sup>(1)</sup>				4-DPSK			
Скорость кода	Скорость передачи <sup>(2)</sup>	Канал AWGN	Канал Райса	Канал Рэля	Скорость передачи	Канал AWGN	Канал Райса	Канал Рэля
1/2	4,7	2,7	3,2	4,6	5,4	5,4	6,0	7,4
2/3	6,3	4,3	4,8	7,0	<b>7,1</b>	<b>7,1</b>	<b>7,9</b>	<b>10,8</b>
3/4	<b>7,1</b>	<b>5,3</b>	<b>5,9</b>	<b>9,7</b>	8,1	8,1	9,1	13,3
	16-KAM <sup>(1)</sup>				16-DAPSK			
1/2	9,4	8,2	8,8	10,8	10,8	13,5	14,0	16,2
2/3	12,5	10,5	11,0	14,3	<b>14,3</b>	<b>16,0</b>	<b>16,5</b>	<b>19,2</b>
3/4	<b>14,1</b>	<b>11,5</b>	<b>12,3</b>	<b>16,1</b>	16,1	17,3	17,7	21,0
	64-KAM <sup>(1)</sup>				64-DAPSK			
1/2	14,1	13,5	14,1	16,0	16,1	18,4	19,2	21,2
2/3	18,8	15,7	16,4	19,6	<b>21,5</b>	<b>21,5</b>	<b>21,8</b>	<b>24,3</b>
3/4	<b>21,2</b>	<b>17,3</b>	<b>17,9</b>	<b>22,2</b>	22,8	22,8	23,5	26,8

<sup>(1)</sup> Для модуляции типа KAM использованы оценки идеального канала.

<sup>(2)</sup> Для модуляции типа M-KAM скорости передачи рассчитаны при условии, что используются оценки реального канала. Объем служебной информации для пилотных ячеек и синхронизирующих символов составляет около 12,4%.

Путем введения пилотных несущих, разбросанных по времени и частоте, приемник может использовать для отслеживания изменений свойств канала временную и частотную интерполяцию. Пилотные несущие могут также использоваться в приемнике для коррекции фазовых ошибок.

### 5.3.3.2 Передача с сегментированием полосы частот на основе ортогонального частотного разделения каналов (BST-OFDM)

Не обязательно, чтобы весь ансамбль несущих OFDM был непрерывным. Можно опустить некоторые несущие в непрерывном ансамбле несущих, чтобы минимизировать помехи в совмещенном канале, создаваемые удаленным аналоговым сигналом или воздействующие на него. Сигнал OFDM можно сегментировать и комбинировать в пределах полосы частот при условии сохранения ортогональности. Предложенный метод "передачи с сегментированием полосы частот" (BST) представляет собой пример того, как с его помощью можно обеспечить гибкость в использовании частотного ресурса (т. е. обеспечить применение свободных канальных интервалов перегруженной полосы частот) и создать возможности для будущего развития систем.

#### 5.4 Канальное кодирование (кодирование с коррекцией ошибок)

Правильно спроектированное канальное кодирование может использоваться для уменьшения ошибок в системах модуляции с одной, так и с множеством несущих.

В системах МОН (с одной несущей) обычно передается специальная обучающая последовательность, которая облегчает сходимость адаптивного корректора и синхронизацию системы. В системах ММН (с множеством несущих) обычно передаются опорные сигналы для получения информации о состоянии канала, что облегчает коррекцию в частотной области и синхронизацию.

Для получения адекватных характеристик системы ATV в пороговой точке с отношением несущая/шум 15–16 дБ требуется каскадная схема кодирования, обеспечивающая снижение коэффициента ошибок в гауссовом канале до  $BER = 10^{-11}$ . В методе каскадного кодирования используются два уровня предкоррекции ошибок: "внутреннее" модуляционное кодирование и "внешнее" кодирование с коррекцией ошибок передачи символов. Кроме того, применяются схемы перемежения и деперемежения, позволяющие полностью реализовать корректирующие способности кодов ПКО.

Присутствие различных источников помех, в общем, требует использования сложных стратегий кодирования с коррекцией ошибок, работающих с большой глубиной перемежения. При решении этих задач могут применяться одиночные или каскадные коды.

Схемы каскадного кодирования с коррекцией ошибок состоят из внутреннего кодера, схемы перемежения и внешнего кодера. Чтобы создать полную систему кодирования, максимально приспособленную к использованию в каналах наземного вещания, требуется взаимосвязанная разработка всех составных частей каскадного кодирования. По этой причине желательно рассматривать каскадное кодирование как единое целое, не подразделяя его на внутреннее и внешнее кодирование в источнике и звеньях канала.

На данном этапе разработки в качестве внутреннего модуляционного кода прежде всего предлагались решетчатые коды. Рассматривались скорости кодирования 2/3, 3/4 и 7/8. В качестве альтернативы возможно применение более сложного турбокода, который при данном уровне защиты от ошибок позволяет понизить расход цифрового потока на передачу служебной информации.

В области внешнего кодирования с коррекцией ошибок был достигнут консенсус в отношении использования кодов Рида-Соломона. Хотя специалистами, поддерживающими различные системы, были предложены разные длины блоков и интервалы коррекции, тем не менее пришли к практически полезному выводу, что ряд различных кодов Рида-Соломона мог бы обрабатываться бы с помощью единой рационально спроектированной интегральной схемы и что это могло бы стать отправной точкой для стандартизации.

В большинстве систем, которые рассматривались для применения в ЦНТВ, для внешнего кодирования используется метод Рида-Соломона. В системе с полосой 6 МГц применяется код Рида-Соломона (207, 187), а в других системах используют код Рида-Соломона (204, 188). В будущих разработках могут найти применение и другие структуры кодов Рида-Соломона.

Как уже было указано ранее, присутствие различных канальных искажений требует применения достаточно сложных стратегий кодирования с коррекцией ошибок. Однако подсистема кодирования с коррекцией ошибок уже была специфицирована для европейских спутниковых и кабельных систем. Чтобы обеспечить максимальную совместимость по приемникам, было решено использовать в европейской системе OFDM такую же коррекцию ошибок, что и в базовой спутниковой системе DVB, с добавлением внутреннего частотного перемежения. В результате была предложена стратегия каскадного кодирования Витерби – Рида-Соломона с частотным перемежением между двумя кодами.

Устройство внутреннего перемежения осуществляет перемешивание символов БПФ. Оно работает с одним символом БПФ в каждый момент времени и, таким образом, выполняет функции только частотного перемежения. Устройство перемежения работает поразрядно и обеспечивает перемешивание битов между модулированными символами на несущих OFDM. Задачей внутреннего перемежения является улучшение характеристик системы в тех случаях, когда канал подвергается частотно-избирательному замиранию или воздействию помех в совмещенном канале. Устройство перемежения должно "размывать" кластеры ошибок, порождаемых несущими с низкими отношениями  $S/N$  или  $S/I$ .

Внутренним кодом для коррекции ошибок является сверточный код и, как это определено в базовом стандарте на спутниковые системы, этот код может декодироваться с помощью алгоритма декодирования Витерби. Для увеличения полезной пропускной способности внутренний код может быть выколотым. Скорости выколотога кода и его структуры выбраны в соответствии с базовым стандартом на спутниковые системы DVB. Использование оценки состояния канала и информации для мягкого решения, полученных в точках приема данных, позволяет значительно улучшить характеристики передачи. Информация о состоянии канала может быть получена различными путями, в том числе на основе информации о коррекции амплитуд, генерируемой для когерентной демодуляции каждой несущей OFDM.

Если способность алгоритма Витерби в части коррекции канальных ошибок оказывается недостаточной, он порождает пакеты ошибок. Поэтому внешнее кодирование должно обеспечивать коррекцию таких пакетов ошибок. Для решения этой задачи предназначены коды Рида-Соломона (RS). Конкретно был выбран код RS ( $k = 188$ ,  $n = 204$ ). Коды RS используют символы длиной 8 битов (байты). Используются кодовые слова длиной  $n$ , содержащие  $k$  байтов полезных данных и  $n - k$  избыточных байтов. Следовательно, скорость кода  $R$  составляет  $k/n$ , и данный код обладает способностью корректировать  $t = (n - k)/2$  байтов с ошибками; в случае кода RS (204, 188) это означает, что могут быть скорректированы 8 байтов с ошибками.

Поскольку пакеты ошибок на выходе декодера Витерби обычно оказывают влияние более чем на один байт, между внутренним и внешним кодами применяется дополнительное перемежение. Этот перемежитель также определен в соответствии с базовым стандартом DVB на спутниковые системы. В таком сверточном перемежителе происходит перемещение байтов данных.

Схемы кодирования с коррекцией одиночных ошибок позволяют снизить требования к объему памяти с произвольным доступом (RAM) и уменьшить стоимость декодеров. Некоторые блочные коды имеют почти такие же характеристики, что и каскадные коды, и для реализации блочного кодирования выпускаются соответствующие декодирующие БИС.

### **5.5 Сравнение первых реализаций систем с одной и множеством несущих**

В системах МОН данные, несущие полезную информацию, модулируют одну несущую, которая занимает весь радиочастотный канал. В системах ММН символы, промодулированные методом КАМ, используются для низкоскоростной модуляции множества одновременно передаваемых несущих.

В частотно-временной области между системами ММН и МОН существует интересная двойственность. Можно считать, что система ММН реализуется в частотной области, а система МОН – во временной области.

Одно из проявлений частотно-временной двойственности состоит в том, что для предотвращения межсимвольных помех в системе МОН необходимо резервировать часть спектра для образования импульсов требуемой формы (в частотной области), в то время как в системе ММН необходимо предусматривать защитные интервалы (во временной области).

В каналах МОН, подверженных искажениям из-за многолучевости, обычно передается обучающая последовательность, которая помогает обеспечить сходимость адаптивного корректора и синхронизацию системы. Для ослабления влияния помех в совмещенном канале от ЦНТВ и аналогового телевидения могут также применяться адаптивные корректоры и направленные приемные антенны с большим коэффициентом усиления.

В каналах ММН обычно передаются пилотные несущие, которые позволяют получить информацию о состоянии канала, необходимую для коррекции в частотной области и синхронизации. Если шум канала является аддитивным белым и гауссовым, то характеристики систем ММН и МОН оказываются сопоставимыми по коэффициенту ошибок BER.

Применение в системах ММН защитных интервалов позволяет почти полностью устранить межсимвольные помехи, но при этом также снижается информационная пропускная способность. Для минимизации таких потерь должен быть увеличен интервал быстрого преобразования Фурье (БПФ). Однако интервал БПФ ограничивается скоростью обработки цифрового сигнала, стоимостью и фазовым шумом приемника. Для компенсации частотной избирательности канала может применяться одноотводный корректор, работающий в частотной области, в комбинации с декодером Витерби, использующим мягкие решения на основе информации о состоянии канала. Эффективность перемежения также является критическим фактором, влияющим на характеристики системы. Поиск оптимальных кодов для систем с QAM-OFDM высокого порядка все еще продолжается.

Еще подлежат определению характеристики систем МОН и ММН при комбинированном воздействии шума, помех в совмещенном канале от аналогового телевидения и искажений при повышенной многолучевости.



### 5.5.1 Импульсные помехи

По отношению к маломощным импульсным помехам более устойчивы системы с множеством несущих, поскольку помехи этого типа могут усредняться по всему блоку БПФ. С другой стороны, короткий, но имеющий высокую мощность пакет помех может быть растянут за счет процесса OFDM, что вызовет серьезные искажения в пределах нескольких символьных периодов, соответствующих длительности импульса на всех несущих. Это может вызвать заметное число ошибок. Однако, как уже было указано, результаты полевых испытаний показали, что при надлежащем перемежении и коррекции ошибок этот тип помех не представляет серьезной проблемы.

Системы с одной несущей чувствительны к импульсам во временной области, таким как помехи от грозových разрядов и зажигания автомобилей.

### 5.5.2 Искажения, связанные с многолучевым распространением

В типовых ситуациях приема ЦНТВ многолучевое распространение, вызванное отражениями или неоднородностями в среде распространения, приводит к межсимвольным помехам в необработанном принимаемом цифровом потоке. Многолучевой прием может также проявляться в виде частотно-избирательного замирания в полосе частот канала.

В системах МОН, если не корректировать межсимвольные помехи, происходит уменьшение раскрыва глазковой диаграммы и увеличение минимального отношения  $C/I$ , при котором система способна функционировать.

В практически используемых системах МОН для минимизации влияния искажений из-за многолучевости применяется адаптивный корректор (обычно это корректор с решающей обратной связью). Для его работы требуется обучающая последовательность, которая несколько уменьшает информационную пропускную способность. Адаптивный корректор может настраиваться и без обучающей последовательности путем использования метода неопределенной коррекции. Однако любой адаптивный корректор увеличивает шумовой порог системы при наличии многолучевого распространения. (Адаптивные корректоры могут также снижать воздействие помех в совмещенном канале и по соседнему каналу.)

Системы с одной несущей (МОН), по сути, не подвержены влиянию частотно-избирательного замирания, поскольку оно оказывает влияние лишь на небольшую часть полосы частот, в которой осуществляется прием энергии сигнала.

Системы с множеством несущих (ММН) могут проектироваться с учетом введения защитного интервала, который позволяет почти полностью устранить межсимвольные помехи (из-за многолучевого приема) в широком диапазоне длительностей задержки многолучевых сигналов.

Встречаются два важных случая применения защитных интервалов для снижения межсимвольных помех при многолучевом распространении. Первый случай – когда многолучевое распространение возникает в результате отражений или неоднородностей в среде распространения. В данном случае могут встречаться относительно короткие многолучевые задержки, например, длительностью до 50 мкс. Второй случай – когда используются активные ретрансляторы на частоте канала в качестве составных элементов одночастотной сети (SFN), могут встречаться более длительные многолучевые задержки. (Длительность многолучевых задержек сети SFN будет зависеть от пространственного размещения передатчиков.)

Недостаток использования длительных защитных интервалов (которые могут потребоваться, если учитывать фактическое размещение передатчиков в существующей сети) заключается в том, что при фиксированной общей длительности символа увеличение защитного интервала приводит к снижению информационной пропускной способности в пропорции, равной отношению длительности защитного интервала к общей длительности символа. Для того чтобы избежать потерь информационной пропускной способности, придется увеличивать интервал БПФ, используемого в системе ММН. Это приведет к возрастанию общей длительности символа и к увеличению числа несущих, более плотно укладываемых в канале. Увеличение интервала БПФ потребует применения процессорных интегральных схем (типа процессоров ЦОС, либо конвейерных процессоров сигналов), обладающих большим быстродействием и имеющим увеличенную емкость памяти. Что касается требований БПФ, то современные технологии обеспечивают реализацию до 8000 несущих. Однако более жесткие

требования системы с очень большим числом несущих предъявляют необходимые условия к фазовому шуму приемника. Имеются сведения, что технологии, применяемые в современных бытовых приемниках, позволяют обеспечить удовлетворительное функционирование систем с числом несущих до 8000. При проектировании систем с множеством несущих необходимо также учитывать влияние частотно-избирательных замираний. Даже когда для предотвращения межсимвольных помех используются защитные интервалы, все еще могут возникать внутриполосные замирания, которые могут вызывать серьезные амплитудные и/или фазовые искажения сигналов КАМ высокого порядка. Например, если в системе OFDM без кодирования присутствует очень сильный эхо-сигнал (с уровнем 0 дБ), он может увеличить мощность 2/3 от общего числа OFDM несущих, снизив при этом мощность остальных несущих. Однако эффект от несущих, подвергшихся снижению мощности, превышает положительный эффект от несущих с увеличенной мощностью, так что общий коэффициент ошибок (BER) может достигнуть почти до  $10^{-1}$ , даже если отношение  $C/N$  в системе составляет 12 дБ и более. Но в системах с множеством несущих благодаря кодированию положение резко меняется. Если частотную характеристику канала удастся измерить (например, с помощью обучающей последовательности), то появляется возможность назначить каждой OFDM несущей свое отношение сигнал/шум. Эта информация о состоянии канала может подаваться в систему коррекции ошибок, где она используется для кардинального улучшения характеристик системы при наличии эхо-сигналов.

Наиболее просто реализовать систему с использованием сверточных кодов и декодера Витерби с мягким решением.

В качестве примера возможного улучшения можно привести систему без кодирования, которая отказывалась работать (декодер Витерби перестает работать при коэффициенте ошибок меньше  $10^{-4}$ ) при наличии эхо-сигнала с уровнем  $-4,5$  дБ, но после добавления сверточного кодирования со скоростью 3/4 ( $k = 7$ ) в сочетании с оценкой состояния канала система смогла функционировать при уровне эхо-сигнала 0 дБ. Исследования по поиску оптимальных кодов для QAM-OFDM продолжаются. Области исследования включают в себя определение подходящих скоростей кодирования и коэффициентов перемежения. Одно из заметных преимуществ системы ММН по отношению к системе МОН с адаптивным корректором состоит в том, что система ММН менее чувствительна к изменениям задержки, если только многолучевые сигналы находятся в пределах защитного интервала, а перемежение в состоянии эффективно декоррелировать сигналы, подвергшиеся замиранию. Адаптивная коррекция более эффективна при коротких задержках и менее эффективна при длительных задержках многолучевых сигналов. Поэтому система ММН может оказаться лучшим вариантом для одночастотных сетей (SFN).

### 5.5.3 Помехи от аналогового телевидения в совмещенном канале

Системы с одной несущей устойчивы к воздействию синусоидальных помех, поскольку мощность сигнала распределяется по всему спектру.

Для снижения помех в совмещенном канале от аналогового телевидения в системах с одной несущей может использоваться адаптивная коррекция.

Другой подход для систем с одной несущей основывается на применении гребенчатой фильтрации, которая позволяет создать зоны подавления в спектре принимаемого сигнала, совпадающие с частотами нежелательных мешающих несущих.

Системы с множеством несущих могут оказаться чувствительными к помехам в совмещенном канале из-за очень низкой мощности каждой несущей. Системы ММН особенно чувствительны к сигналам аналогового телевидения, которые имеют неравномерный спектр, поскольку несущие ММН, оказывающиеся вблизи несущих частот яркости, цветности и звука, могут подвергнуться воздействию сильных помех.

Одним из методов решения данной проблемы является удаление из набора множества несущих ММН тех из них, которые с большей вероятностью могут подвергнуться действию помех. Недостаток такого подхода состоит в том, что пропускная способность, обеспечиваемая удаляемыми несущими, теряется во всех точках зоны покрытия ЦНТВ и даже там, где помехи в совмещенном или в соседнем каналах не создают серьезных проблем. Но все же данный подход не должен полностью исключаться из рассмотрения, особенно для случаев серьезных помех в совмещенном канале, поскольку тщательный выбор небольшого числа удаляемых несущих ММН (в основном около мешающей несущей изображения) может дать выигрыш примерно до 10 дБ при очень небольшой доле теряемой информации.

Другой подход, не имеющий подобного недостатка, основан на введении в систему с множеством несущих помехоустойчивого кодирования. Как и в случае кодирования для улучшения характеристик системы с множеством несущих при наличии многолучевости, здесь требуется оценивать состояние канала, а именно, величину помехи для каждой несущей. Один из способов решения этой задачи состоит в выключении OFDM на короткие промежутки времени и измерении мощности помех. Для борьбы с помехами от аналогового телевидения в совмещенном канале могут применяться устройства перемежения и оценки канала в сочетании с алгоритмом декодирования на основе мягкого решения. Как сообщалось, при широких полевых испытаниях применение такого метода в реальной системе OFDM позволяло легко обеспечивать защитные отношения лучше чем 0 дБ. Следует заметить, что в тех местах, где отсутствуют помехи в совмещенном и соседнем каналах, помехоустойчивое кодирование создает резерв по коррекции ошибок, который позволяет улучшить устойчивость системы к воздействию помех других типов.

#### 5.5.4 Проблемы, связанные с отношением максимальной мощности к средней мощности

В результате модуляции как одной, так и множества несущих по существу образуется шумоподобный спектр. При модуляции одной несущей отношение максимальной мощности к средней (пик-фактор) зависит от крутизны ската амплитудно-частотной характеристики используемого фильтра. Более крутой скат (обеспечивающий более высокую эффективность использования спектра) приводит к большим значениям отношения максимальной мощности к средней. Как сообщалось, при моделировании системы 8-VSB с одной несущей в течение 99,99% времени значение отношения максимальной мощности к средней составляло 6,9 дБ или менее. (Меньшие значения можно получить, если использовать ограничение максимальной мощности, но в этом случае происходит увеличение мощности помех в соседнем канале, и потребуются дополнительная фильтрация в передатчике.) В некоторых системах ATV могут быть получены дополнительные преимущества с учетом того, что входные фильтры аналоговых телевизионных приемников имеют асимметричную форму; это позволяет увеличить мощность передачи, либо использовать пилотную несущую (позволяющую улучшить устойчивость системы при низких отношениях  $C/N$ ) без увеличения помех в совмещенном канале.

Замечено также, что системы с множеством несущих и плоским спектром могут моделироваться гауссовыми распределениями. В табл. 5.2 приведены результаты измерения отношения максимальной мощности к средней для типового сигнала COFDM.

ТАБЛИЦА 5.2

#### Результаты измерения отношения максимальной мощности к средней

Процент времени (%)	Отношение (дБ)
99	6,5
99,5	7,0
99,9	8,2
99,99	9,5
99,999	10,3

Уровень принимаемого сигнала: -10 дБм

Введение ограничения на уровне 95% вызывает ухудшение отношения  $E_s/N_0$  менее чем на 0,25 дБ (при коэффициенте ошибок BER =  $10^{-3}$ ). Однако требования к фильтрации по соседнему каналу должны быть рассмотрены дополнительно. Если в системах с множеством несущих применять формирование спектра, создающее пропуски в спектре, то можно получить несколько дополнительных децибел улучшения. Но, конечно, это приведет к снижению эффективной скорости передачи информации в таких системах.

## 5.6 Проблемы зон охвата

Одной из проблем, которая привлекает внимание разработчиков системы модуляции для ЦНТВ, является возможность резких переходов между от "идеального приема" к "отсутствию приема" при очень небольшом диапазоне изменения принимаемого сигнала. Причем это небольшое изменение может меняться в зависимости от времени суток, условий распространения, времени года и других более трудно предсказуемых факторов, таких как колебания сигнала из-за движения самолета или транспортного средства или качание приемной антенны из-за ветра. Существует ряд возможных подходов к решению этой проблемы.

### 5.6.1 Иерархическая передача

Большинство из продемонстрированных до сих пор систем ЦНТВ используют неиерархические методы модуляции, разработанные для условий фиксированного приема. Во всех таких системах на границе зоны охвата проявляется резкий пороговый эффект. С точки зрения теории информации, канал ЦНТВ отличается от линии связи по схеме "точка-точка" тем, что пропускная способность канала меняется в зависимости от расположения приемника. Чем дальше приемник находится от передатчика, тем меньше пропускная способность канала. Создание иерархической системы позволяет улучшить качество обслуживания в пограничных зонах. В неиерархической системе приемники, расположенные вблизи передатчика, не используют всю пропускную способность канала. Системы иерархической модуляции в настоящее время изучаются как один из возможных подходов к решению этой проблемы.

Примерно четверть исследователей считает, что в ЦНТВ системы кодирования с переменным разрешением могут обладать определенными преимуществами, поскольку они позволяют обеспечить плавное ухудшение характеристик по мере снижения уровня принимаемого сигнала. Хотя в принципе данная цель получила поддержку, однако сложилось мнение, что при использовании существующих методов кодирования источника для реализации такой функции потребуется большой суммарный цифровой поток, что нежелательно, поскольку усложнится приемник и может потребоваться применение системы модуляции с более высокой эффективностью использования спектра (что ухудшит шумовые характеристики). Этот предмет еще изучается, и здесь о нем говорится только с точки зрения его влияния на выбор системы с одной или множеством несущих.

Основная проблема связана с пропускной способностью канала.

В системах с множеством несущих многоуровневая система модуляции может быть построена с использованием одного или нескольких из следующих подходов:

- распределение разных групп несущих по разным уровням кодирования так, чтобы более низкие уровни имели бы более высокую степень коррекции ошибок, чем более высокие уровни;
- распределение разных групп несущих по разным уровням кодирования и использование более помехоустойчивых вариантов модуляции (например, КФМн) для несущих, соответствующих более низким уровням, и менее помехоустойчивых вариантов модуляции (например, 64-QAM) для несущих, соответствующих более высоким уровням;
- кодирование с переменным разрешением, когда группы состояний созвездий модуляции для более низких уровней кодирования рассматриваются как одно модуляционное состояние (например, четыре состояния модулятора 64-QAM с переменным разрешением могут рассматриваться как одно состояние для 16-QAM декодера с более низким разрешением).

Возможны также и другие подходы к созданию многоуровневых систем модуляции.

В системах МОН, использующих схему QAM, многоуровневая передача может быть реализована путем использования модуляции с неравноотстоящей диаграммой созвездия и разным канальным кодированием.

В системе модуляции VSB с одной несущей многоуровневая передача может быть реализована (при некотором уменьшении общей информационной пропускной способности) путем передачи с временным разделением комбинации символов 4-VSB и 8-VSB.

### **5.6.2 Системы с множеством передатчиков**

Другой подход к расширению или заполнению зон охвата, в которых встречаются переходы от "отличного приема" к "отсутствию приема", состоит в применении канальных ретрансляторов. В системе ЦНТВ имеется возможность добавлять ретрансляторы, не требуя использования новых частот передачи. В этом заключается принцип одночастотной сети (SFN). В данном случае сигнал от основного передатчика в совмещенном канале обрабатывается так, как будто он является помехой в этом канале. Если задержка остается в пределах защитного интервала, можно обеспечить "бесшовные" переходы между зонами охвата.

Режим работы SFN могут поддерживать как системы МОН, использующие адаптивные корректоры, так и системы ММН, использующие защитные интервалы.

В обоих случаях практическая реализация сетей SFN будет зависеть от отношения уровня полезного сигнала к уровню нежелательных (многолучевых) сигналов, которые способны подавлять приемное оборудование.

#### **Общий комментарий**

Таким образом, системы МОН и ММН являются перспективными методами модуляции, имеющими сопоставимые характеристики для канала с гауссовым шумом. Лучшее значение отношения максимальной мощности к средней в системе МОН позволяет ослабить требования по снижению мощности передатчика. Канальное кодирование используется для уменьшения чувствительности системы к широкому диапазону искажающих факторов. Система ММН менее чувствительна к вариациям многолучевой задержки (в пределах защитного интервала) и может считаться лучшим вариантом для работы в одночастотном режиме.

Как было показано, системы с одной несущей и множеством несущих, обсуждаемые в разных странах, обеспечивают во многих отношениях сопоставимые характеристики и имеют определенные преимущества и недостатки. Поэтому каждая из систем может быть использована для создания общего стандарта, в котором будут предусмотрены разные скорости передачи информации для различных полос пропускания предоставляемых каналов.



## ГЛАВА 6

### ОБЗОР СИСТЕМ

#### 6.1 Система ATSC

Система ATSC была специально разработана так, чтобы к каждому действующему передатчику NTSC в Соединенных Штатах Америки можно было добавить цифровой передатчик с сопоставимой зоной охвата (по площади и численности населения) и минимальным мешающим воздействием на существующую службу вещания NTSC. Поставленная задача была не только выполнена, но и перевыполнена.

Система ATSC достаточно эффективна и способна работать в различных условиях, т. е. при наличии свободных каналов, либо (как было реализовано в США) в жестких условиях организации 1600 дополнительных каналов в переполненном спектре и необходимости обеспечить прием с помощью наружных (расположенных на крыше) или портативных антенн.

Система ATSC была разработана также исходя из требований защиты от многолучевого распространения, обеспечения эффективного использования спектра, а также простоты частотного планирования.

Сигналы, соответствующие стандарту системы ATSC, могут передаваться по кабелям, и в кабельной отрасли Соединенных Штатов начался переход к цифровым технологиям. Применяемый в системе ATSC режим передачи 16-VSB хорошо подходит для кабельных сетей, поскольку позволяет удвоить пропускную способность по кабелю. Экспериментально было проверено и доказано, что система ATSC надежно работает на спутниковых линиях с такими же или даже более высокими цифровыми потоками.

Как это уже упоминалось во вводной части данного Справочника, система ATSC была разработана так, чтобы к каждому действующему передатчику NTSC в Соединенных Штатах Америки можно было добавить цифровой передатчик с сопоставимой зоной охвата (по площади и численности населения) и минимальным мешающим воздействием на существующую службу вещания NTSC. Как указывалось в соответствующих разделах, система позволяет изменять формат программ (стандартная, либо высокая четкость) и, кроме того, имеет большие резервы для организации служб передачи данных, опираясь на заложенные в систему адаптивные возможности в части передачи данных. Система позволяет обеспечить прием на стационарные (а, возможно, и на мобильные) приемники без связанных с этим потерь полезной нагрузки.

#### 6.2 Система DVB-T

В систему DVB-T с самого начала разработки была заложена гибкость в отношении использования всех возможных каналов: она позволяет работать не только в свободных каналах, но допускает частотное планирование с перемежением каналов и даже вещание единой программы разными передатчиками в совмещенном канале (одночастотные сети).

Она также обеспечивает гибкость обслуживания, предоставляя возможность приема на антенны, расположенные на крыше, а при желании осуществлять прием на переносные приемники. Мобильный прием возможен при использовании КФМн, а также вариантов модуляции более высокого порядка, что подтверждено многочисленными лабораторными измерениями и полевыми испытаниями в различных условиях работы каналов.

При разработке системы DVB-T также учитывалось требование обеспечить устойчивость к помехам от задержанных сигналов, обусловленных как отражениями от земного рельефа или зданий, так и сигналами удаленных передатчиков одночастотной сети – нового предоставляемого системой средства планирования сетей ТВ-вещания, которое позволяет повысить эффективность использования спектра, что необходимо в условиях его частичной перегрузки, как это имеет место в Европе.

Сигналы, удовлетворяющие требованиям DVB-T, также могут передаваться по кабельным каналам. Однако стандарт DVB-T входит в семейство стандартов, охватывающих спутниковые (DVB-S) и кабельные (DVB-C) каналы. Во всех стандартах используется видео- и звуковое кодирование MPEG-2, равно как и мультиплексирование MPEG-2. Они имеют общие свойства в части используемой стратегии коррекции ошибок. Главное отличие заключается в методах модуляции, которые специфичны для каждой среды передачи (спутниковый, кабельный или наземный канал связи). Различаются и предоставляемые этими видами каналов пропускные способности, причем более высокие цифровые потоки предоставляются спутниковыми и кабельными системами. Тем не менее, при наличии необходимого цифрового потока возможен перенос программ из одного вида канала к другому.

Система DVB-T дает возможность выбирать ряд параметров, которые позволяют приспособлять систему к широкому диапазону отношений несущая/шум и характеристикам каналов, обеспечивая стационарный, мобильный или портативный прием, на основе компромисса в отношении используемой скорости передачи информации. В табл. 6.1 приводится сводка возможностей системы. Имеющийся диапазон параметров позволяет вещателям выбирать режимы, соответствующие планируемым применениям. Например, для обеспечения приема на портативные приемники требуется очень устойчивый режим (с соответствующим снижением полезной нагрузки). Если при планировании службы предусмотрено применение перемежающихся каналов, то можно использовать режим с умеренной устойчивостью и большей полезной нагрузкой. А если для реализации цифрового телевизионного вещания имеется в наличии свободный канал, то можно использовать режим с меньшим уровнем защиты и максимальной полезной нагрузкой.

Это демонстрирует особую гибкость системы DVB-T, которая позволяет пользователю оптимизировать систему, выбирая из различных предлагаемых режимов работы наиболее подходящий.

Исчерпывающее обсуждение оптимального использования всех параметров было бы сложным и слишком длительным. Тем не менее, необходимо не упускать из виду следующие особенности:

- в случае применения иерархических режимов канал делится на две различные (и настраиваемые) составляющие с разными требованиями по отношению  $C/N$ . Это обуславливает разные условия приема для одной и той же или для разных программ;
- чтобы снизить требования по отношению  $C/N$  для желательного варианта вещания, необходимо правильно выбрать скорость кода и схему модуляции;
- выбор режима 2k вместо режима 8k облегчает мобильный прием. Однако он позволяет реализовывать только небольшие одночастотные сети передатчиков (SFN).

Примеры подобных служб вещания, не использующих иерархические режимы, приведены в табл. 6.1.

ТАБЛИЦА 6.1

**Примеры значений параметров системы DVB-T при использовании различных режимов вещания**

Скорость передачи (Мбит/с)	Вид модуляции	Скорость кода	Применение
5	КФМн	1/2	Канал с высоким уровнем помех
15	16-КАМ	2/3	Прием на портативные устройства в широкой зоне
26	64-КАМ	3/4	Максимальный цифровой поток в свободном канале



### 6.3 Система ISDB-T

ISDB (цифровое вещание с интеграцией служб) представляет собой новый тип вещания для мультимедийного обслуживания. Этот вид вещания систематически объединяет различные виды цифровых программ, которые могут включать в себя множество видеопрограмм (телевизионных программ от низкой до высокой четкости), множество звуковых программ, графическую и текстовую информацию и т. п. Большинство цифровых программ в настоящее время кодируются в формате транспортного потока MPEG-2 и распространяются по всему миру. В этой связи весьма желательно интегрировать цифровые программы на основе транспортных потоков MPEG-TS.

Поскольку ISDB охватывает целый ряд служб, эта система должна удовлетворять широкому кругу требований, которые могут различаться для разных служб. Например, для службы ТВВЧ требуется высокая пропускная способность, а для таких услуг передачи данных, как доставка ключей условного доступа, скачивание программного обеспечения и т. п., требуется высокая готовность службы (или надежность передачи). Для объединения таких сигналов, удовлетворяющих требованиям различных служб, желательно, чтобы системы передачи предоставляли ряд видов модуляции и/или схем защиты от ошибок, которые можно будет выбирать и комбинировать для максимального удовлетворения требований каждой из объединяемых служб.

Системы цифрового наземного вещания с интеграцией служб (ISDB-T) разрабатывались для обеспечения достаточной гибкости передачи не только телевизионных или звуковых программ, представленных в виде цифровых сигналов, но и организации мультимедийных служб, объединяющих такие различные виды цифровых данных, как видео-, звуковая и текстовая информации, а также компьютерные программы.

Они нацелены на реализацию преимуществ, присущих земным радиоволнам, и при использовании сегментированной схемой OFDM могут обеспечить стабильный прием на компактные, легкие и недорогие мобильные приемники в дополнение к интегрированным приемникам домашнего пользования.

Благодаря использованию кодирования и мультиплексирования по системе MPEG-2 в системе ISDB-T имеются элементы, совпадающие по функционированию и приему с системами цифрового спутникового вещания и связи. Система ISDB-T также предоставляет возможность гибкой многопрограммной адаптации к различным условиям приема с использованием иерархической передачи в каналах, которые подразделяются на сегменты OFDM (системы с ортогональным частотным разделением каналов), в которых возможен независимый выбор параметров передачи.

Поскольку система ISDB-T использует для модуляции схему сегментированного OFDM, перед формированием цикла OFDM должно быть выполнено перемультимплексирование транспортного потока и его разбиение на группы данных (информационные сегменты). Каждый такой сегмент имеет полосу шириной  $B/14$  МГц (где  $B$  – ширина полосы канала наземного ТВ вещания, составляющая 6, 7 или 8 МГц, в зависимости от региона), так что один сегмент занимает полосу шириной  $6/14$  МГц ( $\sim 428,57$  кГц),  $7/14$  МГц ( $\sim 500$  кГц) или  $8/14$  МГц ( $\sim 571,29$  кГц). В каждый сегмент вводятся пилот-сигналы, которые обеспечивают управление передачей и схемой мультиплексирования (TMCC). Несущие TMCC (введенные пилот-сигналы) используются для сигнализации о параметрах, относящихся к схеме передачи, т. е. к каналному кодированию, модуляции и уровню иерархии.

Благодаря сегментации и введению пилот-сигналов, каждый сегмент может иметь свою собственную схему защиты от ошибок и/или свой тип модуляции (DQPSK, КФМн, 16-КАМ или 64-КАМ). Кроме того, каждый сегмент может удовлетворять требованиям интегрируемой службы, а несколько сегментов могут быть гибко объединены для реализации интегрированной широкополосной службы (например, ТВВЧ).

#### 6.3.1 Полосы частот передачи в системе ISDB-T

Сигнал ISDB-T содержит 13 сегментов OFDM и занимает полосу шириной  $B \times 13/14$  МГц ( $\sim 5,57$  МГц для наземного канала шириной 6 МГц,  $\sim 6,5$  МГц для наземного канала шириной 7 МГц и  $\sim 7,4$  МГц для наземного канала шириной 8 МГц).

### 6.3.2 Иерархическая передача

Наземное вещание ISDB обеспечивает возможность иерархической передачи. Благодаря этому часть полосы частот можно выделить для сигналов, ориентированных на стационарный прием, а остающуюся часть – для сигналов, рассчитанных на мобильный прием. Таким образом можно осуществить звуковое радиовещание и передачу данных для автомобильных и портативных приемников одновременно с телевизионным вещанием для домашних приемников.

В системе ISDB-T для каждого цифрового сегмента могут быть установлены свои независимые от других сегментов параметры передачи, включая схему модуляции несущих OFDM, скорость внутреннего кода и длину интервала перемежения. Иерархическая передача информации в системе ISDB-T достигается за счет передачи разных групп сегментов OFDM, имеющих различные параметры передачи в канале. Одновременно в канале может передаваться до трех иерархических уровней (трех разных групп сегментов).

Следует отметить, что парциальный прием рассматривается как один иерархический уровень.

### 6.3.3 Парциальный прием

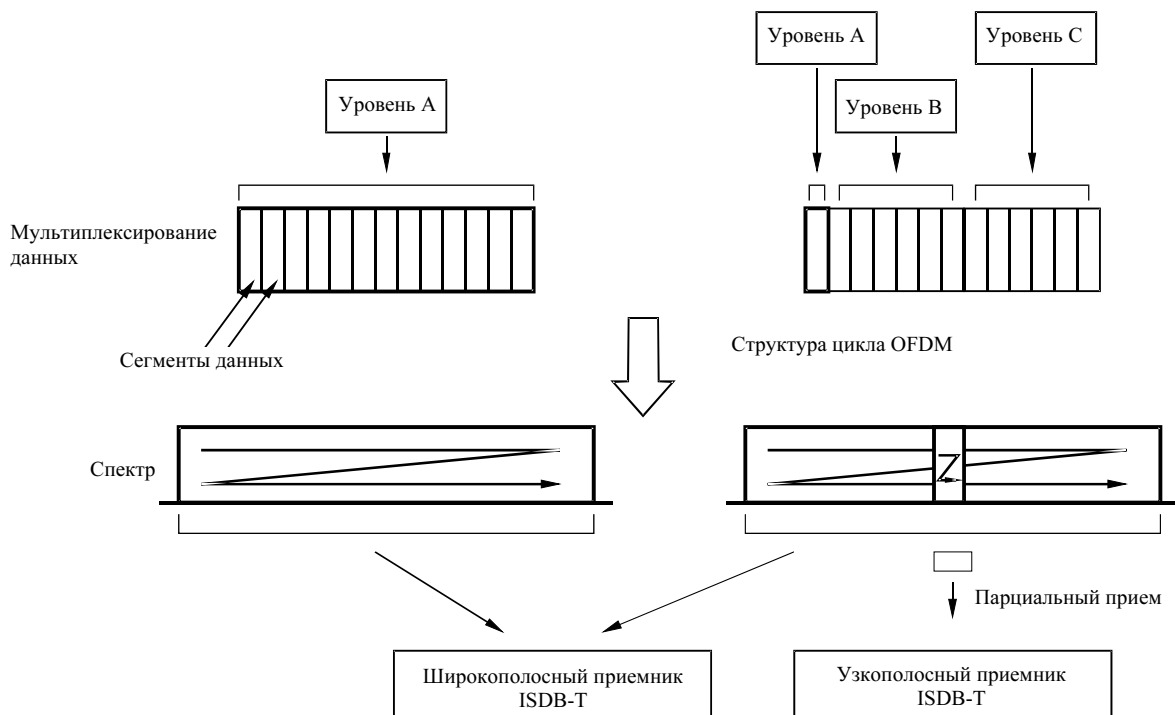
Благодаря ограничению диапазона частотного перемежения пределами самого сегмента, его можно выделить из передаваемого сигнала независимо от остальных сегментов. Таким образом, становится возможным парциальный прием конкретных программ, имеющих в передаваемом канале, с помощью узкополосного приемника с шириной полосы, равной одному сегменту OFDM.

Необходимо заметить, что один сегмент специально отведен для парциального приема, и он занимает центральное положение среди 13 сегментов OFDM.

На рис. 6.1 показан пример иерархической передачи и парциального приема.

РИСУНОК 6.1

Пример диаграммы иерархической передачи и парциального приема



### 6.3.4 Мультиплексирование для иерархической передачи

Мультиплексирование в системе ISDB-T осуществляется в соответствии со стандартом ISO/IEC 13818-1 (системы MPEG-2). В принципе, при иерархическом мультиплексировании в системе ISDB-T по каналу связи передается один транспортный поток (TS: определен в системах MPEG-2), независимо от того, введена или не введена в действие иерархическая передача. По этой причине необходимо производить разделение и синтез транспортного потока, причем эти процессы выполняются как на передающей, так и на приемной стороне.

Следует заметить, что поскольку сигнал для парциального приема является частью общего сигнала в канале, при парциальном приеме принимается часть транспортного потока.

### 6.3.5 Функциональная блок-схема ISDB-T

Функциональная блок-схема системы ISDB-T показана на рис. 6.2.

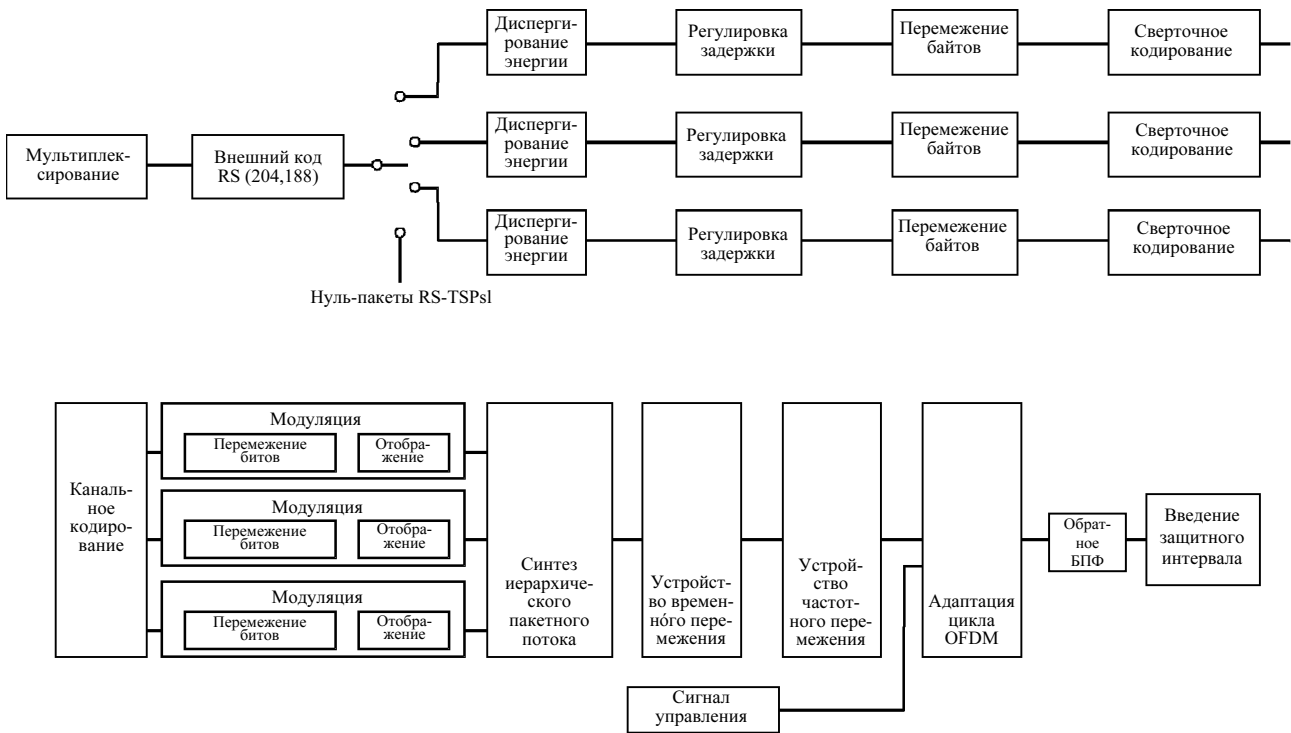


РИСУНОК 6.2

Функциональная блок-схема системы ISDB-T

### 6.3.6 Параметры передачи

#### 6.3.6.1 Система ISDB-T для полосы шириной 6 МГц

ТАБЛИЦА 6.2

Параметры передачи системы ISDB-T (6 МГц)

Режим	Режим 1	Режим 2	Режим 3	
Число сегментов ( $N_s$ )	13			
Ширина полосы	$3000/7$ (кГц) $\times N_s +$ $+ 250/63$ (кГц) = = 5,575... МГц	$3000/7$ (кГц) $\times N_s +$ $+ 125/63$ (кГц) = = 5,573... МГц	$3000/7$ (кГц) $\times N_s +$ $+ 125/126$ (кГц) = = 5,572... МГц	
Число сегментов для дифференциальной модуляции	$n_d$			
Число сегментов для синхронной модуляции	$n_s$ ( $n_s + n_d = N_s$ )			
Разнос несущих	$250/63 = 3,968...$ кГц	$125/63 = 1,984...$ кГц	$125/126 = 0,992...$ кГц	
Число несущих	Общее	$108 \times N_s + 1 = 1\ 405$	$216 \times N_s + 1 = 2\ 809$	$432 \times N_s + 1 = 5\ 617$
	Данные	$96 \times N_s = 1\ 248$	$192 \times N_s = 2\ 496$	$384 \times N_s = 4\ 992$
	SP <sup>(1)</sup>	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP <sup>(1),(2)</sup>	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC <sup>(3)</sup>	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$4 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1 <sup>(4)</sup>	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$8 \times N_s = 104$
	AC2 <sup>(4)</sup>	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Модуляция несущих	КФМн, 16-КАМ, 64-КАМ, DQPSK			
Число символов в цикле	204			
Эффективная длительность символа	252 мкс	504 мкс	1 008 мкс	
Защитный интервал	63 мкс (1/4)	126 мкс (1/4)	252 мкс (1/4)	
	31,5 мкс (1/8)	63 мкс (1/8)	126 мкс (1/8)	
	15,75 мкс (1/16)	31,5 мкс (1/16)	63 мкс (1/16)	
	7,875 мкс (1/32)	15,75 мкс (1/32)	31,5 мкс (1/32)	
Длительность цикла	64,26 мс (1/4)	128,52 мс (1/4)	257,04 мс (1/4)	
	57,834 мс (1/8)	115,668 мс (1/8)	231,336 мс (1/8)	
	54,621 мс (1/16)	109,242 мс (1/16)	218,464 мс (1/16)	
	53,0145 мс (1/32)	106,029 мс (1/32)	212,058 мс (1/32)	
Внутренний код	Сверточный код (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7,8)			
Внешний код	RS (204,188)			

<sup>(1)</sup> SP – распределенный пилот-сигнал и CP – непрерывный пилот-сигнал. Могут использоваться для синхронизации по частоте и оценки канала.

<sup>(2)</sup> Общее число CP включает в себя CP для всех сегментов и для верхней границы всей полосы частот.

<sup>(3)</sup> TMCC – управление передачей и схемой мультиплексирования. Содержит информацию о параметрах передачи.

<sup>(4)</sup> AC – дополнительный канал. Служит для передачи дополнительной информации, которая необходима для работы сети.

ТАБЛИЦА 6.3

**Информационные скорости\***

Модуляция несущей	Сверточный код	Число передаваемых TSP <sup>(1)</sup> (Режим 1/2/3)	Скорость передачи информации (кбит/с)			
			Доля защитного интервала 1/4	Доля защитного интервала 1/8	Доля защитного интервала 1/16	Доля защитного интервала 1/32
DQPSK  КФМн	1/2	156/312/624	3 651	4 056	4 295	4 425
	2/3	208/216/832	4 868	5 409	5 727	5 900
	3/4	234/468/936	5 476	6 085	6 443	6 638
	5/6	260/520/1 040	6 085	6 761	7159	7 376
	7/8	273/546/1 092	6 389	7 099	7 517	7 744
16-КАМ	1/2	312/624/1 248	7 302	8 113	8 590	8 851
	2/3	416/832/1 664	9 736	10 818	11 454	11 801
	3/4	468/936/1 872	10 953	12 170	12 886	13 276
	5/6	520/1040/2 080	12 170	13 522	14 318	14 752
	7/8	546/1092/2 184	12 779	14 198	15 034	15 489
64-КАМ	1/2	468/936/1 872	10 953	12 170	12 886	13 276
	2/3	624/1248/2 496	14 604	16 227	17 181	17 702
	3/4	702/1404/2 808	16 430	18 255	19 329	19 915
	5/6	780/1560/3 120	18 255	20 284	21 477	22 128
	7/8	819/1638/3 276	19 168	21 298	22 551	23 234

\* В случае иерархической передачи информационная скорость может быть вычислена путем комбинации сегментных информационных скоростей.

<sup>(1)</sup> TSP: пакет транспортного потока, который содержит 188 байтов и определен стандартом на системы MPEG-2.

6.3.6.2 Система ISDB-T для полосы шириной 7 МГц

ТАБЛИЦА 6.4  
 Параметры передачи системы ISDB-T (7 МГц)

Режим		Режим 1	Режим 2	Режим 3
Число сегментов ( $N_s$ )		13		
Ширина полосы		$7000/14$ (кГц) $\times N_s + 500/108$ (кГц) = 6,504... МГц	$7000/14$ (кГц) $\times N_s + 500/216$ (кГц) = 6,502... МГц	$7000/14$ (кГц) $\times N_s + 500/432$ (кГц) = 6,501... МГц
Число сегментов для дифференциальной модуляции		$n_d$		
Число сегментов для синхронной модуляции		$n_s(n_s + n_d = N_s)$		
Разнос несущих		500/108 = 4,629... кГц	500/216 = 2,3148... кГц	500/432 = 1,157... кГц
Число несущих	Общее	$108 \times N_s + 1 = 1\ 405$	$216 \times N_s + 1 = 2\ 809$	$432 \times N_s + 1 = 5\ 617$
	Данные	$96 \times N_s = 1\ 248$	$192 \times N_s = 2\ 496$	$384 \times N_s = 4\ 992$
	SP <sup>(1)</sup>	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP <sup>(1),(2)</sup>	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC <sup>(3)</sup>	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$4 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1 <sup>(4)</sup>	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$8 \times N_s = 104$
	AC2 <sup>(4)</sup>	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Модуляция несущей		КФМн, 16-КАМ, 64-КАМ, DQPSK		
Число символов в цикле		204		
Эффективная длительность символа		216 мкс	432 мкс	864 мкс
Защитный интервал		54 мкс (1/4) 27 мкс (1/8) 13,5 мкс (1/16) 6,75 мкс (1/32)	108 мкс (1/4) 54 мкс (1/8) 27 мкс (1/16) 13,5 мкс (1/32)	216 мкс (1/4) 108 мкс (1/8) 54 мкс (1/16) 27 мкс (1/32)
Длительность цикла		55,08 мс (1/4) 49,572 мс (1/8) 46,818 мс (1/16) 45,441 мс (1/32)	110,16 мс (1/4) 99,144 мс (1/8) 93,636 мс (1/16) 90,882 мс (1/32)	220,32 мс (1/4) 198,288 мс (1/8) 187,272 мс (1/16) 191,764 мс (1/32)
Внутренний код		Сверточный код (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7,8)		
Внешний код		RS (204,188)		

<sup>(1)</sup> SP – распределенный пилот-сигнал и CP – непрерывный пилот-сигнал. Могут использоваться для синхронизации по частоте и оценки канала.

<sup>(2)</sup> Общее число CP включает в себя CP для всех сегментов и для верхней границы всей полосы частот.

<sup>(3)</sup> TMCC – управление передачей и схемой мультиплексирования. Содержит информацию о параметрах передачи.

<sup>(4)</sup> AC – дополнительный канал. Служит для передачи дополнительной информации, которая необходима для работы сети.

ТАБЛИЦА 6.5

**Информационные скорости\***

Модуляция несущей	Сверточный код	Число передаваемых TSP <sup>(1)</sup> (Режим 1/2/3)	Скорость передачи информации (кбит/с)			
			Доля защитного интервала 1/4	Доля защитного интервала 1/8	Доля защитного интервала 1/16	Доля защитного интервала 1/32
DQPSK	1/2	156/312/624	4 259	4 732	5 011	5 163
	2/3	208/216/832	5 679	6 310	6 681	6 884
КФМн	3/4	234/468/936	6 389	7 099	7 527	7 744
	5/6	260/520/1 040	7 099	7 888	8 352	8 605
	7/8	273/546/1 092	7 454	8 282	8 769	9 035
16-КАМ	1/2	312/624/1 248	8 519	9 465	10 022	10 326
	2/3	416/832/1 664	11 359	12 621	13 363	13 768
	3/4	468/936/1 872	12 779	14 198	15 034	15 489
	5/6	520/1 040/2 080	14 198	15 776	16 704	17 210
	7/8	546/1 092/2 184	14 908	16 565	17 539	19 071
64-КАМ	1/2	468/936/1 872	12 779	14 198	15 034	15 489
	2/3	624/1 248/2 496	17 038	18 931	20 045	20 653
	3/4	702/1 404/2 808	19 168	21 298	22 551	23 234
	5/6	780/1 560/3 120	21 298	23 664	25 057	25 816
	7/8	819/1 638/3 276	22 363	24 848	26 309	27 107

\* В случае иерархической передачи информационная скорость может быть вычислена путем комбинации сегментных информационных скоростей.

<sup>(1)</sup> TSP: пакет транспортного потока, который содержит 188 байтов и определен стандартом на системы MPEG-2.

6.3.6.3 Система ISDB-T для полосы шириной 8 МГц

ТАБЛИЦА 6.6  
 Параметры передачи системы ISDB-T (8 МГц)

Режим		Режим 1	Режим 2	Режим 3
Число сегментов ( $N_s$ )		13		
Ширина полосы		$8000/14$ (кГц) $\times N_s + 1000/189$ (кГц) = 7,433... МГц	$8000/14$ (кГц) $\times N_s + 500/189$ (кГц) = 7,431... МГц	$8000/14$ (кГц) $\times N_s + 250/189$ (кГц) = 7,429... МГц
Число сегментов для дифференциальной модуляции		$n_d$		
Число сегментов для синхронной модуляции		$n_s(n_s + n_d = N_s)$		
Разнос несущих		$1000/189 = 5,291... \text{ кГц}$	$500/189 = 2,645... \text{ кГц}$	$250/189 = 1,322... \text{ кГц}$
Число несущих	Общее	$108 \times N_s + 1 = 1\ 405$	$216 \times N_s + 1 = 2\ 809$	$432 \times N_s + 1 = 5\ 617$
	Данные	$96 \times N_s = 1\ 248$	$192 \times N_s = 2\ 496$	$384 \times N_s = 4\ 992$
	SP <sup>(1)</sup>	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP <sup>(1),(2)</sup>	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC <sup>(3)</sup>	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$4 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1 <sup>(4)</sup>	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$8 \times N_s = 104$
	AC2 <sup>(4)</sup>	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Модуляция несущей		КФМн, 16-КАМ, 64-КАМ, DQPSK		
Число символов в цикле		204		
Эффективная длительность символа		189 мкс	378 мкс	756 мкс
Защитный интервал		47,25 мкс (1/4) 23,625 мкс (1/8) 11,8125 мкс (1/16) 5,90625 мкс (1/32)	94,5 мкс (1/4) 47,25 мкс (1/8) 23,625 мкс (1/16) 11,8125 мкс (1/32)	189 мкс (1/4) 94,5 мкс (1/8) 47,25 мкс (1/16) 23,625 мкс (1/32)
Длительность цикла		48,195 мс (1/4) 43,3755 мс (1/8) 40,96575 мс (1/16) 39,760875 мс (1/32)	96,39 мс (1/4) 86,751 мс (1/8) 81,9315 мс (1/16) 79,52175 мс (1/32)	192,78 мс (1/4) 173,502 мс (1/8) 163,863 мс (1/16) 159,0435 мс (1/32)
Внутренний код		Сверточный код (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7,8)		
Внешний код		RS (204,188)		

<sup>(1)</sup> SP – распределенный пилот-сигнал и CP – непрерывный пилот-сигнал. Могут использоваться для синхронизации по частоте и оценки канала.

<sup>(2)</sup> Общее число CP включает в себя CP для всех сегментов и для верхней границы всей полосы частот.

<sup>(3)</sup> TMCC – управление передачей и схемой мультиплексирования. Содержит информацию о параметрах передачи.

<sup>(4)</sup> AC – дополнительный канал. Служит для передачи дополнительной информации, которая необходима для работы сети.



ТАБЛИЦА 6.7

**Информационные скорости\***

Модуляция несущей	Сверточный код	Число передаваемых TSP <sup>(1)</sup> (Режим 1/2/3)	Скорость передачи информации (кбит/с)			
			Доля защитного интервала 1/4	Доля защитного интервала 1/8	Доля защитного интервала 1/16	Доля защитного интервала 1/32
DQPSK	1/2	156/312/624	4 868	5 409	5 727	5 900
	2/3	208/216/832	6 490	7 212	7 636	7 867
КФМн	3/4	234/468/936	7 302	8 113	8 590	8 851
	5/6	260/520/1 040	8 113	9 015	9 545	9 834
	7/8	273/546/1 092	8 519	9 465	10 022	10 326
16-КАМ	1/2	312/624/1 248	9 736	10 818	11 454	11 801
	2/3	416/832/1 664	12 981	14 424	15 272	15 735
	3/4	468/936/1 872	14 604	16 227	17 181	17 702
	5/6	520/1 040/2 080	16 227	18 030	19 091	19 669
	7/8	546/1 092/2 184	17 038	18 931	20 045	20 653
64-КАМ	1/2	468/936/1 872	14 604	16 227	17 181	17 702
	2/3	624/1 248/2 496	19 472	21 635	22 909	23 603
	3/4	702/1 404/2 808	21 907	24 341	25 772	26 553
	5/6	780/1 560/3 120	24 341	27 045	28 636	29 504
	7/8	819/1 638/3 276	25 558	28 397	30 068	30 979

\* В случае иерархической передачи информационная скорость может быть вычислена путем комбинации сегментных информационных скоростей.

<sup>(1)</sup> TSP: пакет транспортного потока, который содержит 188 байтов и определен стандартом на системы MPEG-2.



## ГЛАВА 7

### **СПИСОК РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-R, ОТНОСЯЩИХСЯ К ЦИФРОВОМУ НАЗЕМНОМУ ТЕЛЕВИЗИОННОМУ ВЕЩАНИЮ (ЦНТВ)**

Рекомендация МСЭ-R ВТ.798:	Цифровое наземное телевизионное вещание в диапазонах ОВЧ/УВЧ
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1206:	Допуски на формирование спектра для цифрового наземного телевизионного вещания
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1207:	Методы доступа к данным для цифрового наземного телевизионного вещания
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1208:	Кодирование изображений для цифрового наземного телевизионного вещания
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1209:	Методы мультиплексирования сигналов служб в цифровом наземном телевизионном вещании
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1299:	Основные элементы распространенного в мире общепринятого семейства систем цифрового наземного телевизионного вещания
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1300:	Методы мультиплексирования, транспортировки и идентификации сигналов служб для цифрового наземного телевизионного вещания
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1301:	Службы передачи данных в цифровом наземном телевизионном вещании
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1306:	Методы исправления ошибок, формирования кадров данных, модуляции и передачи для цифрового наземного телевизионного вещания
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1125:	Основные параметры для планирования и развертывания цифровых систем наземного телевизионного вещания
Рекомендация МСЭ-R ВТ.1368:	Критерии планирования для служб цифрового наземного телевидения в ОВЧ/УВЧ телевизионных диапазонах.



**ЧАСТЬ 2**

**ПЛАНИРОВАНИЕ**



## ЧАСТЬ 2

### СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ГЛАВА 1 – Введение .....	135
ГЛАВА 2 – Общая информация и обзор .....	137
2.1 Современные аналоговые системы .....	138
2.2 Цифровые телевизионные системы .....	139
2.2.1 Система с одной несущей частотой .....	139
2.2.2 Системы с множеством несущих .....	140
2.3 Категории приема .....	140
2.3.1 Прием на фиксированную антенну .....	140
2.3.2 Прием на портативное оборудование .....	141
2.3.3 Прием на подвижное оборудование .....	141
2.4 Требования к обслуживанию .....	142
2.4.1 Возможности цифровых служб .....	142
2.4.2 Возможности цифровых сетей .....	143
2.4.3 Доступность обслуживания .....	144
2.5 Рассмотрение вопросов помех .....	144
2.5.1 Помехи аналоговым службам со стороны цифровых .....	144
2.5.2 Помехи цифровой службе со стороны цифровой .....	145
2.5.3 Помехи цифровой службе со стороны аналоговой .....	145
2.6 Влияние характеристик приемной системы .....	145
2.7 Защитные отношения .....	146
2.8 Аспекты передачи .....	146
ГЛАВА 3 – Сложение распространяющихся сигналов .....	147
3.1 Прогноз уровней сигналов в 50% мест .....	147
3.1.1 Прогнозирование уровней полезных сигналов .....	147
3.1.2 Прогнозирование уровней помех .....	148
3.2 Статистические данные по местоположению точек приема .....	148
3.3 Вычисление зоны покрытия для цифрового телевидения .....	149
3.3.1 Необходимость сложных методов вычислений .....	149
3.3.2 Влияние характеристик внезапного отказа .....	149

	Стр.
3.3.3	Использование $C/I$ и $C/N$ ..... 150
3.3.4	Методы вычислений ..... 151
3.4	Объединение уровней сигналов для оценки покрытия ..... 152
3.4.1	Введение ..... 152
3.4.2	Метод Монте-Карло ..... 152
3.4.3	Метод сложения мощностей ..... 152
3.4.4	Упрощенный метод умножения ..... 153
3.4.5	Логарифмически нормальный метод ..... 153
3.4.6	Метод $t$ -LNM ..... 153
3.4.7	Метод Швартца и Йеха ..... 154
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1 К ГЛАВЕ 3 – Метод сложения мощностей ..... 155
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2 К ГЛАВЕ 3 – Стандартный метод LNM и $k$ -LNM ..... 157
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3 К ГЛАВЕ 3 – $t$ -LNM (V2) ..... 159
1	Введение ..... 159
2	Алгоритм $t$ -LNM (V2) ..... 159
	ГЛАВА 4 – Зоны покрытия ..... 163
4.1	Определения зон покрытия при приеме на фиксированное, портативное и подвижное оборудование ..... 163
4.1.1	Введение ..... 163
4.1.2	Прием на антенну портативного оборудования ..... 164
4.1.3	Мобильный прием ..... 164
4.1.4	Зона покрытия ..... 165
4.1.5	Примеры практического применения ..... 165
4.2	Приемные антенны ..... 166
4.2.1	Прием на фиксированную антенну ..... 166
4.2.2	Прием на антенну портативного оборудования ..... 166
	ГЛАВА 5 – Минимальные медианные уровни полезного сигнала ..... 173
5.1	Общие положения ..... 173
5.2	Прием на фиксированную антенну ..... 175
5.2.1	Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная напряженность поля ..... 175
5.3	Прием на портативную антенну ..... 179
5.3.1	Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная напряженность поля ..... 180



	Стр.
ГЛАВА 6 – Сетевое планирование .....	189
6.1 Введение .....	189
6.2 Многочастотные сети .....	190
6.2.1 Традиционное планирование многочастотных сетей .....	191
6.3 Одночастотные сети .....	191
6.3.1 Общие положения .....	191
6.3.2 Эффективность использования спектра .....	192
6.3.3 Задержка эхо-сигналов в ОЧС .....	192
6.3.4 Выигрыш за счет сети .....	192
6.3.5 Планирование ОЧС .....	193
6.3.6 Типы ОЧС .....	193
6.4 Эффекты множественного сигнала .....	194
6.4.1 Одиночные сигналы и запасы на распространение .....	194
6.4.2 Множественные сигналы и выигрыш за счет сети .....	195
6.4.3 Множественные помехи и внутренние помехи .....	196
6.4.4 Корреляция .....	196
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 К ГЛАВЕ 6 – Характерные черты теоретических ОЧС .....	197
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 К ГЛАВЕ 6 – Определения, относящиеся к передающим станциям и одночастотным сетям для цифровых телевизионных служб .....	199
ГЛАВА 7 – Методы планирования .....	201
7.1 Введение .....	201
7.1.1 Планирование присвоений частот для наземного цифрового телевидения .....	201
7.1.2 Планирование выделений частот для наземного цифрового телевидения .....	201
7.1.3 Ограничения планирования для целей координации .....	202
7.2 Планирование цифрового телевидения в Соединенных Штатах Америки .....	202
7.3 Планирование цифрового телевидения в Европе .....	203
7.4 Элементы планирования .....	203
7.4.1 Критерии планирования .....	203
7.4.2 Методы прогнозирования распространения .....	204
7.4.3 Объединение множественных сигналов .....	204
7.4.4 Базы данных для планирования .....	204

	Стр.
7.5	Процедуры для защиты аналоговых телевизионных служб ..... 204
7.6	Определения контрольных точек ..... 204
7.6.1	Контрольные точки, представляющие зоны покрытия ..... 204
7.6.2	Контрольные точки на границе страны ..... 205
7.6.3	Доступность данных о местоположении контрольных точек ..... 205
7.7	Вычисление местоположений контрольных точек, представляющих зоны покрытия .. 205
7.8	Метод объединения сигналов (метод сложения мощностей) ..... 207
7.9	Методы планирования присвоений для цифрового телевидения ..... 208
7.9.1	Установление характеристик цифровой телевизионной станции ..... 208
7.9.2	Установление размеров зон покрытия цифровым телевидением ..... 209
7.9.3	Установление характеристик группы цифровых телевизионных станций в мини-ОЧС ..... 209
7.10	Защита служб цифрового телевидения ..... 209
ГЛАВА 8 – Взаимодействие с другими службами ..... 211	
8.1	Общие вопросы ..... 211
8.2	Станции других служб ..... 211
8.2.1	Потребности других служб в защите ..... 211
8.3	Технические элементы других служб, необходимые для вычислений совместимости ..... 212
8.4	Расчет уровня защиты других служб ..... 212
8.5	Расчет уровня защиты цифрового телевидения ..... 213
ГЛАВА 9 – АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ..... 215	
9.1	Передающие антенны ..... 215
9.1.1	Введение ..... 215
9.1.2	Описание существующих передающих телевизионных антенн ..... 215
9.1.3	Варианты выполнения антенн для цифрового телевидения ..... 215
9.2	Подавление мешающих излучений ..... 218
9.2.1	Асимметричные спектральные маски для DVB-T ..... 219
9.2.2	Симметричная спектральная маска для DVB-T в каналах шириной 7 МГц и 8 МГц 225
9.3	Аналоговое телевидение ..... 227
9.3.1	Эталонная ширина полосы частот для спектральных масок аналогового телевидения 228
9.4	Измеренные спектры мощности передатчиков ..... 234
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 К ГЛАВЕ 9 – Получение значений защитных отношений, используемых для асимметричных спектральных масок DVB-T ..... 237	

	Стр.
ГЛАВА 10 – Стратегии внедрения .....	255
10.1 Введение .....	255
10.2 Стратегии внедрения .....	255
10.2.1 Краткосрочные сценарии .....	255
10.2.2 Долгосрочные сценарии .....	255
10.3 Управление частотами .....	256
10.3.1 Потребность в спектре .....	256
10.3.2 Фаза II исследований DSI .....	256
10.3.3 Краткосрочный период .....	257
10.3.4 Долгосрочный период .....	257
10.3.5 Переходный период .....	258
10.3.6 Некоторые гипотетические соображения .....	258
10.3.7 Можно ли освободить спектр для использования другими службами? .....	259
10.3.8 Выводы .....	259
10.4 Некоторые возможные сценарии внедрения .....	260
10.4.1 Краткосрочный период .....	260
10.4.2 Долгосрочный период .....	264
10.4.3 Переходный период .....	265



## ГЛАВА 1

### **ВВЕДЕНИЕ**

В данной части Справочника по цифровому наземному телевизионному вещанию рассматриваются вопросы планирования. Настоящее рассмотрение затруднено тем, что в разных регионах мира используются различные полосы частот и множество различных аналоговых телевизионных систем, которые требуют различного подхода при внедрении цифрового телевидения без ущерба для миллионов телезрителей. Значительная часть приведенной информации относится к Району 1, поскольку больше всего затруднений из-за использования множества аналоговых телевизионных систем возникает в данном Районе.

Данная часть Справочника предназначена для предоставления как фактической информации, так и, прежде всего, общего руководства, которое основано на опыте, приобретенном во время реализации аналоговых телевизионных служб. Даже несмотря на то, что основной целью является предоставление руководящей информации для внедрения цифрового телевидения, многие уроки, полученные при внедрении аналогового телевидения, остаются в силе и могут использоваться с соответствующими поправками.



## ГЛАВА 2

### ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ОБЗОР

Потенциальные преимущества цифрового наземного телевизионного вещания (ЦНТВ) с точки зрения качества обслуживания, низкой себестоимости и разнообразия программ, обобщены во введении к настоящему Справочнику. При частотном планировании, для которого предоставляется новый или ранее не использовавшийся частотный спектр, для реализации всех возможностей ЦНТВ может быть спланирован охват цифровым телевидением от отдельных передатчиков или от сетей передатчиков. Это создает заметные выгоды (по сравнению с существующей ситуацией с аналоговым телевидением) в отношении предоставления услуг и использования спектра. Однако ситуация со спектром далеко не идеальна, и при поиске необходимого спектра возникает множество проблем с его выделением и присвоением, которые должны быть решены, прежде чем услуги ЦНТВ смогут обрести реальность во многих регионах мира.

*Распределение* частотного спектра для конкретных служб на региональной или всемирной основе является предметом международного договора, заключаемого под эгидой МСЭ.

*Присвоение* распределенного спектра для отдельных применений обычно является предметом регионального договора и соглашения о пересечении границы, так же как и регулирования на национальной основе.

Например, в Районе 1 сейчас действует Стокгольмский план 1961 года (основанный на использовании аналоговых телевизионных стандартов), являющийся основой для планирования и реализации больших наземных телевизионных сетей, находящихся в настоящее время в эксплуатации. Договорные соглашения, подобные тем, что относятся к Району 2, используются для управления планированием и процедурами присвоения частот и в других местах. В рамках этих региональных планов существует множество географических зон, в которых распределенный спектр интенсивно использовался для предоставления максимального количества аналоговых телевизионных служб (программ), причем каждая программа предназначается для охвата по возможности наибольшего количества населения. Для этих зон существует мало надежд найти достаточные ресурсы спектра применительно к ЦНТВ, не говоря уже о том, чтобы такие частотные ресурсы можно было найти для всех служб ЦНТВ, которые могут потребоваться. В связи с этим интенсивно изучаются альтернативные варианты совместного использования полос частот с существующими аналоговыми службами с учетом того, что ограничения по мощности передатчика ЦНТВ, неизбежно налагаемые данным соглашением, будут, конечно, в свою очередь, ограничивать эксплуатационные характеристики системы ЦНТВ. Существуют другие географические зоны, охваченные этими региональными планами, где распределенный спектр используется не так интенсивно и где было бы возможно рассмотреть применение передатчиков ЦНТВ относительно высокой мощности для улучшения эксплуатационных характеристик, касающихся уровней качества обслуживания или надежности передачи.

Далее можно заметить, что ограничения в отношении "частотного планирования" будут изменяться от страны к стране, а также, в некоторых случаях, в пределах национальных границ – степень изменений зависит от географических/демографических факторов, а также от использования национальных "распределений" спектра. Вместо этого довольно сложного "частотного планирования" рассматриваются стратегии ввода и последующего развития служб ЦНТВ. Главным в этом рассмотрении является нахождение разумных "путей и средств" перехода от начальной фазы ЦНТВ, в которой службы ЦНТВ с ограниченными возможностями предоставляются на основе "совместного пользования", к заключительной фазе службы ЦНТВ, что могло бы позволить "постепенно свернуть" службы NTSC, PAL и SECAM. Если такой путь будет найден и пройден до точки "перехода" к полностью цифровой работе, то появится возможность модернизировать услуги ЦНТВ до достижения их максимальных потенциальных возможностей, высвободив, по возможности, некоторую часть

распределенного спектра для повторного распределения его другим службам или для ввода новых и прогрессивных вещательных служб. Подача цифрового телевидения и связанных с ним звуковых служб в одном ОВЧ/УВЧ ТВ вещательном канале шириной 6, 7 или 8 МГц требует использования для спектрального планирования ряда отдельных технических дисциплин и процессов, включая:

- понимание вопросов использования спектра и планирования цифровых служб, включая зону покрытия при различных условиях приема и окружающей среды; и
- способность обеспечения цифровых систем излучения в диапазонах ОВЧ/УВЧ наземного вещания, пригодных для возможной одновременной передачи с существующими аналоговыми телевизионными службами.

## **2.1 Современные аналоговые системы**

Первые телевизионные системы были разработаны независимо в ряде районов мира, и, несмотря на предпринимаемые с тех пор значительные усилия в направлении стандартизации, даже сегодня широко эксплуатируются аналоговые наземные системы, имеющие существенно отличающиеся значения ключевых параметров, таких как ширина канала. Однако повсюду, где осуществляется систематическое планирование, оно основывается на принципе, что такой ограниченный природный ресурс, как спектр частот, следует использовать как можно полнее. Несмотря на это, спектр, доступный для наземного вещания, и степень его фактического использования также значительно изменяются от одного района мира к другому. В некоторых случаях это происходит вследствие высокой стоимости эксплуатации, а в других отражается доступность иных средств распределения, таких как кабельная и спутниковая службы.

Одним из наиболее важных ограничений в планировании современных аналоговых систем является тот факт, что разнесение передатчиков, работающих в совмещенном канале, должно значительно умножить радиус обслуживания отдельного передатчика. Кроме того, в то время, когда были установлены критерии планирования, предполагалось, что характеристики бытовых приемников таковы, что должны быть учтены некоторые иные ограничения на присвоение каналов другим передатчикам в той же и в соседних зонах. И хотя с тех пор характеристики бытовых приемников значительно улучшились, эти ограничения в большой мере остаются в силе. Однако необходимо отметить, что пределы этих ограничений рассматриваются как сильно изменяемые при переходе из одного региона мира к другому. Например, существуют повсеместно действующие ограничения, не позволяющие использовать два смежных канала на одном передающем центре, но эти ограничения могут не применяться в ситуациях, исключающих другие решения при планировании.

Кроме того, поскольку процесс планирования предназначался для обеспечения двух основных типов обслуживания, в большинстве случаев реальные конфигурации передающих станций на территории имеют тенденцию соответствовать одному из двух характерных типов. Один из типов предназначен для обеспечения удовлетворительного приема как можно большего количества программных услуг и может быть практически осуществлен на большой территории. Другой тип предназначен для того, чтобы дать возможность как можно большему количеству вещательных компаний честно конкурировать друг с другом в части предоставляемых услуг в зоне, охватываемой одной передающей станцией большой мощности, расположенной вблизи центра крупного города. В первом случае (охват большой территории) используются также многочисленные ретрансляционные станции малой мощности, в особенности на холмистой местности; в последнем случае (охват местного рынка) используются несколько ретрансляционных станций малой мощности.

Следует отметить, что оба типа могут сосуществовать в одной и той же зоне, поскольку некоторые типы программных услуг затрагивают главным образом местные интересы, тогда как другие подходят для распределения в значительно большей зоне. Тем не менее, в зоне в каждом конкретном случае обычно доминирует один из таких типов, и из этого вытекает очень важное следствие о возможности реорганизации использования доступного спектра и ввода, таким образом, в него цифрового вещания. Характерно, что в случае варианта с покрытием большой территории для предоставления цифровых услуг обычно используется намного меньше свободного спектра.



## 2.2 Цифровые телевизионные системы

Для наземного вещания были разработаны три цифровые телевизионные системы; подробные сведения об этих системах можно найти в Части 1 настоящего Справочника. Все системы используют стандарты цифрового сжатия MPEG-2 для кодирования источника на уровне сжатия, для мультиплексирования услуг и на транспортном уровне и благодаря этому обладают высокой степенью совместимости. Основные различия между ними существуют в части РЧ/передачи или на физическом уровне, где определяются тип используемой модуляции и режим РЧ излучения. Разработанная в Северной Америке система ATSC представляет собой систему с одной несущей частотой, использующей модуляцию с частично подавленной боковой полосой (8VSB). Разработанная в Европе система DVB-T и разработанная в Японии система BST-OFDM представляют собой системы с множеством несущих, использующие кодированное ортогональное частотное разделение каналов (COFDM) с КАМ модуляцией. Эти системы модуляции могут быть применимы либо к одной несущей, модулируемой высокоскоростным потоком данных, или к большому количеству несущих, модулируемых с относительно низкими скоростями, – подход с множеством несущих. Системные параметры масштабируемы, чтобы допустить доставку цифровых телевизионных служб со скоростью передачи данных примерно до 24 Мбит/с по каналам с шириной полосы 6, 7 и 8 МГц.

Существует проблема, беспокоящая проектировщиков систем, которая заключается в том, что при использовании той или иной системы модуляции для некоторых услуг ЦНТВ возможен внезапный переход из состояния "отличное обслуживание" в состояние "нет обслуживания" при изменениях уровня принимаемого сигнала в очень малом диапазоне. Кроме того, эти малые изменения могут зависеть от времени суток, условий распространения, времени года и других более трудно прогнозируемых факторов, таких как вибрация самолета или другого транспортного средства либо отклонения приемной антенны под действием ветра.

Подводя итог, отметим, что системы модуляции с одной и множеством несущих представляют собой два перспективных метода доставки цифрового телевидения, обладающих сопоставимыми характеристиками в канале с гауссовым шумом. Их характеристики также сопоставимы при комбинированном воздействии шума и помехи от аналогового ТВ в совмещенном канале. Канальное кодирование используется для снижения уязвимости от широкого ряда вредных воздействий.

### 2.2.1 Система с одной несущей частотой

Цифровая телевизионная система с одной несущей предназначена для передачи высококачественных видео- и звуковых сигналов, а также дополнительных данных с использованием канала с той же шириной полосы, что и в существующих телевизионных системах. Эта система может надежно доставлять данные при пропускной способности около 19 Мбит/с по наземному вещательному каналу шириной 6 МГц и при более высоких скоростях по каналам шириной 7 и 8 МГц. Информация, содержащая полезные данные, используется для модуляции одной несущей частоты, которая занимает весь РЧ канал.

В типичных ситуациях приема ЦНТВ имеет место многолучевое распространение, вызванное отражениями или неоднородностями в среде распространения, которое будет приводить к межсимвольным помехам в необработанном потоке принимаемых данных. Многолучевое распространение будет также проявляться в канале в виде частотно-селективных замираний. В реальных системах с одной несущей для минимизации искажений, вызванных многолучевостью, используется адаптивный корректор (как правило, корректор с решающей обратной связью). При модуляции одной несущей нескорректированные межсимвольные помехи будут приводить к сходимости глазковой диаграммы и к повышению отношения  $C/I$  (несущая/помеха), при котором система может работать. При передаче на одной несущей обычно передается обучающая последовательность, чтобы облегчить сходимость адаптивного корректора и синхронизацию системы. Адаптивный корректор и остронаправленная антенна способны снизить влияние помех от цифрового телевидения в совмещенном канале и уровень помех от аналогового телевидения в совмещенном канале. Другим подходом для систем с одной несущей является использование гребенчатой фильтрации для создания в спектре приемника вырезов, которые соответствуют частотам нежелательных мешающих сигналов.

Системы с одной несущей устойчивы к гармонической помехе, потому что энергия сигнала распределена по всему спектру. Системы с одной несущей по своей природе устойчивы к частотно-селективным замираниям, поскольку замирания будут влиять только на малую часть полосы частот, в которой принимается энергия сигнала.

### 2.2.2 Система с множеством несущих

Система с множеством несущих (DVB-T) была первоначально разработана для используемого в Европе разнесения каналов УВЧ на 8 МГц и была адаптирована для каналов шириной 7 и 6 МГц. В зависимости от выбранных параметров кодирования и модуляции для доставки высококачественного цифрового телевидения по вещательным каналам может быть реализована передача данных со скоростью от 20 до 30 Мбит/с. В равной степени, в случаях, когда желательна дополнительная помехоустойчивость, могут быть использованы меньшие скорости передачи данных.

Концепция OFDM основана на распределении передаваемых данных по большому количеству несущих, рассеянных по РЧ каналу. При этом каждая несущая модулируется на низкой цифровой скорости. При обычном частотном разделении каналов несущие фильтруются индивидуально, чтобы гарантировать отсутствие перекрытия спектров. Благодаря этому между несущими не возникает межсимвольных помех, но доступный спектр не используется с максимально возможной эффективностью. Однако если разнесение несущих выбрано таким образом, что в течение длительности символа несущие ортогональны, то символы могут быть восстановлены без помех даже при некотором перекрытии спектров. Для максимальной эффективности использования спектра разнос несущих равняется обратной величине длительности символа.

При использовании OFDM модуляции с каскадным кодированием, исправляющим ошибки, и защитным интервалом система с множеством несущих может справиться с короткими "естественными" эхо-сигналами, вызванными многолучевым распространением, а также с относительно длительными "искусственными" эхо-сигналами, которые возникают в одночастотных сетях. Данная система также обеспечивает хорошую защиту от высоких уровней помех в совмещенном канале и помех по соседнему каналу, излучаемых аналоговыми телевизионными службами. Режим OFDM также способен формировать четко выраженный спектр частот, который позволит разместить систему DVB-T в каналах, смежных с каналами, используемыми аналоговыми телевизионными службами, хотя она и будет создавать минимальные помехи этим службам.

Возможность приема сигнала OFDM подвижными средствами определяется рядом факторов, учитывающих скорость движения транспортного средства, разнос несущих, скорость передачи данных и схему модуляции, тогда как в службе с фиксированным приемом могут быть использованы модулирующие схемы высокого порядка и, вследствие этого, высокие скорости передачи данных. Сигналы OFDM дают также возможность работы одночастотной сети (ОЧС). Это является следствием невосприимчивости OFDM к многолучевому распространению. Работа ОЧС возможна, когда несколько передатчиков излучают точно такой же сигнал, в одно и то же время и на той же частоте.

Системы с множеством несущих могут быть чувствительны к помехам в совмещенном канале из-за очень малой мощности каждой несущей. Система с множеством несущих потенциально уязвима из-за неплоского спектра аналогового ТВ в совмещенном канале, так как несущие, расположенные поблизости от несущих частот сигналов яркости, цветности и звука, могут страдать от сильных помех. Для решения этих проблем в системах с множеством несущих используется помехоустойчивое кодирование или удаление из ансамбля тех несущих, которые наиболее страдают от сильных помех. Для адаптации систем с множеством несущих в зонах с очень большой перегрузкой спектра применяется схема COFDM "с сегментированием по полосам", которая переносит данные в полосах шириной 500 кГц, размещаемые так, чтобы можно было избежать помех от аналогового ТВ.

## 2.3 Категории приема

### 2.3.1 Прием на фиксированную антенну

Модель приемной системы, выбранная для планирования выделения частот, должна быть типичной приемной установкой, расположенной у края зоны обслуживания (т. е. в условиях слабого сигнала). Такая конфигурация может включать внешнюю антенну (прием на фиксированную антенну), смонтированный на данной антенне малошумящий усилитель (не обязателен), соединительный кабель снижения и цифровой телевизионный приемник. Прием на фиксированную антенну определен как прием на направленную приемную антенну, установленную на уровне крыши. При расчете эквивалентной напряженности поля, требуемой для приема на фиксированную антенну, в качестве типичной рассматривается приемная антенна, расположенная на высоте 10 метров относительно

уровня земли. В случае приема на фиксированную антенну предполагается, что при установке антенны имеют место близкие к оптимальным условия приема (для подходящих радиочастотных каналов). Использование необязательного малошумящего усилителя, расположенного на антенне, обеспечивает для приемной системы лучший шум-фактор и компенсирует потери в кабеле снижения.

### **2.3.2 Прием на портативное оборудование**

Прием на портативное оборудование определяется как прием с использованием портативного приемника с присоединенной или встроенной антенной.

- Класс А (вне помещения) – вне помещения на уровне не ниже 1,5 метра над уровнем земли.
- Класс В (на первом этаже помещения) – в помещении на уровне не ниже 1,5 метра над уровнем пола в помещениях первого этажа и при наличии окна на наружной стене.

На практике прием на портативную антенну имеет место при большом разнообразии условий (вне помещения, в помещении, первый этаж, второй этаж и верхние этажи). Можно даже предположить, что портативный приемник во время наблюдения перемещается.

Можно ожидать, что при приеме на портативное оборудование в помещении условия приема будут значительно изменяться, причем будет иметься некоторая зависимость от этажа, на котором требуется вести прием. Однако будут еще и заметные вариации потерь при проникновении в здание, от одного здания к другому, а также от одной части помещения к другой. Некоторые оценки возможных требований к уровням сигнала на разных этажах приведены в Главе 5.

В обеих вышеупомянутых категориях А и В подразумевается, что во время приема портативный приемник не перемещается и что вблизи приемника не перемещаются большие объекты. Допускается также, чтобы экстремальные случаи, такие как прием в полностью экранированных комнатах, не принимались во внимание.

Предполагается, что прием на портативное оборудование главным образом имеет место в городских зонах. Во многих странах большинство людей, живущих в городских зонах, проживают в многоквартирных домах. Поэтому вероятно, что вторая категория, класс В, является наиболее общим случаем приема на портативное оборудование. Предполагается, что прием в комнатах на верхних этажах будет менее затруднен, чем на первом этаже.

### **2.3.3 Прием на подвижное оборудование**

Прием на подвижное оборудование программ цифрового наземного телевидения становится привлекательной функцией будущих систем, но не является главным предметом рассмотрения вопросов планирования при реализации цифрового телевидения. Испытания показали, что прием на подвижное оборудование возможен в рамках системы с множеством несущих при условии наличия параметров, оптимизированных для преодоления трудностей приема на подвижное оборудование. Система с одной несущей в настоящее время не обладает такой возможностью, и поэтому ее испытания не проводились, однако после адаптации системных параметров эта возможность может появиться.

Подробная информация о категориях приема и требуемых минимальных медианных уровнях сигнала дана в Главах 4 и 5.

В настоящем Справочнике не дается информации о минимальных уровнях сигнала, требуемых для цифровых телевизионных приемников. Читателю предлагается обратиться к Рекомендации МСЭ-R ВТ.1368 для получения самой свежей информации по этому конкретному вопросу и методологии, использованной для нахождения приведенных там значений. Однако на время написания представлялось, что уровни сигнала, необходимого для приема на подвижное оборудование, будут схожи с уровнями, необходимыми для приема на портативное оборудование вне помещения.

## 2.4 Требования к обслуживанию

### 2.4.1 Возможности цифровых служб

По сравнению с аналоговыми телевизионными службами наземные цифровые телевизионные службы обладают как достоинствами, так и недостатками, которые некоторым образом связаны между собой. По сравнению с постепенными отказами, типичными для аналоговых систем, характерные для цифровых систем внезапные отказы являются недостатком, поскольку это означает, что необходимо приложить дополнительные усилия для того, чтобы высокий процент телезрителей мог принимать удовлетворительную услугу. На практике это означает, что границы покрытия для большого процента мест необходимо определять как с точки зрения минимальных уровней сигналов, требуемых для удовлетворительного приема, так и с точки зрения защиты от помех. С другой стороны, совершенное качество цифровых систем сохраняется и вне границ покрытия.

В принципе, цифровые системы могут обеспечивать более высокое качество приема, чем аналоговые системы, при одних и тех же условиях распространения, при одинаковых значениях ширины полосы системы и эффективной излучаемой мощности. Однако от этого потенциально высокого качества можно отказаться, чтобы обеспечить большую пропускную способность при заданной ширине полосы. Большая пропускная способность может быть использована для поддержки стандартов (телевидения) высокой четкости, большего количества программ или других дополнительных свойств (например, предоставления большего объема данных или звуковой информации) с помощью отдельной программы. Альтернативный подход может заключаться в достижении компромисса между качеством обслуживания и количеством программ, с одной стороны, и обеспечением большей устойчивости системы, например службы, предназначенной для приема на портативные приемники с присоединенными или встроенными антеннами.

Гибкость, присущая цифровым передачам, имеет много преимуществ по сравнению с передачей в аналоговых системах, использующей "фиксированный формат". Однако большое количество возможных конфигураций цифровых систем, вероятно, затрудняет прямое сравнение аналоговых и цифровых систем, которые рассчитаны на одну и ту же ширину канала. Эти трудности усложняются тем фактом, что некоторые цифровые системы допускают изменения конфигурации на динамической основе для соответствия меняющимся потребностям вещателей. Тем не менее существуют некоторые свойства, которые представляются практически общими. Цифровые системы:

- могут обеспечивать более гибкий подход к предоставлению наземных телевизионных услуг;
- могут предоставлять большую программную емкость в рамках заданного распределения спектра;
- могут обеспечивать прием более высокого качества;
- могут обеспечивать большую степень устойчивости к ухудшениям, вызванным задержанными сигналами;
- могут обеспечивать удовлетворительный прием на портативные приемники, использующие присоединенные или встроенные антенны;
- могут использовать несколько меньшие уровни эффективной излучаемой мощности.

Даже с учетом этого необходимо уточнить некоторые из указанных свойств. Лучшее использование спектра и меньшая излучаемая мощность являются результатом применения значений  $C/N$  и защитных отношений, которые оказываются меньше тех же значений в аналоговых системах. Используя точное смещение по отношению к аналоговым передачам, можно получить защитные отношения, сравнимые с теми величинами, которые предназначены для обеспечения высокого качества. В последнем случае экономия мощности передатчика может и не быть очень большой, если делается попытка обеспечить покрытие с очень высоким процентом мест. Подобным образом, использование схем подавления многоконтурности может снизить чувствительность аналоговых схем к этому конкретному типу ухудшений. Тем не менее общий итог заключается в том, что использование цифровых телевизионных систем дает значительные преимущества по сравнению с их аналоговыми эквивалентами.

#### 2.4.2 Возможности цифровых сетей

Возможности цифровых телевизионных сетей раскроются в полной мере только в случае, когда цифровым и аналоговым службам больше не придется использовать спектр совместно (см. Главы 8 и 10). В предположении, что цифровые телевизионные службы используют данный распределенный спектр на исключительной основе, свойственные цифровым наземным телевизионным системам гибкость и лучшее использование спектра (по сравнению с аналоговыми системами) делают возможным рассмотрение значительно большего перечня конфигураций сетей, чем это возможно в аналоговом телевидении. Одним из явных отличий является то, что при некоторых обстоятельствах станет возможным использование одночастотных сетей (ОЧС). Это приводит к исходному делению сетей на традиционные (обычные) и ОЧС, несмотря на то что при таком делении имеют место существенные схожие свойства и наложения.

Для традиционных сетей подразумевается использование концепций планирования, схожих с теми, которые применяются в настоящее время для аналоговых сетей, независимо от того, предназначены ли они для обеспечения покрытия отдельными станциями, регионального или даже национального покрытия. По всей вероятности, местоположения передатчиков, соответствующие тем, что используются в настоящее время, будут продолжать использоваться для сохранения зоны покрытия, сопоставимой с ныне существующей. Основными отличиями от существующих аналоговых сетей будут меньшие расстояния между передатчиками, работающими в совмещенных каналах, и уменьшенный набор ограничений на взаимосвязь каналов в перекрывающихся зонах покрытия (независимо от наличия или отсутствия номинального совмещения местоположений передатчиков). На практике эти, по-видимому, небольшие различия будут иметь серьезные последствия из-за потенциально большого увеличения емкости доступного спектра. Это приведет либо к значительному увеличению количества доступных программ, либо к сокращению объема спектра, распределенного для телевидения.

В крупномасштабных сетях ОЧС предполагается использовать цифровые системы с множеством несущих (такие, как OFDM). Помимо этого, основные концепции планирования имеют существенные отличия от тех, что используются для аналоговых сетей. Если средние или большие зоны требуют обслуживания точно тем же программным материалом, что и вся сеть, то все ее передатчики могут работать строго на одной и той же частоте, хотя и существуют значительные ограничения требований к синхронизации передаваемого программного материала. Очевидно, что использование одной частоты для покрытия большой зоны той или иной программой ведет к значительной экономии спектра. В случае, если по одному каналу передается много программ, экономия будет даже больше, хотя такое использование подразумевает необходимость в более высоких уровнях  $C/N$  и защитных отношениях, что несколько смещает несомненный выигрыш. Кроме того, необходимо тщательно учитывать длину символа и требования к защитному интервалу, чтобы воспользоваться всеми выгодами ОЧС. Предполагается также, что исключение программы для части зоны невозможно.

Существуют несколько вариантов ОЧС для обеспечения большой зоны покрытия, хотя они отличаются скорее внешне, чем по существу. Основное различие состоит в величине разноса между передающими станциями. Одним из предельных вариантов является сеть, основанная на станциях, используемых в настоящее время для аналоговых служб, которые могут быть разнесены на расстояние примерно до 80 км. Другим предельным вариантом была бы плотная сеть с разносом передатчиков всего 10 или 20 км. На практике любая реальная сеть, по всей вероятности, содержит отдельные элементы из обоих этих случаев. Даже в сети, основанной главным образом на существующих аналоговых станциях, вероятно, потребуется какое-то количество ретрансляционных станций, которые будут иметь относительно небольшой разнос. И наоборот, плотная сеть, возможно, будет иметь некоторые "просветы", где плотность населения слишком мала, чтобы строительство там станций было экономически оправдано. Не следует ожидать, что использование ОЧС означает покрытие больших зон. Альтернативное применение будет ограничиваться городскими зонами для обеспечения высоких уровней сигнала, необходимых для приема на портативное оборудование. В данном случае ОЧС для каждой городской зоны с традиционным подходом к планированию могла бы использоваться для обеспечения различных служб в отдельных городских зонах. Один из аспектов использования ОЧС может касаться не только систем с множеством несущих. Если в системе с одной несущей используются фазовые корректоры, то возможно применение одной частоты на главной станции и на ее ближайшей ретрансляционной станции для обеспечения расширенного покрытия. Однако одно из типичных требований к фазовому корректору

состоит в обеспечении значительной разницы между амплитудой основного сигнала и любыми задержанными компонентами. Если оно выполняется, то не будет перекрытия между зонами обслуживания главной станции и любой из ее ретрансляционных станций или между зонами обслуживания отдельных ретрансляционных станций либо оно будет очень небольшим.

Подробная информация о сетевом планировании содержится в Главе 6.

### **2.4.3 Доступность обслуживания**

Снижение четкости между пунктом, в котором впервые стало заметно ухудшение изображения, и пунктом, в котором изображение становится невидимым, является характеристикой цифровых телевизионных систем, влияющей на факторы планирования. При факторе ухудшения порядка 1 дБ может стать необходимым критический пересмотр критериев планирования в части доступности и качества обслуживания в свете стремления к возможно точному сохранению существующего покрытия аналоговым вещанием.

Доступность обслуживания в определенном месте и в определенное время является фактором, который должен быть выбран для обеспечения эффективным и практически осуществимым образом требуемого цифрового телевизионного обслуживания. Характеристики передачи и приема цифровой телевизионной системы отличаются от характеристик аналоговой системы, и вероятно, что для обеспечения приемлемого цифрового телевизионного обслуживания существуют лучшие показатели места и времени доступности, чем те, что используются для планирования аналоговой службы. Предоставление цифровых услуг требует пристального внимания к зоне покрытия или доступности обслуживания, и обычно считается, что необходима доступность в 90% или даже 99% мест и времени.

Одним из требований обеспечения покрытия для цифрового телевидения было названо согласование существующих аналоговых служб в ТВ диапазонах ОВЧ/УВЧ. При планировании зон покрытия цифровым ТВ необходимо решить вопрос о необходимости постановки задачи *доступности обслуживания* на границе защищенной зоны покрытия или вблизи от нее, которая соответствовала бы "эквивалентной" доступности, обеспечиваемой аналоговыми службами. Несмотря на то что аналоговая служба планируется на основе расчетных характеристик, по крайней мере, для 50% мест и 90% или 99% времени, характеристики постепенного ухудшения качества аналоговой службы приводят к значительно более высоким статистическим показателям доступности обслуживания на краю зоны покрытия или вблизи нее. Если стоит задача с помощью цифровой телевизионной станции в точности повторить зону покрытия аналоговой станции, то потребуются учитывать более высокий уровень запаса на распространение из-за внезапного наступления порога прекращения обслуживания, демонстрируемого цифровым телевидением.

На доступность обслуживания может влиять уровень мощности передатчика, необходимый для установления желаемой доступности на требуемом расстоянии покрытия. Когда доступность обслуживания по месту или времени возрастает, то увеличивается требуемая передаваемая эффективная излучаемая мощность, и расстояния разноса, требуемые для защиты от помех между цифровой и аналоговой службами, также увеличиваются.

Подробная информация по этому вопросу представлена в Главах 3 и 7.

## **2.5 Рассмотрение вопросов помех**

### **2.5.1 Помехи аналоговым службам со стороны цифровых**

Рассматривая введение служб ЦНТВ на основе "совмещения" с существующими аналоговыми службами, необходимо определить допустимую степень ухудшения аналоговых служб от помех в совмещенном канале (CCI) и от помех по соседнему каналу (ACI). В общем случае передаваемый цифровой сигнал имеет спектральную характеристику, похожую на гауссов шум. Вследствие этого помеха в совмещенном канале вызовет возрастание шумовых порогов аналоговых приемников, что в свою очередь ухудшит качество изображения (по 5-балльной шкале МСЭ), получаемого на границе зоны обслуживания аналоговым вещанием. Целью планирования в основном является ограничение этого ухудшения качества из-за помех аналоговым службам в совмещенном канале со стороны цифровых. В настоящее время нормой являются оценки 4,0 (для непрерывной помехи) и 3,0 (для тропосферной помехи).

### 2.5.2 Помехи цифровой службе со стороны цифровой

С учетом шумоподобной природы спектра цифровой передачи чувствительность цифровых систем к цифровой помехе в совмещенном канале почти идентична их чувствительности к тепловым шумам. А именно, чувствительность повышается при увеличении уровней модуляции до высших уровней модуляции, например 16- и 64-КАМ (теоретически примерно на 7 дБ и примерно на 13 дБ, соответственно). Однако повышенная скорость передачи, получаемая при более высоких уровнях модуляции, позволяет использовать весьма сложные схемы коррекции ошибок, которые компенсируют эти потери и обеспечивают общий выигрыш в характеристиках.

### 2.5.3 Помехи цифровой службе со стороны аналоговой

Основные источники помех цифровой службе со стороны аналоговой в совмещенном канале сконцентрированы около поднесущих частот изображения, звука и цветности аналоговой системы. Несмотря на то что "узкополосная" помеха может быть очень разрушительной для цифровой передачи, сложные схемы коррекции ошибок, подробно описанные в Части 1 настоящего Справочника, могут эффективно справляться с этим типом помех и обеспечивать более устойчивые характеристики. Как и для случая помехи "цифровой службе со стороны цифровой", окончательные характеристики будут зависеть от выбора уровня модуляции, пропускной способности, отводимой на защиту от ошибок, а также, до некоторой степени, от конкретных характеристик системы модуляции, независимо от того, использует ли она по своей природе одну или множество несущих.

Подробная информация по вопросу вычисления помех содержится в Главе 7.

## 2.6 Влияние характеристик приемной системы

Параметры приемной системы являются источником ряда факторов, влияющих на планирование выделений или присвоений частот. Ключевыми показателями являются шум-фактор приемной системы, распределение шумов и помех на входе приемника и защитные отношения (в особенности в совмещенном канале и по соседнему каналу), необходимые для обеспечения возможности приема без влияния помех как при аналоговом, так и при цифровом вещании.

Вблизи границы покрытия шум-фактор приемной системы оказывает прямое влияние на требуемую напряженность поля и поэтому определяет необходимую мощность передатчика. Для планирования цифрового телевидения типичная приемная система может содержать антенну, соединительный кабель и приемник или те же самые компоненты, дополненные малошумящим предварительным усилителем, смонтированным на антенне. При первой конфигурации на требуемую напряженность поля влияют шум-фактор приемника и потери в соединительном кабеле. Во втором случае, с малошумящим предварительным усилителем, основное влияние на определение требуемой напряженности поля оказывает шум-фактор этого предварительного усилителя (порядка 5 дБ). Влияние потерь в линии и шум-фактора приемника уменьшается за счет усиления предварительного усилителя. Вообще конфигурация с предварительным усилителем потребует меньшей напряженности поля, чем конфигурация только с приемником.

Другим ключевым фактором, влияющим на планирование выделений и присвоений частот, является сочетание требуемого отношения несущая/шум ( $C/N$ ) на антенном выводе ТВ приемника и требуемого отношения несущая/помеха ( $C/I$ ) в совмещенном канале. Отношение  $C/N$  вместе с коэффициентом усиления приемной антенны, шум-фактором и желаемым качеством сигнала определяет требуемую напряженность поля приемной системы. Упомянутое соотношение ( $C/I$ ) в совмещенном канале в совокупности с развязкой за счет направленности приемной антенны определяет требуемый разнос или уровень защиты в совмещенном канале. В случае цифрового телевидения шум и цифровая помеха в совмещенном канале являются аддитивными, так как эта помеха ведет себя как шум. В результате на входе приемника существует минимальное отношение  $C/(N+I)$ , которое должно выполняться для достижения заданного порогового уровня качества изображения, обычно именуемого порогом видимости. После того как это значение определено для целей планирования, необходимо произвести разделение между  $C/N$  и ( $C/I$ ) для пороговой величины  $C/(N+I)$ . На основе равного деления между шумом и помехой,  $C/N=C/I$ , необходимо будет установить величину защитного контура цифрового телевидения примерно на 3 дБ выше величины порога видимости.

Подробная информация о суммировании помехи и шума приведена в Главе 3.

## 2.7 Защитные отношения

Защитные отношения для различных помеховых ситуаций требуются в случаях:

- Цифровое телевидение мешает цифровому телевидению.
- Аналоговое телевидение мешает цифровому телевидению.
- Цифровое телевидение мешает аналоговому телевидению.

Используемые в планировании защитные отношения обычно основываются на величинах, полученных при измерениях или испытаниях цифровой телевизионной системы. Защитные отношения по совмещенному и соседнему каналам оказывают наибольшее воздействие на планирование и влияют на системные параметры и местоположения передатчиков. Следует уделить внимание защитному отношению по соседнему каналу, чтобы гарантировать, что оно обеспечивает защиту не только от соседнего мешающего сигнала, но также и от соседнего внеполосного спектра данного сигнала (который появляется в качестве помехи в совмещенном канале полезного сигнала).

В настоящем Справочнике не приводятся подробностей о величинах защитных отношений. Это объясняется тем, что, по всей вероятности, в течение нескольких ближайших лет эти величины значительно изменятся, как только станет доступной больше информации о реальных (бытовых) приемниках. Читателю можно посоветовать обращаться по вопросу защитных отношений для аналогового и цифрового телевидения к Рекомендации МСЭ-R ВТ.655 и Рекомендации МСЭ-R ВТ.1368, соответственно.

## 2.8 Аспекты передачи

Ожидается, что вещатели захотят использовать как можно в большем объеме свою существующую передающую инфраструктуру, в особенности передающие станции и антенные мачты, в которые вложены значительные инвестиции и которые следует по возможности использовать повторно. В таких случаях желательно, если возможно, достичь примерно той же зоны покрытия, что и у существующих аналоговых служб. Даже для новых служб, чтобы уменьшить воздействие на окружающую среду и снизить расходы, может оказаться желательным повторное использование некоторых существующих технических средств.

Весьма важным является мирное сосуществование аналоговых и цифровых телевизионных служб, которое оказывает значительное влияние на повторное использование существующих передающих станций и мачт, а возможно, даже и существующих антенн, первоначально установленных для аналогового телевидения.

Вследствие большого числа разновидностей существующего передающего оборудования аналогового телевидения и вероятности того, что оборудование цветного телевидения будет не менее разнообразно, невозможно дать конкретные рекомендации по этому вопросу. Каждый отдельный случай нужно рассматривать по существу.

Подробная информация о конкретных примерах аспектов передачи содержится в Главе 9.



## ГЛАВА 3

### СЛОЖЕНИЕ РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ СИГНАЛОВ

#### 3.1 Прогноз уровней сигналов в 50% мест

Методы прогнозирования распространения, использующие информацию из банков данных о рельефах местности, существующих в ряде стран, дают значительное улучшение точности прогнозирования по сравнению с простыми способами, такими как в Рекомендации МСЭ-Р Р.370<sup>1</sup>. Однако было обнаружено, что эти новые способы никогда не могут быть применены универсально из-за наличия в каждой компьютерной программе эмпирических поправочных коэффициентов, которые улучшают результаты для данного типа рельефа местности в конкретной стране.

Испытания, проведенные в рамках ЕСР для исследования полученных таким путем величин разностей (путем сравнения данных прогнозирования с результатами измерений), показали, что ни один из результатов, полученных с помощью доступных компьютерных программ, не был устойчиво лучше, чем при использовании простого метода, такого как применяется в Рекомендации МСЭ-Р Р.370. Последний по своей природе является, конечно, статистическим, и используемые им кривые предназначены для получения приемлемых результатов с учетом типов рельефов местностей, встречающихся во многих регионах мира. Рекомендация МСЭ-Р Р.370 имеет также преимущество в том, что она согласована на международном уровне, например для использования на конференциях.

Интересно отметить, что некоторые недавние опыты показали, что Рекомендация МСЭ-Р Р.370 может предоставить лучший метод прогнозирования распространения в отношении сигналов T-DAB, чем некоторые более сложные методы с использованием баз данных о рельефе местности. Поскольку как T-DAB, так и версия цифрового наземного телевидения DVB-T являются системами с OFDM, представляется возможным, что Рекомендация МСЭ-Р Р.370 (или заменившая ее Рекомендация МСЭ-Р Р.1546) может, таким образом, дать приемлемый метод прогнозирования распространения для случая наземного цифрового телевидения. Однако необходимо помнить, что Рекомендация МСЭ-Р Р.370 предлагает статистический метод, который не может прогнозировать зоны плохого приема, вызванного препятствиями на пути распространения. Действительно, некоторые эксперименты показывают, что стандартное отклонение разности между измерениями в 50% мест и прогнозом по Рекомендации МСЭ-Р Р.370 составляет примерно 13 дБ. Такая большая величина показывает, что для точности прогнозирования может быть не очень важно, каково точное значение величины уровня сигнала в зависимости от изменения положения, связанного с сигналами OFDM – составляет ли оно 4 дБ или 7 дБ, в действительности не очень важно. Последний вопрос более подробно рассматривается в § 3.2 и 3.3.

Вследствие очень значительных различий условий распространения по путям, проходящим над сушей и над морем, береговая линия (возможно, в упрощенной форме) должна быть включена в вычисления для прогнозирования распространения, чтобы дать возможность учесть эти различия при вычислении уровней помех.

#### 3.1.1 Прогнозирование уровней полезных сигналов

В настоящее время нет конкретных соображений, которые бы принимались в расчет при прогнозировании уровней *полезных* сигналов по пути от отдельного передатчика к приемнику в случае прогнозирования, основанного на Рекомендации МСЭ-Р Р.370. Значения в этом случае пригодны для 50% времени, так же как и к требованию 99% времени для полезных сигналов. Для коротких расстояний, примерно до 60 км, существуют ничтожно малые различия в значениях уровней сигналов

---

<sup>1</sup> Данная Рекомендация МСЭ во время подготовки настоящего Справочника к печати была заменена Рекомендацией МСЭ-Р Р.1546. Комментарии, сделанные в этом Справочнике касательно Рекомендации МСЭ-Р Р.370, в равной мере относятся к Рекомендации МСЭ-Р Р.1546.

для 50% и 99% времени. Однако существуют различия в распространении по трассам над сушей и над морем, и поэтому необходимо учитывать характер каждой отдельной трассы распространения – проходит ли она только над сушей, только над морем или по смешанной трассе над сушей и морем.

При наличии соответствующей информации Рекомендация МСЭ-R P.370 позволяет производить коррекцию с использованием угла просвета над местностью для трассы от конкретного пункта приема в направлении передающей станций.

При прогнозировании уровня сигнала с использованием банка данных о рельефе местности будет учитываться любая информация, требуемая отдельной моделью. Как отмечалось выше, можно ожидать, что величины, прогнозируемые для данной трассы, будут зависеть от используемой модели.

### **3.1.2 Прогнозирование уровней помех**

В ходе как процесса планирования, так и процесса координации необходимо прогнозировать уровень напряженности поля помех, наводимых одной передающей станцией в зоне обслуживания на другую. При вычислении уровня напряженности мешающего поля следует использовать кривые Рекомендации МСЭ-R P.370 (или Рекомендации МСЭ-R P.1546) для 1% времени. Однако могут быть использованы и другие способы, если между странами имеется соглашение по этому вопросу.

В идеальном случае вычисления должны проводиться в точках, определяющих зону обслуживания защищаемой станции. Однако при некоторых обстоятельствах это может быть невозможно или не необходимо. Можно выделить два случая:

#### *а) Прогнозирование точек, определяющих зону обслуживания*

Прогнозирование уровней напряженности поля помехи обычно производится в точках на периферии зоны обслуживания защищаемой станции. Предпочтительно, чтобы точки, определяющие край зоны обслуживания, были указаны или вычислены на 36 или 12 равномерно разнесенных радиальных лучах от передающей станции. Описанная в Рекомендации МСЭ-R P.370 (и Рекомендации МСЭ-R P.1546) коррекция угла просвета над местностью может быть включена в вычисление уровней напряженности поля помехи в этих точках, если имеется достаточная информация, касающаяся местного рельефа. В случае, если граничные точки указываются, а не вычисляются, особые требования к их нахождению на равномерно разнесенных радиальных лучах отсутствуют.

#### *б) Прогнозирование местоположения передающей станции*

В некоторых случаях может не быть возможности или необходимости определять зону обслуживания способом, описанным в предыдущем параграфе. Например, это может быть защищаемая станция малой мощности с очень небольшим радиусом покрытия. Чтобы определить зону обслуживания и вычислить уровни помех во многих точках, необязательно прибегать к вычислениям. В этом случае местоположение передающей станции можно выбрать в качестве представителя защищаемой зоны обслуживания и прогноз напряженности поля помех может быть сделан для этой точки. Однако если высота местности на передающей станции не может представлять защищаемую зону, то коррекцию угла просвета рельефа применять не следует.

### **3.2 Статистические данные по местоположению точек приема**

Внутри малой зоны, скажем, 100 м × 100 м, будут происходить случайные изменения уровня сигнала в зависимости от местоположения точек приема, вызванные местными неоднородностями рельефа. Статистика этого типа изменений, как правило, характеризуется логарифмически нормальным распределением уровней сигналов. Недавние измерения цифровых сигналов показали, что стандартное отклонение составит примерно 5,5 дБ, в некоторой зависимости от среды, окружающей место приема.

В действительности невозможно сказать, что существует большой объем данных измерений, *полностью* удовлетворяющий любой отдельной величине стандартного отклонения для цифровых телевизионных сигналов при изменении местоположений. Однако имеющиеся доказательства показывают, что это стандартное отклонение, по-видимому, будет близко к 5,5 дБ, по крайней мере, для трасс вне помещений. Любые величины, относящиеся к покрытию вне помещений, в остальной части настоящего документа будут основаны на стандартном отклонении, равном 5,5 дБ. Для приема внутри помещения стандартное отклонение будет больше, и этот вопрос подробно рассматривается в Главе 5. Разность между 50% и 95% мест составит, таким образом, 9 дБ, а разность между 50% и 70% мест составит 2,9 дБ. Необходимо подчеркнуть, что эти значения не учитывают неточности, присущие любому способу прогнозирования распространения радиоволн.

В случае, когда полезный сигнал состоит из нескольких отдельных сигналов от различных передатчиков, результирующее стандартное отклонение становится переменным, зависящим от напряженности поля отдельных сигналов. Вследствие этого разность между 50% и 70% или 95% мест будет переменной. Однако она всегда будет меньше, чем при отдельном сигнале. Этот вопрос более подробно рассматривается в § 6.3.

### **3.3 Вычисление зоны покрытия для цифрового телевидения**

#### **3.3.1 Необходимость сложных методов вычислений**

Главным вопросом, возникающим при попытке построить новую наземную цифровую телевизионную сеть, является оценка зоны обслуживания и охватываемого населения. Эти оценки делаются путем определения уровня полезного сигнала(ов) и уровня мешающих сигналов. Поскольку, как показано в § 3.3.2, при падении уровня полезного сигнала ниже его "минимального" значения происходит внезапный отказ цифрового приема, целевой показатель процента мест, номинально относящийся к любому краю зоны<sup>2</sup> обслуживания, должен быть для цифровых систем намного выше 50% мест, используемых для аналоговых телевизионных систем. Для передач цифрового телевидения обычно назначаются значения, лежащие в диапазоне от 70% до 95% (см. Главу 4). Из этого рассмотрения видно, что некоторые простые средства, используемые для оценки покрытия аналоговым телевидением, не вполне удовлетворительны и необходимо делать более сложные вычисления.

#### **3.3.2 Влияние характеристик внезапного отказа**

В процессе оценки зоны покрытия аналоговой телевизионной службы с использованием обычных средств прогнозирования величина напряженности поля, определенная на краю зоны покрытия, является средней величиной. Она представляет среднюю величину всех реальных значений напряженности поля, которые могли быть измерены в малой зоне, обычно 100 м × 100 м. При этом подразумевается, что в такой малой зоне примерно половина реальных значений напряженности поля находится выше средней величины и примерно половина – выше этой величины. Если для аналогового телевидения величина, скажем 67 дБ(мкВ/м), определена как нижний предел средней величины, то это означает, что внутри зоны покрытия могут быть найдены меньшие значения напряженности поля. Однако если 67 дБ(мкВ/м) соответствует оценке 4 градации качества изображения согласно шкале МСЭ, то меньшее значение напряженности поля даст несколько худшее качество из-за плавного ухудшения аналогового приема в присутствии шума или в присутствии помехи. Снижение  $C/N$  или  $C/I$  примерно на 6 дБ приведет к потере одного балла по шкале качества изображения. Таким образом, даже если на краю зоны обслуживания реальная величина полезной напряженности поля окажется ниже установленной предельной величины, изображение все равно будет принято, но с худшим

---

<sup>2</sup> Термин "край" подразумевает *любой* переход от зоны покрытия к зоне, не охваченной обслуживанием. Эти "края" могут находиться у внешней границы зоны покрытия или у границ любых не охваченных обслуживанием зон, которые могут существовать внутри полной зоны, обычно в результате местного экранирования на пути полезного сигнала.

качеством. Можно сказать, что для аналогового телевидения свойственно предположение, что на краю зоны обслуживания "среднее" качество соответствует оценке 4.

Относительно цифрового телевидения известно, что режим работы цифрового приемника совершенно другой. Когда уровень сигнала уменьшается и  $C/N$  или  $C/I$  падает ниже заданной "минимальной" величины, изображение исчезает полностью после дальнейшего уменьшения уровня сигнала меньше чем на 1 дБ. Это поведение обычно именуется "характеристикой внезапного отказа цифровой системы", и предельная величина напряженности поля обозначается как минимальная напряженность поля. Если то же самое определение зоны покрытия, что и для аналогового телевидения, было бы использовано для цифрового телевидения, то это бы означало, что не обслуживалось 50% местоположений, находящихся вблизи края зоны обслуживания или в любых других зонах пониженного сигнала, обусловленных местными препятствиями. Причиной этого является отсутствие плавного ухудшения качества в цифровых приемниках, где качество изображения стремительно изменяется от градации 5 до градации 0, минуя промежуточные уровни качества. Очевидно, что показатель, составляющий всего 50% местоположений, в которых принимается изображение, совершенно неприемлем и что должно быть выбрано более высокое процентное отношение местоположений, чтобы обеспечить прием на стандартное приемное оборудование большему количеству домохозяйств.

Точная величина выбирается в зависимости от намеченного уровня качества обслуживания, и поэтому эти величины могут быть меняться от одной страны к другой или даже от одной компании к другой в одной данной стране. Тем не менее две величины, 70% и 95% местоположений, выбраны в определениях зон покрытия, данных в Главе 4.

### 3.3.3 Использование $C/I$ и $C/N$

Оценка зоны покрытия полезного цифрового передатчика выполняется с использованием параметров выбранной системы и с учетом всех передатчиков, работающих вблизи данного цифрового передатчика в том же канале или в смежных каналах. Большая часть этих сигналов будет создавать помехи полезному цифровому сигналу; исключением является ОЧС, в которой сигналы, приходящие от соседних передатчиков, могут давать положительный эффект. Необходимо заметить, что выражение "вблизи" может означать "в пределах нескольких сотен километров".

#### 3.3.3.1 Случай одного места приема

Для одного места приема, охваченного цифровой телевизионной передачей, нам известно, что выраженный в дБ уровень полезного сигнала должен быть выше уровня шума на определенную величину, которая является минимальным отношением  $C/N$ . Это можно выразить в дБ формулой  $C \geq \alpha + N$ , где  $\alpha$  обозначает минимальное  $C/N$ ,  $N$  – минимальный уровень сигнала, а  $C$  – уровень полезного сигнала. Таким же образом для преодоления воздействия источника помех уровень полезного сигнала должен быть больше уровня этого источника помех на некоторую величину, называемую защитным отношением для данного конкретного типа источника помех. Это также может быть выражено в дБ как  $C > \beta + I$ , где  $\beta$  – защитное отношение (относящееся к минимальному  $C/I$ ). Сумма  $\beta + I$  (защитное отношение + напряженность поля источника помех) часто называется мешающим полем. (На практике следует также учитывать избирательность приемной антенны по отношению к мешающему сигналу.)

Из-за различной природы и значений ширины полосы источников помех, которые по-разному воздействуют на несущие сигнала OFDM, величина защитного отношения сильно отличается для различных типов источников помех. Защитные отношения оцениваются в лабораториях при допущении, что имеется только один источник помех (только шум или один мешающий сигнал).

В реальном мире полезный сигнал подвергается мешающему воздействию шума и, возможно, нескольких источников помех, которые могут относиться к разным типам. Уровень полезного сигнала, таким образом, должен сравниваться с комбинацией мешающих сигналов. Ясно, что из-за различной природы этих сигналов мощность полезного сигнала не может непосредственно сравниваться с суммой мощностей шума и сигналов источников помех.

Таким образом, обозначения  $C/(N + I)$  следовало бы избегать, потому что выражение  $(N + I)$  может быть интерпретировано как сложение мощности шума и мощности каждого источника помех, что могло бы привести к величине, не имеющей смысла. Величинами, которые могут сравниваться с полезным сигналом, являются мешающие поля  $(\beta + I)$ .

Вследствие того, что в данном конкретном случае одного места приема уровни сигнала являются реальными величинами, условия хорошего приема могут быть просто выражены как:

$$\Sigma P_C \geq P_N + \Sigma P_{(\beta + I)},$$

где:

- $\Sigma P_C$ : мощность полезных сигналов;
- $P_N$ : эквивалентная мощность шумов;
- $\Sigma P_{(\beta + I)}$ : мощность мешающих полей, причем все мощности выражены арифметически.

### 3.3.3.2 Случай малой зоны

На практике невозможно узнать действительные величины напряженности поля в каждом месте приема, чтобы можно было применить предыдущую формулу и точно определить зону покрытия. Могут быть получены только числа, выражающие средние значения напряженности поля в малых зонах (обычно 100 м × 100 м).

Задача состоит в том, чтобы узнать, находится ли данная малая зона внутри или вне зоны покрытия, и для этого вычисляется вероятность хорошего приема в этих зонах. Эта вероятность представляет собой процентное отношение мест приема, в которых можно принять удовлетворительный сигнал (мощность которого больше или равна сумме мощностей шума и помех) внутри малой зоны. Установлено, что малая зона находится внутри всей зоны покрытия, если вычисленная вероятность окажется выше заданного порога в 70% или 95% (для определений зон покрытия, приведенных в Главе 4).

Вычисление вероятности выполняется с использованием соответствующих фиксированных величин уровня шума и защитных отношений для каждого типа источника помех и для значений напряженности поля, которые являются случайными переменными. При этом прогнозирование среднего уровня напряженности поля полезного сигнала и каждого мешающего сигнала осуществляется с применением метода прогнозирования по Рекомендации МСЭ-R P.370 (или Рекомендации МСЭ-R P.1546) или по моделям прогнозирования, использующим банки данных о рельефе местности.

Однако в связи с тем, что уровни мощности полезного и мешающего сигналов являются случайными переменными и известны только их средние значения и стандартные отклонения, вышеприведенная формула не должна применяться только к средним уровням мощности полезного и мешающего сигналов. Поэтому необходимо обратиться к математическим моделям распределения значений напряженности поля для различных местоположений и использовать математические методы с целью получения результатов объединения нескольких случайно распределенных сигналов.

### 3.3.4 Методы вычислений

Основным принципом определения зоны обслуживания является оценка среднего значения и стандартного отклонения напряженности поля полезного сигнала и напряженности поля помех в большом количестве испытываемых местоположений в предполагаемой зоне обслуживания и с учетом указанных выше значений, что позволяет вычислить процент обслуживаемых местоположений. Это можно делать в различных направлениях, исходящих из места расположения передатчика, например через каждые 10° или, в некоторых случаях, с более высокой плотностью испытываемых местоположений.

Для аналогового телевидения равные значения напряженности поля полезного сигнала и напряженности поля помехи соответствуют охвату 50% местоположений. Для вычисления эквивалентного уровня сигнала помехи при наличии нескольких мешающих сигналов разработаны различные методы. Эти методы можно найти в Отчете МСЭ-R BS.945. В случае использования ОЧС полезный сигнал также может состоять из нескольких отдельных сигналов.

### **3.4 Объединение уровней сигналов для оценки покрытия**

#### **3.4.1 Введение**

Одним из часто задаваемых вопросов является вопрос о том, как объединить мешающие сигналы, если их больше одного, и как учесть влияние шума. Некоторые методы вычислений для ответа на этот вопрос представлены ниже. Все они являются статистическими методами, которые требуют машинной обработки и используют модели реальной ситуации. Во всех этих методах, за исключением метода сложения мощностей, предполагается, что значения напряженности поля имеют логарифмически нормальное распределение в зависимости от процента местоположений.

Первый метод представляет собой численный подход, который способен обеспечить необходимую точность, но требует много машинного времени. Остальные методы являются приближенными и представлены в порядке нарастания сложности, а это нарастание сложности соответствует увеличению времени машинной обработки.

Следует отметить, что, хотя может существовать некоторая корреляция между отдельными сигналами, как полезными, так и мешающими, ни один из нижеописанных методов не включает корреляционной обработки в ее исходном виде. Однако некоторые из них могут быть расширены для включения корреляции. Результат корреляции изменяется в зависимости от ситуации приема. Он может приводить или к увеличению, или к уменьшению покрытия в зависимости от конкретной корреляционной ситуации.

#### **3.4.2 Метод Монте-Карло**

В отличие от детерминированного метода (численного интегрирования), метод Монте-Карло является более точным методом, пригодным для оценки вероятности покрытия. Зная среднее значение и стандартное отклонение распределения каждого сигнала, можно смоделировать ситуацию для большого количества мест приема в малой зоне (скажем, 100 м × 100 м). Это делается путем генерирования одного случайного значения поля полезного сигнала и одного случайного значения поля каждого источника помех. Для каждой комбинации можно проверить, обслуживается ли или нет место приема, путем сравнения мощности полезного сигнала с суммой мощностей шума и мешающих полей.

Вероятность охвата данной малой зоны может быть получена путем повторения этого моделирования для большого количества комбинаций полезного и мешающих сигналов. Использование большого количества комбинаций делает этот метод более точным, но может требовать очень большого времени машинной обработки. Кроме того, этот процесс должен повторяться для большого количества малых зон, чтобы можно было представить всю зону покрытия полностью.

#### **3.4.3 Метод сложения мощностей**

Этот метод был использован для оценки множественной помехи на нескольких конференциях МСЭ. Сумма уровней сигналов вычисляется путем нестатистического сложения мощностей отдельных сигналов. Для нежелательных сигналов мощности средних значений отдельных мешающих полей складываются с мощностью минимальной напряженности поля (представляющей вклад, вносимый шумом). Для полезных сигналов в ОЧС мощности отдельных полезных полей складываются. Охват 50% местоположений достигается, если сумма уровней мешающих сигналов равняется сумме уровней полезных сигналов.

Что касается цифрового телевидения, к результирующему мешающему полю должен быть добавлен запас по мощности, чтобы можно было охватить больше 50% местоположений. Этот запас связан с задаваемым процентом местоположений. Его значение нельзя получить с помощью метода сложения мощностей. Как правило, используется значение, полученное из стандартного отклонения единичного сигнала.

Этот метод дает приемлемые результаты для заданных 50% местоположений, но показывает неприемлемые результаты при более высоких процентных отношениях из-за своего нестатистического характера. Подробные формулы даны в Приложении 1 к настоящей Главе.

#### **3.4.4 Упрощенный метод умножения**

Упрощенный метод умножения является статистической процедурой вычислений, которая также была использована для оценки множественной помехи, например на Региональной радиовещательной конференции в диапазоне ОВЧ/ЧМ (Женева, 1984 г.).

Он дает вероятность покрытия при наличии нескольких мешающих сигналов, которые, как предполагается, распределены по логарифмически нормальному закону с известными средними значениями и стандартными отклонениями. Зона покрытия может быть определена путем вычисления вероятности для различного процента местоположений. Контур зоны покрытия образуется совокупностью местоположений, в которых вероятность покрытия достигает требуемой величины.

Вследствие того что при статистической обработке влияние шума не учитывается, при низких уровнях помех возможна завышенная оценка зоны покрытия. Однако влияние шумов можно учесть в конце процесса вычислений.

Этот метод подробно объяснен в Техническом документе ECP 3254 (EBU Doc. Tech 3254), но необходимо отметить, что он не применим к сетям ОЧС, поскольку не может работать с множеством полезных сигналов.

#### **3.4.5 Логарифмически нормальный метод**

Логарифмически нормальный метод (LNM) является приближенным методом статистических вычислений распределения сумм нескольких переменных, распределенных по логарифмически нормальному закону. При вычислении покрытия он позволяет оценить вероятность охвата малой зоны. Данный метод основан на предположении, что распределения результирующих сумм полезного и мешающего полей также являются логарифмически нормальными. Он состоит из нескольких шагов. Вначале вычисляются распределения составных полезных ( $C$ ) и мешающих ( $NF$ ) полей. Затем определяются соответствующие распределения  $C/NF$  и  $C/N$ . И наконец, комбинация этих распределений дает вероятность покрытия зоны. Метод LNM до некоторой степени способен работать с разными стандартными отклонениями в распределениях отдельных полей.

Для повышения точности метода LNM в области больших вероятностей (высоких значений покрытия) может быть введен поправочный коэффициент. Эта версия LNM называется  $k$ -LNM.

Подробные формулы стандартного метода LNM и  $k$ -LNM даны в Приложении 2 к этой Главе. Упрощенная версия стандартного метода LNM описана в Отчете МСЭ-R BS.945. (Не следует путать ее с так называемым "упрощенным логарифмически нормальным методом", который применим только при вычислениях 50% охвата и поэтому не используется для планирования цифрового телевидения.)

#### **3.4.6 Метод $t$ -LNM**

Метод  $t$ -LNM является приближенным методом статистических вычислений распределения сумм нескольких переменных, распределенных по логарифмически нормальному закону. Его структура подобна структуре стандартного LNM и основана на той же идее, что распределение суммы двух логарифмически нормальных переменных также является логарифмически нормальным. Однако параметры этого распределения суммы вычисляются другим путем и, вследствие этого, отличаются от параметров стандартного LNM.

Этот подход приводит к большей точности в области больших вероятностей (высоких значений покрытия) по сравнению со стандартным и  $k$ -LNM подходами, но такая точность обеспечивается за счет большей математической сложности. Метод  $t$ -LNM позволяет обрабатывать различные стандартные отклонения полей единичных сигналов с небольшими ограничениями. Конкретный случай шума может рассматриваться как мешающий сигнал со стандартным отклонением 0 дБ.

Описание данного метода приведено в Приложении 3 к настоящей Главе.

#### **3.4.7 Метод Швартца и Йеха**

Метод Швартца и Йеха представляет собой итеративный метод вычисления характеристик результирующего сигнала  $N$  помех. В нем делается допущение, что комбинация двух логарифмически нормальных переменных также имеет логарифмически нормальное распределение (это общее приближение), а также приводятся формулы для вычисления результирующей двух переменных. При более чем двух сигналах применяется итеративный процесс. Общий подход этого метода очень похож на метод  $t$ -LNM, и точность обоих методов сравнительно высока; по этой причине дополнительные подробности здесь не приводятся.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### К ГЛАВЕ 3

#### **Метод сложения мощностей**

Метод сложения мощностей представляет собой процедуру для приближенного вычисления среднего значения суммарного поля. Если среднее значение (в логарифмических единицах) напряженности поля единичного сигнала обозначить как  $\bar{F}$  и выразить в дБ (мкВ/м), то его мощность (в произвольных единицах) выразится как:

$$P = 10^{\frac{\bar{F}}{10}}$$

При  $n$  отдельных полей соответствующие мощности складываются:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_i$$

и среднее значение  $\bar{F}_{\Sigma}$  (в логарифмических единицах) суммарной напряженности поля вычисляется как:

$$\bar{F}_{\Sigma} = 10 \log_{10} (P_{\Sigma})$$



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### К ГЛАВЕ 3

#### Стандартный метод LNM и $k$ -LNM

Данный подход основан на идее описания распределения суммы двух статистических переменных, распределенных по логарифмически нормальному закону, новым логарифмически нормальным распределением, параметры которого определяются предписанием, гласящим, что среднее значение и стандартное отклонение нового приближенного распределения должны быть идентичны тем же величинам истинного суммарного распределения:

$$M_{power}^{approx} = M_{power}^{true}, \quad S_{power}^{approx} = S_{power}^{true},$$

где  $M$  и  $S$  обозначают среднее значение и стандартное отклонение соответствующих распределений.

Поскольку результирующее приближенное суммарное распределение принимается логарифмически нормальным, оно может быть снова объединено с третьим логарифмически нормальным распределением и так далее, то таким образом можно построить приближенное распределение  $n$  статистических переменных с логарифмически нормальным распределением. Эта процедура может быть выполнена и аналитически.

Предположим, что задано:

$n$  логарифмических полей  $F_i$  с гауссовым распределением (параметры  $\bar{F}_i, \sigma_i, i=1 \dots n$ ).

Задача состоит в нахождении параметров приближенного логарифмически нормального суммарного распределения:

1. Преобразовать  $\bar{F}_i, \sigma_i, i=1 \dots n$ , из дБ в неперы (чтобы избежать при вычислениях неудобных констант):

$$X_{\text{Neper}} = \frac{1}{10 \log_{10}(e)} * X_{\text{dB}}$$

2. Оценить средние значения  $M_i$  и дисперсии  $S_i^2$  для  $n$  полей:

$$M_i = e^{\bar{F}_i + \frac{\sigma_i^2}{2}}, \quad S_i^2 = e^{2\bar{F}_i + \sigma_i^2} * \left( e^{\sigma_i^2} - 1 \right) \quad i = 1 \dots n$$

3. Определить среднее значение  $M$  и дисперсию суммарного распределения поля напряженности,  $S^2$ :

$$M = \sum_{i=1}^n M_i, \quad S^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2$$

4. Определить параметры  $\sigma_\Sigma$  и  $\bar{F}_\Sigma$  приближенного суммарного логарифмически нормального распределения:

$$\sigma_\Sigma^2 = \log_e \left( k \frac{S^2}{M^2} + 1 \right), \quad \bar{F}_\Sigma = \log_e(M) - \frac{\sigma_\Sigma^2}{2} \quad i = 1 \dots n$$

где  $k$  – поправочный коэффициент в диапазоне  $0 \dots 1$ .

5. Преобразовать  $\sigma_\Sigma$  и  $\bar{F}_\Sigma$  из неперов в дБ:

$$X_{\text{дБ}} = 10 \log_{10}(e) * X_{\text{Непер}}$$

Недостатком метода  $k$ -LNM является то, что поправочный коэффициент  $k$  зависит от количества, мощностей и дисперсий участвующих полей. Для получения оптимального результата была бы необходима таблица интерполяций, но она непригодна для такого эвристического подхода как  $k$ -LNM. Поэтому чтобы сохранить простой и аналитический характер аппроксимации, может быть выбрано только среднее значение  $k$ , извлеченное из представительной выборки конфигураций полей. Платой за такую простоту является неточность, доходящая до нескольких дБ, для 1%-квантиля при некоторых довольно типичных конфигурациях. При суммировании полей со стандартными отклонениями от 6 до 10 дБ представляется, что значение  $k = 0,5$  является достаточно хорошим компромиссом. При меньших стандартных отклонениях следует использовать большее значение  $k$ , например  $k = 0,7$ . Как описано в Отчете МСЭ-R BS.945, при  $k = 1,0$  метод  $k$ -LNM идентичен стандартному LNM.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### К ГЛАВЕ 3

#### *t*-LNM (V2)

##### 1 Введение

В этом Приложении описывается метод вычисления суммарного поля, исходя из параметров составляющих полей (среднее, дисперсия), который обеспечивает уменьшение вычислительной сложности по сравнению с ранними версиями метода *t*-LNM. Сохранена принципиальная структура вычисления суммарного поля путем объединения *n*-ой составляющей поля с суммой полей от 1 до *n* – 1 с помощью таблиц интерполяций. Используя свойства соответственно выбранной аналитической аппроксимации выражения суммы двух полей, стали возможными вычисление таблиц интерполяций в реальном времени и замена двух трехлинейных шагов интерполяции тремя билинейными интерполяциями, что почти на половину уменьшило количество необходимых операций по сравнению с двойной трехлинейной версией *t*-LNM (V1).

##### 2 Алгоритм *t*-LNM (V2)

Пусть  $f_1$  и  $f_2$  – уровни интенсивности (некоррелированные и нормально распределенные) двух объединяющихся полей. Соответствующий суммарный уровень поля определяется:

$$f = \log_e (e^{f_1} + e^{f_2}), \quad (1)$$

которая может быть переписана в виде

$$f = \frac{1}{2}(f_1 + f_2) + \log_e \left( e^{\frac{x}{2}} + e^{-\frac{x}{2}} \right), \quad (2)$$

где:

$$x = f_1 - f_2. \quad (3)$$

Из (2) следует, что среднее значение  $\langle f \rangle$  суммарного уровня поля  $f$  выражается в виде

$$\langle f \rangle = \frac{1}{2}(\langle f_1 \rangle + \langle f_2 \rangle) + U(\bar{x}, \sigma_x), \quad (4)$$

где  $\langle f_1 \rangle$  и  $\langle f_2 \rangle$  являются средними значениями  $f_1$  и  $f_2$ , соответственно, и:

$$U(\bar{x}, \sigma_x) := \left\langle \log_e \left( e^{\frac{x}{2}} + e^{-\frac{x}{2}} \right) \right\rangle \quad (5)$$

Для удобства в некоторых последующих уравнениях вместо  $\langle f \rangle$  используется  $\bar{f}$ .

Ясно, что  $U(\bar{x}, \sigma_x)$  зависит только от параметров распределения  $x$ ; согласно утверждению,  $x$  представляет собой нормально распределенную величину со средним значением  $\bar{x} = \bar{f}_1 - \bar{f}_2$  и дисперсией  $\sigma_x^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$ . Дисперсию  $f$  можно записать в виде:

$$\langle f^2 \rangle - \langle f \rangle^2 = \frac{1}{4} \sigma_x^2 + V(\bar{x}, \sigma_x) - [U(\bar{x}, \sigma_x)]^2 + \tilde{W}(\bar{x}, \sigma_1, \sigma_2), \quad (6)$$

где:

$$V(\bar{x}, \sigma_x) = \left\langle \left[ \log_e \left( e^{\frac{x}{2}} + e^{-\frac{x}{2}} \right) \right]^2 \right\rangle \quad (7)$$

и

$$\tilde{W}(\sigma_1, \sigma_2) = \langle (f_1 - \bar{f}_1 + f_2 - \bar{f}_2) \times \log_e \left( e^{\frac{x}{2}} + e^{-\frac{x}{2}} \right) \rangle. \quad (8)$$

При соответствующим образом выбранных коэффициентах  $A$ ,  $B$  и  $C$  выражение  $\ln(e^{\frac{x}{2}} + e^{-\frac{x}{2}})$  может быть аппроксимировано как:

$$\log_e \left( e^{\frac{x}{2}} + e^{-\frac{x}{2}} \right) = \frac{1}{2} |x| + C e^{-A|x| - Bx^2}. \quad (9)$$

Как абсолютная, так и относительная погрешность аппроксимации меньше чем  $7 \times 10^{-3}$ , а максимальные погрешности соответствуют значениям  $x$ , лежащим в интервале  $[-4, 4]$ , когда  $A = 0,685437037$ ,  $B = 0,08198801$  и  $C = 0,686850632$ . Средние значения могут быть оценены путем ввода аппроксимации (9) в выражения (5), (7) и (8). Они будут выглядеть как:

$$U(\bar{x}, \sigma_x) = \bar{x} \left[ \Phi \left( \frac{\bar{x}}{\sigma_x} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{\sigma_x}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\bar{x}^2}{2\sigma_x^2}} + \frac{C e^{-\frac{\bar{x}^2}{2\sigma_x^2}}}{\sqrt{1+2B\sigma_x^2}} \left[ e^{\frac{K_+^2}{2}} \Phi(-K_+) + e^{\frac{K_-^2}{2}} \Phi(K_-) \right], \quad (10)$$

где:

$$K_{\pm} = \frac{\bar{x}/\sigma_x \pm A\sigma_x}{\sqrt{1+2B\sigma_x^2}} \quad (11)$$

и где  $\Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y dm e^{-\frac{m^2}{2}}$  является совокупным нормализованным нормальным распределением.

$V$  определяется как:

$$V(\bar{x}, \sigma_x) = \frac{1}{4}(\bar{x}^2 + \sigma_x^2) + \frac{C \sigma_x}{1 + 2B \sigma_x^2} e^{-\frac{\bar{x}^2}{2\sigma_x^2}} \times$$

$$\left[ \sqrt{\frac{2}{\pi}} - K_+ e^{\frac{K_+^2}{2}} \Phi(-K_+) + K_- e^{\frac{K_-^2}{2}} \Phi(K_-) \right] + \frac{C^2}{\sqrt{1 + 4B\sigma_x^2}} e^{\frac{-2B\bar{x}^2 + 2A^2 \sigma_x^2}{1 + 4B\sigma_x^2}} \times$$

$$\left[ e^{\frac{2A\bar{x}}{1 + 4B\sigma_x^2}} \Phi\left( \frac{-\bar{x}/\sigma_x + 2A\sigma_x}{\sqrt{1 + 4B\sigma_x^2}} \right) + e^{\frac{-2A\bar{x}}{1 + 4B\sigma_x^2}} \Phi\left( \frac{\bar{x}/\sigma_x - 2A\sigma_x}{\sqrt{1 + 4B\sigma_x^2}} \right) \right] \quad (12)$$

Окончательно  $\tilde{W}$  может быть записано как:

$$\tilde{W} = (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) W(\bar{x}, \sigma_x), \quad (13)$$

где:

$$W(\bar{x}, \sigma_x) = \Phi\left(\frac{\bar{x}}{\sigma_x}\right) - \frac{1}{2} + C e^{-\frac{\bar{x}^2}{2\sigma_x^2}} \times$$

$$\left\{ \frac{1}{\sigma_x(1 + 2B\sigma_x^2)} \left[ K_+ e^{\frac{K_+^2}{2}} \Phi(-K_+) + K_- e^{\frac{K_-^2}{2}} \Phi(K_-) \right] \right.$$

$$\left. - \frac{\bar{x}}{\sigma_x^2 \sqrt{1 + 2B\sigma_x^2}} \left[ e^{\frac{K_+^2}{2}} \Phi(-K_+) + e^{\frac{K_-^2}{2}} \Phi(K_-) \right] \right\}. \quad (14)$$

Как только функции  $U$ ,  $V$  и  $W$  будут табулированы (что вследствие многих подобий членов, существующих в уравнениях (10), (12) и (14), требует только умеренных затрат машинного времени), объединение двух полей может быть очень просто выполнено путем вычисления сначала  $\bar{x}$  и  $\sigma_x$ , а затем нахождения соответствующих значений функций  $U$ ,  $V$  и  $W$  путем билинейной интерполяции с помощью соответствующих таблиц. В завершение, путем решения уравнения (4), вычисляется среднее значение уровня суммарного поля, а его дисперсия находится как:

$$\langle f^2 \rangle - \langle f \rangle^2 = \frac{1}{4} \sigma_x^2 + V(\bar{x}, \sigma_x) - [U(\bar{x}, \sigma_x)]^2 + (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) W(\bar{x}, \sigma_x). \quad (15)$$





## ГЛАВА 4

### ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ

#### 4.1 Определения зон покрытия при приеме на фиксированное, портативное и подвижное оборудование

##### 4.1.1 Введение

Необходимо иметь определения зон покрытия передающей станции наземного телевидения или группы таких станций. Эти определения могут основываться в первую очередь на технических критериях, но должны без труда использоваться и в нетехнических целях.

Вышесказанное справедливо как для передач аналогового, так и цифрового телевидения. Однако с аналоговыми станциями иметь дело относительно легко, поскольку линия, определяющая какой-нибудь край зоны покрытия, является "размытой" и нет необходимости в очень точном определении ее фактического местоположения в данной области; в действительности во многих случаях практически невозможно быть точным.

Зоны покрытия цифровой телевизионной службой характеризуются очень быстрым переходом от почти идеального качества приема к полному отсутствию приема. Из-за этого фактора намного более важной задачей становится возможность определения зон, которые будут охвачены, и зон с отсутствием обслуживания. Однако при использовании системы DVB-T из-за очень быстрого перехода возникают стоимостные издержки, если показатели покрытия в малой зоне (например, 100 м × 100 м) устанавливаются слишком высокими. Это происходит из-за того, что для гарантированного охвата последних нескольких процентов малых зон с наихудшим обслуживанием необходимо либо увеличивать мощности передатчиков, либо увеличивать количество передатчиков.

По этой причине определение покрытия "хорошее" было выбрано для случая охвата 95% местоположений в малой зоне. Подобным образом, определение "допустимое" относится к случаю, когда охвачены 70% местоположений внутри малой зоны.

Эти определения не стремятся описать зону, где охват достигается при наихудших условиях. Они обеспечивают описание зоны, в которой "хорошее" или "допустимое" покрытие должно быть достигнуто при типичных реальных условиях.

Следует иметь в виду, что в данной ситуации может иметься возможность улучшения приема:

- путем нахождения лучшего местоположения приемной антенны;
- путем использования (более) направленной приемной антенны с более высоким коэффициентом усиления;
- путем использования малошумящего антенного усилителя (в случае приема на фиксированную антенну).

##### 4.1.1.1 Прием на фиксированную антенну

Прием на фиксированную антенну определяется как прием с использованием направленной приемной антенны, установленной на уровне крыши.

Предполагается, что когда антенна установлена, создаются условия приема, близкие к оптимальным (в пределах относительно небольшого объема на крыше).

При вычислении напряженности поля для приема на фиксированную антенну в качестве представительной рассматривается высота приемной антенны 10 м над уровнем земли.

#### 4.1.2 Прием на антенну портативного оборудования

Прием на антенну портативного оборудования определяется как:

- класс А (вне помещения) – это прием, при котором портативный приемник с присоединенной или встроенной антенной используется вне помещения на уровне не ниже 1,5 м над уровнем земли;
- класс В (на первом этаже помещения) – это прием, при котором портативный приемник с присоединенной или встроенной антенной используется в помещениях на уровне не ниже 1,5 м над уровнем пола, которые:
  - расположены на первом этаже;
  - имеют окно на наружной стене.

Прием на портативное оборудование в помещениях на втором или более высоких этажах будет относиться к классу приема В с использованием поправок к уровням сигнала, но по-видимому прием в помещениях на первом этаже является наиболее общим случаем.

В обеих указанных выше категориях А и В предполагается, что:

- будут найдены оптимальные условия приема при перемещении антенны не более, чем на 0,5 м в любом направлении;
- портативный приемник во время приема не перемещается, и вблизи приемника также не перемещаются большие объекты;
- экстремальные случаи, такие как прием в полностью экранированных помещениях, не принимались во внимание.

#### 4.1.3 Мобильный прием

Мобильный прием определяется как прием с использованием ненаправленной антенны, установленной на уровне крыши движущегося транспортного средства.

Преобладающим фактором, в отношении явлений местного приема, считается определение запаса на замирания при наличии рэлеевских каналов. Запас на замирания зависит от частоты и скорости движения транспортного средства. Величина запаса на замирания получается как разность между требуемыми отношениями  $C/N$  для гауссова канала и рэлеевского канала.

В качестве величин запаса для учета других факторов могут быть использованы те же величины, что и при приеме на портативное оборудование вне помещения.

В таблице 4.1 показаны спецификации, принятые в Японии для приема на портативное оборудование в каждом частотном диапазоне.

ТАБЛИЦА 4.1

#### Мобильный прием

	Диапазон	Диапазон	Диапазон	Диапазон
	65 МГц	200 МГц	500 МГц	800 МГц
Выигрыш за счет высоты <sup>(1)</sup>	-10 дБ	-10 дБ	-12 дБ	-12 дБ
Усиление антенны	-2,2 дБ	0 дБ	0 дБ	0 дБ
Направленность антенны	0 дБ	0 дБ	0 дБ	0 дБ
Потери в фидере	0 дБ	0 дБ	0 дБ	0 дБ
Запас на замирания	10,8 дБ <sup>(2)</sup>	8,8 дБ <sup>(2)</sup>	4 дБ <sup>(2)</sup>	4 дБ <sup>(2)</sup>
Коэффициент шума	7 дБ	7 дБ	7 дБ	7 дБ

<sup>(1)</sup> Для приемной антенны высотой 1,5 м над уровнем земли.

<sup>(2)</sup> Значения для ОКФМН  $r = 1/2$ .

#### 4.1.4 Зона покрытия

При определении зоны покрытия для каждого условия приема используется трехуровневый подход.

##### – **Уровень 1: Место приема**

Наименьшей единицей является место приема: описания условий приема даны от § 4.1.2–4.1.4.

Место приема считается охваченным, если уровень полезного сигнала достаточно высок, чтобы превысить шум и помехи в течение заданного процента времени. Рекомендованное значение времени – 99%.

##### – **Уровень 2: Охват малой зоны**

Вторым уровнем является "малая зона" (обычно 100 м на 100 м).

В этой малой зоне указывается процентное отношение охваченных местоположений.

Покрытие этой малой зоны классифицируется как:

**"Хорошее"**, когда охвачено по меньшей мере 95% мест приема;

**"Допустимое"**, когда охвачено по меньшей мере 70% мест приема.

##### – **Уровень 3: Зона покрытия**

Зона покрытия передатчика или группы передатчиков, представляет собой сумму отдельных малых зон, в которых достигается заданный процент (70% или 95%) покрытия.

#### 4.1.5 Примеры практического применения

В случае, когда требуются упрощенные определения зоны покрытия передатчика, такая фраза как "зона, в которой ожидается хороший прием на фиксированную антенну", эквивалентна:

- зоне покрытия передатчика или группы передатчиков;
- тому, что охвачены по крайней мере 95% мест приема внутри каждой включенной малой зоны;
- приему на фиксированную антенну.

Таким же образом "зона, в которой ожидается допустимый прием класса В на антенну портативного оборудования", эквивалентна:

- зоне покрытия передатчика или группы передатчиков;
- тому, что охвачены по крайней мере 70% мест приема внутри каждой включенной малой зоны;
- приему на антенну портативного оборудования.

## 4.2 Приемные антенны

### 4.2.1 Прием на фиксированную антенну

Диаграммы (направленности) антенн, используемых для планирования цифрового телевидения, даны в Рекомендации МСЭ-R ВТ.419.

Коэффициенты усиления антенн (относительно полуволнового симметричного вибратора), используемые для получения минимальных медианных уровней полезного сигнала в § 5.2.1, равны:

65 МГц	200 МГц	500 МГц	800 МГц
3 дБ	7 дБ	10 дБ	12 дБ

Эти значения рассматриваются как реалистичные минимальные значения.

В любом частотном диапазоне изменения коэффициента усиления антенны в зависимости от частоты могут быть учтены путем прибавления корректирующего члена:

$$\text{Corr} = 10 \log (F_A / F_R),$$

где:

$F_A$  : рассматриваемая действительная частота

$F_R$  : соответствующая вышеупомянутая эталонная частота.

#### 4.2.1.1 Потери в фидере

Потери в фидере, используемые для получения минимальных медианных уровней полезного сигнала в § 5.2.1, составляют:

65 МГц	200 МГц	500 МГц	800 МГц
1 дБ	2 дБ	3 дБ	5 дБ

### 4.2.2 Прием на антенну портативного оборудования

#### 4.2.2.1 Общие положения

Условия приема на портативное оборудование отличаются от фиксированного приема:

- отсутствием усиления и направленности приемной антенны;
- меньшими потерями в фидере;
- как правило, меньшей высотой приема;
- потери при проникновении в здание в случае приема внутри помещения.

Ранее предполагалось, что портативный приемник и приемник для фиксированного приема имеют одинаковое значение шум-фактора, равное 7 дБ.

Исходя из нижеприведенного обсуждения, можно предположить, что коэффициент усиления портативной приемной антенны равен  $-2,2$  дБ для ОВЧ и 0 дБ для УВЧ. Для обоих частотных диапазонов можно допустить, что потери в фидере равны 0 дБ. Эти значения были использованы при получении минимальных медианных уровней полезного сигнала, указанных в § 5.3.1.

## 4.2.2.2 Основы приема на антенну портативного оборудования

### 4.2.2.2.1 Изменения уровня сигнала

#### 4.2.2.2.1.1 Общие положения

Изменения напряженности поля могут быть разделены на макромасштабные и микромасштабные. Макромасштабные изменения относятся к зонам с линейными размерами от 10 м до 100 м или более и вызываются главным образом затенением и многолучевыми отражениями от удаленных объектов. Микромасштабные изменения относятся к зонам с размерами порядка длины волны и в основном происходят из-за многолучевых отражений от соседних объектов. Поскольку можно предположить, что при приеме на портативное оборудование местоположение антенны может быть оптимизировано на расстоянии порядка длины волны, микромасштабные изменения не будут слишком значимы для целей планирования. Другим способом ослабления этих изменений является использование приемника с разнесенными антеннами.

Макромасштабные изменения напряженности поля очень важны для оценки покрытия. В общем случае высокий конечный процент покрытия может потребоваться для компенсации интенсивности внезапных отказов в цифровом телевизионном вещании.

#### 4.2.2.2.1.2 Микромасштабные изменения

Выполненные в Эйндхевене (Нидерланды) измерения показали, что стандартное отклонение микромасштабного распределения напряженности поля составляет примерно 3 дБ. Это значение подтверждается измерениями, проведенными в Соединенном Королевстве. Поэтому изменчивость местоположения для микромасштабных изменений составляет:

Требуемое покрытие	Изменчивость местоположения
>95%	5 дБ
>70%	1,5 дБ

#### 4.2.2.2.1.3 Макромасштабные изменения в местах приема, находящихся вне помещений

В Рекомендации МСЭ-R P.370 дано стандартное отклонение для широкополосных сигналов, равное 5,5 дБ. Это значение используется здесь для определения изменчивости местоположения в местах приема, находящихся вне помещений.

Поэтому изменчивость местоположения для макромасштабных изменений составляет:

Требуемое покрытие	Изменчивость местоположения
>95%	9 дБ
>70%	2,9 дБ

#### 4.2.2.2.1.4 Макромасштабные изменения в местах приема, находящихся в помещениях

Коэффициент изменений в местах приема, находящихся в помещениях, является результатом объединения изменений в местах приема, находящихся вне помещений, и коэффициента изменений из-за затухания в здании (см. § 4.2.4).

#### 4.2.2.3 Потери с высотой

При приеме на портативное оборудование применение антенны с высотой 10 м над уровнем земли, которая обычно используется для целей планирования, нереалистично, и поэтому необходимо вводить поправочный коэффициент, учитывающий расположение приемной антенны вблизи уровня первого этажа. По этой причине предполагается, что приемная антенна находится на высоте 1,5 м над уровнем земли (вне помещения) или над уровнем пола (в помещении).

В Рекомендации МСЭ-R P.370, посвященной методу прогнозирования распространения, используется высота приема, равная 10 м. Для коррекции прогнозируемых значений при высоте приема 1,5 м над уровнем земли должен вводиться коэффициент, называемый "потери с высотой". Проведенные в Нидерландах измерения показали, что в диапазоне УВЧ потери с высотой составляют 12 дБ. Для диапазона ОВЧ в Отчете МСЭ-R BS.1203 дано значение 10 дБ.

#### 4.2.2.4 Потери при проникновении в здание

##### 4.2.2.4.1 Общие положения

Телевизионный прием на портативное оборудование будет происходить в местах, расположенных вне помещений, и внутри помещений. Напряженность поля в местах, расположенных в помещениях, будет значительно ослабевать на величину, зависящую от материалов и конструкции здания. Ожидается большой разброс потерь при проникновении в здание.

Средние потери при проникновении в здание представляют собой разность (дБ) между средней напряженностью поля внутри здания на данной высоте над уровнем земли и средней напряженностью поля вне того же здания и на той же высоте над уровнем земли.

##### 4.2.2.4.2 Измерения в диапазоне ОВЧ

Результаты измерений в диапазоне ОВЧ, проведенных в Соединенном Королевстве для исследования приема T-DAB внутри зданий, были приведены в Отчете МСЭ-R BS.1203. Данные результаты показывают, что медианное значение потерь при проникновении в здание составляет 8 дБ при стандартном отклонении 3 дБ.

##### 4.2.2.4.3 Измерения в диапазоне УВЧ

В Нидерландах были проведены измерения с использованием передаваемого сигнала OFDM с шириной полосы 8 МГц и содержащего 512 несущих. Данные измерения выполнялись выборочно с использованием приемника с шириной полосы пропускания 12 кГц, охватывавшего канал за серию шагов.

Уровень сигнала измерялся как функция микромасштабных изменений в местах приема, находящихся внутри и вне помещений.

Предполагается, что значение  $V_{10\%}$ , которое представляет мощность принимаемого узкополосного сигнала, превышаемую в 10% местоположений, наиболее близко соответствует уровню принимаемого широкополосного сигнала. Поэтому значения  $V_{10\%}$  представляются наиболее подходящими для вычислений уровней потерь и выигрыша в пунктах измерений, находящихся внутри и вне помещений и на эталонной высоте 10 м над уровнем земли.

Похоже, что медианное значение  $M(V_{10\%}(\text{вне помещения})/V_{10\%}(\text{внутри помещения}))$ , которое может быть подходящей мерой для потерь при проникновении в здание, равняется примерно 6 дБ. Стандартное отклонение оценивается равным примерно 6 дБ.

Дальнейшие измерения, проведенные в Нидерландах с использованием передаваемого шумового сигнала шириной 7 МГц и шириной полосы пропускания приемника 7 МГц, показывают, что медианные потери при проникновении в здание составляют примерно 9 дБ. Однако эти измерения были проведены в ограниченном количестве мест приема. Количество бетонных зданий было относительно велико. Это могло быть причиной несколько завышенного медианного значения.

Также оценивалось и влияние людей, проходящих вблизи приемной антенны. Изменения уровня сигнала (10% и 90% значений) лежат в пределах от +2,6 дБ до -2,6 дБ. Эти изменения относительно малы и, представляется, что учитывать их при планировании необязательно.

В Нидерландах был также выполнен и ряд других измерений для определения:

- влияния влажных стен;
- временные изменения уровня принимаемого сигнала за период 11 дней по коротким трассам.

По-видимому, ни одно из этих двух условий не оказывает существенного влияния на принятый сигнал.

#### 4.2.2.4.4 Значения потерь при проникновении в здание для целей планирования

До появления более убедительных данных для целей планирования берутся следующие значения потерь при проникновении в здание:

Диапазон	Медианное значение	Стандартное отклонение
ОВЧ	8 дБ	3 дБ
УВЧ	7 дБ	6 дБ

Следует отметить, что потери при проникновении не становятся отрицательными.

#### 4.2.2.4.5 Распределение мест приема, находящихся внутри помещений

Коэффициент изменчивости в местах приема, находящихся в помещении, представляет собой результат объединения изменчивости вне помещений и коэффициента изменчивости из-за затухания в здании. Предполагается, что эти распределения не коррелированы между собой. Поэтому стандартное отклонение распределения напряженности поля в помещении может быть вычислено путем извлечения квадратного корня из суммы квадратов отдельных стандартных отклонений. В диапазоне ОВЧ, где макромасштабные стандартные отклонения, соответственно, равны 5,5 дБ и 3 дБ, объединенное значение составляет 6,3 дБ. В диапазоне УВЧ, где макромасштабные стандартные отклонения, соответственно, равны 5,5 дБ и 6,2 дБ, их объединенное значение составляет 8,3 дБ.

Вследствие этого изменчивость местоположения в диапазоне ОВЧ для макромасштабных изменений в местах приема, находящихся в помещении:

Требуемое покрытие	Изменчивость местоположения
>95%	10 дБ
>70%	3 дБ

А в диапазоне УВЧ:

Требуемое покрытие	Изменчивость местоположения
>95%	14 дБ
>70%	4 дБ

Как указано в Главе 3, в процессе прогнозирования полной напряженности поля должны учитываться оба вида изменчивости местоположения и разность между прогнозируемым и измеренным значениями.

#### **4.2.2.5 Свойства портативных приемных антенн**

##### **4.2.2.5.1 Общие положения**

Предполагается, что используемая при фиксированном приеме антенна, расположенная на уровне крыши имеет коэффициент усиления примерно от 10 до 12 дБ в диапазоне УВЧ. Для портативного приемника наиболее вероятно применение либо очень короткой антенны встроенного типа, обладающей, в крайнем случае, коэффициентом усиления  $-20$  дБ, или, в лучшем случае, установленной на приемнике ориентированной антенны с коэффициентом усиления в несколько дБ (в диапазоне УВЧ).

Для целей планирования предполагается, что антенна портативного приемника является всенаправленной и что коэффициент усиления для ОВЧ антенны равен  $-2,2$  дБ, а для УВЧ антенны  $-0$  дБ. Предполагается, что портативный приемник имеет потери в фидере, равные  $0$  дБ. Для справки следует отметить, что антенна, находящаяся на уровне крыши, соединяется с приемником посредством фидерного кабеля. Вероятно, что в диапазоне УВЧ потери в кабеле составят от  $3$  до  $5$  дБ. Такие значения могут показаться большими при относительно малой длине фидера, но должны учитываться явления старения фидера (например, коррозия медного экрана).

##### **4.2.2.5.2 Измерения комнатных антенн**

В Нидерландах проводились измерения для исследования в реальных условиях направленности антенн, установленных на приемнике. Для этого были выбраны одна V-образная вибраторная антенна и две пятиэлементные антенны типа "волновой канал" среднего качества. Результаты показали, что коэффициент усиления и направленность в значительной степени зависят от частоты и местоположения.

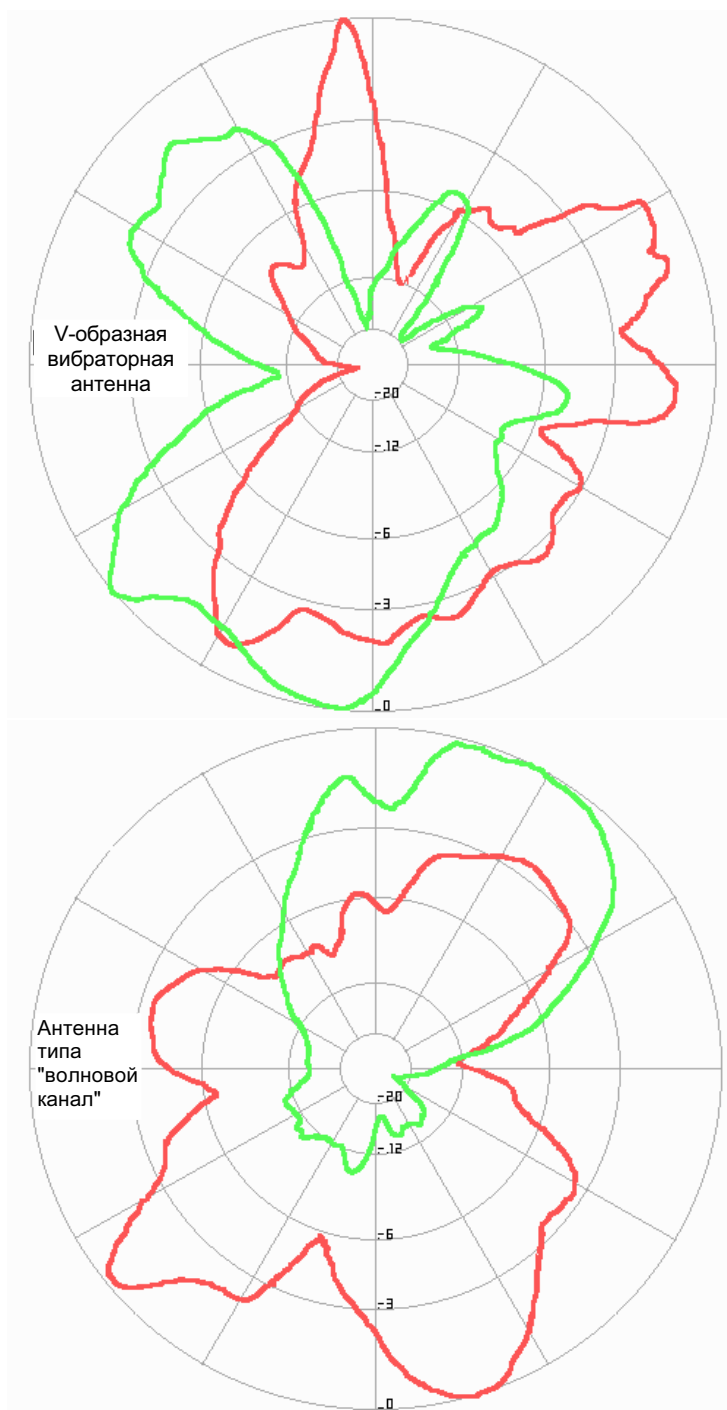
Для антенн типа "волновой канал" коэффициент усиления изменялся в пределах примерно от  $-15$  до  $+3$  дБ, а для V-образной вибраторной антенны  $-10$  до  $-4$  дБ.

При измерениях направленности антенны размещались в комнате вблизи от стены, чтобы создать реальные условия. Диаграмма направленности антенны существенно менялась при изменении частоты.

В реальных условиях антенну лучше сориентировать для получения наивысшего уровня сигнала, чем в направлении на передатчик (допуская даже, что оно известно).

Примеры диаграмм направленности для двух типов антенн, расположенных у стены в помещении, измеренных в Нидерландах, показаны на рис. 4.1 и 4.2.





РИСУНКИ 4.1 и 4.2

**Примеры диаграмм направленности комнатных антенн**

Проведенные в Би-би-си измерения двух имеющихся в продаже комнатных антенн показали лучшие характеристики. Данные антенны имели коэффициенты усиления от 5 до 6 дБ в диапазонах IV и V.



## ГЛАВА 5

### МИНИМАЛЬНЫЕ МЕДИАННЫЕ УРОВНИ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА

#### 5.1 Общие положения

При оценке минимальных уровней сигналов, необходимых для преодоления шума, обычно называемых минимальной входной мощностью принимаемого сигнала или соответствующим минимальным эквивалентным напряжением на входе приемника, не принимаются во внимание явления распространения. Однако эти явления необходимо учитывать при рассмотрении телевизионного приема в реальных условиях.

В § 3.3.2 и Главе 4 показано, что вследствие очень быстрого перехода от почти идеального приема к полному отсутствию приема, необходимо чтобы минимальный требуемый уровень сигнала достигался в большом проценте мест приема. Эти процентные отношения устанавливаются равными 95% для "хорошего" и 70% для "допустимого" приема. Минимальные медианные уровни сигнала могут быть определены с учетом факторов распространения, чтобы гарантировать достижения минимальных значений в заданном проценте мест приема.

Уровни минимальных медианных уровней сигналов вычисляются для:

- трех различных условий приема:
  - прием на фиксированную антенну;
  - прием вне помещения на портативное оборудование;
  - прием на портативное оборудование в помещении на первом этаже;
- четырех частот, представляющих диапазон I, диапазон II, диапазон III и диапазон IV:
  - 65 МГц;
  - 200 МГц;
  - 500 МГц;
  - 800 МГц;
- пяти представительных отношений  $C/N$ :
  - 2 дБ;
  - 8 дБ;
  - 14 дБ;
  - 20 дБ;
  - 26 дБ.

Для этих примеров используются представительные значения  $C/N$ . Результаты для любого выбранного варианта системы могут быть получены путем интерполяции соответствующих представительных значений.

Все минимальные медианные значения эквивалентной напряженности поля, представленные в этой главе, пригодны для случая покрытия только одним передатчиком, а не для одночастотных сетей, в которых действует более одной составляющей полезного сигнала. Дополнительная информация по этому вопросу приведена в Главе 6.

Для вычисления минимальной медианной плотности потока мощности или эквивалентной напряженности поля, необходимых для достижения минимальных значений уровня сигнала в требуемом проценте мест приема, используются следующие формулы:

для приема на фиксированную антенну (в таблицах 5.1–5.4):

$$\varphi_{min} = P_{s min} - A_a + L_f$$

$$\varphi_{med} = \varphi_{min} + P_{mmn} + C_l$$

для приема на портативное оборудование вне помещения (класс А) (в таблицах 5.5–5.8):

$$\varphi_{min} = P_{s min} - A_a$$

$$\varphi_{med} = \varphi_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h$$

для приема на портативное оборудование на первом этаже в помещении (класс В) (в таблицах 5.9–5.12):

$$\varphi_{min} = P_{s min} - A_a$$

$$\varphi_{med} = \varphi_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h + L_b$$

в общем случае:

$$E_{min} = \varphi_{min} + 120 + 10 \log (120\pi) = \varphi_{min} + 145,8$$

$$E_{med} = \varphi_{med} + 120 + 10 \log (120\pi) = \varphi_{med} + 145,8$$

$C/N$ : требуемое системой отношение РЧ-сигнала к шуму (дБ)

$\varphi_{min}$ : минимальная плотность потока мощности в месте приема (дБ(Вт/м<sup>2</sup>))

$E_{min}$ : эквивалентная минимальная напряженность поля в месте приема (дБ(мкВ/м))

$L_f$ : потери в фидере (дБ)

$L_h$ : потери из-за высоты (от 1,5 м до 10 м над уровнем земли (н.у.з.)) (дБ)

$L_b$ : потери при проникновении в здание (дБ)

$P_{mmn}$ : допуск на индустриальные помехи (дБ)

$C_l$ : поправочный коэффициент местоположения (дБ)

$\varphi_{med}$ : минимальная медианная плотность потока мощности, плановое значение (дБ(Вт/м<sup>2</sup>))

$E_{med}$ : минимальная медианная эквивалентная напряженность поля, плановое значение (дБ(мкВ/м))

$A_a$ : эффективный раскрыв антенны (дБм<sup>2</sup>)

$P_{s min}$ : минимальная мощность на входе приемника (дБВт).

При вычислении поправочного коэффициента местоположения,  $C_l$ , предполагается, что принимаемый сигнал имеет логарифмически нормальное распределение. Следует отметить, что это стандартное отклонение относится только к статистике мест приема, а неточности, присущие методу прогнозирования распространения, во внимание не принимаются. Поправочный коэффициент местоположения может нуждаться в переоценке по мере накопления дополнительной информации.

Поправочный коэффициент местоположения может быть вычислен по формуле:

$$C_l = \mu * \sigma,$$

где:

$\mu$ : коэффициент распределения, равный 0,52 для 70% и 1,64 для 95%

$\sigma$ : стандартное отклонение, принимаемое для приема вне помещения равным 5,5 дБ.

Значения  $\sigma$ , соответствующие приему внутри помещения, см. в § 4.2.2.4.4.

Исследования планирования при приеме на портативное оборудование основаны на том, что приемник способен обрабатывать широкополосные сигналы, а требования системы к отношению несущей к шуму будут скромными и в случае системы с очень низкой чувствительностью могут составлять всего 2 дБ. Однако может потребоваться прием многоканальных служб на приемники с простыми антеннами. На практике возможности приема на портативное оборудование сигналов с высокой битовой скоростью и требующих отношения  $C/N$  от 20 до 26 дБ будут весьма ограничены из-за высокого уровня сигнала, необходимого для преодоления шума.

В этих исследованиях предполагалось, что портативный приемник и приемник для фиксированного приема имеют одинаковый шум-фактор, равный 7 дБ.

## **5.2 Прием на фиксированную антенну**

Диаграммы направленности антенн и коэффициенты усиления, используемые для определения минимальных медианных уровней полезного сигнала при приеме на фиксированную антенну, даны в § 4.2.

### **5.2.1 Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная напряженность поля**

В нижеследующих таблицах дана минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля для вероятностей охвата 70% и 95% мест приема в диапазонах I, III, IV и V. Эти значения относятся к минимальной плотности потока мощности и минимальной эквивалентной напряженности поля в месте приема. Для диапазонов I и III включены допуски на индустриальные шумы.

ТАБЛИЦА 5.1

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне I для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на фиксированную антенну**

**Условия приема: Фиксированная антенна, диапазон I**

Частота	$f$ (МГц)	65				
Мин. $C/N$ , требуемое системой	(дБ)	2	8	14	20	26
Мин. входная мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Потери в фидере	$L_f$ (дБ)	1				
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	3				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	7,4				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\varphi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-132,6	-126,6	-120,6	-114,6	-108,6
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	13	19	25	31	37
Допустимые промышленные помехи	$P_{\min}$ (дБ)	6				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-123,7	-117,7	-111,7	-105,7	-99,7
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	22	28	34	40	46

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-117,6	-111,6	-105,6	-99,6	-93,6
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	28	34	40	46	52

Для каналов шириной 7 МГц из значений мощности входного сигнала, плотности потока мощности и напряженности поля, приведенных в данной таблице, надо вычесть 0,6 дБ.

ТАБЛИЦА 5.2

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне III для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на фиксированную антенну**

**Условия приема: Фиксированная антенна, диапазон III**

Частота	$f$ (МГц)	200				
Мин. $C/N$ , требуемое системой	(дБ)	2	8	14	20	26
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Потери в фидере	$L_f$ (дБ)	2				
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	7				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	1,7				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\varphi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-125,9	-119,9	-113,9	-107,9	-101,9
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	20	26	32	38	44
Допустимые промышленные помехи	$P_{\min}$ (дБ)	1				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-122	-116	-110	-104	-98
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	24	30	36	42	48

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-115,9	-109,9	-103,9	-97,9	-91,9
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	30	36	42	48	54

Для каналов шириной 7 МГц из значений мощности входного сигнала, плотности потока мощности и напряженности поля, приведенных в данной таблице, надо вычесть 0,6 дБ.

ТАБЛИЦА 5.3

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне IV для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на фиксированную антенну**

**Условия приема: Фиксированная антенна, диапазон IV**

Частота	$f$ (МГц)	500				
Мин. $C/N$ , требуемое системой	(дБ)	2	8	14	20	26
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Потери в фидере	$L_f$ (дБ)	3				
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	10				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-3,3				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\Phi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-119,9	-113,9	-107,9	-101,9	-95,9
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	26	32	38	44	50
Допустимые промышленные помехи	$P_{\min}$ (дБ)	0				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-117	-111	-105	-99	-93
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	29	35	41	47	53

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-110,9	-104,9	-98,9	-92,9	-86,9
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	35	41	47	53	59



ТАБЛИЦА 5.4

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне V для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на фиксированную антенну**

**Условия приема: Фиксированная антенна, диапазон V**

Частота	$f$ (МГц)	800				
<b>Мин. <math>C/N</math>, требуемое системой</b>	<b>(дБ)</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>26</b>
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Потери в фидере	$L_f$ (дБ)	5				
Усиления антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	12				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-5,4				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\varphi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-115,8	-109,8	-103,8	-97,8	-91,8
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	30	36	42	48	54
Допустимые промышленные помехи	$P_{\min}$ (дБ)	0				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-112,9	-106,9	-100,9	-94,9	-88,9
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	33	39	45	51	57

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-106,8	-100,8	-94,8	-88,8	-82,8
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	39	45	51	57	63

### 5.3 Прием на портативную антенну

Вопросы, связанные с коэффициентом усиления портативной приемной антенны и потерями в фидере рассматриваются в § 4.2.2.

### 5.3.1 Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная напряженность поля

В нижеприведенных таблицах даны минимальная медианная плотность потока мощности и минимальная медианная эквивалентная напряженность поля для вероятностей охвата 70 и 95% мест в диапазонах I, III, IV и V.

ТАБЛИЦА 5.5

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне I для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование вне помещения**

**Условия приема: Прием на портативное оборудование вне помещения (класс А), диапазон I**

Частота	$f$ (МГц)	65				
Мин. $C/N$ , требуемое системой	(дБ)	2	8	14	20	26
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	-2,2				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	2,2				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\varphi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-128,4	-122,4	-116,4	-110,4	-104,4
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	17	23	29	35	41
Допустимые промышленные помехи	$P_{\text{mnn}}$ (дБ)	6				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	10				

#### Вероятность охвата мест: 70%

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-109,5	-103,5	-97,5	-91,5	-85,5
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	36	42	48	54	60

#### Вероятность охвата мест: 95%

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-103,4	-97,4	-91,4	-85,4	-79,4
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	42	48	54	60	66

Для каналов шириной 7 МГц из значений мощности входного сигнала, плотности потока мощности и напряженности поля, приведенных в данной таблице, надо вычесть 0,6 дБ.

ТАБЛИЦА 5.6

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне III для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование вне помещения**

**Условия приема: Прием на портативное оборудование вне помещения (класс А), диапазон III**

Частота	$f$ (МГц)	200				
<b>Мин. <math>C/N</math>, требуемое системой</b>	<b>(дБ)</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>26</b>
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	-2,2				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-7,5				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\Phi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-118,7	-112,7	-106,7	-100,7	-94,7
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	27	33	39	45	51
Допустимые промышленные помехи	$P_{\text{mnn}}$ (дБ)	1				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	10				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-104,8	-98,8	-92,8	-86,8	-80,8
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	41	47	53	59	65

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-98,7	-92,7	-86,7	-80,7	-74,7
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	47	53	59	65	71

Для каналов шириной 7 МГц из значений мощности входного сигнала, плотности потока мощности и напряженности поля, приведенных в данной таблице, надо вычесть 0,6 дБ.

ТАБЛИЦА 5.7

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне IV для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование вне помещения**

**Условия приема: Прием на портативное оборудование вне помещения (класс А), диапазон IV**

Частота	$f$ (МГц)	500				
Мин. $C/N$ , требуемое системой	(дБ)	2	8	14	20	26
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	0				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-13,3				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\Phi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-112,9	-106,9	-100,9	-94,9	-88,9
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	33	39	45	51	57
Допустимые промышленные помехи	$P_{\text{mmn}}$ (дБ)	0				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	12				

**Вероятность охвата: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-98	-92	-86	-80	-74
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	48	54	60	66	72

**Вероятность охвата: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-91,9	-85,9	-79,9	-73,9	-67,9
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	54	60	66	72	78

ТАБЛИЦА 5.8

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне V для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование вне помещения**

**Условия приема:** Прием на портативное оборудование вне помещения (класс А), диапазон V

Частота	$f$ (МГц)	800				
Мин. $C/N$ , требуемое системой	(дБ)	2	8	14	20	26
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	0				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-17,4				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\varphi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-108,8	-102,8	-96,8	-90,8	-84,8
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	37	43	49	55	61
Допустимые промышленные помехи	$P_{\text{mmn}}$ (дБ)	0				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	12				

**Вероятность охвата: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	2,9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-93,9	-87,9	-81,9	-75,9	-69,9
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	52	58	64	70	76

**Вероятность охвата: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	9				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-87,8	-81,8	-75,8	-69,8	-63,8
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	58	64	70	76	82

ТАБЛИЦА 5.9

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне I для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения**

**Условия приема: Прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения (класс В), диапазон I**

Частота	$f$ (МГц)	65				
<b>Мин. C/N, требуемое системой</b>	<b>(дБ)</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>26</b>
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	-2,2				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	2,2				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\varphi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-128,4	-122,4	-116,4	-110,4	-104,4
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	17	23	29	35	41
Допустимые промышленные помехи	$P_{\text{mmn}}$ (дБ)	6				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	10				
Потери при проникновении в здание	$L_b$ (дБ)	8				

**Вероятность охвата: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	3				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-101,4	-95,4	-89,4	-83,4	-77,4
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	44	50	56	62	68

**Вероятность охвата: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	10				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-94,4	-88,4	-82,4	-76,4	-70,4
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	51	57	63	69	75

ПРИМЕЧАНИЕ. – Предполагается, что минимальные медианные эквивалентные значения напряженности поля на высоте 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест:

- на 5 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных на втором этаже;
- на 10 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных выше второго этажа.

Для каналов шириной 7 МГц из значений мощности входного сигнала, плотности потока мощности и напряженности поля, приведенных в данной таблице, надо вычесть 0,6 дБ.

ТАБЛИЦА 5.10

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне III для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения**

**Условия приема: Прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения (класс В), диапазон III**

Частота	$f$ (МГц)	200				
Мин. C/N, требуемое системой	(дБ)	2	8	14	20	26
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_s \min$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_s \min$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	-2,2				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-7,5				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\Phi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-118,7	-112,7	-106,7	-100,7	-94,7
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	27	33	39	45	51
Допустимые промышленные помехи	$P_{\text{mmn}}$ (дБ)	1				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	10				
Потери при проникновении в здание	$L_b$ (дБ)	8				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	3				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-96,7	-90,7	-84,7	-78,7	-72,7
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	49	55	61	67	73

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	10				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{\text{med}}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-89,7	-83,7	-77,7	-71,7	-65,7
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{\text{med}}$ (дБ(мкВ/м))	56	62	68	74	80

ПРИМЕЧАНИЕ. – Предполагается, что минимальные медианные эквивалентные значения напряженности поля на высоте 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест:

- на 5 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных на втором этаже;
- на 10 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных выше второго этажа.

Для каналов шириной 7 МГц из значений мощности входного сигнала, плотности потока мощности и напряженности поля, приведенных в данной таблице, надо вычесть 0,6 дБ.

ТАБЛИЦА 5.11

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне IV для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения**

**Условия приема: Прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения (класс В), диапазон IV**

Частота	$f$ (МГц)	500				
<b>Мин. C/N, требуемое системой</b>	<b>(дБ)</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>26</b>
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_{s \min}$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_{s \min}$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	0				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-13,3				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\varphi_{\min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-112,9	-106,9	-100,9	-94,9	-88,9
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{\min}$ (дБ(мкВ/м))	33	39	45	51	57
Допустимые промышленные помехи	$P_{mmn}$ (дБ)	0				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	12				
Потери при проникновении в здание	$L_b$ (дБ)	7				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	4				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{med}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-89,9	-83,9	-77,9	-71,9	-65,9
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{med}$ (дБ(мкВ/м))	56	62	68	74	80

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	14				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\varphi_{med}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-79,9	-73,9	-67,9	-61,9	-55,9
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{med}$ (дБ(мкВ/м))	66	72	78	84	90

ПРИМЕЧАНИЕ. – Предполагается, что минимальные медианные эквивалентные значения напряженности поля на высоте 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест:

- на 6 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных на втором этаже;
- на 12 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных выше второго этажа.



ТАБЛИЦА 5.12

**Минимальная медианная плотность потока мощности и эквивалентная минимальная медианная напряженность поля в диапазоне V для вероятности охвата 70% и 95% мест, прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения**

**Условия приема: Прием на портативное оборудование на 1-м этаже внутри помещения (класс В), диапазон V**

Частота	$f$ (МГц)	800				
<b>Мин. <math>C/N</math>, требуемое системой</b>	<b>(дБ)</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>26</b>
Мин. мощность принимаемого сигнала	$P_{s\ min}$ (дБВт)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Мин. экв. напряжение на входе приемника, 75 $\Omega$	$U_{s\ min}$ (дБ(мкВ))	13	19	25	31	37
Усиление антенны относительно полуволнового диполя	$G_D$ (дБ)	0				
Эффективный раскрыв антенны	$A_a$ (дБм <sup>2</sup> )	-17,4				
Мин. плотность потока мощности в месте приема	$\Phi_{min}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-108,8	-102,8	-96,8	-90,8	-84,8
Мин. экв. напряженность поля в месте приема	$E_{min}$ (дБ(мкВ/м))	37	43	49	55	61
Допустимые промышленные помехи	$P_{mmn}$ (дБ)	0				
Потери из-за высоты	$L_h$ (дБ)	12				
Потери при проникновении в здание	$L_b$ (дБ)	7				

**Вероятность охвата мест: 70%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	4				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{med}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-85,8	-79,8	-73,8	-67,8	-61,8
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{med}$ (дБ(мкВ/м))	60	66	72	78	84

**Вероятность охвата мест: 95%**

Поправочный коэффициент местоположения	$C_l$ (дБ)	14				
Мин. медианная плотность потока мощности на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$\Phi_{med}$ (дБ(Вт/м <sup>2</sup> ))	-75,8	-69,8	-63,8	-57,8	-51,8
Мин. медианная экв. напряженность поля на 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест	$E_{med}$ (дБ(мкВ/м))	70	76	82	88	94

ПРИМЕЧАНИЕ. – Предполагается, что минимальные медианные эквивалентные значения напряженности поля на высоте 10 м н.у.з. для 50% времени и 50% мест:

- на 6 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных на втором этаже;
- на 12 дБ ниже указанных значений, если прием требуется в помещениях, расположенных выше второго этажа.



## ГЛАВА 6

### СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

#### 6.1 Введение

По всему миру широкое развитие получило аналоговое телевидение, и многие страны достигли охвата более 99% населения, по меньшей мере, двумя или тремя национальными сетями. Параллельно работает большое количество местных сетей, имеющих меньшие зоны покрытия. Необходимость достижения большого процента охвата приводит к использованию многих телевизионных передатчиков. Излучаемая ими мощность охватывает широкий диапазон: от почти 1 МВт эффективной излучаемой мощности (э.и.м.) для крупных станций, обслуживающих большие зоны, до менее чем 1 Вт э.и.м. для малых станций, предназначенных для обслуживания, возможно, нескольких сотен человек.

Аналоговые телевизионные системы (PAL, SECAM) очень чувствительны к помехам, создаваемым другими аналоговыми ТВ сигналами, и требуют высоких защитных отношений по совмещенному каналу (примерно от 30 дБ до 45 дБ, в зависимости от величины смещения частоты). Кроме того, соседние каналы, как правило, не могут использоваться в одних и тех же местах передачи.

Помимо этого, аналоговые ТВ системы не могут работать в конфигурации одночастотной сети (ОЧС), в которой соседние передатчики охватывают перекрывающиеся зоны обслуживания одними и теми же программами по одним и тем же РЧ каналам. Поэтому существующие аналоговые службы планируются в конфигурации многочастотной сети (МЧС), охватывающей смежные зоны обслуживания по различным РЧ каналам. Одни и те же РЧ каналы повторно используются только в регионах, отстоящих на большое расстояние, чтобы избежать вредных помех в совмещенном канале.

Вследствие этого телевизионный охват характеризуется интенсивным использованием каналов ОВЧ/УВЧ с большими зонами, в которых данный канал не может использоваться повторно из-за высоких защитных отношений, требующихся для аналоговых систем. Общее количество наличных РЧ каналов (максимум 10 каналов на ОВЧ и 48 каналов на УВЧ, по крайней мере в Районе 1), позволяют организовать только 2 программы в диапазоне ОВЧ и 3–5 программ на зону покрытия, если требуется высокая защита от помех. Более эффективное использование спектра могло бы быть достигнуто за счет применения методов точного смещения частот.

Следует отметить, что в некоторых странах достигнуто более интенсивное использование спектра, но в этом случае многие программы обычно принимаются с очень плохим техническим качеством из-за помех или шумов, особенно в зонах с низкой плотностью населения.

Аналоговые многочастотные сети обычно основываются на нескольких относительно мощных передатчиках, расположенных по возможности на холмах или горах. Подача программ на них осуществляется по кабельным или радиолиниям, а иногда через спутник или по оптическому волокну. Кроме того, чтобы точно отследить топографию территории при наличии холмов, гор или других препятствий или для улучшения приема в плотно населенных регионах, в эксплуатацию введено очень большое количество передатчиков малой мощности. Обычно подача программ на них производится путем вещания от более мощных передатчиков или, иногда, по радиолиниям.

В заключение следует отметить, что современные сети аналогового телевидения используют большой процент наличного спектра диапазонов ОВЧ/УВЧ и работают в конфигурации многочастотных сетей со средней или большой плотностью передатчиков. В каждой зоне обслуживания большое количество РЧ каналов не может повторно использоваться для мощных аналоговых служб из-за возможных помех. Поскольку цифровые системы могут иметь значительно меньшую чувствительность к шумам и помехам, этот спектр можно было бы использовать для введения служб цифрового телевидения, способных работать при меньших уровнях э.и.м. (Однако необходимо позаботиться о том, чтобы эти цифровые службы не создавали помех существующим аналоговым службам.)

Цифровые ТВ системы по сравнению с аналоговыми системами могут предоставить улучшенные РЧ характеристики с точки зрения эффективности использования спектра и требований к мощности. Прежде всего, цифровые системы позволяют вести многопрограммное вещание: в одном канале шириной 8 МГц в режиме временного мультиплексирования временным разделением каналов могут быть переданы от 2 до 4 программ стандартной четкости (ТВСЧ), со скоростью примерно 6 Мбит/с каждая. Полная пропускная способность (от 12 до 24 Мбит/с также может быть выделена для ТВ стандартов более высокого качества, таких как ТВ повышенной четкости (ТВПЧ, требующее примерно от 10 до 12 Мбит/с на программу) или ТВВЧ (требующее примерно 24 Мбит/с на программу). Системы с более высокой пропускной способностью конечно требуют более высокого минимального отношения  $C/N$ .

Цифровые системы могут быть значительно менее чувствительны к шумам и помехам, особенно когда эффективность использования спектра в системе не велика и применяются сложные методы модуляции и исправления ошибок. Это может обеспечить возможность работы при низких уровнях э.и.м. (в зависимости от модуляции), снижая тем самым помехи существующим аналоговым службам.

Тем не менее, следует учитывать, что лучшие системы модуляции и исправления ошибок показывают очень крутые характеристики отказов; цифровая система может работать в неблагоприятных условиях приема без ошибок декодирования, но повышение уровня шума или помехи на 1–2 дБ может внезапно прервать обслуживание. Вследствие этого в процедуры планирования должен быть заложен значительный запас, чтобы обеспечить доступность обслуживания для большого процента мест приема и большого процента времени.

Системы цифровой модуляции и канального кодирования могут обеспечивать различные компромиссы между эффективностью использования спектра и устойчивостью к шумам и помехам. Например, при фиксированном приеме подходящая эффективность использования спектра может быть порядка 4 бит/с/Гц (т. е. полезная скорость передачи в канале шириной 8 МГц составит примерно 24 Мбит/с), тогда как при статическом приеме на портативное оборудование более подходящей величиной может быть 1–2 бит/с/Гц.

Главным препятствием внедрению цифрового наземного телевидения в ближайшем будущем является необходимость защиты существующих аналоговых служб. Кроме того, для обеспечения привлекательной основы для развития необходим хороший охват цифровым обслуживанием.

Во многих странах из-за интенсивного использования спектра отсутствует возможность доступа к частотным присвоениям, первоначально согласованным, но не используемым телевизионными сетями или отдельными станциями, по крайней мере, относительно большой мощности. В этих странах для внедрения новых цифровых служб фактически необходимы новые присвоения каналов.

## **6.1 Многочастотные сети**

Преимущество многочастотного подхода к планированию состоит в том, что большая часть инфраструктуры существующей аналоговой сети может быть использована повторно. Это дает заметную экономию затрат для вещателя, но может принести выгоду и зрителю. Последнее будет иметь место в любом случае, когда будет найдена возможность использования каналов для цифровых передач от конкретной станции, которые близки к каналам, используемым для аналоговых передач той же самой станции, в особенности, если может применяться та же поляризация. Это должно позволить телезрителям повторно использовать их существующие приемную антенну и фидерную систему. Может потребоваться некоторый вид разветвителя или переключателя сигнала, чтобы обеспечить раздельную подачу сигнала на аналоговый и цифровой приемники, хотя этого можно избежать, если цифровой приемник имеет функцию просмотра программ.

Во время переходного периода и совместного существования аналоговых и цифровых служб, в особенности при первом внедрении цифровых служб, может оказаться важным не создавать потенциальным телезрителям ненужных трудностей и в результате этого отсутствие необходимости в новой приемной антенной системе может быть признано желательным.

Другим аспектом многочастотного планирования является естественное предположение, что существующие аналоговые службы, которые в настоящее время обслуживают более 98% населения во многих странах, будут использоваться еще много лет, и за это время с аналоговыми станциями произойдет относительно мало изменений. В частности, в аналоговых сетях, вероятно, не произойдет изменений общеизвестных каналов или крупных передающих станций.

Однако может быть признано желательным проведение ограниченного объема изменений каналов или даже смены местоположения некоторых аналоговых станций малой мощности, если будет показано значительное влияние этого на возможности внедрения цифровых станций и служб.

Во многих странах имеется мало (или даже отсутствуют) возможностей для ввода новых аналоговых станций со значительным охватом населения. Существуют возможности для введения новых цифровых станций благодаря их повышенной устойчивости к помехам и способности цифровых приемников использовать входные сигналы низких уровней, создаваемых соответствующей цифровой телевизионной системой. Но даже и в таких случаях эти возможности ограничиваются необходимостью защиты телезрителей существующих аналоговых служб от дополнительных помех.

### **6.2.1 Традиционное планирование многочастотных сетей**

Термин "традиционное планирование" используется для описания ситуации, когда сеть для цифровой службы имеет конфигурацию похожую на конфигурацию сети для аналоговой службы, по крайней мере для станций большой мощности. Это означает, что цифровые станции будут использовать те же передающие центры, что и аналоговые станции и будут иметь сравнимые по высоте передающие антенны, хотя их э.и.м. будет меньше.

Основными причинами малых значений э.и.м. являются:

- требование низкой минимальной напряженности поля;
- необходимость защиты зрителей существующих аналоговых служб.

Представляется возможным, что во многих случаях цифровые службы будут использовать каналы, близкие к каналам аналоговых служб, например соседние каналы. Относительно выбора поляризации обобщения невозможны, но использование одной и той же поляризации для цифровых и аналоговых служб будет означать, по крайней мере, что существующие бытовые приемные антенны могут быть без изменений использованы для цифровых служб. Поскольку и те и другие программные услуги поступают из одного и того же места, и так как э.и.м. цифровой службы будет меньше, чем у аналоговой службы (по вышеизложенным причинам), будет иметься небольшой риск возникновения помехи телезрителям существующих аналоговых служб по соседнему каналу. Если бы такой вид помехи существовал, то он присутствовал бы в течение 100% времени, и поэтому его следует избегать. Необходимо отметить, что многие технические вопросы, относящиеся к использованию передач по соседним каналам из одного и того же места, все еще нуждаются в изучении.

Зоны покрытия цифровых служб, вероятно, будут иметь меньшие размеры по сравнению с зонами покрытия аналоговых служб, причем величина уменьшения будет зависеть от требуемого значения  $C/N$ . Тем не менее, предполагается, что может быть получен значительный охват населения при условии возможного допущения некоторого ухудшения качества аналоговых служб из-за помех в совмещенных каналах.

Представляется маловероятным, что могут быть найдены каналы, которые позволили бы дублировать существующие аналоговые службы цифровыми службами во всех аналоговых передающих станциях большой мощности во всех странах.

## **6.3 Одночастотные сети**

### **6.3.1 Общие положения**

Все передатчики в одночастотной сети (ОЧС) используют один и тот же канал. Они имеют общую зону покрытия и не могут работать независимо. Концепции многочастотных и одночастотных сетей, в принципе, основаны на одной и той же топологии сети, а именно на использовании основных передатчиков и, если необходимо, вспомогательных передатчиков для перекрытия мертвых зон.

Метод модуляции OFDM, позволяющий принимать (и конструктивно складывать) несколько полезных РЧ сигналов, описан в части 1 настоящего Справочника.

### 6.3.2 Эффективность использования спектра

Эффективность использования спектра рассматривается в качестве основного преимущества концепции одночастотных сетей по сравнению с многочастотными. Эффективность использования спектра является важным свойством в ситуации, когда ресурсов спектра недостаточно, например на начальной фазе внедрения цифрового телевидения, когда большая часть ТВ спектра все еще занята аналоговыми службами, а также на долгосрочный период, когда необходимо будет предоставить большое количество программ, чтобы сделать цифровое телевидение привлекательным для потребителя.

Современные аналоговые службы работают в многочастотных сетях. В диапазоне УВЧ, используя 40 наличных каналов, можно получить от 2 до 4 хорошо защищенных аналоговых программ с полным охватом (в зависимости от географической ситуации в отдельной стране). Цифровые системы будут более эффективны, чем аналоговые. Можно предположить, что при использовании многочастотных сетей можно реализовать 3–6 сетей полного охвата; при 4 программах на канал общее количество достигнет 12–24 программ. Можно предположить, что при использовании ОЧС количество сетей полного охвата (и количество доставляемых программ) будет в два-три раза выше. Если бы целью охвата было обслуживание только наиболее плотно населенных зон, то количество наличных каналов теоретически могло бы быть около 40. Все эти числа основаны на теоретических рассуждениях, а при практических рассмотрениях необходимо проверять факт за фактом, например, принимать во внимание службы в соседних странах.

### 6.3.3 Задержка эхо-сигналов в ОЧС

Наземное телевизионное вещание в диапазонах ОВЧ/УВЧ характеризуется затуханием и многолучевым распространением из-за наличия препятствий и отражений в среде распространения. Вследствие этого сигнал на входе приемника характеризуется присутствием основной компоненты сигнала и многих эхо-сигналов с переменными амплитудами и задержками (райсовский канал). В случае приема на портативное оборудование основной сигнал может отсутствовать (рэлеевский канал). Задержки этих "естественных эхо-сигналов" обычно ограничены пределами в 20–30 мкс в соответствии с разностью трасс распространения, составляющей примерно от 6 до 9 км.

Наличие передатчиков ОЧС и передатчиков для перекрытия мертвых зон создает значительно более критическую среду многолучевого распространения, вводящую "искусственные эхо-сигналы" с высокой амплитудой и большой задержкой. Эти искусственные эхо-сигналы накладываются на естественные эхо-сигналы. Диапазон значений времени задержки искусственного эхо-сигнала пропорционален расстоянию до передатчика, которое определяется геометрией передающей сети. Например, предположив, что в большой ОЧС расстояние до передатчика  $D = 100$  км, получим, что значение времени задержки будет равно 330 мкс, а для сети ОЧС большей плотности с  $D = 10$  км оно составит только 33 мкс.

### 6.3.4 Выигрыш за счет сети

Многие местоположения пунктов приема в ОЧС могут быть охвачены более чем одним передатчиком, таким образом вводится определенный уровень избыточности в источники сигналов и улучшается доступность услуг, особенно когда требуется прием на портативное оборудование. В частности, при приеме на портативное оборудование напряженность поля от одного передатчика испытывает статистические отклонения из-за наличия препятствий на трассе распространения. Эти отклонения напряженности поля могут быть уменьшены за счет присутствия нескольких передатчиков, расположенных в разных направлениях, так как, когда один источник затенен, сигналы от других могут хорошо приниматься. Этот эффект известен как "выигрыш за счет сети" (см. также Приложение 1 к Главе 6). Численные примеры даны в § 6.4.2.

В результате выигрыша за счет сети ОЧС могут работать при меньшей мощности основных передатчиков и распределение напряженности поля в них более однородное по сравнению с многочастотными сетями. Влияние этих свойств на фиксированный прием будет не очень заметным, но при приеме на портативное оборудование в неблагоприятных местах и с несложными приемными антеннами эти свойства дадут большой выигрыш. Использование ОЧС представляется наиболее разумным путем удовлетворительного охвата больших зон, в которых предусматривается прием на портативное оборудование.

### **6.3.5 Планирование ОЧС**

Поскольку и многочастотные и одночастотные сети базируются на одной и той же топологии передающей сети, ОЧС, в принципе, могут использовать сетевую структуру существующих многочастотных аналоговых сетей. Вообще можно ожидать, что в ОЧС может понадобиться очень немного вспомогательных передатчиков для перекрытия мертвых зон, потому что напряженность поля в них имеет более равномерное распределение.

Основная проблема, с которой столкнулись при внедрении служб DVB-T, основанных на ОЧС, состоит в том, что большая часть ТВ спектра занята аналоговыми службами, использующими структуру многочастотных сетей. Даже если существуют некоторые неиспользуемые присвоения (в данной стране), которые могли бы быть использованы цифровым телевидением, они могут быть заняты только на ограниченное время для реализации обслуживания большой зоны, основанной на ОЧС, так как сеть может функционировать в режиме ОЧС только при условии, что ее канал свободен во всей зоне обслуживания. Если же еще существуют аналоговые службы, использующие данный канал, – и возможно это будет продолжаться все время, пока будет находиться в эксплуатации какая-нибудь национальная или региональная аналоговая служба, – то подверженные влиянию аналоговые передатчики должны быть сдвинуты по частоте. Среди этих передатчиков будут и основные станции, охватывающие значительную часть населения. Сомнительно, что имеет смысл производить эту реорганизацию аналоговой службы, сопровождаемую большими затратами со стороны вещателей и потребителей, если она будет позднее ликвидирована. Однако возможны подходящие конфигурации каналов, которые делают это преобразование практически возможным. В частности, для сетей малых зон, содержащих только два или три передатчика большой мощности, ОЧС могут быть применимы и привлекательны.

В некоторых странах существует вероятность того, что один или более каналов в диапазоне УВЧ будут освобождены для реализации цифровых служб в национальном масштабе. Эти каналы либо еще не распределены для ТВ вещания, или они уже распределены, но не использовались ТВ службами. Этим странам предоставляется хороший шанс для реализации на национальном или региональном уровне основанной на ОЧС цифровой службы, который предусматривает потенциальный ввод в действие с самого начала привлекательного, долгосрочного сценария. Вообще, использование этих каналов на общенациональной основе может оказаться невозможным из-за вероятности того, что соседние страны используют эти каналы для аналогового ТВ или других служб.

### **6.3.6 Типы ОЧС**

ОЧС могут быть реализованы различными путями. В Приложении 2 к Главе 6 даются определения разных типов рассматриваемых ОЧС.

#### **6.3.6.1 ОЧС в большой зоне**

Сети ОЧС в большой зоне образуются на основе не менее двух до нескольких десятков передатчиков большой мощности, вместе с объединенными передатчиками средней и малой мощности. Они предоставляют лучший способ обеспечения высокой эффективности использования спектра, присущей ОЧС.

В том случае, когда для новых цифровых служб распределяется группа новых частот, осуществляется прямое введение нескольких национальных ОЧС и малых ОЧС для выполнения требований региональных программ. Этот сценарий может быть в равной степени применим к долгосрочной ситуации с цифровым телевидением, когда будут ликвидированы аналоговые службы.

С другой стороны, маловероятно, что ОЧС в больших зонах могут быть реализованы в стране с хорошо развитыми аналоговыми сетями и несколькими неиспользуемыми, но доступными присвоениями. Существует одна возможность, которая может быть изучена – это общая замена каналов в существующих аналоговых станциях. Однако представляется маловероятным, чтобы это можно было бы осуществить на практике из-за повсеместного развала существующего приема как в самой стране, так и в соседних странах.

### 6.3.6.2 Мини-ОЧС

В мини ОЧС существующая главная станция и многие (возможно все) ее вспомогательные станции малой мощности совместно используют один и тот же канал. Эта концепция очень привлекательна с точки зрения экономии каналов и однородности распределения напряженности поля, но однако существует ряд технических вопросов, которые следует рассмотреть.

Среди них тот факт, что, по всей вероятности имеются телезрители существующих налоговых передач с главной станции, которые находятся вблизи местоположений ретрансляционных станций. Возможно, что такие телезрители будут испытывать помехи от цифровых передач с ретрансляционной станции, если для них используются каналы, соседние с каналами аналоговых служб. Кроме того, в случае фиксированного приема приемные антенны, используемые телезрителями аналоговых служб от ретрансляционных станций, могут оказаться непригодными для приема новых цифровых служб из-за различий каналов. С другой стороны, при приеме на портативное оборудование концепция мини-ОЧС обеспечивает привлекательные средства для улучшения охвата цифрового телевидения.

## 6.4 Эффекты множественного сигнала

В общем случае прием цифровых служб сталкивается в ОЧС с многосигнальной средой, т. е. как с множественной помехой, так и множественным полезным сигналом. Для оценки результирующих уровней напряженностей полей полезных и мешающих сигналов необходимо объединить отдельные сигналы. Поскольку уровни напряженности поля сигналов описываются статистическими величинами, они должны и объединяться статистически.

По существу, это справедливо для статистики как по местоположениям, так и по времени. Однако обычно данные виды статистики рассматриваются разными способами. Статистика по времени учитывается путем использования табулированной напряженности поля и кривых распространения для соответствующих временных процентных отношений. Статистика по местоположениям обрабатывается с использованием распределений напряженности поля.

В Главе 3 описаны общие аспекты статистики по времени и по местоположениям, а также математические методы для выполнения статистического сложения. В настоящем разделе обсуждается влияние эффектов сложения сигналов на методы и параметры планирования.

### 6.4.1 Одиночные сигналы и запасы на распространение

Статистика по местоположениям отдельных (логарифмических) уровней напряженности поля, исходящих из одного передатчика, описываются нормальным распределением, которое характеризуется двумя параметрами: средним значением и стандартным отклонением. Поэтому в данном случае и мощность сигнала распределена логарифмически нормально.

Далее обсуждаются требуемые вероятности охвата, играющие ключевую роль в качестве параметров планирования цифровых систем (см. Главу 4). Эти плановые показатели относятся к параметрам распределения напряженности поля. Средним значением распределения определяется 50% вероятность охвата, а для вычисления более высокой (а также и более низкой) вероятностей охвата необходимы как среднее значение, так и стандартное отклонение распределения сигнала.

В случае одного сигнала, когда параметры распределения известны априори, как описано в Главе 3, запасы на распространение, удовлетворяющие более высоким вероятностям охвата, вычисляются легко, например, запас на распространение для 95% вероятности охвата равняется  $1,64 \sigma$ , где  $\sigma$  обозначает стандартное отклонение. Использование для планирования минимальной медианной напряженности поля определено в Главе 5. То же самое относится к запасам на распространение с учетом защитных отношений, когда участвуют одно полезное поле и одно мешающее.



#### 6.4.2 Множественные сигналы и выигрыш за счет сети

Когда встречается ситуация с множеством сигналов, параметры распределения результирующего суммарного сигнала перестают быть известными априори. Среднее значение и особенно стандартное отклонение сильно зависят от конфигурации конкретных сигналов и должны определяться посредством статистических процедур. Вследствие этого используемые для вычислений зон покрытия минимальные напряженности полей и запасы на распространение больше не имеют фиксированных значений, они скорее становятся переменными, зависящими от количества, напряженности и распространения отдельных одиночных полей. Однако могут быть выявлены две общие тенденции. Во-первых, среднее значение объединенного суммарного сигнала выше арифметической суммы средних значений отдельных сигналов, и во-вторых, стандартное отклонение объединенного суммарного сигнала меньше этого же показателя у отдельных сигналов. Оба этих факта порождают эффект выигрыша за счет сети (в случае полезных сигналов).

Проиллюстрировать значимость эффектов сложения уровней напряженности поля могут следующие примеры. Предположим, что во всех примерах плановая вероятность охвата равняется 95%, а стандартное отклонение одиночных полей выбрано равным 5,5 дБ. Примеры рассчитаны для приемных систем с ненаправленными антеннами, дающими максимальный выигрыш от пространственного разнесения, создаваемого активными эхо-сигналами в ОЧС. Для приемных систем с направленными антеннами, например, при фиксированном приеме на антенну, расположенную на крыше, эффект выигрыша за счет сети снижается, поскольку активные эхо-сигналы ослабляются из-за пространственной избирательности антенны.

Максимальный статистический выигрыш за счет сети достигается, если суммируемые поля имеют равную напряженность. Например, пусть в случае трех отдельных сигналов выигрыш равняется 5,1 дБ. Это означает, что по сравнению с охватом одним передатчиком, использование ОЧС позволяет снизить общую мощность в три раза.

Однако не во всех местах приема, охватываемых ОЧС, будет получена такая выгода от выигрыша за счет сети. В качестве второго примера выбрано местоположение на краю типичной замкнутой шестиугольной сети ОЧС с 7 передатчиками. Хотя место приема и находится на краю зоны покрытия, для него все же существует выигрыш за счет сети примерно 4 дБ, снижая на эту величину минимальную напряженность поля при планировании.

Подобным же образом результаты сложения сигналов уменьшают запасы на распространение для защитных отношений. В качестве примера снова выберем место приема на краю шестиугольной сети ОЧС с 7 передатчиками, которой создает помехи вторая идентичная ОЧС, расположенная на расстоянии повторного использования канала, т. е. довольно близко. Здесь результаты сложения как полезных, так и мешающих сигналов приводят к снижению необходимого запаса на распространение примерно на 4,5 дБ, что указывает на способность ОЧС справляться с почти в три раза более сильной помехой без потери плановой вероятности охвата.

Данные примеры показывают, что результаты сложения в ОЧС могут в значительной степени влиять на охват цифровой службой.

Уже говорилось о том, что результаты сложения сигналов увеличивают среднее значение и уменьшают стандартное отклонение результирующего распределения суммарного сигнала по сравнению с результатами стандартной обработки. Это очень важный вывод, поскольку он дает возможность устанавливать результаты стандартной обработки в качестве верхней границы при начальных плановых оценках. С учетом некоторого дополнительного запаса на реализацию эти оценки формируют соответствующую основу для планирования, когда отсутствует подробная информация о характеристиках передатчиков в сети, например при составлении плана выделения частот.

С другой стороны при детальном планировании, например при компоновке плана присвоений частот или создании реальной сети передатчиков, результаты сложения сигналов должны приниматься во внимание. Запасы на распространение для минимальной напряженности полей и защитные отношения в таком случае больше не являются параметрами, пригодными для планирования. Они должны быть заменены более существенными плановыми показателями вероятности охвата. Их связь с суммарными параметрами распределения суммарных полей полезных и мешающих сигналов описана в Главе 3.

### 6.4.3 Множественные помехи и внутренние помехи

Статистика по времени для мешающих полей учитывается при базисных вычислениях по кривым распространения для 1% времени, тогда как вычисления полей полезных сигналов основаны на кривых распространения для 50% (или 99%) времени. Результаты статистического сложения сигналов мешающих полей с учетом статистики по местоположениям, в принципе, так же эффективны, как и для полей полезных сигналов, что описано в предшествующем разделе. Однако их влияние на вычисление охвата не так важно из-за асимметричного характера распределения суммарного поля. Вследствие этого зачастую оправдывается обработка множественных помех с использованием упрощенных статистических процедур.

Следует признать, что в рассматриваемых сетях ОЧС не все передатчики сетей будут вносить свою долю в полезный сигнал. В зависимости от системных и сетевых параметров, таких как защитный интервал и расстояния между передатчиками, некоторые сигналы могут превратиться в помехи. Этот эффект называется внутренней помехой ОЧС. Для системы DVB-T с ее более высокими требованиями к защите, чем у T-DAV, он более важен и должен вызвать более тщательное проектирование сети.

В связи со сложением сигналов поля внутренних помех обрабатываются как "обычные" мешающие сигналы. Используются кривые распространения для 1% времени, и они складываются с другими возможными помехами, проникающими в ОЧС извне.

Однако возникают проблемы с обработкой мешающей и полезной частей сигнала. Обычно напряженности мешающих полей вычисляются на основе кривых распространения для 1% времени, а полезных полей – на основе кривых распространения для 50% времени. Если обе части появляются из одного и того же поля, возникает вопрос, выбирать за основу кривые распространения для 1% времени или для 50% времени. Возможная обработка могла бы основываться на кривых распространения для 50% времени до тех пор, пока главная часть сигнала имеет характер полезного сигнала, а в противном случае – на основе кривых распространения для 1% времени.

Кроме того, схожая проблема возникает и со статистикой по местоположениям. Обычно полезный и мешающий сигналы обрабатываются статистически независимо. В случае, когда мешающая и полезная части сигнала возникают из одного поля, очевидно, что это будет некорректно. Влияние этого эффекта "автокорреляции" на вычисления зон покрытия пока еще не оценено и нуждается в дальнейшем изучении.

### 6.4.4 Корреляция

Сообщалось о том, что пространственная корреляция между РЧ сигналами имеет непреходящую значимость для оценки охвата вещательными службами. Тем не менее, никакой общесогласованной оценки корреляции пока не сделано.

По своей сути, корреляция не связана с процедурой сложения, она может возникнуть и при наличии только одного полезного и одного мешающего полей. В этом случае корреляция увеличивает зону покрытия для данной конфигурации напряженностей полей полезного и мешающего сигналов.

В ситуации с множественными сигналами можно наблюдать противоположный эффект. Корреляция между полезными сигналами уменьшает выигрыш за чет сети передатчиков, а корреляция между мешающими сигналами увеличивает их мешающий потенциал, а оба этих эффекта уменьшают зону покрытия для данной конфигурации напряженностей полей полезного и мешающего сигналов.

Ввиду неопределенной общей оценки корреляции и различных результатов, к которым она приводит в отношении охвата, представляется оправданным пренебречь ими при плановых вычислениях, по крайней мере, в настоящее время.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### К ГЛАВЕ 6

#### **Характерные черты теоретических ОЧС**

Были предприняты исследования для того, чтобы определить влияние характеристик цифровой ТВ системы (защитный интервал, защитные отношения) на доступность службы в зоне обслуживания, в зависимости от размеров ОЧС (большие или плотные). Методика анализа определена и получен ряд результатов для сетей DVB-T.

В одночастотной сети все передатчики вещают точно на одном и том же РЧ канале. Зоны обслуживания этих передатчиков перекрываются, а передаваемые сигналы полностью синхронизированы.

По сравнению с традиционными многочастотными сетями, сети ОЧС дают значительный выигрыш в использовании спектра, но при этом налагают жесткие ограничения на планирование систем передачи. Действительно, полезный сигнал, столкнувшийся с искусственными эхо-сигналами, производимыми другими передатчиками, характеризуется большими амплитудами и длительными задержками. Задержки эхо-сигналов зависят от разности длин трасс распространения и могут иметь порядок от нескольких десятков до нескольких сотен микросекунд в зависимости от расстояний до передатчиков (например, разность трасс 10 км соответствует задержке примерно 33 мкс).

Эти эхо-сигналы ОЧС накладываются на эхо-сигналы, создаваемые препятствиями (горы, холмы, здания), часто встречающимися в среде распространения (многолучевые эхо-сигналы). Обычно задержки, связанные с многолучевыми эхо-сигналами, бывают короче 20–30 мкс. В настоящем Приложении рассматриваются только искусственные эхо-сигналы, создаваемые в ОЧС, а естественные многолучевые эхо-сигналы не учитываются.

Характеристики системы цифрового телевидения в ОЧС сильно зависят от задержек эхо-сигналов и амплитудных характеристик. Здесь рассматриваются только системы с OFDM со схемами мощного канального кодирования, пригодные для работы в весьма неблагоприятных условиях многолучевого распространения, существующих в ОЧС. Эти системы могут обрабатывать эхо-сигналы (естественные или искусственные) таким образом, чтобы до определенных величин разброса по задержке все поля вносили конструктивный вклад в полезный сигнал. Это позволяет оценивать возможности создаваемых сетей ОЧС.

Для изучения теоретических характеристик ОЧС, обычно основываемых на шестиугольных зонах покрытия, используется однородная полубесконечная ячеистая сеть.

Описанная в Рекомендации МСЭ-R P.370 модель распространения обычно используется для оценки уровней напряженности поля, создаваемых в данном пункте приема каждым передатчиком сети. Даются средние значения пространственных распределений напряженности поля, взятые из кривых для суши в случае 50% мест/50% времени полезных компонентов сигнала ОЧС. Для мешающих сигналов в большинстве случаев используются кривые для 50% мест/1% времени, которые соответствуют большему ухудшению. Вычисления выполняются при стандартном отклонении изменений по местоположениям пунктов приема для отдельных сигналов, равном 5,5 дБ.

Для служб DVB-T представляют интерес как фиксированный прием (с установленной на крыше направленной антенной), так и прием на портативное оборудование. В Рекомендации МСЭ-R P.370 приведены кривые распространения, дающие уровни напряженности полей, которые справедливы для приема на антенну, расположенную на высоте 10 м над уровнем земли (н.у.з.). Эта модель пригодна для фиксированного приема DVB-T на установленную на крыше антенну. Для приема DVB-T на портативное оборудование необходимо вычесть примерно 10–20 дБ из значения напряженности поля, спрогнозированного для 10 м над уровнем земли.

Обычно для служб DVB-T требуется охват 95% местоположений, по крайней мере при фиксированном приеме на установленную на крыше антенну. Хорошо известно, что в этой области высоких вероятностей статистический выигрыш за счет сети ОЧС обеспечивает значительную часть полной зоны покрытия. Пространственное разнесение источников сигналов обеспечивает уменьшение изменений уровней напряженности поля и улучшение охвата, в особенности при приеме на портативное оборудование в затененных зонах. Вследствие этого необходимо рассматривать статистические аспекты как можно тщательнее. Нестатистический подход приводит к сильной недооценке степени охвата и дает неверное выражение справедливости концепции ОЧС.

Статистическое сложение уровней напряженности поля выполняется с использованием метода Монте-Карло. Для каждого места приема случайно генерируются компоненты сигналов от различных передатчиков с соответствующими статистическими распределениями и в соответствии с задержками и защитным интервалом системы, в результате чего получаются эквивалентные совокупные отношения несущей к шуму  $C/N$  и к помехам  $C/I$ . При первом исследовании характеристик ОЧС может быть сделано упрощающее допущение о "сети ограниченной помехами" (т. е. не шумом). В случае установленной на крыше направленной антенны предполагается, что она сориентирована в направлении наиболее мощного передатчика (хотя это может быть не всегда целесообразно).

Объединенное отношение  $C/N$  и  $C/I$  сравнивается с порогом системы (соответствующим неблагоприятным условиям многолучевого распространения, таким как рэлеевский канал), чтобы определить, обслуживается или не обслуживается эта конкретная точка приема. Для достижения статистически значимых результатов эта процедура повторяется тысячи раз для каждой "малой зоны" или "пиксела", а затем повторяется на регулярной сетке по всей зоне обслуживания.

Этот метод может предоставить вероятностные показатели покрытия для зоны обслуживания и всеобъемлющие совокупные значения процентного охвата обслуживаемых мест приема. Важным показателем характеристик работы сети является процент мест, обслуживаемых в наихудшем пикселе. Альтернативно характеристика работы может быть представлена в количественной форме через процентное отношение пикселей, в которых достигается заданный уровень охвата.

Этот анализ может позволить оптимизировать системные параметры (защитный интервал, пороговые значения  $C/N$  и  $C/I$  заданной теоретической конфигурации сети (расстояния между передатчиками, высота антенн), или же позволить выбрать сетевые параметры заданной системы цифровой модуляции/кодирования.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### К ГЛАВЕ 6

#### **Определения, относящиеся к передающим станциям и одночастотным сетям для цифровых телевизионных служб**

##### **Передающие станции для цифровых служб**

###### **Станция большой мощности:**

Станция с э.и.м. более чем 10 кВт и эффективной высотой антенны, обычно превышающей 150 м.

###### **Станция средней мощности:**

Станция с э.и.м. в пределах от 100 Вт до 10 кВт (включительно) и эффективной высотой антенны обычно в диапазоне от 75 до 150 м.

###### **Станция малой мощности:**

Станция с э.и.м. менее 100 Вт и эффективной высотой антенны обычно менее чем 75 м.

##### **Одночастотные сети**

###### **ОЧС в большой зоне:**

ОЧС, содержащая более чем одну станцию большой мощности вместе с соответствующими станциями средней и малой мощности, как правило, с общей зоной покрытия более примерно 10 000 км<sup>2</sup>.

###### **Мини-ОЧС:**

Одна станция большой мощности вместе, по меньшей мере, с одной (а возможно, и несколькими) соответствующей станцией средней или малой мощности.

###### **Национальная ОЧС:**

ОЧС, охватывающая всю страну.

###### **Региональная или местная ОЧС:**

ОЧС, охватывающая часть страны.



## ГЛАВА 7

### МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ

#### 7.1 Введение

Службы наземного цифрового телевидения могут планироваться с использованием присвоенных или/и выделений радиочастот. В этом разделе даны методы для обоих этих подходов, и они могут быть использованы при подготовке и во время проведения международной конференции по планированию. Рассматриваются также вопросы планирования отдельной станции (или группы станций), предназначенной для охвата определенной зоны.

##### 7.1.1 Планирование присвоенных частот для наземного цифрового телевидения

В прошлом планирование наземного телевидения в Европе осуществлялось путем проведения конференций по присвоению частот. В случае планирования присвоенных в процессе подготовки к конференции по планированию необходимо выполнить значительный объем работ по планированию отдельных станций. Конференции Стокгольм'52 и Стокгольм'61 были двумя такими конференциями, посвященными наземному телевидению, а европейские вещательные компании приобрели большой опыт в планировании присвоенных, в частности, потому, что принятые на конференции Стокгольм'61 методы и критерии планирования все еще применяются для планирования аналогового телевидения.

Планирование присвоенных для наземного цифрового телевидения целесообразно, когда:

- вещательная компания по причинам окружающей среды или по экономическим причинам желает использовать существующую передающую инфраструктуру;
- необходимо использовать спектр совместно с существующими аналоговыми телевизионными передачами в той же стране;
- рассматриваются присвоения цифровым службам.

По завершении плана присвоенных становятся известными местоположения и характеристики передатчиков в зоне планирования, и передатчики могут быть введены в эксплуатацию без дополнительной координации.

##### 7.1.2 Планирование выделений частот для наземного цифрового телевидения

Альтернативная возможность осуществления выделений частот на конференции привлекла в последние годы значительное внимание, частично благодаря возможностям, предоставляемым ОЧС. Планирование выделений для ОЧС, по всей вероятности, проводится наилучшим образом, когда спектр доступен или может стать доступным в большом регионе или по всей стране. Выделения частот могут быть также применимы к планированию многочастотных сетей, когда в стране нет планов использования конкретных передающих станций, но есть желание сохранить некоторую гибкость на перспективу.

При планировании выделений следует учитывать, что канал "дается" администрации для обеспечения покрытия всей территории или ее части, но поскольку не существует согласованных определений таких слов, как "национальное" или "региональное", необходимо быть осторожным в их применении. На этапе планирования выделений в большинстве случаев ничего не известно ни о действительном местоположении передатчиков, ни о конкретных характеристиках передачи. Доступными параметрами являются только определение охватываемой зоны и используемого канала. Таким образом, для завершения пробного планирования необходимо определить некоторые более или менее реальные эталонные условия передачи, с тем чтобы можно было произвести любые необходимые вычисления по совместимости.

Для реализации сетей на основе выделений необходимо преобразовать выделения в присвоения частот отдельным передатчикам.

### **7.1.3 Ограничения планирования для целей координации**

Ограничения по координации одни и те же при планировании выделений и присвоений. Это:

- совместимость с существующими аналоговыми телевизионными службами;
- совместимость с другими службами (Глава 8);
- взаимная защита выделений или присвоений для цифрового телевидения.

### **7.2 Планирование цифрового телевидения в Соединенных Штатах Америки**

Планирование вещательных служб цифрового наземного телевидения является предметом многих обсуждений. Планирование может выполняться с использованием присвоений и/или выделений. При этом должны приниматься во внимание такие географические переменные, как государственные границы и рельеф местности. В мире существуют несколько регионов, где планирование телевизионного вещания является предметом требований только отдельных администраций с проведением специальных двусторонних обсуждений планирования в пограничных областях. Принимая во внимание эти и другие факторы, были разработаны и использованы различные методы для оптимизации присвоений частот и планирования выделений.

Для решения этих задач благодаря использованию сложной методологии исследования операций было разработано программное компьютерное обеспечение с целью оптимизации выделения каналов для ЦНТВ в Соединенных Штатах. Такое программное обеспечение включает методики для вычисления расчетных зон обслуживания и количественных уровней помех внутри службы. Это программное обеспечение может использоваться в случаях копирования зон охвата при переходе от аналоговых служб к цифровым.

На основе этих потребностей была разработана компьютерная модель для оптимизации и обеспечения баланса различных стратегических целей. Эта модель использовалась для создания плана выделений для ЦНТВ, учитывающего также и существующие присвоения аналогового телевидения. Данное программное обеспечение включает методологию оптимизации изучения операций, известную как "модельная закалка". Эта методология использует систему штрафов, привязанных к условиям, которые приводят к неудачам в достижении определенных целей. Для достижения оптимальных условий с помощью метода модельной закалки пытаются минимизировать сумму этих штрафов или "затрат". Его применение позволяет определять и количественно оценивать затраты при различных условиях.

Компьютерная модель позволяет проводить быстрый расчет и анализ покрытия зон обслуживания, обеспечиваемых аналоговыми и цифровыми телевизионными системами (в Соединенных Штатах это системы ATSC и NTSC, соответственно), как на общей совокупной основе, так и для отдельных станций. Данный план может быть видоизменен для рассмотрения и других аналоговых и цифровых телевизионных систем. Фактическая зона обслуживания отдельной аналоговой станцией определяется как зона внутри спрогнозированного контура обслуживания станции, уменьшенного за счет помех; она рассчитывается на основании реального местоположения передатчика, его мощности и высоты антенны. Фактическая зона обслуживания цифровой станции определяется как зона, находящаяся внутри контура станции, ограниченного шумами, и уменьшенная за счет помех, действующих внутри этого контура. При расчете зоны покрытия цифровой станции подразумевается, что местоположение и высота антенны идентичны местоположению и высоте антенны сопутствующей аналоговой станции, а излучаемая мощность в целом достаточна для достижения ограниченной шумом зоны покрытия, которая равна или меньше зоны покрытия сопутствующей аналоговой станции.

Возможны случаи, когда выделение каналов в конкретных местных ситуациях можно наилучшим образом произвести на основе каждого отдельного случая. Вследствие этого программное обеспечение предоставляет возможность объединять конкретные местные планы в законченные таблицы и, при необходимости, производить изменения в других выделениях для сохранения баланса конкретных стратегических соображений. Эта возможность позволяет объединять парные соглашения о выделениях каналов, к которым вещательные компании могут приходить при урегулировании путем переговоров.

В Соединенных Штатах прекращение аналогового телевизионного вещания ожидается в ближайшее время. Рассмотрены вопросы, касающиеся защиты будущих зон обслуживания цифровых служб и лицензирования новых служб. Например, может быть рассмотрен компромисс между излучаемой мощностью новых цифровых средств и степенью, в которой эти средства будут защищены от помех



после ликвидации аналоговых телевизионных служб. Одним из значительных преимуществ цифрового вещания является тот факт, что могут быть разработаны планы присвоений или выделений с учетом более эффективного использования спектра, которое ранее было невозможно из-за необходимости защиты каналов, на которые было наложено так называемое табу в связи с работой аналогового телевидения. По завершении работы аналоговых служб становится возможным перераспределить спектр другим службам и произвести решительные компромиссные шаги в структуре цифровых средств. В Соединенных Штатах был определен "основной" спектр, состоящий из каналов 2–51 шириной 6 МГц каждый. Был разработан процесс возврата спектра каналов 52–69 для других целей.

Данный план выделения (каналов) учитывает потребности всех существующих, имеющих отношение вещательных компаний, копирует существующие зоны обслуживания и гарантирует эффективное и действенное управление использованием спектра. Данный план был разработан для упрощения возврата в короткие сроки каналов 60–69 шириной 60 МГц и возврата в долгосрочной перспективе в конце переходного периода дополнительной части спектра шириной 78 МГц. В настоящее время в Соединенных Штатах предпринимаются попытки стратегического развития и принятия решений по использованию этого спектра (каналы 60–69). В Соединенных Штатах 24 МГц выделено для нужд общественной безопасности, и в настоящее время рассматривается вопрос о размещении части или всей оставшейся полосы 36 МГц.

Частотный план Соединенных Штатов (Таблица выделений DTV в США) предоставляет каналы для работы цифрового телевидения всем подходящим вещательным компаниям. Эти компании, подходящие для использования в планах цифровых телевизионных каналов, включают: компании, лицензированные для эксплуатации телевизионных вещательных станций с предоставлением всех видов обслуживания, и другие компании, имеющие разрешение на строительство таких станций. Эти критерии пригодности следуют первоначальной формулировке пригодности в национальном законодательстве. Этот подход предназначался для содействия упорядоченному переходу к цифровому телевидению за счет гарантий, что все подходящие вещательные компании, предоставляющие все виды обслуживания, способны обеспечить цифровые службы.

Несмотря на то, что подходящим вещательным компаниям были предоставлены каналы, позволяющие им обеспечить цифровое телевизионное обслуживание в зонах, которые обычно сопоставимы с существующими зонами обслуживания аналогового телевидения, копирование зоны обслуживания больше не потребуется. Если отдельные вещательные компании решат действовать так, то они могут построить цифровые телевизионные станции, которые не будут копировать зону обслуживания существующего аналогового телевидения, но, если они так поступят, то они не будут защищены вне определенного края новой зоны цифрового обслуживания. Что касается начального этапа, то вещательным компаниям были выделены цифровые телевизионные каналы, которые будут копировать зоны обслуживания их существующих станций после окончания переходного периода, иными словами, и после того, как аналоговые телевизионные станции прекратят работать. Свыше 50% всех вещательных компаний получают цифровой телевизионный канал, который обеспечивает 100% копирование во время переходного периода, а более 93% всех вещательных компаний получают канал, который обеспечивает копирование зоны обслуживания в течение, по крайней мере, 95% времени переходного периода.

### **7.3 Планирование цифрового телевидения в Европе**

По всей вероятности планирование цифрового телевидения в Европе будет в достаточно близком будущем основано на смеси планирования присвоений и выделений. Информация, данная в § 7.4–7.9, основана на идеях, разработанных в Европе применительно к планированию присвоений, но она может быть применена с небольшими изменениями также и в других регионах мира.

### **7.4 Элементы планирования**

#### **7.4.1 Критерии планирования**

Критерии планирования состоят из следующих элементов:

- Защитные отношения (Глава 2).
- Процент времени, в течение которого требуется защита (Глава 4).
- Процент местоположений, в которых требуется защита (Глава 4).
- Уровни сигналов и значения  $C/N$  (Глава 5).

Рассматриваемый диапазон значений  $C/N$  для различных цифровых систем и их вариантов очень велик, и разности между некоторыми значениями  $C/N$  меньше, чем точность, присущая доступным методам прогнозирования распространения (включая допущения, необходимые в случае приема на портативное оборудование). Для планирования внедрения цифрового телевидения обычно необходимо ограничить промежуточные исследования представительным набором значений  $C/N$ .

#### **7.4.2 Методы прогнозирования распространения**

Метод прогнозирования уровня сигнала для отдельных передатчиков дан в Рекомендации МСЭ-R P.370, а статистический подход для ОЧС – в § 3.4.

#### **7.4.3 Объединение множественных сигналов**

Методы объединения полезных и мешающих сигналов даны в § 3.4.

#### **7.4.4 Базы данных для планирования**

Наземное цифровое телевизионное вещание должно быть в основном размещено в тех же диапазонах, что и аналоговое телевидение. Для обеспечения такого размещения могут потребоваться большие вычисления совместимости при исследованиях планирования и последующая координация. Эти вычисления требуют баз данных, содержащих:

- аналоговые передающие станции;
- присвоения цифровых передающих станций;
- планы выделений, которые содержат, например, подлежащие охвату зоны;
- подробная информация о других службах.

#### **7.5 Процедуры для защиты аналоговых телевизионных служб**

Необходимо обеспечить, чтобы существующие и планируемые аналоговые телевизионные службы были по-прежнему защищенными. Это относится как к планированию присвоений, так и к планированию выделений для цифрового телевидения. В любом случае перед выбором канала для цифровой телевизионной службы необходимо установить размер зоны покрытия для каждой координируемой аналоговой станции. Это может быть сделано с помощью процесса вычислений, данного в § 7.7, или, в особых случаях, с помощью установленных пограничных контрольных точек. Примерами последних могли бы быть точки, где расчетная зона покрытия пересекала бы национальную границу, или гористая местность, где нельзя ожидать, что прогнозирование распространения, основанное на Рекомендации МСЭ-R P.370, может дать точные результаты.

#### **7.6 Определения контрольных точек**

Необходимо иметь две категории контрольных точек. Одна категория представляет собой зону покрытия для данной станции или ОЧС, тогда как другая представляет только границы страны.

Все контрольные точки определяются их географическими координатами.

##### **7.6.1 Контрольные точки, представляющие зоны покрытия**

Обычно передатчик будет находиться внутри контура, описываемого контрольными точками, однако в особых случаях передатчик может находиться вне этой зоны.

Для малых станций, т. е. станций, зона покрытия которых меньше чем, например, 5 км, может быть достаточно иметь только одну контрольную точку, находящуюся на передающей станции. Однако при необходимости могут быть определены до 36 контрольных точек. Если задана только одна контрольная точка, то следует предполагать, что приемная антенна является ненаправленной.

Для станций, зоны покрытия которых больше или равны 5 км, используются до 36 контрольных точек. Эти контрольные точки могут находиться на радиальных лучах с интервалами в 10°.

Если контур зоны покрытия пересекает границу страны, то контрольные точки этой зоны находятся в точках пересечения радиальных лучей и границы, в противном случае они согласуются заинтересованными администрациями.

### 7.6.2 Контрольные точки на границе страны

Для представления границы страны может быть использовано большее количество контрольных точек.

Местоположение контрольных точек на границе должно быть согласовано между странами, имеющими совместную границу, и при необходимости использоваться в качестве контрольных точек всеми остальными странами.

Совокупность контрольных точек, представляющих границу страны, должна оформляться в виде совершенно отдельной совокупности, так же как это должно делаться и в отношении совокупности, представляющей зону покрытия.

### 7.6.3 Доступность данных о местоположении контрольных точек

Данные о местоположении контрольных точек, т. е. их географические координаты, как правило, должны быть доступными всем администрациям, к которым они относятся, для упрощения расчетов помех в других странах или зон покрытия станций в других странах.

## 7.7. Вычисление местоположений контрольных точек, представляющих зоны покрытия

Для расчета зоны покрытия телевизионной станции в заданном канале необходимы два элемента:

- параметры, характерные для отдельной передающей станции (координаты, высота антенны, излучаемая мощность и т. п.), которые используются для вычисления полезного сигнала;
- системные параметры, такие как защитные отношения, которые используются для вычисления уровней напряженности отдельных мешающих полей, используемой напряженности поля и минимальной медианной напряженности поля.

При этих вычислениях следует принимать во внимание:

- помехи от присвоений аналогового телевидения;
- помехи от присвоений цифрового телевидения.

Напряженность отдельного мешающего поля,  $E_n$ , представляет собой напряженность поля мешающего сигнала, к которому прибавляется соответствующее защитное отношение, поправочный коэффициент распространения и избирательность приемной антенны. Она рассчитывается следующим образом:

$$E_n = E + PR + C + A,$$

где:

- $E$ : напряженность поля мешающего сигнала. Подходящий процент времени выбирается в соответствии с полезным сигналом (см. примечание 1)
- $PR$ : соответствующее защитное отношение (см. примечание 1)
- $C$ : поправочный коэффициент распространения (см. примечание 2)
- $A$ : избирательность приемной антенны (учитывающая избирательность по поляризации), ( $A \leq 0$ );

и все величины выражаются в дБ или дБ(мкВ/м).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В случае полезной цифровой службы выбирается напряженность поля мешающей службы для 1% времени и 50% мест. В случае полезной аналоговой службы выбирается напряженность поля мешающего сигнала для более 1% времени и 50% мест вместе с защитным отношением для тропосферной помехи и напряженность поля мешающего сигнала для 50% времени и 50% мест вместе с защитным отношением для непрерывной помехи.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Поправочный коэффициент распространения  $C$  (поправочный коэффициент местоположения в случае полезного и мешающего сигнала) равен 0 дБ в случае полезной службы аналогового телевидения. В случае полезной службы цифрового телевидения он равен  $\sqrt{2} \mu\sigma$ , где коэффициент распределения  $\mu$  и стандартное отклонение  $\sigma$  (дБ) даны в § 5.1.1.

Используемая напряженность поля представляет собой минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения желаемого качества приема при заданных условиях приема в присутствии естественных и промышленных шумов и помех. Полезная напряженность поля вычисляется путем объединения отдельных мешающих полей и минимальной медианной напряженности поля. Данное объединение может быть выполнено посредством метода суммирования мощностей или одним из статистических методов, подробно описанных в Главе 3.

Таким образом, контрольные точки, представляющие зону покрытия, могут быть определены в три этапа:

### **Этап 1 Вычисление зоны покрытия, ограниченной шумами**

Используя Рекомендацию МСЭ-R P.370, находят местоположения контрольных точек, ограниченных шумом, представляющих зону, которая могла бы обслуживаться, если бы не было помех. Эта зона может быть приблизительно оценена на основе не более чем 36 радиальных лучей, используя э.и.м. и эффективную высоту антенны. На каждом радиальном луче определяется место, где напряженность поля полезного передатчика равна минимальной медианной напряженности поля.

### **Этап 2 Идентификация источников помех**

Для каждой полезной станции и каждой ограниченной шумом контрольной точки из этапа 1 рассчитывается воздействие помех в совмещенном канале, помех по соседним каналам и помех в зеркальном канале от других передатчиков. Сначала составляется подмножество вероятных источников помех. Оно состоит из тех станций, которые могут создавать мешающее поле с уровнем не более чем на 15 дБ ниже минимальной медианной напряженности поля в любой ограниченной шумом контрольной точке из этапа 1. (Значение 15 дБ используется для обеспечения того, чтобы были включены все сигналы, которые могли бы вызвать увеличение используемой напряженности поля более чем на 0,3 дБ. Могут использоваться также любые другие значения, согласованные между соответствующими администрациями.)

### **Этап 3 Вычисление контрольных точек для зоны покрытия, ограниченной помехами**

В каждой ограниченной шумом контрольной точке из этапа 1 вычисляется напряженность отдельного мешающего поля  $E_n$ , вызываемого каждой мешающей станцией из этого подмножества источников помех (см. рис. 7.1). Для каждой из этих контрольных точек вычисляется используемая напряженность поля.

В случае, если не найдется ни одного источника помех, чья используемая напряженность поля в контрольной точке будет равна минимальной медианной напряженности поля, то дальнейшие вычисления не требуются, и радиус охвата равен тому, что был определен на этапе 1 (также см. рис. 7.1).

Если в контрольной точке используемая напряженность поля больше минимальной медианной напряженности поля, то далее необходимо найти новый радиус покрытия в этом направлении, на котором напряженность поля полезной станции равна используемой напряженности поля.

Так как в общем случае вычисленный таким образом радиус покрытия не будет равен радиусу, первоначально вычисленному для того же направления, и таким образом напряженность мешающего поля будет меняться, то описанный в предыдущем параграфе процесс будет повторяться до тех пор, пока не будет получено в каждом направлении лучшее приближение к искомому радиусу покрытия.

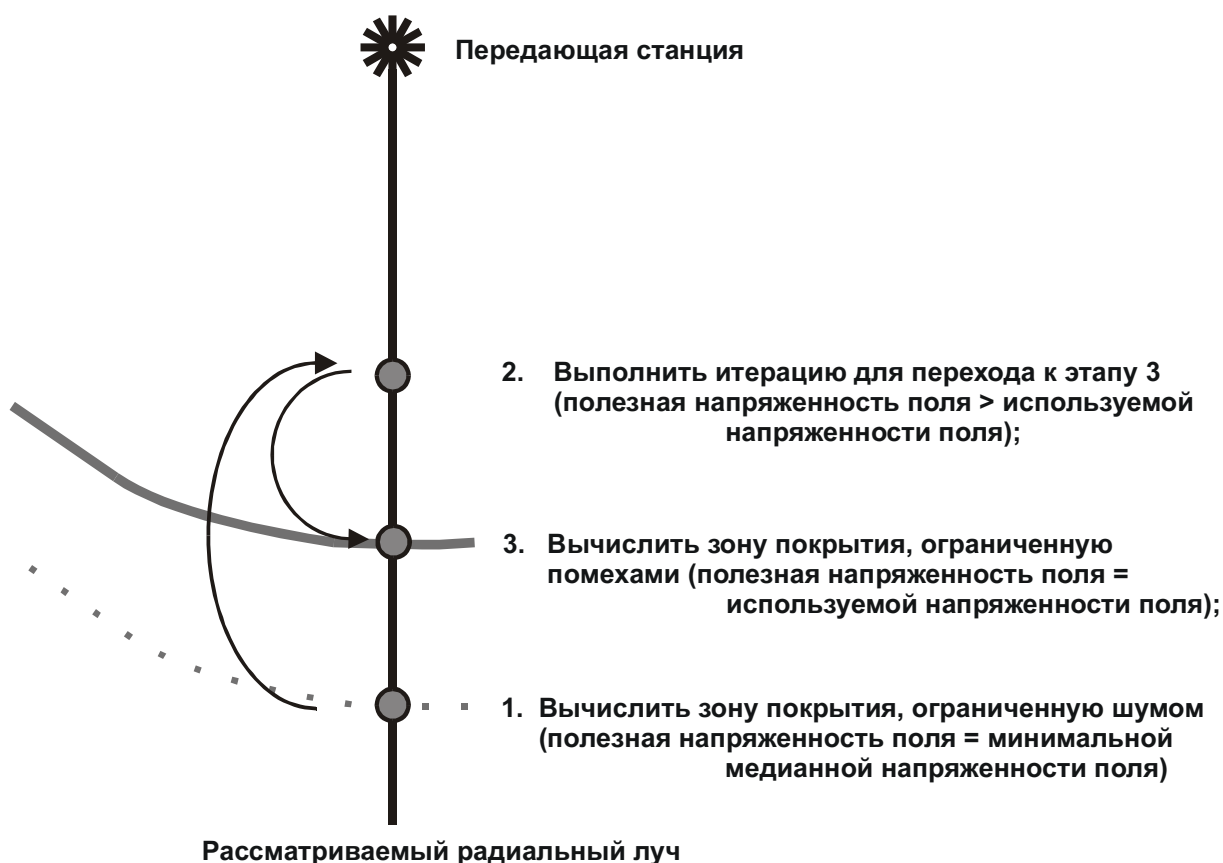


РИСУНОК 7.1

**Иллюстрация вычисления местоположений контрольных точек для зоны покрытия, ограниченной помехами**

Необходимо отметить, что обычно данная станция будет иметь разные зоны покрытия на разных каналах и что это может быть важно при рассмотрении относительного охвата цифровой и аналоговой службами.

**7.8 Метод объединения сигналов (метод сложения мощностей)**

Метод сложения мощностей представляет собой процедуру, которая объединяет уровни напряженности отдельных полей таким образом, что мощность результирующей напряженности поля равна сумме мощностей отдельных напряженностей полей. Если (логарифмическая) напряженность поля отдельного сигнала обозначена через  $E_i$  и выражается в дБ(мкВ/м), то объединенная напряженность поля  $E_{\Sigma}$  выражается как:

$$E_{\Sigma} = 10 \times \log_{10} \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{E_i}{10}} \right),$$

где  $n$  – количество отдельных напряженностей полей.

## **7.9 Методы планирования присвоений для цифрового телевидения**

В этом разделе описывается метод нахождения **потенциально** доступных каналов для отдельных новых цифровых телевизионных передатчиков в случае планирования многочастотных сетей. Основная идея состоит в определении суммарной мощности, которая может излучаться в каждом канале, не вызывая чрезмерной помехи (т. е. находится ниже предварительно определенного увеличения, например, 0,3 дБ) существующим аналоговым службам или эквивалентного увеличения для цифровых служб. Результаты, полученные путем использования процесса, описанного в § 7.9.1 и § 7.9.2, могут быть использованы для выявления каналов, которые могли бы обеспечить покрытие полезной цифровой службой из любой данной передающей станции.

Фактически канал или каналы, который должен использоваться на данной станции, а не на какой-либо другой, ближайшей, должен быть выбран во время процесса координации, в котором также надо было бы принять во внимание потенциальную взаимную помеху между цифровыми телевизионными передатчиками с возможным использованием того же канала.

Альтернативный, но связанный с этим подход определил бы каналы и характеристики станций для группы цифровых присвоений, размещенных в мини-ОЧС. При этом основная концепция остается той же самой, что и описанная выше, но фактическая обработка становится значительно более сложной.

Конечно, станционные характеристики, определенные в § 7.9.1 и согласованные в процессе координации, могли бы использоваться в качестве основы при реализации мини-ОЧС, при условии, чтобы последняя не имела большого мешающего потенциала (в любой из контрольных точек для других станций, согласованных в процессе координации).

### **7.9.1 Установление характеристик цифровой телевизионной станции**

Для данной передающей станции должны устанавливаться следующие характеристики цифровой телевизионной станции:

- канал(ы);
- поляризация;
- эффективная высота передающей антенны над средним уровнем местности;
- максимальная э.и.м.;
- диаграмма направленности в горизонтальной плоскости.

Информацию об эффективной высоте антенны и диаграмме направленности требуется задавать с интервалом в  $10^\circ$ , начиная с истинного севера.

При выборе характеристик может потребоваться много итераций, которые дадут максимальный охват цифровой службы и в то же самое время не вызовут неприемлемых уровней помех существующим аналоговым телевизионным станциям и другим службам.

Для конкретного выбора (или пробного выбора) канала и поляризации должна быть определена максимальная разрешенная излучаемая мощность цифровой службы.

Для каждой аналоговой телевизионной станции, которая может испытывать помехи от станции DVB-T с предложенными характеристиками, необходимо выполнить следующие шаги:

*Шаг 1:* в каждой точке, представляющей зону покрытия аналоговой станции, вычислить сумму мощностей напряженностей мешающих полей других существующих аналоговых станций. Эти значения уже были установлены при выполнении процедур, описанных в § 7.7;

*Шаг 2:* в тех же точках вычислить объединенное мешающее поле предложенной станции DVB-T совместно с существующими аналоговыми телевизионными станциями;

*Шаг 3:* сравнить вычисленную выше объединенную напряженность мешающего поля. Если превышение оказывается не больше согласованной величины, например, 0,3 дБ, то э.и.м. цифровой станции считается приемлемой (для цели установления перечня потенциально доступных каналов). В противном случае э.и.м. регулируется так, чтобы было достигнуто приемлемое значение помехи.

Таким путем может быть определена максимальная разрешенная излучаемая мощность цифровой телевизионной станции во всех направлениях.

### **7.9.2 Установление размеров зон покрытия цифровым телевидением**

После установления характеристик цифровой станции может быть вычислена ее зона покрытия для оговоренного варианта цифровой телевизионной системы, требующего определенного отношения  $C/N$ . При этом расчете следует принимать во внимание:

- помеху потенциальной зоне покрытия цифровой станции от аналоговых телевизионных станций;
- помеху от других цифровых телевизионных служб;
- помеху от других служб.

Для того чтобы это сделать, следует воспользоваться методом сложения сигналов, описанным в Главе 3. В результате этого процесса получается процент местоположений, обслуживаемых в каждой малой зоне. Прогнозируемая зона цифрового обслуживания может быть также вычислена с использованием метода, данного в § 7.7.

### **7.9.3 Установление характеристик группы цифровых телевизионных станций в мини-ОЧС**

Основная используемая концепция похожа на ту, что рассмотрена в § 7.9.1, но приведенные в нем детали не повторяются. Необходимо, чтобы совокупность передающих станций, рассматриваемых как мини-ОЧС, определялась бы автоматизированным путем. По сравнению с процессом, приведенном в § 7.9.1, дополнительная сложность состоит в том, что необходимо рассматривать многочисленные комбинации уровней мощности, излучаемых каждым передатчиком мини-ОЧС. Это необходимо для выбора, осуществляемого из многих возможностей для каждого возможного канала, путем рассмотрения охвата, который мог бы быть достигнут с использованием данной исследуемой комбинации. Это привело бы к интерактивному процессу, в котором промежуточные результаты, полученные с помощью компьютера, изучались бы, чтобы определить, какая комбинация цифровых уровней мощности считается оптимальной для каждого канала.

### **7.10 Защита служб цифрового телевидения**

Из-за внезапного прекращения цифрового приема, когда уровень полезного сигнала уменьшается ниже его "минимального" значения, задаваемый процент местоположений, номинально охваченных на каком-нибудь краю – где под краем понимается любой переход между зоной покрытия и зоной, в которой покрытие отсутствует, – зоны покрытия, должен быть для цифровых систем значительно выше, чем для аналоговых телевизионных систем. Для координации было бы необходимо согласовывать между соответствующими администрациями эталонные условия, включая процент местоположений.

Поскольку условия приема при **реальном** внедрении цифровой телевизионной службы могут отличаться от согласованных **эталонных** условий приема, контрольные точки, представляющие цифровое присвоение, необязательно лежат на границе реальной зоны покрытия этого цифрового присвоения. Контрольные точки могут лежать внутри или вне реальной зоны покрытия этого цифрового присвоения.





## ГЛАВА 8

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ СЛУЖБАМИ

#### 8.1 Общие вопросы

Вещание не имеет исключительного доступа к частотным диапазонам, выделенным для вещательной службы. Существует целый ряд ситуаций совместного использования, и они изменяются от одной страны к другой, будучи включенными как в термин "другая служба", так и его статус в Регламенте радиосвязи. Действительно, в некоторых случаях статус может находиться в процессе изменений, например от "разрешенного" к "первичному". Здесь не затрагиваются непосредственно ни статус, ни право на защиту. Однако очевидно, что требуются методы вычисления любой потенциальной помехи как радиовещательной службе, так и от нее. Процесс вычисления усложняется тем фактом, что может появиться необходимость рассмотрения либо присвоения, либо выделения в качестве основы для цифрового телевизионного планирования. Это является также проблемой, которая должна решаться при планировании телевизионных служб (иными словами, взаимодействие между телевизионными службами) без учета помех другим службам или от них.

#### 8.2 Станции других служб

Независимо от того, осуществлялось ли планирование на основе присвоений или выделений для цифрового телевидения, важно иметь ясное определение требований других служб с точки зрения их чувствительности к помехам, их потребности в защите и с точки зрения их потенциала для создания помех. В случае только приемной службы, такой как радиоастрономия, ее потенциал для создания помех телевидению может считаться равным нулю.

##### 8.2.1 Потребности других служб в защите

В дополнение к очевидным элементам:

- центральной частоте;
- уровню защищаемого сигнала;
- защитному отношению как функции разноса частот между другой службой и центральными частотами цифрового телевидения;
- проценту времени, в течение которого требуется защита;
- ориентации приемной антенны другой службы и ее избирательности (если это нужно),

необходимо также определить зоны или местоположения, в которых требуется защита. Последнее может быть удобнее сделать путем указания набора параметров местоположений для контрольных точек (таких как долгота, широта и высота над уровнем земли), которые представляют либо:

- границу зоны, внутри которой требуется защита, или
- действительные местоположения, в которых находится или может быть установлено приемное оборудование.

Для того чтобы избежать некоторых неопределенностей, вызывавших затруднения в прошлом, необходимо принять специальные меры при получении информации о характеристиках приемных антенн других служб:

- в случае приема на подвижное оборудование предполагается, что и направленность и развязка по поляризации отсутствуют, и,
- в случае фиксированного приема необходимо указать ориентацию приемной антенны так же, как и ее развязку по основной и поперечной поляризации в качестве функции ее относительного азимута.

### 8.3 Технические элементы других служб, необходимые для вычислений совместимости

Параметры, которые необходимы для вычислений совместимости передающих и/или приемных терминалов:

- модуляция;
- частота;
- ширина полосы;
- максимальная излучаемая мощность;
- азимутальная диаграмма направленности;
- поляризация;
- развязка по поляризации;
- информация о координатах места и высоте (долгота, широта и высота над уровнем земли или уровнем моря, в зависимости от ситуации);
- защитное отношение как функция разнеса частот;
- минимальный уровень сигнала, защищаемый для данного оборудования;
- процент времени, когда есть защита;
- зона покрытия, определенная путем вычисления контрольных точек (до 36).

### 8.4 Расчет уровня защиты других служб

Расчет должен выполняться для каждой контрольной точки, используемой при определении другой службы. При этом расчете следует принимать во внимание:

- защитное отношение при данной разности частот между другой службой и цифровой телевизионной службой;
- уровень сигнала от мешающего присвоения;
- избирательность приемной антенны другой службы (за счет поляризации и направленности), где это необходимо.

Исходя из приведенной выше информации можно вычислить напряженность мешающего поля (в каждой контрольной точке) для другой службы.

Напряженность мешающего поля,  $E_n$ , определяется как:

$$E_n = E_i + PR + A,$$

где выраженные в дБ:

$E_i$ : значение напряженности поля присвоения DVB-T

$PR$ : соответствующее защитное отношение

$A$ : избирательность соответствующей приемной антенны ( $A \leq 0$ ).

Во время любого необходимого обсуждения с целью координации напряженность мешающего поля (в каждой контрольной точке) можно сравнить с минимальным уровнем сигнала, защищаемого для другой службы.

Результат вычисления уровня мешающего сигнала зависит от другой рассматриваемой службы. Для других наземных служб могут использоваться Рекомендация МСЭ-R P.370 (или Рекомендация МСЭ-R P.1546) в случае отдельных передатчиков или статистический метод в случае ОЧС, с учетом соответствующего процента времени. Однако для воздушных (или спутниковых) служб, если между приемником другой службы и мешающим передатчиком выполняется условие прямой видимости, будут необходимы вычисления для свободного пространства.

## 8.5 Расчет уровня защиты цифрового телевидения

Расчет должен выполняться для каждой контрольной точки, используемой при определении зоны покрытия цифрового телевидения. При этом расчете следует принимать во внимание:

- защитное отношение для разности частот между другой службой и цифровой телевизионной службой;
- уровень сигнала от передатчика другой службы;
- избирательность приемной антенны цифровой телевизионной службы (в случае приема на фиксированную антенну).

Исходя из приведенной выше информации можно вычислить напряженность мешающего поля (в каждой контрольной точке) для цифровой телевизионной службы.

Напряженность мешающего поля,  $E_n$ , можно вычислить как:

$$E_n = E_i + PR + C + A,$$

где выраженные в дБ:

$E_i$ : значение напряженности поля присвоения другой службы

$PR$ : соответствующее защитное отношение

$C$ : местный корректирующий коэффициент (для достижения вероятности охвата мест, например, 95% вместо 50%). См. также Главу 4

$A$ : избирательность приемной антенны ( $A \leq 0$ ).

Во время любого необходимого обсуждения с целью координации напряженность мешающего поля (в каждой контрольной точке) можно сравнить с минимальным уровнем сигнала, защищающего для другой службы.



## ГЛАВА 9

### АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ

#### 9.1 Передающие антенны

##### 9.1.1 Введение

Реализация сети наземного телевидения, конечно, зависит от наличия подходящих передающих антенн, излучающих из подходящих мест. Вообще, наиболее пригодные апертуры уже используются на существующих сооружениях той службой, для которой были построены мачты. Предполагая, что новые сооружения для большинства станций будут чрезвычайно дороги, первостепенный интерес вызывает использование существующих антенн. Если это невозможно, то необходимо будет рассмотреть другие альтернативы.

Целью этого раздела является рассмотрение вопросов о повторном использовании существующих антенн и вариантов установки антенн цифрового телевидения на сооружениях, уже используемых для аналогового телевидения.

##### 9.1.2 Описание существующих передающих телевизионных антенн

Типовая телевизионная сеть в Европе состоит из главных станций большой мощности, использующих горизонтальную поляризацию, и ретрансляционных станций малой и средней мощности, использующих горизонтальную или, возможно, вертикальную поляризацию.

Передающие антенны зачастую монтируются на консольных стержнях на верхушке мачты или башни. Монтаж на стержне, а не непосредственно на сооружении обеспечивает, что решетки излучающих элементов располагаются как можно ближе друг к другу в горизонтальной плоскости. Чем ближе друг к другу находятся излучающие фазовые центры, тем более равномерной (и управляемой) является диаграмма направленности в горизонтальной плоскости.

На большинстве главных станций и в некоторых странах также на многих ретрансляционных станциях антенная система полностью заключена в цилиндр из стекловолокна. Этот цилиндр обеспечивает защиту антенны от непогоды и во многих случаях также формирует для антенны часть структуры механической поддержки.

Антенны УВЧ обычно предназначаются для конкретных наборов каналов, распределенных по всему диапазону УВЧ, или сгруппированных в поддиапазоны, например, диапазон IV, нижняя часть диапазона V или верхняя часть диапазона V. Обычно удовлетворительное согласование полного сопротивления показывают только те антенны аналогового телевидения, которые предназначены для этих каналов или каналов, расположенных вблизи них. Это типично также для случая, когда антенные системы оборудованы широкополосными панелями.

##### 9.1.3 Варианты выполнения антенн для цифрового телевидения

###### 9.1.3.1 Совместное использование антенны, применяемой в аналоговом телевидении

Это возможно, если:

- передачи аналогового и цифрового телевидения имеют совпадающие поляризации;
- существующая антенна будет удовлетворительно работать на частотах, предложенных для цифрового телевидения;

- диаграмма направленности существующей антенны удовлетворяет любым ограничениям на мощность, излучаемую цифровым телевидением, которые необходимы для того, чтобы избежать помех другим службам;
- данная антенная система способна пропустить полную мощность, передаваемую всеми службами.

Если эти условия удовлетворяются, то тогда требуется только дополнительное объединяющее оборудование.

Эксплуатационные качества существующей антенны являются предметом другого рассмотрения. Если канал цифрового телевидения близок к одному из аналоговых каналов, то диаграмма направленности будет почти такой же, как и при аналоговом телевидении. Согласование полных сопротивлений также должно быть аналогичным. Для других каналов диаграмма направленности может отличаться не очень сильно, но согласование полного сопротивления во многих случаях будет неприемлемым для аналогового телевидения. Однако цифровое телевидение в этом отношении может и не быть столь чувствительным. Даже если проблематичной является отраженная мощность, возможен случай, когда она может быть направлена в нагрузку. В качестве альтернативы внутренняя система питания антенны может быть перестроена.

Если цифровое и аналоговое телевидение имеют кросс-поляризацию, то может быть возможно соорудить новые антенны, совместно используемые аналоговым и цифровым телевидением, которые имели бы отдельные входные порты для излучения либо с вертикальной или горизонтальной поляризацией для любой из служб. Между портами может быть такая развязка, что не появится необходимости в специальных мерах по улучшению развязки. Конечно, разделение главных фидеров потребует каждой службе.

#### **9.1.3.2 Совместное использование апертуры, применяемой в аналоговом телевидении**

Этот вариант относится к случаю, когда должна быть построена отдельная антенна для цифрового телевидения с использованием той же апертуры, которая применяется для аналогового телевидения, и он будет интересен, главным образом, когда цифровое телевидение будет излучать с линейной поляризацией, отличной от поляризации аналоговой телевизионной службы. Является ли этот вариант выполнимым, будет зависеть от конструкции существующей антенны. Для определенных типов антенн (таких как Ж-образные антенны) это, вероятно, будет невыполнимо. Если же данный вариант возможен, то связь между антеннами (и поддерживающими металлическими конструкциями) должна быть достаточно слабой, чтобы избежать взаимных помех для диаграмм направленности каждой службы.

Важным фактором, касающимся этого варианта, является наличие пространства, достаточного для построения любой новой антенны. Как уже говорилось, многие главные и ретрансляционные станции используют для защиты от непогоды цилиндры из стекловолокна. Сомнительно, что ретрансляционные станции такой категории будут иметь достаточно места для каких-либо новых металлоконструкций внутри такого цилиндра. На главных станциях может быть меньше трудностей, но и там некоторые жесткие ограничения в части логистики могут все же накладываться на уже существующие сложные конструкции.

Другим выходом в некоторых случаях могло бы быть удаление половины существующей антенны, используемой для аналогового телевидения, и замена ее новой антенной для цифрового телевидения. Это вызовет потери усиления антенны для аналоговой телевизионной службы примерно на 3 дБ.

Сооружение для цифрового телевидения новой антенны вне стекловолоконного цилиндра считается нереальным по конструктивным соображениям. Кроме того, такой разнос между излучающими элементами и конструктивными осями не способствует обеспечению удовлетворительных диаграмм направленности.

#### **9.1.3.3 Полностью отдельная антенна цифрового телевидения, имеющая собственную апертуру**

Для станций, в которых на существующей антенне доступно размещение приемлемой апертуры, это может стать предпочтительным вариантом. В многочастотных сетях диаграмма направленности новой антенны (антенн) может быть сконструирована в соответствии с любыми ограничениями в части излучаемой мощности, которые необходимы для предотвращения помех существующим аналоговым телевизионным службам. Если доступная апертура расположена относительно низко на сооружении, то требуемая зона покрытия не может быть реализована. Если сооружение сужается, то чем ниже апертура, тем больше ширина поверхности. Фазовые центры излучающих элементов становятся дальше друг от друга и

вследствие этого провалы в диаграмме направленности в горизонтальной плоскости становятся глубже, или же антенна сильно усложняется и потому становится очень дорогой. Тем не менее неидеальный охват должен быть противопоставлен сложным и дорогостоящим инженерным решениям.

Необходимо учитывать и другие практические соображения. Должно иметься помещение для новых фидеров, подключаемых к антеннам, а сооружение должно быть достаточно прочным, чтобы выдерживать как ветровую нагрузку новой антенны, так и новые фидерные кабели.

#### **9.1.3.4 Дополнительные соображения**

Если зоны покрытия цифрового и аналогового телевидения должны соответствовать друг другу, то необходимо, чтобы антенны имели одинаковые высоты. В этом случае разумно предположить, что на большинстве передающих станций не удастся легко найти достаточно свободного места. Возможно, что требуемую апертуру обеспечит некоторая переконфигурация существующих антенн, хотя и не похоже, что такая ситуация будет обычной.

Если излучения цифрового телевидения и аналогового телевидения имеют совпадающую поляризацию, то наиболее эффективным может быть рассмотрение возможности совместного использования существующих антенн. В некоторых случаях существующие антенны могут нуждаться в перестройке для размещения новых каналов. Этот вариант необязательно будет слишком дорогостоящим.

Если поляризации цифрового телевидения и аналогового телевидения не совпадают, то следует тщательно рассмотреть следующие варианты:

##### **– Совместно используемая апертура**

Компьютерное моделирование может предложить некоторые возможные конфигурации и взаимодействия, но когда ситуация становится сложной, возникает также необходимость в реальных моделях и измерениях. Такие разработки дороги, требуют много времени и широкого диапазона специальных заданий. Принимая во внимание ранее сделанные замечания относительно достаточно свободного места внутри стекловолоконных цилиндров, нужно признать, что такие исследования могут и не дать желаемых результатов;

##### **– Антенна с двойной поляризацией**

На рынке имеются антенные панели, пригодные для двойной поляризации (с отдельными входными соединителями), которые обычно используются для эллиптической (круговой) поляризации. Использование антенны с двойной поляризацией для излучений как аналогового, так и цифрового телевидения, в действительности будет означать полное обновление всех частей существующей антенны. Коэффициент усиления в каждой плоскости антенны с двойной поляризацией, как правило, не отличается от коэффициента усиления антенны с одной поляризацией более чем на 1 дБ. Диаграмма направленности для аналогового телевидения может быть сохранена, тогда как диаграмма направленности для цифрового телевидения может быть спроектирована так, что будет иметь ту же самую или другую форму;

##### **– Уменьшение существующей апертуры**

Если уменьшение существующей антенны до половины ее исходного размера, вызывающее уменьшение коэффициента усиления антенны на 3 дБ, является приемлемым, то новая антенна для цифрового телевидения примерно с тем же коэффициентом усиления, что и оставшаяся часть существующей антенны, может быть приспособлена к имеющейся апертуре. Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости может быть той же, что и у аналоговой службы, или может быть другой, чтобы учесть любые требуемые ограничения.

Необходимо отметить, что все три варианта предполагают также монтаж дополнительного комплекта фидеров.

### 9.1.3.5 Выводы

Если службы цифрового телевидения и аналогового телевидения имеют совпадающую поляризацию, то возможно, что они смогут совместно использовать передающие антенны. С точки зрения стоимости и сложности этот вариант является предпочтительным.

Если поляризации служб цифрового телевидения и аналогового телевидения не совпадают и нет свободного места для размещения новой отдельной антенны цифрового телевидения, то будет необходима значительная перестройка существующей антенны.

Для станций с подходящей свободной апертурой предпочтительным вариантом может быть построение антенны исключительно для цифрового телевидения.

## 9.2 Подавление мешающих излучений

В этом разделе дается большая подробная информация об используемых в Европе спектральных масках и о том, каким способом они получают. Такие маски характерны для заданной среды планирования и должны быть получены в соответствии с требованиями этой среды. Однако, похоже, что такой же подход, какой описан здесь, имеет смысл в любой среде, кроме той, в которой действуют специальные ограничения.

На начальной фазе наземного цифрового телевидения каналы будут главным образом находиться между теми каналами, которые уже используются для аналогового телевидения. В некоторых случаях будет необходимо использовать каналы, соседние с существующими каналами аналогового телевидения. Для избежания помех аналоговым телевизионным службам очень важно по возможности ограничить внеполосные излучения цифровых телевизионных передатчиков. Это приводит к необходимости использования определенных спектральных масок для цифровых телевизионных передатчиков.

Используемые в цифровом телевидении системы модуляции будут достаточно сложными, например, 64-QAM с OFDM. Такие системы модуляции будут требовать очень высокой степени линейности усилителя мощности передатчика, чтобы избежать интермодуляционных составляющих.

"Естественные" боковые полосы спектра OFDM могут (и должны) быть вырезаны на ПЧ в соответствующем фильтре модулятора. Однако боковые полосы вновь появятся на РЧ из-за интермодуляционных составляющих, возникающих между отдельными несущими, в цепочке усилителей передатчика. Для достижения разумной (хотя и довольно низкой) эффективности передатчика должна быть проведена экстенсивная предварительная коррекция линейности. Не ожидается, что усилительные компоненты со значительной нелинейностью, типа клистронов, были бы легко применимы в цифровом телевидении.

Преобладающими типами интермодуляционных составляющих, попадающих в цифровой телевизионный канал или близко от него, являются составляющие третьего и пятого порядков. Составляющие третьего порядка попадут в диапазон:

Центральная частота канала  $\pm 1,5$  (ширина полосы сигнала OFDM),

а составляющие пятого порядка попадут в диапазон:

Центральная частота канала  $\pm 2,5$  (ширина полосы сигнала OFDM)



Интермодуляционные составляющие, попадающие в канал, будут воздействовать как помеха в совмещенном канале (не ОЧС) от цифрового телевизионного передатчика и вызывать увеличение коэффициента ошибок в битах. Таким образом, максимально допустимый уровень интермодуляции внутри канала может быть оценен приблизительно равным минимальному требуемому отношению  $C/N$  для рассматриваемой цифровой системы.

Интермодуляционные составляющие, оказывающиеся вне данного канала, могут вызывать в существующих аналоговых телевизионных службах, работающих на одном или более каналах, соседних или близких к данному телевизионному каналу, шумоподобную помеху в совмещенном канале. В зависимости от используемой аналоговой системы необходимое для аналоговой цифровой службы защитное отношение будет равно примерно 40 дБ. Если аналоговый телевизионный сигнал излучается с той же станции (или антенны), то достаточное затухание интермодуляционных составляющих от цифрового телевизионного передатчика определяется очень просто. Если аналоговый телевизионный сигнал излучается не из того же места, что и цифровой телевизионный сигнал, но все же охватывает ту же самую зону или часть ее, то достичь необходимого затухания интермодуляционных составляющих цифрового телевидения будет крайне трудно. В обоих случаях необходим фильтр с подходящей спектральной маской.

Если аналоговый и цифровой телевизионный передатчики, использующие соседние каналы, расположены в одном месте и обслуживают общую зону, то должны быть также рассмотрены внеполосные излучения от аналогового передатчика.

Из-за нелинейности, главным образом, усилителя(ей) мощности подавленная часть нижней (остаточной) боковой полосы имеет тенденцию к повторному возникновению. Это может повлиять на сигнал DVB-T, передаваемый по нижнему соседнему каналу. В аналоговых телевизионных передатчиках, использующих для звука и изображения общий усилитель мощности, зеркальный канал несущей(их) звука находится ниже несущей изображения.

В аналоговом канале выше несущей(их) звука появляются составляющие гармонических искажений от элементов видеосигнала, вызывающие расширение спектра в верхнем соседнем канале.

Для обеспечения совместимости с соседним каналом необходимо иметь определенные спектральные маски для аналогового телевидения.

### **9.2.1 Асимметричные спектральные маски для DVB-T**

Обычно предполагается, что цифровые телевизионные передатчики долгое время будут располагаться в одном месте с существующими аналоговыми телевизионными передатчиками и как можно долго будут использовать одну и ту же поляризацию. На основе этого спектральные маски для цифровых телевизионных передатчиков, закрывающие от помех в различных аналоговых телевизионных системах, могут быть определены с использованием известных защитных отношений для отдельных частей аналогового сигнала.

Предполагается, что цифровые телевизионные передатчики работают только в тех частотных диапазонах, которые предусмотрены для телевидения. В большинстве случаев нужно рассматривать только защиту аналогового телевидения в соседних каналах, за исключением таких каналов, как 5, 21, 60 или 69, где другие службы, требующие высоких уровней защиты, работают на частотах, находящихся почти рядом с данными телевизионными каналами. Однако даже в таких ситуациях, чтобы показать форму маски для критических случаев, необходима только одна сторона спектральной маски, хотя другая сторона может обеспечивать удовлетворительное затухание внеполосных излучений для аналогового телевидения.

Используемые в соседних каналах защитные отношения берутся из публикации ECP BPN 003 "Technical Bases for T-DAB Services Network Planning and Compatibility with existing Broadcasting Services" ("Технические основы сетевого планирования служб T-DAB и их совместимость с существующими радиовещательными службами") в предположении, что на значение защитного отношения не влияет, является ли цифровой сигнал (OFDM) сигналом T-DAB или DVB-T.

Все представленные примеры основаны на следующих допущениях:

- цифровые и аналоговые передатчики расположены в одном месте;
- развязка по поляризации отсутствует;
- ни в одном из передатчиков не используется смещение частоты, за исключением передатчика звука системы L, в котором учитывается положительное смещение на 50 кГц;
- э.и.м. аналогового передатчика (максимум синхросигнала) и цифрового передатчика (полная мощность) одинаковы.

Должны быть сделаны пропорциональные поправки, если:

- излучаемые мощности аналогового и цифрового телевизионных передатчиков не равны;
- аналоговые и цифровые телевизионные сигналы не излучаются с одной и той же поляризацией, и если может предполагаться поляризация.

Используемые в аналоговом телевидении защитные отношения основаны на защитных отношениях, взятых из Рекомендации МСЭ-R BT.655 и пересчитанных на шкалу ухудшения качества 4,5. Из этих защитных отношений вычисляется максимальная допустимая относительная мощность в полосе шириной 4 кГц для совокупности представительных частот в аналоговом канале.

Информация об используемых звуковых системах дана в Рекомендации МСЭ-R BS.707. Описанная там двухканальная система ЧМ дана в оставшейся части этого раздела под обозначением "A2".

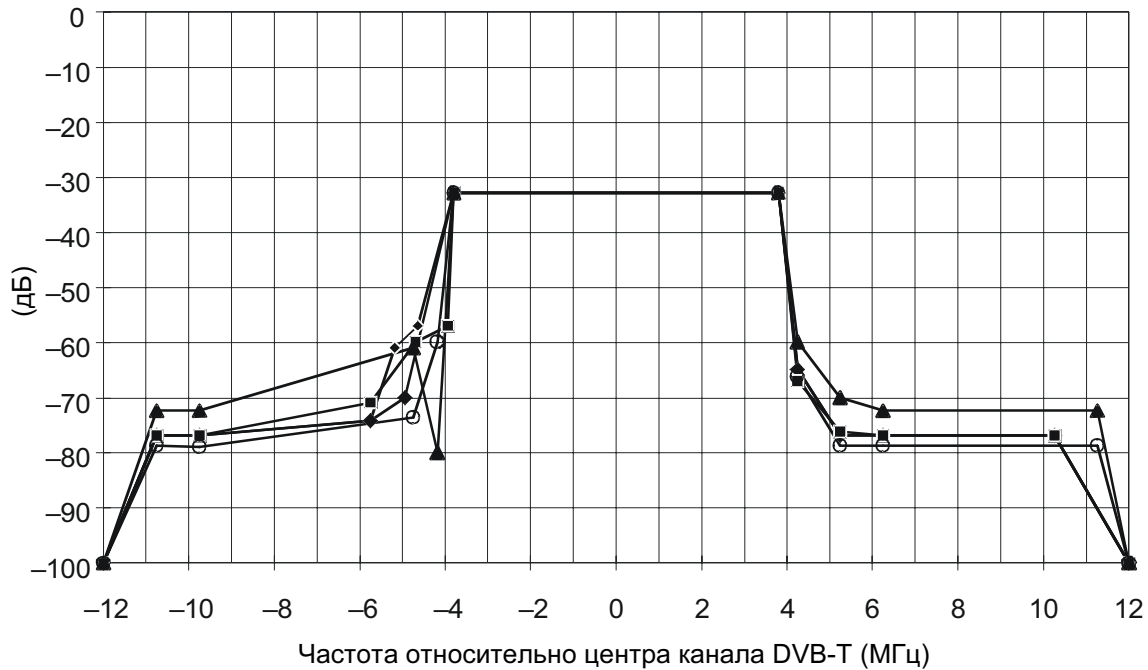
Относительный уровень в полосе шириной 4 кГц на нижнем крае нижнего соседнего канала и на верхнем крае верхнего соседнего канала выбирается равным  $-100$  дБ.

Подробности получения этих значений см. в Приложении 1 к Главе 9.

Две совокупности спектральных масок для каналов шириной 8 МГц даны на рис. 9.1 и 9.2 соответственно и для каналов шириной 7 МГц на рис. 9.3 и 9.4. Совокупности, показанные на рис. 9.1 и рис. 9.3, основаны непосредственно на защитных отношениях, полученных в Приложении 1 к Главе 9 для нижнего соседнего канала. В верхнем соседнем канале несущая звукового сопровождения требует меньше защиты, чем несущие изображения. Это приводит к спектральным маскам, имеющим меньшее затухание вдали от канала DVB-T, чем почти рядом с ним. По этой причине защитные отношения для несущих изображения повторяются на частотах, соответствующих верхнему краю боковой полосы сигнала изображения в верхнем соседнем канале. Однако это приведет к избыточной защите на этих частотах примерно на 5 дБ.

Эти маски предусмотрены для обеспечения минимальной защиты, необходимой для расположенных вместе аналоговых и цифровых телевизионных передатчиков, имеющих равные излучаемые мощности.

Уровень мощности, измеренный в полосе частот шириной 4 кГц,  
где 0 дБ соответствует полной выходной мощности



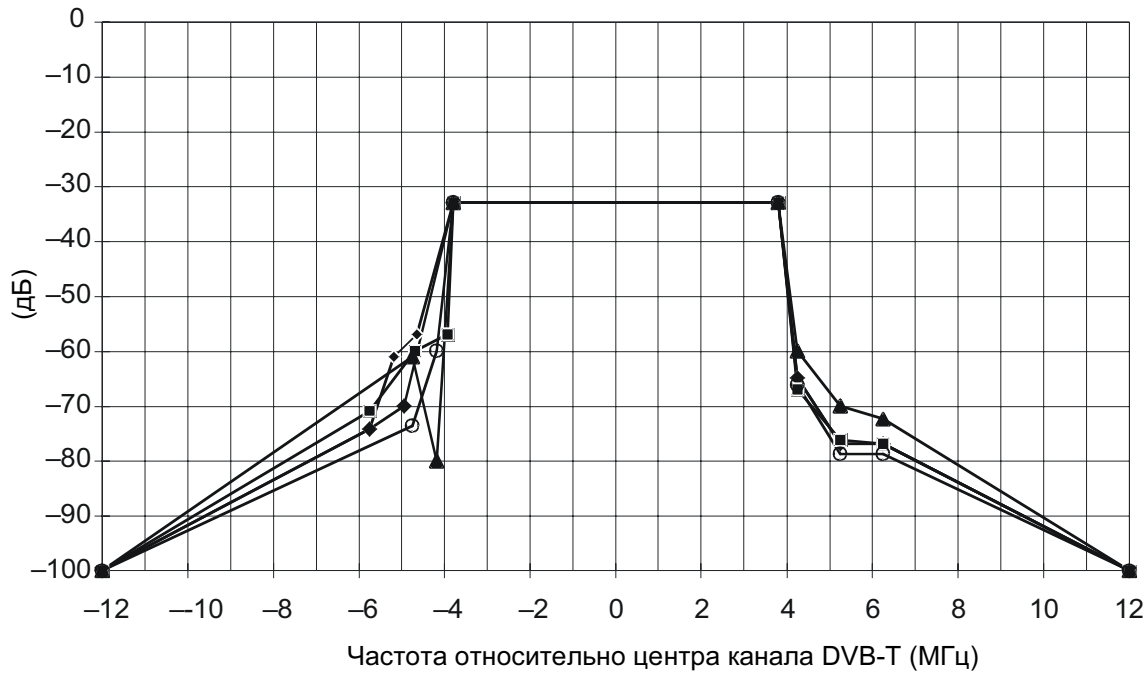
- ◆— Система G/PAL/NICAM
- Система I/PAL/NICAM
- ▲— Система L/SECAM/NICAM
- ◆— Система G/PAL/A2
- Система K/SECAM и K/PAL

Контрольные точки										
См. примечания к рис. 9.4	G/PAL/NICAM		G/PAL/A2		I/PAL/NICAM		K/SECAM K/PAL		L/SECAM/NICAM	
	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)
1	-12	-100	-12	-100	-12	-100	-12	-100	-12	-100
2	-10,75	-76,9	-10,75	-76,9	-10,75	-76,9	-10,75	-78,7	-10,75	-72,4
3	-9,75	-76,9	-9,75	-76,9	-9,75	-76,9	-9,75	-78,7	-9,75	-72,9
4	-5,75	-74,2	-5,75	-74,2	-5,75	-70,9	-4,75	-73,6	-4,75	-60,9
5	-5,185	-60,9	-5,185	N/A	-4,685	-59,9	-4,185	-59,9	-4,185	-79,9
6	N/A	N/A	-4,94	-69,9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	-4,65	-56,9	N/A	N/A	-3,925	-56,9	N/A	N/A	N/A	N/A
8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8
9	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8
10	+4,25	-64,9	+4,25	-64,9	+4,25	-66,9	+4,25	-66,1	+4,25	-59,9
11	+5,25	-76,9	+5,25	-76,9	+5,25	-76,2	+5,25	-78,7	+5,25	-69,9
12	+6,25	-76,9	+6,25	-76,9	+6,25	-76,9	+6,25	-78,7	+6,25	-72,4
13	+10,25	-76,9	+10,25	-76,9	+10,25	-76,9	+11,25	-78,7	+11,25	-72,4
14	+12	-100	+12	-100	+12	-100	+12	-100	+12	-100

РИСУНОК 9.1

**Спектральные маски для цифрового наземного телевизионного передатчика, работающего в соседнем канале с расположенным в том же месте аналоговым телевизионным передатчиком, 8 МГц**

Уровень мощности, измеренный в полосе частот шириной 4 кГц,  
где 0 дБ соответствует полной выходной мощности



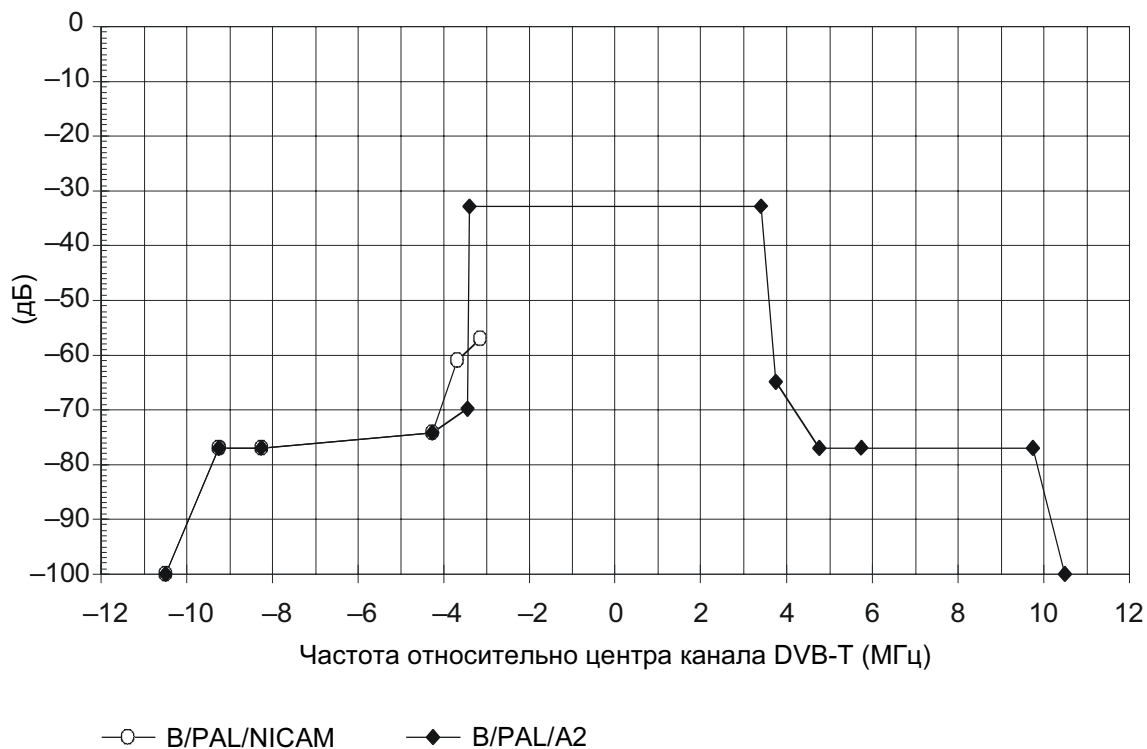
- ◆— Система G/PAL/NICAM
- ◆— Система G/PAL/A2
- Система I/PAL/NICAM
- Система K/SECAM и K/PAL
- ▲— Система L/SECAM/NICAM

Контрольные точки										
См. примечания к рис. 9.4	G/PAL/NICAM		G/PAL/A2		I/PAL/NICAM		K/SECAM K/PAL		L/SECAM/NICAM	
	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)	Относит. частота (МГц)	Относит. уровень (дБ)
1	-12	-100	-12	-100	-12	-100	-12	-100	-12	-100
4	-5,75	-74,2	-5,75	-74,2	-5,75	-70,9	-4,75	-73,6	-4,75	-60,9
5	-5,185	-60,9	-5,185	N/A	-4,685	-59,9	-4,185	-59,9	-4,185	-79,9
6	N/A	N/A	-4,94	-69,9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	-4,65	-56,9	N/A	N/A	-3,925	-56,9	N/A	N/A	N/A	N/A
8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8	-3,8	-32,8
9	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8	+3,8	-32,8
10	+4,25	-64,9	+4,25	-64,9	+4,25	-66,9	+4,25	-66,1	+4,25	-59,9
11	+5,25	-76,9	+5,25	-76,9	+5,25	-76,2	+5,25	-78,7	+5,25	-69,9
12	+6,25	-76,9	+6,25	-76,9	+6,25	-76,9	+6,25	-78,7	+6,25	-72,4
13	+10,25	-76,9	+10,25	-76,9	+10,25	-76,9	+11,25	-78,7	+11,25	-72,4
14	+12	-100	+12	-100	+12	-100	+12	-100	+12	-100

РИСУНОК 9.2

Спектральные маски для цифрового наземного телевизионного передатчика, работающего в соседнем канале с расположенным в том же месте аналоговым телевизионным передатчиком, 8 МГц

Уровень мощности, измеренный в полосе частот шириной 4 кГц,  
где 0 дБ соответствует полной выходной мощности



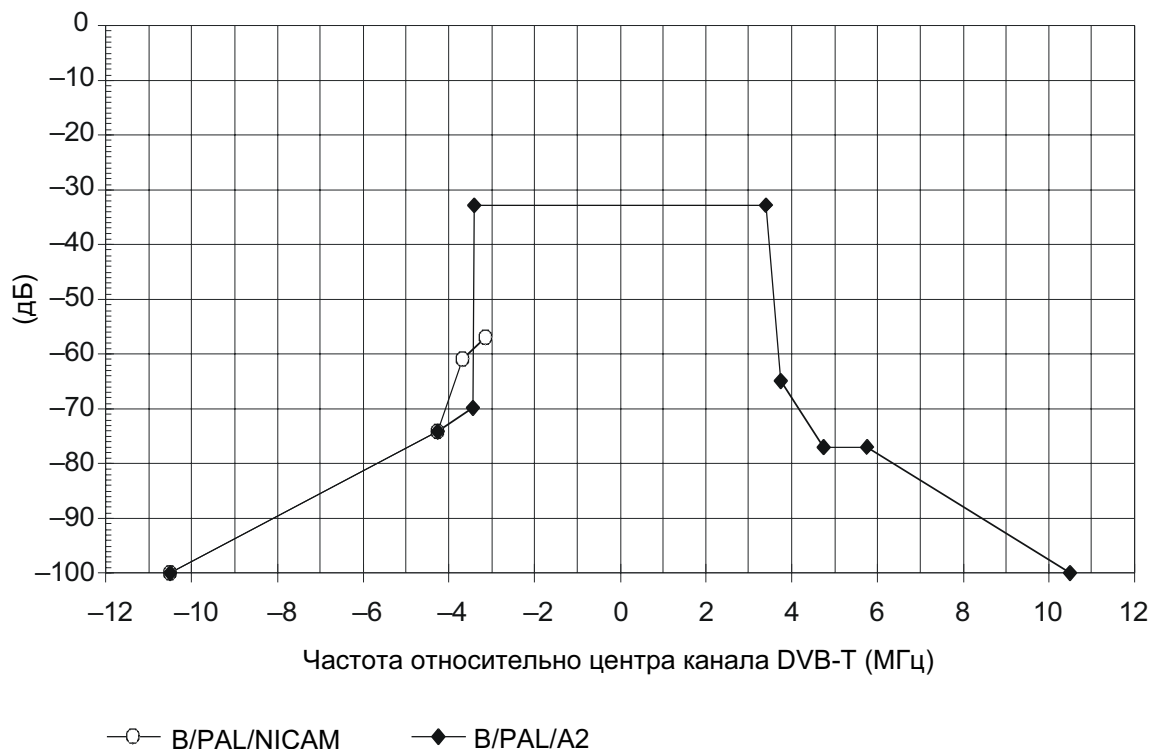
Контрольные точки				
См. примечания к рис. 9.4	V/PAL/NICAM		V/PAL/A2	
	Относительная частота (МГц)	Относительный уровень (дБ)	Относительная частота (МГц)	Относительный уровень (дБ)
1	-10,5	-100	-10,5	-100
2	-9,25	-76,9	-9,25	-76,9
3	-8,25	-76,9	-8,25	-76,9
4	-4,25	-74,2	-4,25	-74,2
5	-3,685	-60,9	-3,685	N/A
6	N/A	N/A	-3,44	-69,9
7	-3,15*	-56,9	N/A	N/A
8	-3,35	-32,8	-3,4	-32,8
9	+3,35	-32,8	+3,4	-32,8
10	+3,75	-64,9	+3,75	-64,9
11	+4,75	-76,9	+4,75	-76,9
12	+5,75	-76,9	+5,75	-76,9
13	+9,75	-76,9	+9,75	-76,9
14	+10,5	-100	+10,5	-100

\* Сигнал NICAM накладывается на сигнал DVB-T, если относительный сдвиг частот менее 200 кГц.

РИСУНОК 9.3

**Спектральные маски для цифрового наземного телевизионного передатчика, работающего в соседнем канале с расположенным в том же месте аналоговым телевизионным передатчиком, 7 МГц**

Уровень мощности, измеренный в полосе частот шириной 4 кГц,  
где 0 дБ соответствует полной выходной мощности



Контрольные точки				
См. примечания к рис. 9.4	B/PAL/NICAM		B/PAL/A2	
	Относительная частота (МГц)	Относительный уровень (дБ)	Относительная частота (МГц)	Относительный уровень (дБ)
1	-10,5	-100	-10,5	-100
4	-4,25	-74,2	-4,25	-74,2
5	-3,685	-60,9	-3,685	N/A
6	N/A	N/A	-3,44	-69,9
7	-3,15*	-56,9	N/A	N/A
8	-3,35	-32,8	-3,4	-32,8
9	+3,35	-32,8	+3,4	-32,8
10	+3,75	-64,9	+3,75	-64,9
11	+4,75	-76,9	+4,75	-76,9
12	+5,75	-76,9	+5,75	-76,9
14	+10,5	-100	+10,5	-100

\* Сигнал NICAM накладывается на сигнал DVB-T, если относительный сдвиг частоты менее 200 кГц.

РИСУНОК 9.4

**Спектральные маски для цифрового наземного телевизионного передатчика, работающего в соседнем канале с расположенным в том же месте аналоговым телевизионным передатчиком, 7 МГц**

**Примечания к таблицам контрольных точек в рис. 9.1, 9.2, 9.3 и 9.4:**

Подробности относительно определения контрольных точек и затухания см. в Приложении 1 к Главе 9:

- 1 Нижний край нижнего соседнего канала
- 2 Несущая изображения в нижнем соседнем канале
- 3 Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале
- 4 Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале
- 5 Верхний край РЧ полосы первой несущей звукового сопровождения в нижнем соседнем канале
- 6 Верхний край РЧ полосы второй A2 несущей звукового сопровождения в нижнем соседнем канале
- 7 Верхний край РЧ полосы сигнала NICAM в нижнем соседнем канале
- 8 Нижний край РЧ полосы сигнала DVB-T
- 9 Верхний край РЧ полосы сигнала DVB-T
- 10 Нижняя боковая полоса изображения (несущая изображения – 1 МГц) в верхнем соседнем канале
- 11 Несущая изображения в верхнем соседнем канале
- 12 Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале
- 13 Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале
- 14 Верхний край верхнего соседнего канала

*Дополнительные примечания:*

В таблицах на рис. 9.1, 9.2, 9.3 и 9.4 некоторые ячейки помечены "N/A". Это означает, что данная часть аналогового телевизионного сигнала не существует или не оказывает влияния на форму спектральной маски.

Так как можно предположить, что в фильтр спектральной маски будет введена некоторая степень общей избирательности, считается, что в принципе могут быть проведены прямые линии от контрольных точек, представляющих верхний край боковой полосы изображения к крайней точке у нижнего края нижнего соседнего канала. Таким же путем прямые линии проводятся от контрольных точек, представляющих несущие изображения в верхнем соседнем канале, к крайней точке у верхнего края верхнего соседнего канала. Соответствующие этому спектральные маски показаны на рис. 9.1, а основанные на вышеописанном предположении показаны на рис. 9.2 для 8 МГц и на рис. 9.4 для каналов шириной 7 МГц.

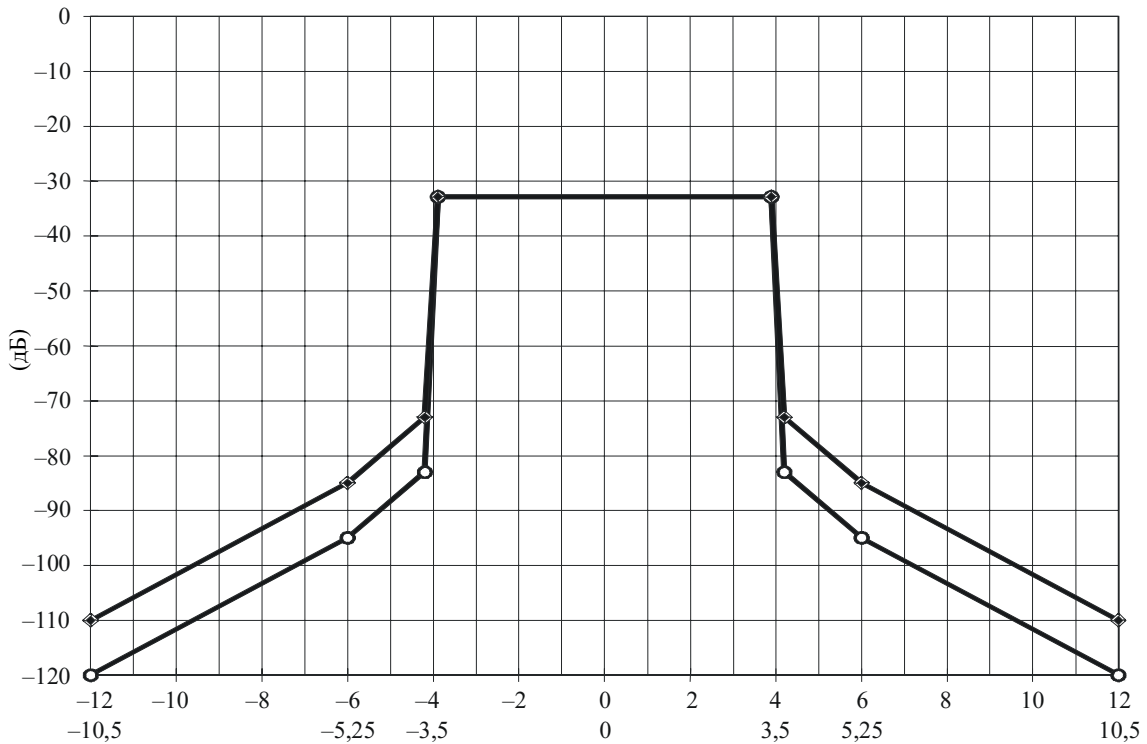
### **9.2.2 Симметричная спектральная маска для DVB-T в каналах шириной 7 МГц и 8 МГц**

Для цифровых телевизионных передатчиков, использующих каналы, соседние с другими службами (малой мощности или только принимающими), эта спектральная маска может не дать достаточного затухания в стороне от цифрового телевизионного канала, попадающего в полосу частот, в которой работают другие службы.

В таких случаях должны быть определены специальные спектральные маски, основанные на характеристиках другой службы и расстоянии между цифровым телевизионным передатчиком и зоной обслуживания (или приемным оборудованием) другой службы. Однако необходимо иметь в виду, что фильтры спектральных масок, показывающие высокое затухание вблизи от цифрового телевизионного канала, очень дорогие и будут обладать высокими вносимыми потерями.

Две симметричные спектральные маски изображены на рис. 9.5. Маска, имеющая внеполосное затухание 40 дБ, предназначена для некритических случаев, а маска с внеполосным затуханием 50 дБ предназначена для случаев с повышенной чувствительностью.

Уровень мощности, измеренный в полосе частот шириной 4 кГц,  
где 0 дБ соответствует полной выходной мощности



Частота относительно центра канала DVB-T (МГц)  
Верхняя шкала: канал шириной 8 МГц  
Нижняя шкала: канал шириной 7 МГц  
Верхняя кривая: некритические случаи  
Нижняя кривая: случаи с повышенной чувствительностью

Контрольные точки					
Каналы шириной 8 МГц			Каналы шириной 7 МГц		
	Некритические случаи	Случаи повышенной чувствительности		Некритические случаи	Случаи повышенной чувствительности
Относительная частота (МГц)	Относительный уровень (дБ)	Относительный уровень (дБ)	Относительная частота (МГц)	Относительный уровень (дБ)	Относительный уровень (дБ)
-12	-110	-120	-10,5	-110	-120
-6	-85	-95	-5,25	-85	-95
-4,2	-73	-83	-3,7	-73	-83
-3,9	-32,8	-32,8	-3,35	-32,8	-32,8
+3,9	-32,8	-32,8	+3,35	-32,8	-32,8
+4,2	-73	-83	+3,7	-73	-83
+6	-85	-95	+5,25	-85	-95
+12	-110	-120	+10,5	-110	-120

РИСУНОК 9.5

Симметричные спектральные маски для некритических случаев и случаев повышенной чувствительности



Маску для некритических случаев также следует использовать при измерениях защитных отношений для аналогового телевидения, которому создает помехи DVB-T.

Формы масок основаны на:

- естественном спектре сигнала OFDM 7,6 МГц (для каналов шириной 8 МГц) и сигнала OFDM 6,7 МГц (для каналов шириной 7 МГц);
- амплитудной характеристике фильтра ПЧ на ПАВ;
- том, что усилитель мощности передатчика создает вне канала интермодуляцию на уровне, ограниченном количеством интермодуляции, допустимом внутри канала;
- том, что для случаев повышенной чувствительности маска также включает амплитудную характеристику полосового фильтра с шестью резонаторами, включенного на выходе передатчика.

### 9.3 Аналоговое телевидение

На основе информации, содержащейся в Регламенте радиосвязи (Статья 3 и Дополнение 3) и Рекомендации МСЭ-R ВТ.470 для ряда аналоговых телевизионных систем, находящихся в эксплуатации, определены спектральные маски.

Для передатчиков, работающих в диапазоне частот от 30 до 235 МГц, мощность помехи, измеренная на выходе передатчика, должна быть ослаблена, по меньшей мере, на 60 дБ по отношению к средней выходной мощности и не должна превышать 1 мВт. Таким образом, максимальный предел для передатчиков с выходными мощностями до 1 кВт пропорционален их мощности, а для более высоких выходных мощностей фиксирован.

Для передатчиков, работающих в диапазоне частот от 235 МГц до 960 МГц, мощность помехи, измеренная на выходе передатчика, должна быть ослаблена, по меньшей мере, на 60 дБ по отношению к средней выходной мощности и не должна превышать 20 мВт. Таким образом, максимальный предел для передатчиков с выходными мощностями до 20 кВт пропорционален их мощности, а для более высоких выходных мощностей фиксирован.

Средняя мощность телевизионного передатчика в значительной степени зависит от содержимого изображения. Для передатчиков, использующих отрицательную модуляцию, наивысшая средняя мощность достигается при "Черном с синхроимпульсами" и без защитного интервала, где средняя мощность сигнала изображения на 2,5 дБ ниже, чем пиковая мощность синхроимпульса. Это приводит к внеполосному затуханию в 62,5 дБ относительно пиковой мощности синхроимпульсов для передатчиков с "пропорциональным" диапазоном мощностей.

Для передатчиков, использующих положительную модуляцию, наивысшая средняя мощность наблюдается при полностью белом изображении, когда средняя мощность сигнала изображения на 1,2 дБ ниже номинальной выходной мощности передатчика.

При рассмотрении интермодуляционных составляющих между несущей изображения и несущей(их) звукового сопровождения предполагается, что сумма мощности изображения и мощности(ей) звукового сопровождения будет использоваться как эталонная.

При рассмотрении типичных коэффициентов усиления антенн и потерь в фидерах для передатчиков ОВЧ выходные мощности передатчиков до 1 кВт соответствуют излучаемым мощностям до 10 кВт, а фиксированный лимит 1 мВт соответствует э.и.м. 10 мВт. Для УВЧ эти величины становятся равными

400 кВт и 400 мВт, соответственно. При этом предполагается, что большинство антенных систем будут иметь в соседних каналах то же или почти то же усиление, что и в используемом канале. Предполагается также, что антенные переключатели, встроенные в фидерную линию, не ослабляют мешающих излучений в соседних каналах.

В этой ситуации рассматриваются только аналоговые передатчики УВЧ. В первоначальном Плана ST 61 перечислены всего 4479 станций УВЧ. Эти станции могут быть поделены на следующие категории:

2041 станций	э.и.м. $\leq$ 400 кВт
818 станций	400 кВт < э.и.м. $\leq$ 500 кВт
1589 станций	500 кВт < э.и.м. $\leq$ 1 МВт
31 станция	э.и.м. > 1МВт (максимум = 2 МВт)

Таким образом, предел 400 кВт применим меньше чем к половине станций. Для станций с э.и.м. > 400 кВт внеполосное затухание должно быть дополнительно увеличено (при 2 МВт дополнительно на 7 дБ).

### 9.3.1 Эталонная ширина полосы частот для спектральных масок аналогового телевидения

Обычно представляется желательным использовать узкую эталонную ширину полосы частот, чтобы показать реальный спектр рассматриваемого сигнала, но, с другой стороны, необходимо использовать достаточно широкую полосу частот, чтобы сделать возможными реалистичные измерения РЧ спектра.

Спектральные маски для DVB (и DAB) основаны на мощности, измеренной в полосе частот шириной 4 кГц.

В аналоговом телевидении используются три различных типа модуляции (исключая цветовую поднесущую): АМ, ЧМ и КФМн. Составляющие сигналов имеют полосы частот различной ширины и используют разные "постоянные" модуляции, например, несущая изображения всегда модулируется, по меньшей мере, синхросигналом, а поднесущая NICAM всегда занимает постоянную ширину полосы частот, тогда как ЧМ- и АМ-несущие звукового сопровождения в отсутствие звукового сигнала не модулируются.

Измерения показали, что спектр мощности несущей изображения и его боковой полосы (полос) может быть правильно измерен анализатором спектра, находящимся в состоянии "max. hold" (удержание максимумов) и использующим разрешение по полосе частот до 50 кГц. При полосе частот разрешения 10 кГц измеряемый уровень оказывается примерно на 0,2 дБ ниже, а при 3 кГц ошибка измерения уровня составляет примерно 1 дБ. Во всех случаях ширина полосы частот изображения в анализаторе спектра была 100 кГц. В качестве эталонного было использовано разрешение по полосе частот шириной 300 кГц и полоса частот изображения шириной также 300 кГц. При измерении контура боковой полосы (полос) сигнала изображения с узким разрешением по полосе частот обязательна очень медленная скорость качания частоты. Качание частот сигнала изображения от 100 кГц до 6 МГц рекомендовано производить за 10 с.

Спектр мощности несущих ЧМ звукового сопровождения может быть правильно измерен (при полной девиации), только если разрешение по полосе частот анализатора спектра, по меньшей мере, равно высшей частоте модуляции, т. е. 15 кГц, в противном случае результат будет зависеть от частоты модуляции и девиации. Ширина полосы частот изображения, используемая в анализаторе спектра, должна быть несколько выше, например, 30 кГц.

Несущие звукового сопровождения с АМ могут быть правильно измерены даже при очень малых разрешениях по полосе частот, пока частота модуляции сохраняется постоянной или качается очень медленно.

Для несущих КФМн типа NICAM измеренный уровень зависит только от разрешения по полосе частот, используемому в анализаторе спектра, и может быть пересчитан на любую другую полосу частот или наоборот.

В результате вышеописанных различий между отдельными составными частями аналогового телевизионного сигнала для спектральных масок аналогового телевидения используется эталонная полоса частот шириной 50 кГц.

ТАБЛИЦА 9.1

Контрольные точки спектральных масок для аналоговых телевизионных систем, основанные на полосе частот шириной 50 кГц

Описание контрольной точки	Частота несущей изображения в аналоговом канале (МГц)	Частота относительно центра канала (МГц)	Аналоговая ТВ система G/PAL (моно) отношение V/S=10 дБ	Аналоговая ТВ система G/PAL/NICAM отношение V/S=13 дБ <sup>(1)</sup>	Аналоговая ТВ система G/PAL/A2 отношение V/S=13 дБ <sup>(1)</sup>	Аналоговая ТВ система I/PAL/NICAM отношение V/S=10 дБ <sup>(1)</sup>	Аналоговая ТВ система K/SECAM отношение V/S=10 дБ	Аналоговая ТВ система L/SECAM отношение V/S=10 дБ
Нижний край нижнего соседнего канала шириной 8 МГц	-9,25	-12	-62,5	-62,5	-62,5	-62,5	-62,5	-61,2
Цветовые поднесущие изображения систем G и I. Нижний предел цветовой поднесущей. Система изображения K	-4,43	-7,18	-46	-46	-46	-46,7	-46	N/A
Цветовые поднесущие изображения системы L	-4,3	-7,05	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	[-13]-30 = -43
Верхний предел цветových поднесущих изображения. Система K	-4,23	-6,98	N/A	N/A	N/A	N/A	-46	N/A
Загущение нижней боковой полосы изображения. Системы G и I	-3	-5,75	-36	-36	-36	-36,7	N/A	N/A
Затухание нижней боковой полосы системы L	-2,7	-5,45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	[-13]-15 = -28
Нижний край канала	-1,25	-4	-36	-36	-36	-16,7	-36	[-13]
Нижний угол частично подавленной боковой полосы. Системы G и K	-0,75	-3,5	-16	-16	-16	N/A	-16	N/A
Нижний край спектра синхросигнала	-0,13	-2,88	-16	-16	-16	-16,7	-16	[-13]
Несущая изображения (для системы L на 100% белом изображении)	0	-2,75	0	0	0	0	0	0
Верхний край спектра синхросигнала	0,13	-2,62	-16	-16	-16	-16,7	-16	[-13]
Верхний край боковой полосы изображения. Система G	5	2,25	-16	-16	-16	N/A	N/A	N/A
Интервал между боковой полосой изображения и 1-й звуковой несущей. Система G	5,25	2,5	-20	-20	-20	N/A	N/A	N/A
Нижний угол 1-й звуковой несущей. Система G	5,435	2,685	-10	-13	-13	N/A	N/A	N/A
Верхний край боковой полосы изображения. Система I	5,5	2,75	N/A	N/A	N/A	-16,7	N/A	N/A
Верхний угол 1-й звуковой несущей. Система G	5,565	2,815	-10	-13	-13	N/A	N/A	N/A
Нижний угол сигнала NICAM. Система G/NICAM	5,6	2,85	N/A	-20	-20	N/A	N/A	N/A

ТАБЛИЦА 9.1 (окончание)

Описание контрольной точки	Частота относительно несущей изображения в аналоговом канале (МГц)	Частота относительно канала (МГц)	Аналоговая ТВ система G/PAL (моно) отношение V/S=10 дБ	Аналоговая ТВ система G/PAL/NICAM отношение V/S=13 дБ <sup>(1)</sup>	Аналоговая ТВ система G/PAL/A2 отношение V/S=13 дБ <sup>(1)</sup>	Аналоговая ТВ система I/PAL/NICAM отношение V/S=10 дБ <sup>(1)</sup>	Аналоговая ТВ система K/SECAM отношение V/S=10 дБ	Аналоговая ТВ система L/SECAM отношение V/S=10 дБ
Нижний угол 2-й звуковой несущей. Система G/A2	5,675	2,925	N/A	N/A	-20	N/A	N/A	N/A
Интервал между боковой полосой изображения и 1-й звуковой несущей. Система I	5,75	3	N/A	N/A	N/A	-20	N/A	N/A
Верхний край спектра, используемого системой G/моно	5,8	3,05	-62,5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Верхний угол 2-й звуковой несущей. Система G/A2	5,805	3,055	N/A	N/A	-20	N/A	N/A	N/A
Нижний угол 1-й звуковой несущей. Система I	5,9346	3,1846	N/A	N/A	N/A	-10	N/A	N/A
Верхний край спектра, используемого системой G/A2	5,97	3,22	N/A	N/A	-62,5	N/A	N/A	N/A
Верхний край боковой полосы изображения. Системы K и L	6	3,25	N/A	N/A	N/A	N/A	-16	[-13]
Верхний угол 1-й звуковой несущей. Система I	6,0646	3,3146	N/A	N/A	N/A	-10	N/A	N/A
Верхний угол сигнала NICAM. Система G/NICAM	6,1	3,35	N/A	-20	N/A	N/A	N/A	N/A
Интервал между боковой полосой изображения и 1-й звуковой несущей. Системы K и L	6,25	3,5	N/A	N/A	N/A	N/A	-20	-20
Верхний край спектра, используемый системой G/NICAM	6,28	3,53	N/A	-62,5	N/A	N/A	N/A	N/A
Нижний угол сигнала NICAM. Система I/NICAM	6,302	3,552	N/A	N/A	N/A	-25	N/A	N/A
Нижний угол 1-й звуковой несущей. Системы K и L	6,435	3,685	N/A	N/A	N/A	N/A	-10	-10
Центр сигнала NICAM. Система I/NICAM	6,552	3,802	N/A	N/A	N/A	-20	N/A	N/A
Верхний угол 1-й звуковой несущей. Системы K и L	6,565	3,815	N/A	N/A	N/A	N/A	-10	-10
Верхний край канала 8 МГц	6,75	4	N/A	N/A	N/A	N/A	-54	-54
Верхний край спектра, используемого системами K и L <sup>(2)</sup>	6,8	4,05	N/A	N/A	N/A	N/A	-62,5	-61,2
Верхний угол сигнала NICAM. Система I/NICAM	6,802	4,052	N/A	N/A	N/A	-25	N/A	N/A
Верхний край спектра, используемого системой I/NICAM	6,94	4,19	N/A	N/A	N/A	-62,5	N/A	N/A
Верхний край верхнего соседнего канала 8 МГц	14,75	12	-62,5	-62,5	-62,5	-62,5	-62,5	-61,2

(1) Оба отношения сигналов изображения к NICAM и сигналов изображения ко второй звуковой несущей равны 20 дБ.

(2) Потому что используется эталонная полоса частот шириной 50 кГц.

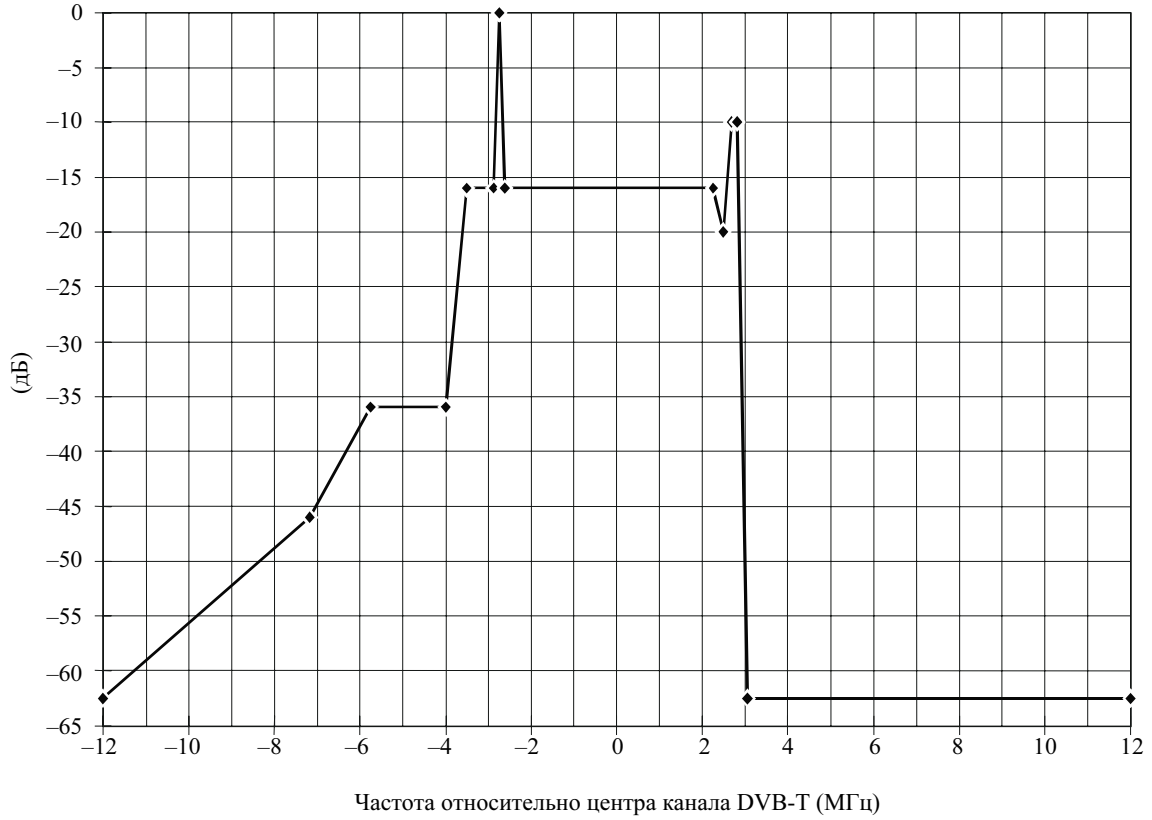


РИСУНОК 9.6  
Аналоговая система G/PAL/моно. Отношение V/S = 10 дБ

DTTB-09-6

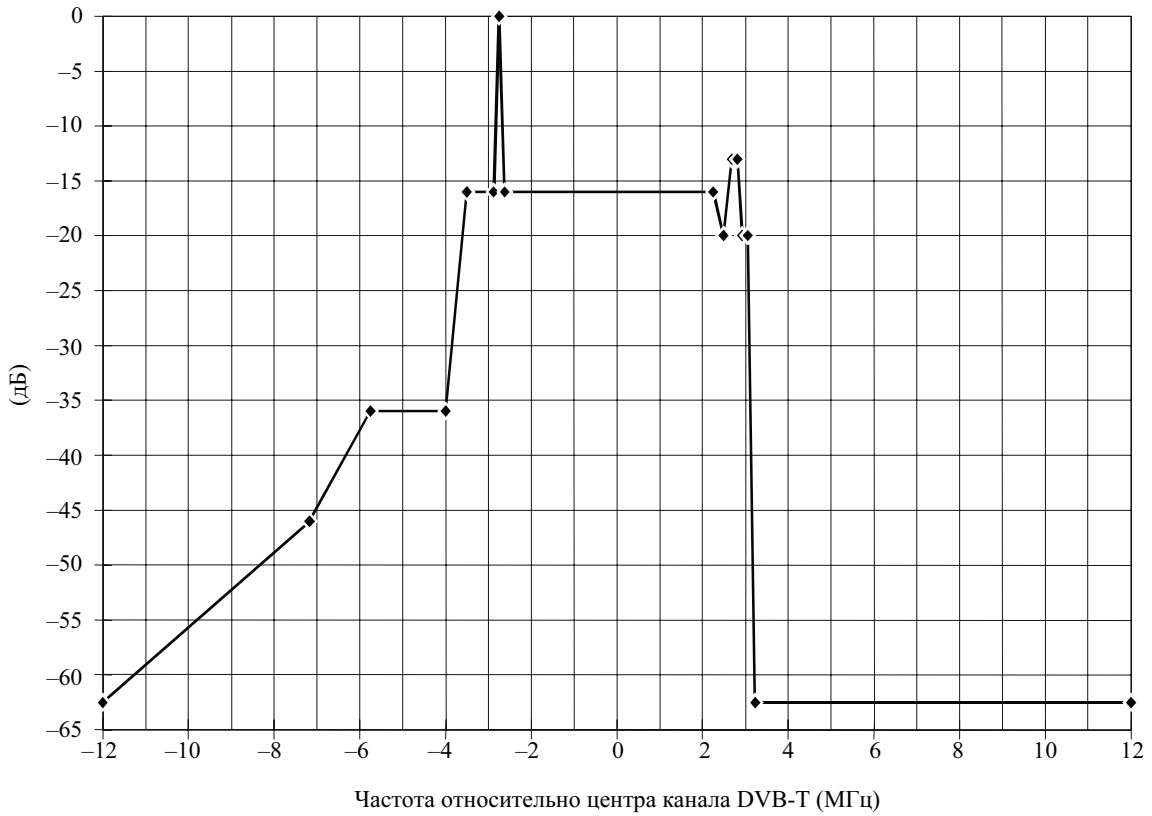


РИСУНОК 9.7  
Аналоговая система G/PAL/A2. Отношение V/S/s = 13 дБ/20 дБ

DTTB-09-7

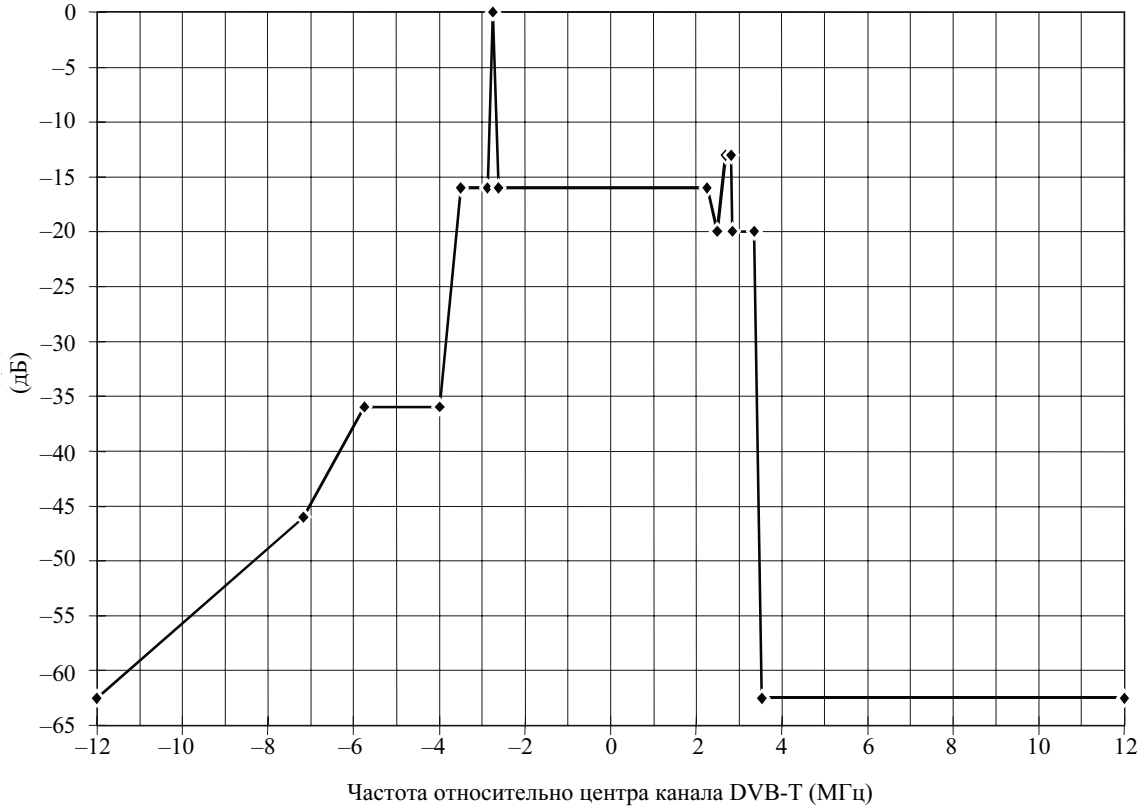


РИСУНОК 9.8

Аналоговая система G/PAL/NICAM. Отношение V/S/N = 13 дБ/20 дБ

DTTB-09-8

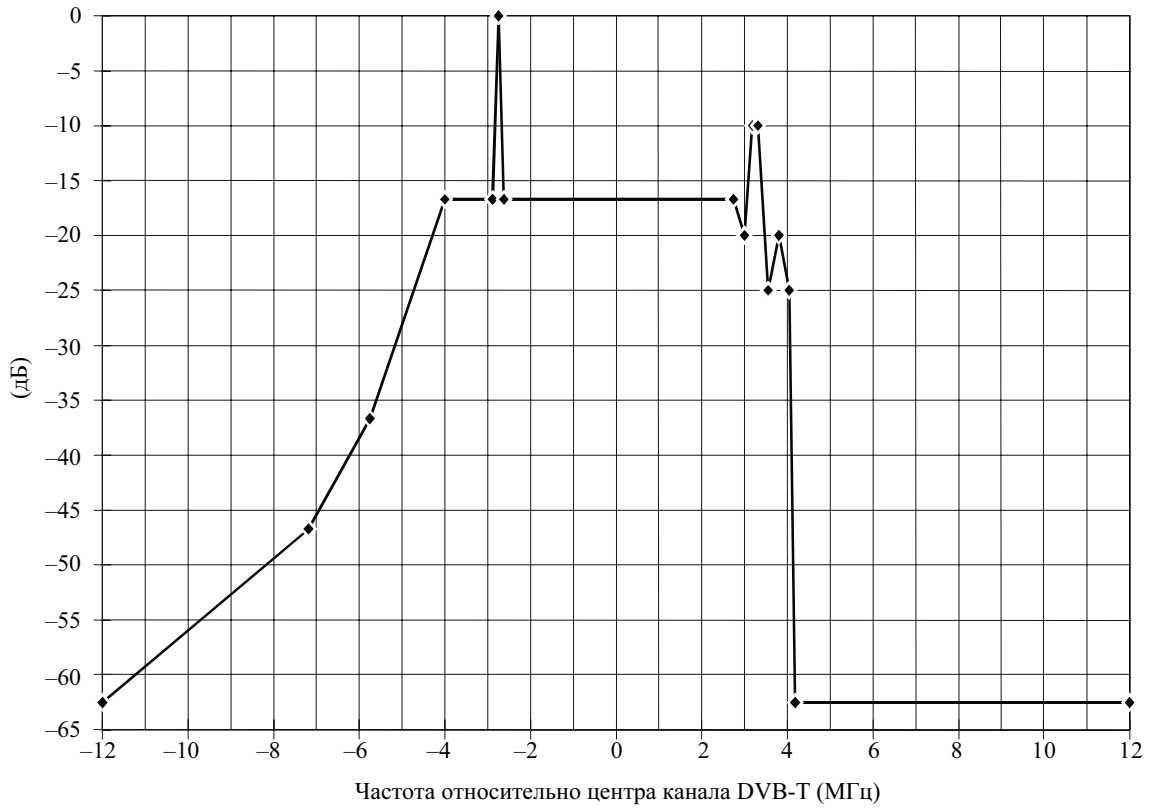


РИСУНОК 9.9

Аналоговая система I/NICAM. Отношение V/S/N = 10 дБ/20 дБ

DTTB-09-9

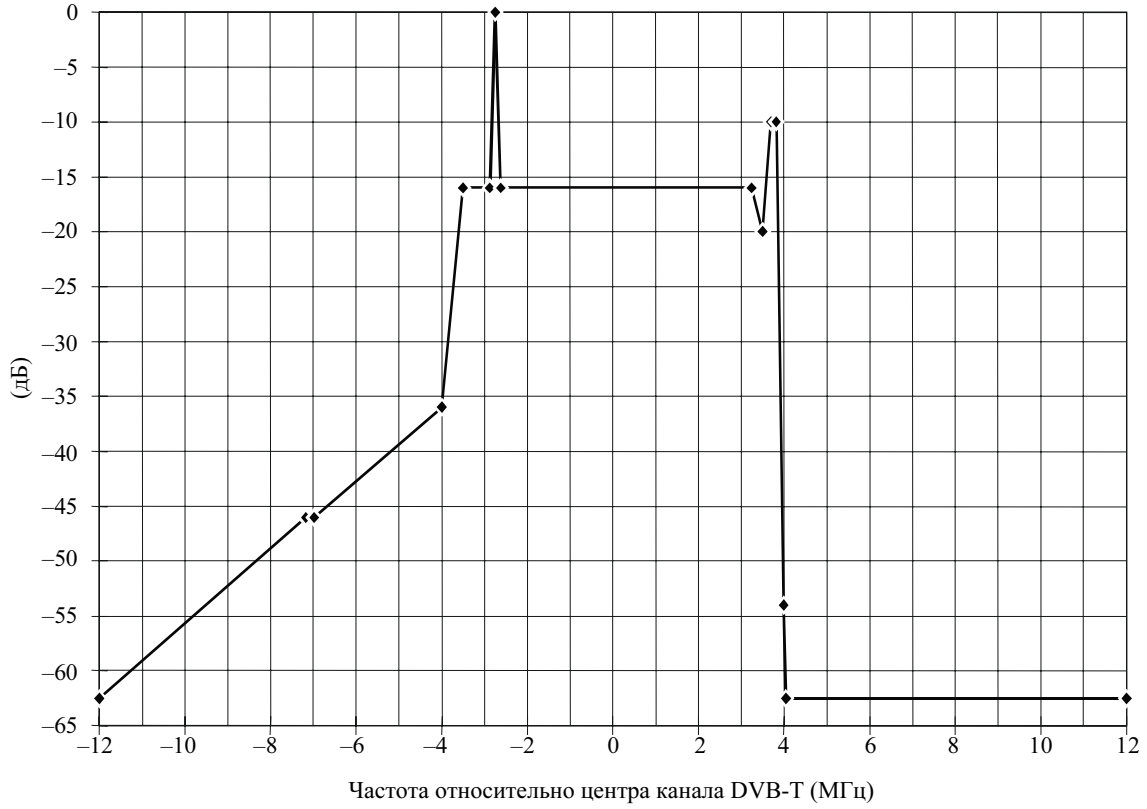


РИСУНОК 9.10

Аналоговая система K/SECAM. Отношение V/S = 10 дБ

DTTB-09-10

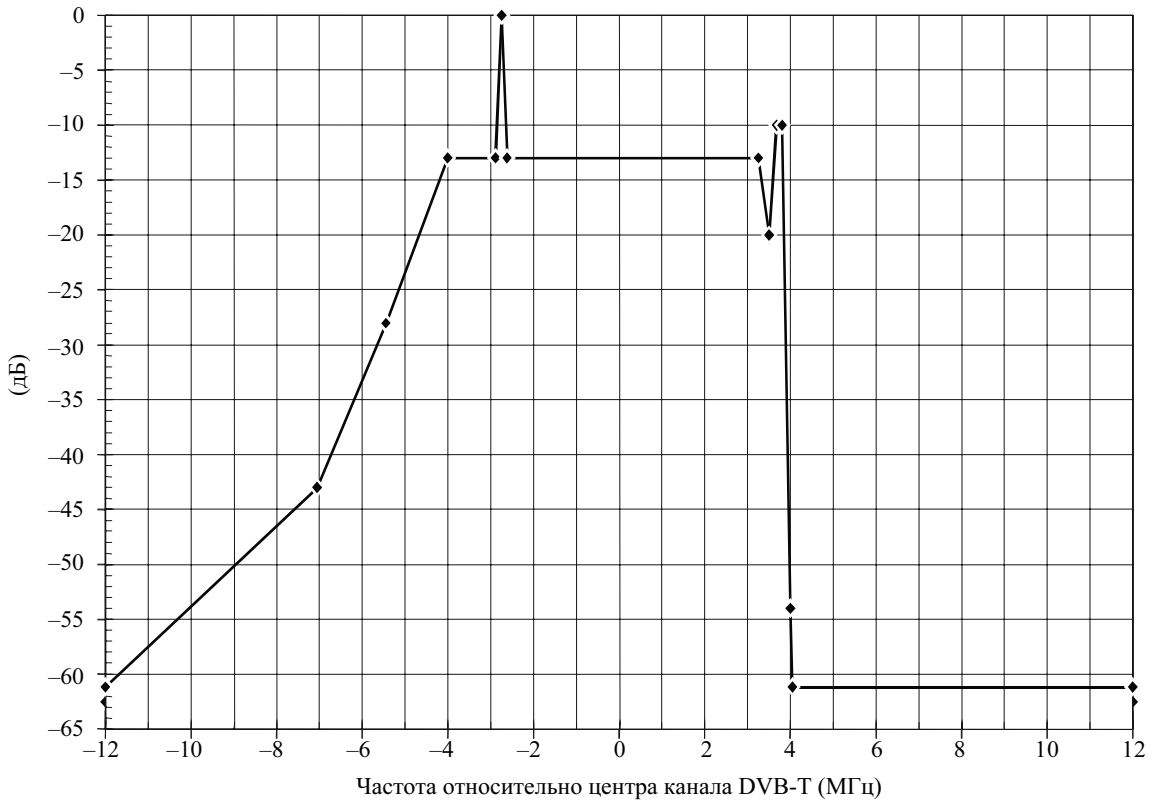


РИСУНОК 9.11

Аналоговая система L/SECAM. Отношение V/S = 10 дБ

DTTB-09-11

## 9.4 Измеренные спектры мощности передатчиков

Чтобы проиллюстрировать характеристики типичных передатчиков большой мощности, был измерен спектр мощности трех передатчиков УВЧ. Два из них представляли собой идентичные передатчики мощностью 40 кВт на импульсных клистронах, но работающие на разных каналах (31 и 53), в то время как третьим был передатчик мощностью 10 кВт на тетроде, работающий на 53 канале. Возраст всех трех передатчиков меньше 10 лет.

Остаточный уровень несущей был установлен равным 11%.

Спектры с ЧМ звуковым сопровождением и NICAM показаны на рис. 9.12, 9.13 и 9.14, соответственно.

"Дополнительная боковая полоса", находящаяся над поднесущей NICAM, отождествляется со второй гармоникой синусоидального колебания, содержащегося в сигнале изображения. Видно, что подавление этого мешающего сигнала для двух типов испытанных передатчиков заметно отличается. Также видно, что подавление (повторно введенной) нижней боковой полосы в двух (идентичных) передатчиках на клистронах отличается друг от друга.

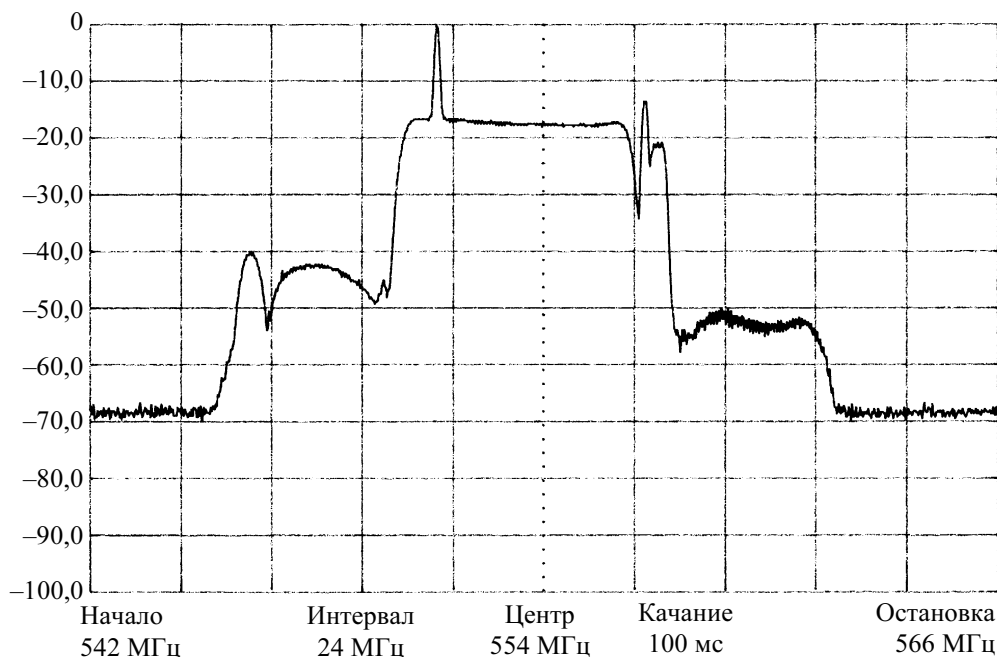


РИСУНОК 9.12

**Спектр передатчика системы G мощностью 40 кВт на импульсном клистроне с несущими ЧМ звукового сопровождения и NICAM**

DTTB-09-12



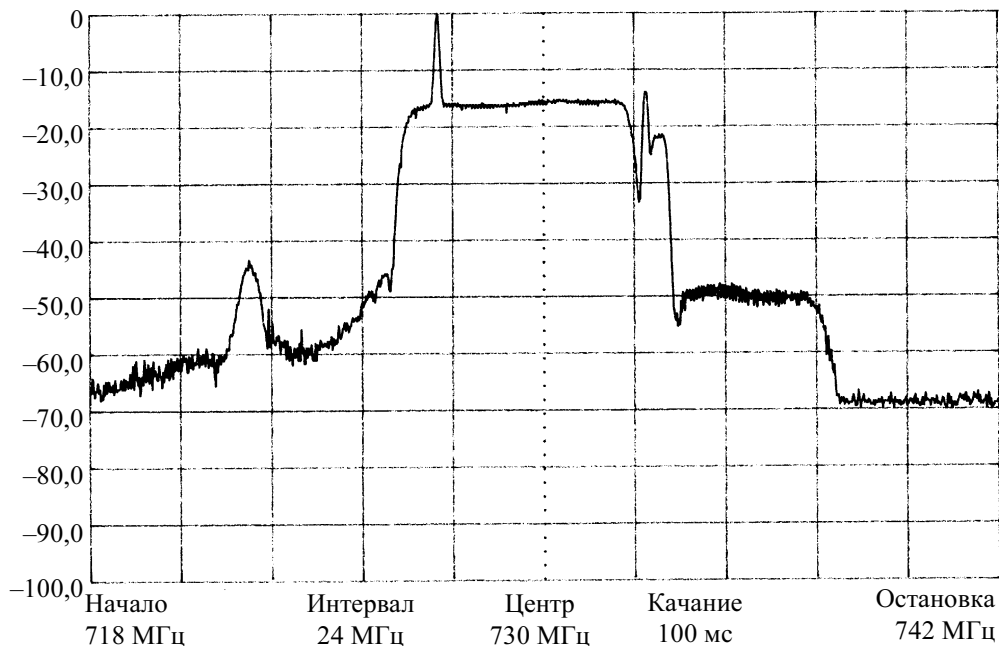


РИСУНОК 9.13

**Спектр передатчика системы G мощностью 40 кВт  
на импульсном клистроне с несущими ЧМ  
звукового сопровождения и NICAM**

DTTB-09-13

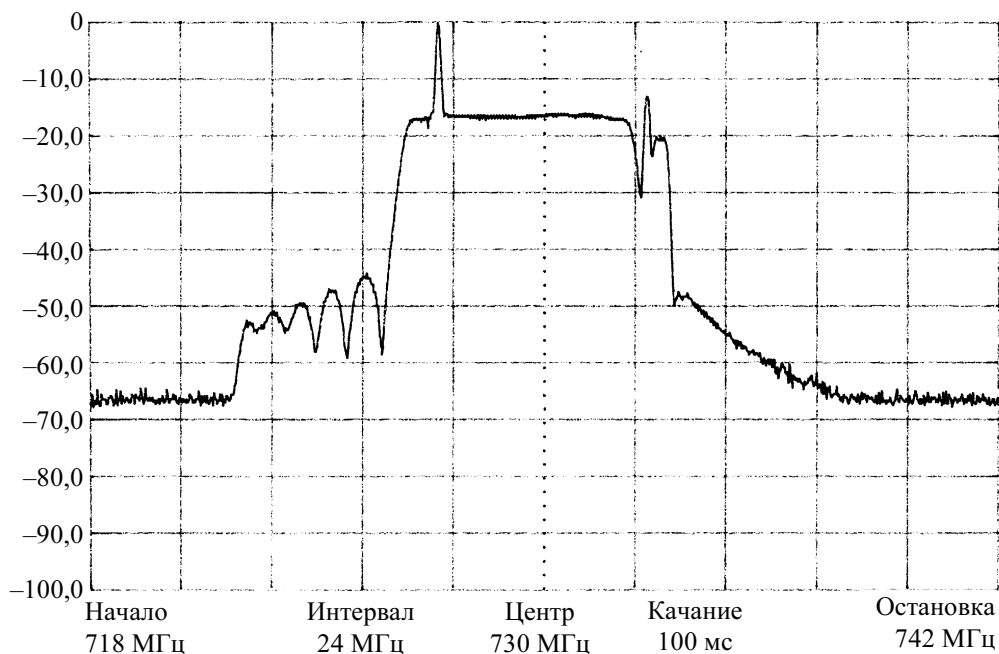


РИСУНОК 9.14

**Спектр передатчика системы G мощностью 10 кВт на тетроне  
с несущими ЧМ звукового сопровождения и NICAM**

DTTB-09-14



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### К ГЛАВЕ 9

#### **Получение значений защитных отношений, используемых для асимметричных спектральных масок DVB-T**

##### **Каналы шириной 8 МГц**

##### **G/PAL/NICAM, испытывающая помеху со стороны DVB-T**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $-0,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая  $-9,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 5 МГц

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая  $-5,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 48,3 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(48,3 + 25,9)$  дБ =  $-74,2$  дБ

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod,max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,5 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,5 + (0,130/2))$  МГц = 6,815 МГц,

соответствующий -5,185 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 35 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(35 + 25,9)$  дБ = -60,9 дБ

Поднесущая NICAM в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 500 кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,85 МГц выше несущей изображения

Верхний край сигнала NICAM:  $(1,25 + 5,85 + (0,5/2))$  МГц = 7,35 МГц,

соответствующий -4,65 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 31 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(31 + 25,9)$  дБ = -56,9 дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая +4,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 39 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(39 + 25,9)$  дБ = -64,9 дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая +5,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +6,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая +10,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения: -76,9 дБ

### **G/PAL/A2, испытывающая помеху со стороны DVB-T**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая -10,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая -9,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 5 МГц

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая -5,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 48,3 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(48,3 + 25,9)$  дБ = -74,2 дБ

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod.max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,5 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,5 + (0,130/2))$  МГц = 6,815 МГц,

соответствующий -5,185 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 35 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(35 + 25,9)$  дБ = -60,9 дБ

Так как данное необходимое отношение ниже, чем при второй несущей звукового сопровождения и данная центральная частота дальше отстоит от канала DVB-T, то этим значением пренебрегают.

Вторая несущая аналогового ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod.max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,742 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,742 + (0,13/2))$  МГц = 7,06 МГц,

соответствующий -4,94 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 44 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(44 + 25,9)$  дБ = -69,9 дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1)$  МГц = 0,25 МГц,

соответствующая +4,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 39 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(39 + 25,9)$  дБ = -64,9 дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая +5,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +6,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая +10,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения:  $-76,9$  дБ

**G/PAL (Отношение изображение/звук = 10 дБ), испытывающая помеху со стороны DVB-T**

**Только для информации, не включенной в кривые на рис. 9.1 и 9.2**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $-10,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая  $-9,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 5 МГц

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая  $-5,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 48,3 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(48,3 + 25,9)$  дБ =  $-74,2$  дБ

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod,max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,5 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,5 + (0,130/2))$  МГц = 6,815 МГц,

соответствующий  $-5,185$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 34 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  
 $-(34 + 25,9)$  дБ =  $-59,9$  дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая  $+4,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 39 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(39 + 25,9)$  дБ =  $-64,9$  дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $+5,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая  $+6,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ



Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5) \text{ МГц} = 6,25 \text{ МГц}$ ,  
соответствующая  $+10,25 \text{ МГц}$  относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения:  $-76,9 \text{ дБ}$

### **I/PAL/NICAM, испытывающая помеху со стороны DVB-T**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота:  $1,25 \text{ МГц}$ ,  
соответствующая  $+5,25 \text{ МГц}$  относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5:  $50,3 \text{ дБ}$

Поправка для полосы шириной  $4 \text{ кГц}$ :  $10 * \log(1540/4) = 25,9 \text{ дБ}$

Максимальный относительный уровень в полосе шириной  $4 \text{ кГц}$ :  $-(50,3 + 25,9) \text{ дБ} = -76,2 \text{ дБ}$

Так как необходимое отношение ниже, чем для несущей изображения, и данная центральная частота дальше отстоит от канала DVB-T, то это значение максимального относительного уровня заменяется подобным значением для несущей изображения  $+1 \text{ МГц}$ :  $-76,9 \text{ дБ}$ .

Несущая изображения  $+1 \text{ МГц}$  в нижнем соседнем канале:

Частота:  $2,25 \text{ МГц}$ ,  
соответствующая  $-9,75 \text{ МГц}$  относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5:  $51 \text{ дБ}$

Поправка для полосы шириной  $4 \text{ кГц}$ :  $10 * \log(1540/4) = 25,9 \text{ дБ}$

Максимальный относительный уровень в полосе частот шириной  $4 \text{ кГц}$ :  
 $-(51 + 25,9) \text{ дБ} = -76,9 \text{ дБ}$

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $5 \text{ МГц}$

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5) \text{ МГц} = 6,25 \text{ МГц}$ ,  
соответствующая  $-5,75 \text{ МГц}$  относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5:  $45 \text{ дБ}$

Поправка для полосы шириной  $4 \text{ кГц}$ :  $10 * \log(1540/4) = 25,9 \text{ дБ}$

Максимальный относительный уровень в полосе шириной  $4 \text{ кГц}$ :  $-(45 + 25,9) \text{ дБ} = -70,9 \text{ дБ}$

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале: (-10 дБ)

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod,max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 6,0 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 6,0 + (0,130/2))$  МГц = 7,315 МГц,

соответствующий -4,685 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 34 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(34 + 25,9)$  дБ = -59,9 дБ

Поднесущая NICAM в нижнем соседнем канале: (-20 дБ)

Ширина полосы: 500 кГц (-10 дБ), используемая для определения верхнего предела, и 364 кГц (-3 дБ), используемая для определения поправочного коэффициента при 4 кГц

Центральная частота поднесущей: на 6,55 МГц выше несущей изображения

Верхний край сигнала NICAM:  $(1,25 + 6,55 + (0,55/2))$  МГц = 8,075 МГц,

соответствующий -3,925 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 31 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(31 + 25,9)$  дБ = -56,9 дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая +4,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 41 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(41 + 25,9)$  дБ = -66,9 дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая +5,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 50,3 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(50,3 + 25,9)$  дБ = -76,2 дБ

Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +6,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая +10,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения + 1 МГц:  $-76,9$  дБ

#### **K/SECAM, K/PAL, D/SECAM и D/PAL**

**(Отношение изображение/звук = 10 дБ), испытывающие помехи со стороны DVB-T**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $-10,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 52,8 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(52,8 + 25,9)$  дБ =  $-78,7$  дБ

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая  $-9,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 52,8 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(52,8 + 25,9)$  дБ =  $-78,7$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 6 МГц, используемая для определения поправочного коэффициента для 4 кГц;

5 МГц – значимая точка на кривой защитных отношений

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 6)$  МГц = 7,25 МГц,

соответствующая  $-4,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 47,7 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе частот шириной 4 кГц:  
 $-(47,7 + 25,9)$  дБ =  $-73,6$  дБ

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod,max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 6,5 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 6,5 + (0,130/2))$  МГц = 7,815 МГц,

соответствующий  $-4,185$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 34 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(34 + 25,9)$  дБ =  $-59,9$  дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая  $+4,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 40,2 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(40,2 + 25,9)$  дБ =  $-66,1$  дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Ширина полосы: 6 МГц

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $+5,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 52,8 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(52,8 + 25,9)$  дБ =  $-78,7$  дБ

Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +6,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 52,8 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(52,8 + 25,9)$  дБ =  $-78,7$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 6)$  МГц = 7,25 МГц,

соответствующая +11,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения:  $-78,7$  дБ

#### **L/SECAM/NICAM, испытывающая помеху со стороны DVB-T**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $-10,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 44 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(44 + 25,9)$  дБ =  $-69,9$  дБ

Так как данное необходимое отношение ниже, чем при несущей изображения, и данная центральная частота дальше отстоит от канала DVB-T, то это значение максимального относительного уровня заменяется подобным значением для несущей изображения +1 МГц:  $-72,4$  дБ.

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая  $-9,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 46,5 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(46,5 + 25,9)$  дБ =  $-72,4$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 6 МГц

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 6)$  МГц = 7,25 МГц,  
соответствующая  $-4,75$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 35 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(35 + 25,9)$  дБ =  $-60,9$  дБ

Несущая аналогового монофонической АМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 30 кГц

Центральная частота поднесущей: на 6,5 МГц выше несущей изображения

Допуск на положительное смещение несущей звукового сопровождения: 50 кГц

Верхний край полосы:  $(1,25 + 6,5 + 0,05 + (0,030/2))$  МГц = 7,815 МГц,  
соответствующий  $-4,185$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 54 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(54 + 25,9)$  дБ =  $-79,9$  дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая  $+4,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 34 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(34 + 25,9)$  дБ =  $-59,9$  дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $+5,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 44 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(44 + 25,9)$  дБ =  $-69,9$  дБ

Несущая изображения +1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +6,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 46,5 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(46,5 + 25,9)$  дБ =  $-72,4$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 6)$  МГц = 7,25 МГц,

соответствующая +11,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения + 1 МГц:  $-72,4$  дБ

### **Каналы шириной 7 МГц**

#### **В/PAL/NISAM, испытывающая помеху со стороны DVB-T**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $-9,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая  $-8,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 5 МГц

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая  $-4,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 48,3 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(48,3 + 25,9)$  дБ =  $-74,2$  дБ

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod,max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,5 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,5 + (0,130/2))$  МГц = 6,815 МГц,

соответствующий -3,685 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 35 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(35 + 25,9)$  дБ = -60,9 дБ

Поднесущая NICAM в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 500 кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,85 МГц выше несущей изображения

Верхний край сигнала NICAM:  $(1,25 + 5,85 + (0,5/2))$  МГц = 7,35 МГц,

соответствующий -3,15 МГц относительно центра канала DVB-T.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** – Эта частота находится внутри полосы частот DVB-T (+/- 3,33 МГц).

**Таким образом, приведенные ниже значения имеют смысл только, если аналоговая система В и передатчики DVB-T сдвинуты друг относительно друга по частоте больше, чем на 200 кГц.**

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 31 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(31 + 25,9)$  дБ = -56,9 дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая +3,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 39 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(39 + 25,9)$  дБ = -64,9 дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая +4,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ



Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +5,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая +9,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения: -76,9 дБ

### **В/PAL/A2, испытывающая помеху со стороны DVB-T**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая -9,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы частот шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая -8,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 5 МГц

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая -4,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 48,3 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(48,3 + 25,9)$  дБ = -74,2 дБ

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы частот:  $(2 * (\Delta f + f_{mod.max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,5 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,5 + (0,130/2))$  МГц = 6,815 МГц,

соответствующий -3,685 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 35 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(35 + 25,9)$  дБ = -60,9 дБ

Так как данное необходимое отношение ниже, чем при второй несущей звукового сопровождения, и данная центральная частота дальше отстоит от канала DVB-T, то этим значением пренебрегают.

Вторая несущая аналогового ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod.max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,742 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,742 + (0,130/2))$  МГц = 7,06 МГц,

соответствующий -3,44 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 44 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(44 + 25,9)$  дБ = -69,9 дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая +3,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 39 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(39 + 25,9)$  дБ = -64,9 дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая +4,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале + 1 МГц:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +5,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая +9,25 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения:  $-76,9$  дБ

**В/PAL (Отношение изображение/звук = 10 дБ), испытывающая помеху со стороны DVB-T  
Только для информации, не включенной в кривые на рис. 9.3 и 9.4**

Несущая изображения в нижнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая  $-9,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Несущая изображения + 1 МГц в нижнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая  $-8,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ =  $-76,9$  дБ

Верхний край боковой полосы изображения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы: 5 МГц

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая  $-4,25$  МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 48,3 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(48,3 + 25,9)$  дБ =  $-74,2$  дБ

Несущая аналогового монофонического ЧМ звукового сопровождения в нижнем соседнем канале:

Ширина полосы:  $(2 * (\Delta f + f_{mod.max})) = 130$  кГц

Центральная частота поднесущей: на 5,5 МГц выше несущей изображения

Верхний край полосы:  $(1,25 + 5,5 + (0,130/2))$  МГц = 6,815 МГц,

соответствующий -3,685 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 34 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(34 + 25,9)$  дБ = -59,9 дБ

Нижняя боковая полоса изображения в верхнем соседнем канале:

Частота:  $(1,25 - 1) = 0,25$  МГц,

соответствующая +3,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 39 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(39 + 25,9)$  дБ = -64,9 дБ

Несущая изображения в верхнем соседнем канале:

Частота: 1,25 МГц,

соответствующая +4,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Несущая изображения + 1 МГц в верхнем соседнем канале:

Частота: 2,25 МГц,

соответствующая +5,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Защитное отношение для оценки качества 4,5: 51 дБ

Поправка для полосы шириной 4 кГц:  $10 * \log(1540/4) = 25,9$  дБ

Максимальный относительный уровень в полосе шириной 4 кГц:  $-(51 + 25,9)$  дБ = -76,9 дБ

Верхний край боковой полосы изображения в верхнем соседнем канале:

Частота верхней боковой полосы:  $(1,25 + 5)$  МГц = 6,25 МГц,

соответствующая +9,75 МГц относительно центра канала DVB-T.

Берется равным значению для несущей изображения: -76,9 дБ

## ГЛАВА 10

### СТРАТЕГИИ ВНЕДРЕНИЯ

#### 10.1 Введение

Внедрение цифрового наземного телевидения может рассматриваться как с краткосрочной, так и долгосрочной точки зрения. В обоих случаях задачи, ограничения и возможности различны, что приводит к нескольким возможным сценариям внедрения, часть из которых лучше подходит для краткосрочных задач, а другие лучше соответствуют долгосрочным. Кроме того, должны быть найдены адекватные способы перехода от краткосрочного сценария к долгосрочному. Эти три сценария – краткосрочный, переходной фазы и долгосрочный – представлены ниже. Подробности приведены в § 10.4.

Использование спектра в разных странах различно. Вероятно, что, несмотря на эти различия, существуют некоторые общие пути внедрения цифрового наземного телевидения, относящиеся к возможным направлениям развития и возможным долгосрочным применениям. Однако следует признать, что обсуждение долгосрочной ситуации носит скорее гипотетический характер, так как здесь задействовано слишком много переменных. В этом разделе делается скорее попытка общего обзора, чем сосредоточения на деталях, характерных для отдельных стран. В этом обзоре делается различие между кратко– и среднесрочными сценариями (обозначенными ниже как S1, S2) и долгосрочными сценариями (обозначенными ниже как L1, L2).

#### 10.2 Сценарии внедрения

##### 10.2.1 Краткосрочные сценарии

Краткосрочные сценарии касаются внедрения цифрового наземного телевидения в течение ближайших нескольких лет. На этом этапе цифровое телевидение должно быть размещено в диапазонах частот, которые уже широко используются существующими аналоговыми службами. Таким образом, чтобы внедриться в существующий аналоговый спектр, новая служба должна удовлетворять основным ограничениям:

- быть вынужденной принять существующую канальную структуру, и
- защищать существующие аналоговые службы.

Кроме того, необходимо достичь максимально возможной зоны покрытия цифровыми службами при минимальных затратах телезрителей, заинтересованных в приеме таких служб, и создать привлекательную основу развития этой новой технологии.

По этим причинам представляется разумным классифицировать различные краткосрочные сценарии согласно перечню различных спектральных ограничений, встречающихся в стратегиях внедрения.

Современные исследования ограничиваются диапазоном УВЧ, поскольку диапазон III ОВЧ имеет в разных странах различный канальный растр и, кроме того, может и не быть в будущем доступным исключительно телевизионному вещанию. По мнению некоторых производителей телевизионных приемников, цифровые приемники для множества полос частот каналов могут быть немного дороже.

##### 10.2.2 Долгосрочные сценарии

Долгосрочные сценарии относятся к заключительному этапу внедрения цифрового телевидения. На этом этапе, если новая технология успешно проникает на рынок, аналоговые службы будут постепенно сокращаться, и цифровая передача останется единственным средством телевизионного вещания.

Эти сценарии могут классифицироваться согласно различным целям, к которым стремятся при внедрении цифровых служб (например, по зонам обслуживания, режимам обслуживания, способам внедрения, эксплуатационным расходам и т. д.). Классификация производится в соответствии с размерами предполагаемой цифровой зоны обслуживания (национальной или местной) и для каждого класса описываются варианты с учетом режимов обслуживания, режимов сетей и расходов на внедрение.

Выбранное разделение по зонам покрытия не должно рассматриваться как исключительное, скорее оно является дополнительным, потому что, как правило, страны будут создавать сети, по крайней мере, двух, возможно трех типов, используя уровневую структуру.

В долгосрочной перспективе не предусматривается существование смешанной аналогово-цифровой среды, потому что она не делает использование спектра более эффективным. С другой стороны, если наземная цифровая технология не пользуется поддержкой на рынке, то наземное телевидение либо останется аналоговым, или будет постепенно сокращаться. В этом случае прием на портативное оборудование был бы невозможен, а охват местными/региональными программами был бы ограничен.

#### **10.2.2.1 Переходная фаза**

Краткосрочные и долгосрочные сценарии отличаются своими задачами и, как следствие, техническими особенностями внедрения. Поэтому должна быть проанализирована третья фаза, а именно переход от краткосрочного к долгосрочному внедрению. При этом описываются различные пути расширения цифровых служб в смешанной среде, где следует сократить ограничения на цифровую передачу и соответствующим образом модифицировать сети, изменив частоты и местоположения передатчиков. По мере уменьшения ограничений будут увеличиваться возможности внедрения цифрового наземного телевидения.

Кроме того, чтобы облегчить указанный переход для телезрителей, приемное оборудование должно быть оснащено некоторыми устройствами, такими как автоматическая настройка приемника, широкополосные приемные антенные системы и т. д. До настоящего времени по этому вопросу проведено лишь небольшое количество исследований.

### **10.3 Управление частотами**

#### **10.3.1 Потребность в спектре**

Наземные цифровые телевизионные службы появились в Северной Америке и Европе в 1998 году.

Частично из-за сложной структуры, существующей в диапазонах I и III, исследования, касающиеся возможного внедрения DVB-T в Европе, главным образом концентрировались на возможностях, предлагаемых в диапазоне УВЧ. На этих каналах новые цифровые сигналы должны использовать доступный спектр совместно с аналоговыми программами.

Возможно, что в долгосрочной перспективе постоянная ширина полосы частот канала совместно с равномерным расположением каналов для цифрового наземного телевидения может быть принята в диапазоне ОВЧ во всей Европе, хотя это никоим образом не является непреложным фактом.

#### **10.3.2 Фаза II исследований DSI**

В Европе СЕПТ провел свое второе подробное исследование спектра (DSI), которое охватывает диапазон частот от 29,7 до 960 МГц (и, следовательно, включает диапазоны, используемые наземным телевизионным вещанием). Окончательной целью DSI является создание общеевропейской Таблицы распределения частот (European Common Frequency Allocation Table (ECA)) для всех стран, входящих в СЕПТ. Такой процесс может привести к изменениям в распределении спектра, которые могли бы быть реализованы примерно к 2008 году.

Результаты DSI, которые влияют на ситуацию с телевидением в диапазонах ОВЧ/УВЧ, приведены в таблице 10.1.

ТАБЛИЦА 10.1

**Окончательные предложения DSI 2**

Диапазон частот (МГц)	Предложения
47–68	Заявки для телевидения прекращаются
174–216	Совместно с подвижными службами; возможно перераспределение после переходного периода
470–862	Новые каналы в основном для цифрового телевидения; только после периода перехода к цифровому телевидению

Некоторое время существовало сильное давление со стороны подвижных служб, желавших получить доступ к диапазону вещания ниже 900 МГц. Несмотря на то, что недавние прогнозы, сделанные Европейским бюро по радиосвязи, указывают на уменьшение использования для подвижных служб частот, находящихся ниже 900 МГц, давление с целью получения доступа сохраняется.

С другой стороны, многие администрации и организации делают для СЕПТ альтернативные предложения относительно будущего использования части этого спектра. В частности, ЕСР предложил, что диапазоны частот 174–216 МГц и 470–862 МГц должны быть доступны для наземного телевидения на исключительной основе, чтобы обеспечить развитие новых рыночных возможностей.

### 10.3.3 Краткосрочный период

На этапе внедрения DVB-T потребуются максимальная доступность спектра из-за трудностей использования службами аналогового телевидения диапазонов ОВЧ/УВЧ в настоящее время и необходимости для DVB-T использовать его совместно с этими службами.

Таким образом, на краткосрочном этапе весь спектр, выделенный для телевидения в диапазонах III, IV и V, будет необходим для успешного внедрения DVB-T, включая и те каналы, которые не могут быть использованы для вещания в настоящее время.

### 10.3.4 Долгосрочный период

Цифровая технология обеспечивает более эффективное использование спектра. Таким образом, согласно сегодняшним критериям, в долгосрочной перспективе для существующего наземного вещания может потребоваться меньшая часть спектра, и настоящая потребность в новых каналах, выраженная европейскими вещателями, также может быть удовлетворена. По этой гипотезе часть спектра может быть распределена для других служб.

Однако следующие факторы могут привести к полному использованию большей части, если не всего спектра, доступного в настоящее время для телевидения:

- вероятно, что новые возможности рынка, основанные на дополнительных услугах, будут развиваться благодаря дополнительной гибкости, которую может предложить цифровое телевидение. Такие возможности рынка ограничены сегодня пропускной способностью и изменчивостью, характерными для существующих аналоговых систем;
- желательное будущее внедрение ТВВЧ, когда на рынке станут доступны по разумным ценам устройства отображения с широким плоским экраном, существенно увеличит спектр, занимаемый каждой программой;

- с внедрением цифровых вещательных служб, которые более надежны, чем современные аналоговые, ожидается более широкое использование портативных приемников. Чтобы удовлетворить всем ожидаемым потребностям в приеме на портативное или подвижное оборудование, может быть необходим вариант устойчивой системы, а вследствие этого, для каждой программы может потребоваться больше спектра.

В будущем, рассматривая Европу в целом, все эти возможности могут привести к полному использованию всего спектра, доступного в настоящее время для телевидения. Однако очень трудно, если не невозможно, оценить сегодня возможные долгосрочные тенденции, хотя уже ясно, что возникнет существенный спрос на новые вещательные услуги.

### **10.3.5 Переходный период**

Поскольку в Европе в эксплуатации находится несколько сотен миллионов телевизионных приемников, и поскольку минимальный срок службы современного телевизионного приемника составляет, по меньшей мере, семь лет, необходимо, чтобы переходный период был достаточно долгим, чтобы избежать любого прерывания обслуживания.

Возможно, что по этим причинам неразумно предполагать, что переходный период будет длиться примерно 15 лет после даты внедрения цифровых служб. Так как эта дата не будет одинакова для всех европейских стран и так как маловероятно, чтобы она наступила в какой-нибудь стране до 1998 года, легко понять, что переходный период будет длиться столь долго, что любые прогнозы относительно постпереходной эры должны рассматриваться как нечто гипотетическое.

Вследствие этого совершенно нереалистично намечать быстрое свертывание существующих аналоговых служб. Возможно, что около 2015 года этап внедрения DVB-T в некоторых странах может быть близок к окончанию, тогда как в других проникновение цифрового телевидения может быть завершено лишь частично.

### **10.3.6 Некоторые гипотетические соображения**

Если наземное цифровое телевидение успешно внедряется и заменяет аналоговое телевидение, то в этом случае можно дать некоторые соображения об использовании диапазонов частот.

#### **10.3.6.1 Диапазон I**

Измерения показывают, что уровни промышленных помех в диапазоне I (47–68 МГц) значительно выше, чем в других телевизионных диапазонах (диапазоны III, IV и V). Более того, в диапазоне I происходят отражения от спорадического слоя E, которые могут вызывать в течение небольших процентов времени внезапные отказы в цифровых системах. Вследствие этого диапазон I представляется менее подходящим для DVB-T, чем другие телевизионные диапазоны, и может быть рассмотрен с целью перераспределения.

В ряде стран передачи аналогового телевидения в диапазоне I (особенно на нижних каналах) могли бы быть прекращены в ближайшее время. Однако слишком раннее закрытие таких служб могло бы привести к их переходу в диапазон УВЧ, уменьшая возможности внедрения DVB-T.

Вследствие этого необходимо признать, что по эксплуатационным причинам может возникнуть необходимость продолжать работу аналогового телевидения в диапазоне I, особенно когда замена передатчиков на УВЧ либо невозможна, либо ограничивает внедрение DVB-T.

#### **10.3.6.2 Диапазоны III, IV и V**

Для облегчения внедрения цифрового наземного телевидения весь спектр в диапазонах III, IV и V, который обычно доступен для наземного аналогового телевидения, будет необходим службам DVB-T, по меньшей мере, в течение 20 лет. Действительно, эти диапазоны будут оставаться основной средой для многих вещательных служб и будут также играть ключевую роль в стратегии перехода от аналоговых к цифровым службам.



Кроме того, принимая во внимание нарастающее давление на спектр во время переходного периода (в то время как аналоговые службы дополняются, а затем заменяются цифровыми службами), для вещания могло бы быть в высшей степени желательно иметь доступ к некоторой части спектра, которая в каких-то странах в настоящее время недоступна.

Относительно совместного использования частот аналоговыми и цифровыми службами СЕПТ предлагает, чтобы любой канал, который может стать доступным на короткий или средний срок, не использовался для расширения аналоговых сетей. Это требование относится к числу весьма деликатных. В разных европейских странах существуют различные ситуации и прогнозируются разные философии начала внедрения служб цифрового телевидения. Вследствие этого ограничения на развитие аналогового телевидения могут быть очень жесткими по времени. В общем случае следует пока разрешать внедрение аналогового телевидения.

В долгосрочной перспективе, возможно, что рыночный потенциал для наземных передач предоставит новые возможности и службы, которые по силам обеспечить только наземному телевидению. Вследствие этого, несмотря на увеличение эффективности использования спектра, службам наземного телевидения будут еще необходимы распределенные для них традиционные частоты. Соответствующие решения должны приниматься на основе будущих периодических обзоров ситуации.

### **10.3.7 Можно ли освободить спектр для использования другими службами?**

Обобщая вышеприведенные идеи, очень трудно, а может быть, и преждевременно прогнозировать сегодня как долгосрочные потребности в спектре цифрового телевидения, так и временные рамки его проникновения.

Уже говорилось о том, что согласно сегодняшним критериям для DVB-T в будущем, вероятно, понадобится меньший объем спектра, но очень сомнительно, что на этом этапе можно определить его количественно. В течение переходного периода, который может захватить и второе десятилетие 21-го века, количество наземных цифровых телевизионных услуг, их характер и ряд других факторов станут яснее по мере их развития.

Поэтому в настоящий момент невозможно оценить, может ли какая-то часть спектра быть передана другим службам. Для того чтобы установить, нужно ли произвести распределение спектра, в последующие годы должны периодически проводиться обзоры использования спектра и потребностей в нем.

### **10.3.8 Выводы**

DVB-T было внедрено некоторыми странами Европы в диапазонах УВЧ в 1998 году. Для облегчения раннего внедрения этими странами были приняты краткосрочные стратегии. Спектр должен совместно использоваться аналоговыми наземными и новыми цифровыми наземными телевизионными службами.

Так как количество приемников DVB-T увеличивается, то можно будет отказаться от аналоговых служб путем постепенного прекращения работы аналоговых ретрансляторов и передающих станций. Это переходная фаза между совместным использованием спектра аналоговыми и цифровыми службами и долгосрочной целью полностью цифрового телевизионного сценария. Во время этой фазы каналы будут освобождаться путем закрытия аналоговых передатчиков и могут использоваться для увеличения зон покрытия цифровым наземным телевидением.

И наконец, во время долгосрочного сценария будет достигнут полный охват сетями DVB-T в диапазонах III, IV и V. Аналоговые передачи постепенно будут прекращены, а освободившийся спектр будет использоваться цифровыми службами. Завершение перехода в любой отдельной стране может занять период 10–20 лет после начала внедрения.

Весьма вероятно, что в середине текущего десятилетия потребуются провести Конференцию МСЭ для создания Плана, по крайней мере, для Европейской зоны радиовещания, взамен Стокгольмского плана 1961 года.

## **10.4 Некоторые возможные сценарии внедрения**

### **10.4.1 Краткосрочный период**

Основным ограничением при внедрении наземного цифрового телевидения в ближайшем будущем (например, в последующие пять лет) является защита существующих аналоговых служб.

Страны Европы могут быть разделены на две большие категории:

#### **Категория 1**

Это страны, которые имеют доступ к присвоениям, не используемым в настоящее время телевизионными станциями, или даже сетями, с относительно высокой эффективной излучаемой мощностью, и которые полностью координированы. Такие каналы ниже называются "свободными каналами". Страны, которые могут получить доступ, например, более чем к 60 каналам, могут быть также отнесены к категории 1.

#### **Категория 2**

Это страны, которые не имеют доступа к неиспользуемым в настоящее время присвоениям телевизионных станций (относительно большой мощности).

Подобное разделение удобно тем, что в этих двух случаях возможны разные стратегии внедрения. Однако даже страны категории 1, вероятно, не будут иметь доступа к той части спектра, которая бы удовлетворила все их потребности, и, таким образом, в отношении некоторых потребностей перейдут в категорию 2.

Можно предвидеть три сценария внедрения, обозначенные в этом документе как S1, S2, S3. Они относятся к различным видам использования спектра, которым сценарии внедрения цифровых служб должны удовлетворять.

- S1: использование существующих или плановых присвоений;
- S2: повторное использование существующих (используемых) присвоений каналов;
- S3: использование "свободных каналов".

Произведенное разделение на различные сценарии не носит исключительного характера. Страны могут одновременно использовать один или все подходы сразу, в зависимости от ситуации со спектром, с которой они сталкиваются.

#### **10.4.1.1 Краткосрочный сценарий 1 (S1): Использование существующих или плановых (но не используемых) присвоений каналов**

Первый сценарий возможен для тех стран, которые принадлежат к категории 1.

В этом случае достижимы большие зоны покрытия, поскольку существует относительно мало ограничений на излучаемую мощность. Следовательно, он может обеспечить отличную начальную точку для внедрения DVB-T и может создать ядро для будущей цифровой многочастотной сети или предоставить, в случае всеобъемлющей сети, основу для долгосрочного сценария, основанного на многочастотных сетях.

Вообще можно предположить, что охват плановыми присвоениями для цифровых и аналоговых служб будет похожим. Однако необходимо соблюдать осторожность в тех случаях, когда планирование аналоговой службы выполнялось с точным смещением, которое значительно снижает ограничения на аналоговые передатчики, или когда намереваются ввести неустойчивую цифровую службу с требованиями высокой защиты. Эти обстоятельства могут уменьшить охват цифровой службы.

Важно, что необходимые защитные отношения и э.и.м. для цифровой и аналоговой служб рассматриваются для каждого случая, чтобы гарантировать, что существующее присвоение может быть использовано для достижения требуемой цифровой службы.

Концепция мини-ОЧС предоставляет адекватные средства для преодоления ограничений такого рода. Действительно, потенциал помех конфигурации мини-ОЧС значительно ниже по сравнению с решением, в котором используется один передатчик.

Концепция мини-ОЧС также может использоваться для улучшения покрытия, в особенности в случае приема на портативное оборудование.

У вещательных компаний затраты на внедрение по сценарию S1 будут относительно низкими, так как если выбрано традиционное решение с одним передатчиком, то почти во всех случаях передающие установки уже существуют.

Если цифровой канал близок по частоте к одному из аналоговых, то это дает особые экономические выгоды телезрителям, потому что они могут использовать свои существующие приемные антенные системы. Эти экономические преимущества для потребителей могут иметь решающее значение при оценке цифрового сценария в фазе внедрения, когда ресурсы цифровых служб еще полностью не реализованы и, следовательно, еще не полностью обеспечена их привлекательность.

Использование подхода с плотной сетью значительно увеличивает расходы на внедрение как вещательных компаний, так и потребителей, поскольку должны быть установлены как дополнительные передатчики, так и новые приемные антенны.

Усилия по координации, вероятно, будут ничтожно малы, так как применяются уже скоординированные каналы.

#### **10.4.1.2 Краткосрочный сценарий 2 (S2): Повторное использование существующих присвоенных каналов**

Сценарий (S2) применим к странам категории 2, не имеющих свободных присвоений и к странам категории 1, которые уже использовали свои свободные присвоения для первых цифровых сетей и теперь ищут альтернативные каналы.

Каналы, которые только очень ограниченно используются аналоговыми службами, могут быть доступными для системы DVB-T благодаря ее более высокой устойчивости и более низкому потенциалу помех. Вследствие этого, даже в крайне насыщенном спектре УВЧ, могут быть найдены некоторые ресурсы для внедрения цифрового телевидения. Конечно, такая ситуация неблагоприятна для реализации крупномасштабных ОЧС.

Реализация варианта с повторным применением присвоений каналов требует согласования с соседними странами. Однако такой подход пригоден для использования существующего спектра.

При фиксированном приеме можно рассмотреть два варианта (описанные в данной главе):

- **сценарий S2a** – с использованием для начала цифровой передачи существующих местоположений передатчиков и, когда это возможно, каналов, близких по частоте с имеющимися аналоговыми;
- **сценарий S2b** – с добавлением новых мест вещания к существующим аналоговым.

Для приема на портативное оборудование такое разграничение не нужно.

Выполнимость сценария S2 сильно зависит от плотности современных аналоговых служб и значительно различается от страны к стране. Данный сценарий, после начала его реализации, может послужить основой для долгосрочного варианта цифрового обслуживания в режиме многочастотных сетей. На настоящий момент сценарий S2 является наиболее изученным подходом к внедрению в Европе.

Основными особенностями сценария 2 являются:

##### *а) Защита существующих или планируемых аналоговых служб*

Любая новая станция, цифровая или аналоговая, вызывает некоторое увеличение помех существующим телезрителям и, таким образом, приводит к уменьшению покрытия. Ограничения на мощность цифровых станций будут установлены путем рассмотрения допустимого уровня и процента

времени появления дополнительных помех для телезрителей аналогового телевидения. Размеры зон покрытия цифровым телевидением будут определяться комбинацией факторов:

- излучаемой мощностью цифрового передатчика;
- величиной помех от аналоговых или других цифровых передатчиков;
- отношением  $C/N$ , требуемым для цифровой службы.

Необходимость защиты аналоговых служб приведет к ограничениям на э.и.м. и, вследствие этого, к ограничениям зон покрытия цифрового телевидения.

b) *Фиксированный прием на антенну, расположенную на крыше, и ограниченный прием на портативное оборудование*

Большинство исследований показывает, что, по крайней мере, в течение переходного периода, когда будут сосуществовать аналоговые и цифровые службы, зоны покрытия, достигаемые при приеме на портативное оборудование, скорее всего будут ограничены. Однако при приеме на портативное оборудование приемлемый охват может быть достигнут, если передатчик расположен вблизи населенного пункта.

Следовательно, фиксированный прием на антенну, расположенную на крыше, может быть взят за основу при сценарии внедрения, в котором используются существующие местоположения передатчиков. По сравнению с фиксированным приемом на антенну, расположенную на крыше, прием на портативное оборудование подвержен влиянию переменных условий и зависит от высоты приемной антенны, потерь при проникновении в здание и местных изменений сигнала. В зависимости от ситуации (прием внутри помещения или снаружи, большая или умеренная вероятность охвата мест, требования к цифровой скорости, конфигурация сети), прием на портативное оборудование может быть возможен для большей части населения.

Необходимо отметить, что в странах с большим охватом кабельным и спутниковым телевидением прием на портативное оборудование рассматривается в качестве основной задачи будущих наземных служб.

c) *Возможные изменения частоты для аналоговых станций малой мощности*

Очевидно, что в общем случае будет невозможно изменить каналы, используемые аналоговыми станциями большой мощности, из-за массовых нарушений аналогового приема, которые могут быть вызваны этим. Однако некоторые ограничения э.и.м. на цифровых станциях могут быть вызваны необходимостью защитить аналоговые станции малой мощности (и с малым охватом). В таких случаях изменения аналоговых каналов могут быть осуществимы, и это может сделать достижимым значительное улучшение охвата цифровыми службами. В этом контексте нужно иметь в виду, что в Европе существует более чем 30 000 работающих станций с э.и.м. менее 10 Вт в дополнение к 30 000 станций с э.и.м. более 10 Вт.

#### **10.4.1.3 Сценарий S2a: использование существующих местоположений передатчиков**

В большинстве домов уже имеются бытовые приемные антенны, которые избирательны по частоте и ориентированы в определенном направлении и по поляризации. Для максимизации коммерческой привлекательности цифровых передач желательно, чтобы их можно было легко принимать, например, существующими приемными антенными системами. Действительно, дополнительная стоимость оснащения новой антенной явится значительным недостатком для большинства телезрителей, в особенности, если нет дополнительно принимаемых программ (одновременно с аналоговой службой).

Следовательно, хорошим начальным решением является использование для цифровых программ тех же самых станций, которые уже используются для аналоговых передач. Кроме того, новые каналы следует располагать поближе к тем каналам, которые уже используются существующими аналоговыми службами, и применять ту же самую поляризацию.

Так как услуги будут поступать из одного места и мощность цифровой службы будет ниже, чем аналоговой службы (в целях защиты), то опасность создания помех по соседнему каналу телезрителям существующих аналоговых служб была бы небольшой.

Следует заметить, что если страна желает подготовиться к использованию в долгосрочном будущем сетей ОЧС, то выбор каналов, соседних с каналами аналоговых служб, может привести к проблемам при переходе от краткосрочного к долгосрочному сценарию.

#### **10.4.1.4 Сценарий S2b: добавление новых передающих станций**

Сценарий S2b является вариацией сценария S2a. В основном для большинства зон он основывается на тех же допущениях, но с добавлением новых станций малой мощности в тех зонах, где защита существующих аналоговых служб препятствует адекватному цифровому охвату посредством существующих станций.

Маловероятно, что при таких конфигурациях приемные антенны, используемые телезрителями аналоговых служб, являются пригодными для приема цифровых служб от новых ретрансляционных станций вследствие разных каналов и направлений.

С другой стороны, преимуществом этого варианта является снижение влияния помех от цифровой сети, и за счет этого может быть увеличен размер зон покрытия. Однако появляется опасность возникновения помех телезрителям существующих аналоговых служб в некоторых участках на краях зон покрытия этих служб. Действительно, вероятно существуют телезрители аналоговых передач от главных станций, которые оказываются вблизи местоположений новых цифровых ретрансляционных станций. Такие телезрители могут испытывать помехи от цифровых передач, если те используют каналы, соседние с каналами аналоговых служб, из-за высокого уровня цифровых сигналов в зонах, где аналоговый сигнал относительно слабее.

Очевидно, что расходы на внедрение таких сетей будут намного больше, чем на внедрение традиционных сетей, из-за потребности в дополнительных передающих станциях.

#### **10.4.1.5 Краткосрочный сценарий 3 (S3): Использование "свободных каналов" в национальном или региональном масштабах**

В некоторых странах существует возможность, что в диапазоне УВЧ один или больше каналов будут освобождены для внедрения цифровых служб на национальной основе. В настоящее время эти каналы или не распределены для телевизионного вещания, или они распределены, но не используются телевизионными службами.

В некоторых европейских странах каналы УВЧ 61–69 используются военными или фиксированными службами. Существует перспектива, поддерживаемая изучениями СЕПТ, что некоторые или все эти каналы могут быть сделаны доступными для цифрового телевизионного вещания.

#### **10.4.1.6 Внедрение сетей ОЧС**

Ситуация такого рода предоставляет уникальный шанс для внедрения в национальном или региональном масштабе цифрового обслуживания, основанного на ОЧС. При этом обеспечивается возможность внедрения с самого начала по привлекательному долгосрочному сценарию.

Как правило, использование соответствующих каналов на общенациональной основе не будет возможно из-за соседних стран, которые, вероятно, используют эти каналы для аналоговых или других служб. Координация в таких случаях будет тяжелой, до тех пор пока соседи эксплуатируют эти каналы на основе многочастотных сетей.

По сравнению со стратегиями внедрения отдельных передатчиков или многочастотных сетей, при приеме на портативное оборудование охват будет больше вследствие большей однородности напряженности поля при ОЧС. Дополнительное увеличение плотности передатчиков путем ввода станций малой мощности с самого начала явилось бы вариантом национального или регионального охвата при приеме на портативное оборудование. Кроме того, это означало бы новые передающие станции, что увеличивает расходы на внедрение.

#### **10.4.1.7 Обычное планирование**

Если существующие условия не позволяют внедрить сети ОЧС (например, если в соседних странах уже имеется доступ к этим каналам и трудно скоординировать реализацию на одночастотной основе) или если режим ОЧС просто не предусмотрен долгосрочным сценарием, то свободные каналы могут использоваться в обычном режиме.

#### **10.4.1.8 Внедрение сетей ОЧС**

Некоторые исследования поддерживают широкое использование на ранней стадии методов одночастотных сетей в порядке подготовки к долгосрочной перспективе. Главным преимуществом ОЧС является то, что для покрытия больших зон требуется небольшое количество каналов. Действительно, теоретически для полного охвата национальной сетью может быть необходим только один канал. Равным образом во многих странах, предпочитающих такой вариант покрытия, могут существовать региональные сети. Кроме того, метод ОЧС улучшает прием на портативное оборудование.

Следует, однако, позаботиться о том, чтобы не слишком много внимания уделялось этому методу. Действительно, большая перегрузка аналоговыми системами диапазона УВЧ во многих случаях будет препятствовать или уменьшать возможности использования метода ОЧС, например применения каналов вблизи аналоговых. В некоторых ситуациях эти соображения могут привести к более простому внедрению цифрового телевидения с использованием обычного планирования.

#### **10.4.2 Долгосрочный период**

Внедрение цифрового наземного телевидения требует не только хороших перспектив на ближайшее будущее, но и должно быть рассмотрено с точки зрения долгосрочной стратегии (15–20 лет от начала).

На этой фазе потенциальные сценарии также можно разделить на три категории. Они включают две различные стратегии максимизации:

- сценарий L1: увеличивает до максимума размеры зон покрытия;
- сценарий L2: увеличивает до максимума количество программ в ограниченных зонах;
- сценарий L3: наземные цифровые передачи отсутствуют (взяты только для подготовки к дальнейшим размышлениям).

Компромиссы между этими крайностями здесь не рассматриваются.

##### **10.4.2.1 Долгосрочный сценарий 1 (L1): Максимальное увеличение размеров зон покрытия**

Сценарий L1 основан на одночастотных сетях.

###### **10.4.2.1.1 Большие зоны покрытия**

Как уже заявлялось, основным преимуществом ОЧС является то, что для покрытия больших зон требуется немного каналов. Действительно, теоретически для всей национальной сети может быть необходим только один канал. Планирование многочастотной сети потребовало бы нескольких каналов.

В случае ОЧС национальный охват может достигаться на одном и том же канале, с учетом ограничений, вызванных собственными помехами. Так как соседние страны будут требовать справедливого совместного использования спектра, то не все каналы могут быть использованы для национального охвата. Опыт планирования ОЧС для T-DAVB показывает, что, по крайней мере, в Западной Европе необходимо 6 или 7 каналов, чтобы обеспечить региональный/национальный охват во всех странах. Конечно, каналы от соседних стран могут быть повторно использованы для многих местных служб находящихся на определенном расстоянии от границы.

В диапазонах IV/V (каналы 21–60) может быть 8 каналов, доступных для национального охвата в каждой стране. В цифровом режиме с 4 программами на канал это означает 32 программы.

###### **10.4.2.1.2 Прием на портативное оборудование**

В качестве альтернативы большому количеству программ может быть предпочтен прием в широкой зоне на портативное оборудование, при этом доступная пропускная способность вместо обеспечения большого количества программ используется для достижения устойчивости.

#### **10.4.2.1.3 Прекращение работы аналоговых сетей**

В большинстве случаев нахождение свободного канала во всей широкой зоне означает закрытие существующих аналоговых станций, работающих на этом канале. Следовательно, сценарий L1 является сценарием непосредственного внедрения, но это означает прекращение аналоговых передач в заданное время и для этого необходимо твердое желание и хорошее управление в переходный период.

#### **10.4.2.2 Долгосрочный сценарий 2 (L2): Максимальное увеличение количества программ в ограниченных зонах**

Сценарий L2 применим, когда покрытие больших зон, таких как по сценарию L1, не является основной целью. В этом случае становятся доступными дополнительные возможности. Действительно, может быть следует задать вопрос, является ли охват на национальном уровне требованием только к наземному цифровому телевидению при наличии таких альтернативных средств доставки, как кабель или спутник.

Поэтому задачей мог бы быть охват городских зон, что ограничило бы необходимые капитальные затраты. В других местах население получало бы программы через спутник или какие-нибудь другие средства, хотя следует напомнить, что некоторые кабельные системы охватывают уже и сельские районы.

В таком случае задачей могла бы стать максимизация количества доступных программ, особенно для приема на портативное оборудование.

Сети ОЧС с широкими зонами (сценарий L1) требуют совместного использования доступных каналов с соседними странами, разделяя таким образом, как указывалось выше, общие возможности в доступном диапазоне частот.

По сценарию L2, там, где службы сконцентрированы в ограниченных зонах, возможные помехи между зонами с совмещенными каналами менее важны. В этих ограниченных зонах могут использоваться все каналы.

В диапазонах IV/V для местного охвата могут быть доступны примерно 40 каналов. В цифровом режиме с 4 программами на канал это означает 160 программ. Однако из-за высокой цифровой скорости, необходимой вследствие наличия четырех программ на канал, предполагается возможность увеличения размеров зон вблизи границ стран, где каналы пришлось бы делить между странами, а это означает, что тогда в таких зонах было бы доступно небольшое количество программ.

#### **10.4.2.3 Долгосрочный сценарий 3 (L3): Без наземного вещания**

Согласно этому сценарию внедрение служб DVB-T не начнется, а существующие аналоговые службы будут окончательно закрыты. Цифровые программы будут подаваться только через спутник или по кабельной сети. Сейчас этот сценарий выглядит маловероятным.

#### **10.4.3 Переходный период**

В течение переходного периода аналоговые и цифровые службы должны сосуществовать. В то время как ограничения на цифровую передачу следует уменьшать, сети следует модифицировать для расширения цифровой службы. Основной неопределенностью, связанной с этой фазой, является длительность переходного периода.

Любая резервная пропускная способность, которая может быть обнаружена во время переходного периода, будет использована главным образом для цифровой передачи. В тех странах, где количество доступных каналов недостаточно, охват, достижимый цифровыми службами, будет ограничен. Это ограничение усиливает проблему завершения переходного периода.

В данном разделе кратко излагаются некоторые пути снижения ограничений на цифровую передачу. Следует, однако, заметить, что увеличение помех аналоговым станциям в будущем может затруднить переоборудование этих станций в цифровые.

#### **10.4.3.1 Уменьшение защищенности аналоговых служб**

В общем случае можно предположить, что переходный период будет характеризоваться уменьшением важности покрытия аналоговыми службами, поскольку растет проникновение цифровых приемников. Это дает возможность постепенного уменьшения защищенности некоторых или всех аналоговых передатчиков, позволяя увеличить цифровой охват передатчиков большой мощности и/или ввести новые цифровые передатчики (несмотря на то, что в некоторых странах могут существовать правовые ограничения, которые могли бы препятствовать этому уменьшению охвата). Данный вариант развития представляет собой средство расширения в национальном, региональном или местном масштабе цифровых служб, основанных на многочастотных сетях.

Защищенность существующих аналоговых передач контролируется по трем основным параметрам:

- уровню ухудшения аналоговой службы из-за цифровой передачи: уровень помех измеряется через увеличение "используемой напряженности поля". Например, увеличение на 3 дБ соответствует ухудшению на полбалла по шкале качества МСЭ-R;
- проценту времени, в течение которого аналоговая передача защищена: как правило, 99% времени;
- проценту мест, где аналоговый прием защищается в его зоне обслуживания: как правило, это 50% (на краю зоны обслуживания).

Путем постепенного изменения упомянутых параметров возможности внедрения цифрового наземного телевидения будут увеличиваться. Они могли бы быть измерены в процентах увеличения охвата населения.

#### **10.4.3.2 Уменьшение количества защищаемых аналоговых передатчиков**

Прекращение работы аналоговых передатчиков или изменение их частот являются важными возможностями для улучшения цифрового охвата, позволяющими либо увеличить охват уже существующими цифровыми передатчиками, либо установить новые цифровые передатчики в местах размещения прекративших работу аналоговых передатчиков.

Поэтому может оказаться важным уменьшение количества аналоговых передатчиков, защищаемых на переходном этапе. Однако, вероятно, не все аналоговые передатчики должны удаляться без замещения, означающего дополнительные затраты при внедрении на аналоговое оборудование, которое будет ликвидировано в ближайшем будущем.

Другой вариант этого сценария возникает, если страна решает заменить национальную (или региональную, если регион достаточно велик) аналоговую службу с наземной на спутниковую. В частности, это может случиться, если страна намеревается обеспечить такое обслуживание в качестве цифрового через спутник. В этом случае свободная часть спектра может служить для расширения или внедрения одной или более региональных цифровых служб, основанных на многочастотных сетях.

Затраты на внедрение по последнему сценарию, вероятно, будут низкими, поскольку передающие инфраструктуры и приемные антенные системы уже существуют.

Относительно легкой должна быть и координация с соседними странами – новые цифровые передатчики находятся в тех же местах, где располагались уже согласованные аналоговые передатчики.

#### **10.4.3.3 Завершение внедрения сетей ОЧС**

Подобным эволюционным путем может быть завершено и преобразование краткосрочной ОЧС в долгосрочную. В этом случае установка новых передатчиков может быть необходима для повышения плотности сети, обеспечивающей более высокую степень приема на портативное оборудование.



По этому сценарию не предусматриваются много дополнительных усилий на координацию, поскольку каналы уже согласованы для всей зоны обслуживания, но необходимо обеспечить, чтобы дополнительные передатчики незначительно увеличивали уровень помех.

Расходы на внедрение – обычно это единственное, что необходимо для создания ОЧС.

Переход от бывших краткосрочных национальных ОЧС к долгосрочным региональным ОЧС, вероятно, не создаст никаких проблем, так как после фазы внедрения многие каналы доступны для цифровой службы в запланированных зонах покрытия.

#### **10.4.3.4 Преобразование многочастотных сетей в ОЧС**

Если страна внедряет свои цифровые службы на основе многочастотных сетей, но имеет цель использовать на долгосрочном этапе режим ОЧС, то ей придется столкнуться с трудным процессом преобразований.

Сеть может работать в режиме ОЧС только при условии, что ее канал свободен во всей зоне обслуживания. Если все еще существуют аналоговые службы, использующие этот канал (и, по всей вероятности, это будет продолжаться так долго, как долго будет находиться в эксплуатации какая-либо аналоговая служба), то в этом случае затронутые аналоговые передатчики следовало бы сдвинуть по частоте.

Среди этих передатчиков будут, конечно, и главные станции, осуществляющие охват значительной части населения. Довольно проблематичен вопрос о том, есть ли смысл (из-за больших экономических затрат вещательных компаний и потребителей) реконструировать аналоговую службу, которая вскоре будет ликвидирована. Однако возможны подходящие канальные конфигурации, которые делают такое преобразование практически реализуемым.

Если каналы, предусмотренные для ОЧС, полностью используются цифровыми передатчиками на основе многочастотных сетей, то такой переход выглядит менее проблематичным. Передатчики могут быть переведены со своих каналов многочастотной сети на канал ОЧС. Это приведет к некоторым затратам на установку передатчиков, потому что, как правило, каналы многочастотных сетей и ОЧС не будут располагаться поблизости и, возможно, что будет необходима перестройка приемных цифровых антенн.

С учетом национального/регионального охвата сетями ОЧС для этого сценария необходима координация со всеми соседними странами. Поскольку подходы к ОЧС и многочастотным сетям несовместимы, по крайней мере, в крупном масштабе, соседним странам необходимо договориться, какой из них будет использоваться. Вследствие этого ожидается, что при таком сценарии потребуются большие усилия по координации и понадобится много доброй воли для их успешного завершения. На практике может возникнуть необходимость в проведении Региональной конференции по планированию. Подготовка к ней заняла бы некоторое время и касалась бы соглашений с соседними странами, расположенными в других Районах.

---







\* 2 2 9 5 4 \*

Отпечатано в Швейцарии  
Женева, 2007 г.  
ISBN 92-61-09914-9