
Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р

2011

**СИСТЕМА ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM
В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ НИЖЕ 30 МГц.**

Технические основы

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ "О техническом регулировании", а правила применения национальных стандартов Российской Федерации - ГОСТ Р 1.0-2004 "Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения"

Сведения о стандарте

1. РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием ордена Трудового Красного знамени Научно-исследовательский институт радио.

2. ВНЕСЕН

3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от

4. Настоящий стандарт разработан с учетом нормативных положений Рекомендаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Р) и Европейского Института по стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI):

Recommendation ITU-R BS.1514-1 System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz.

Recommendation ITU-R BS.1615-1 Planning parameters» for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.

Recommendation ITU-R BS.1348-1 Service requirements for digital below 30 MHz.

ISO/IEC 23003-1: Information technology – MPEG audio technologies – Part 1: MPEG Surround

Standard ETSI ES 201980 v3.1.1 (2009-08) – Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification.

5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты", а текст изменений и поправок - в ежемесячно издаваемых информационных указателях "Национальные стан-

дарты". В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты". Соответствующая информация, уведомления и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины, определения, обозначения и сокращения.....	2
3.1 Термины и определения.....	2
3.2 Обозначения.....	3
3.3 Сокращения.....	4
4 Технические основы системы цифрового радиовещания DRM в диапазонах частот ниже 30 МГц.....	6
4.1 Краткое описание системы.....	6
4.2 Структура системы.....	6
4.3 Кодирование источника информации.....	9
4.4 Режимы передачи.....	10
4.4.1 Параметры, связанные с шириной полосы пропускания сигнала.....	10
4.4.2 Параметры, связанные с эффективностью передачи.....	11
4.4.2.1 Скорость кодирования и сигнально-кодовые конструкции.....	11
4.4.2.2 Параметры OFDM символов.....	11
5 Режимы кодирования источников.....	13
5.1 Кодирование аудиосигналов	13
5.1.1 Кодирование аудио AAC.....	13
5.1.2 MPEG CELP кодирование.....	15
5.1.3 MPEG HVXC кодирование.....	15
5.1.4 SBR кодирование.....	16
5.1.5 PS кодирование.....	16
5.1.6 Маскировка ошибок.....	17
5.1.7 Кодирование MPEG Surround (MPS).....	17
6 Определение мультиплекса.....	17
6.1 Состав мультиплекса.....	17
6.2 Канал основного сервиса	18
6.2.1 Структура канала.....	18
6.3 Канал быстрого доступа.....	18
6.3.1 Структура канала	18

6.3.2	Параметры канала.....	18
6.3.3	Параметры службы.....	19
6.3.4	Циклический контроль с избыточностью.....	20
6.3.5	Повторение FAC	20
6.4	Канал описания служб.....	21
6.4.1	Структура.....	21
6.4.2	Объекты данных.....	22
7	Канальное кодирование и модуляции.....	22
7.1	Адаптация передаваемого мультимплекса	22
7.2	Кодирование.....	23
7.2.1	Многоуровневое кодирование.....	23
7.3	Сигнальные созвездия и отображения.....	23
7.4	Применение канального кодирования.....	26
7.4.1	Кодирование MSC	26
7.4.2	Кодирование SDC	26
7.4.3	Кодирование FAC	27
7.5	Перемежение ячеек в канале MSC	27
8	Структура передачи.....	27
8.1	Структура фрейма передачи и режимы устойчивости.....	27
8.2	Параметры OFDM, связанные с распространением	29
8.3	Параметры ширины полосы частот сигнала.....	29
8.3.1	Определение параметра.....	29
8.3.2	Совместная передача.....	31
8.4	Пилотные ячейки.....	31
8.4.1	Функции и происхождение.....	31
8.4.2	Опорная частота.....	32
8.4.3	Опорное время.....	32
8.4.4	Опорное усиление.....	32
8.5	Ячейки управления.....	32
8.5.1	Общие положения.....	32
8.5.2	Ячейки FAC	33
8.5.2.1	Позиции ячеек.....	33
8.5.3	Ячейки SDC	33
8.5.3.1	Позиции ячеек.....	33

ГОСТ Р	
(Проект, 1-я редакция)	
8.6 Ячейки данных.....	34
8.6.1 Позиции ячеек.....	34
8.6.2 Ячейки усиления и фазы.....	34
Приложение А (информационное) Радиочастотные защитные отношения.....	35
Библиография.....	41

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМА ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM

В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ НИЖЕ 30 МГц.

Технические основы

**SYSTEM FOR DIGITAL BROADCASTING DRM
IN THE BROADCASTING BANDS BELOW 30 MHZ.**

Technical basis

Дата введения - _____

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на систему цифрового звукового радиовещания DRM в диапазоне частот ниже 30 МГц. Стандарт является основополагающим в серии стандартов по цифровому звуковому радиовещанию [12], [13] и устанавливает:

- основные технические характеристики системы цифрового звукового радиовещания DRM;
- структуру системы DRM;
- основные параметры OFDM сигнала для различных моделей устойчивости, отражающих условия распространения радиоволн в диапазонах частот ниже 30 МГц.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие нормативные документы:

ИСО/МЭК 23003-1 MPEG-D Part 1: MPEG Surround (Многоканальное кодирование моно, стерео с объёмным звучанием)

ИСО/МЭК 14496-3: Информационные технологии. Кодирование аудиовизуальных объектов. Часть 3: аудио (ISO/IEC 14496-3: Information technology – Coding of audio-visual objects – Part 3: Audio).

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно прове-

речь действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю "Национальные стандарты", который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

Ячейка (cell): Часть синусоидального колебания длительностью T_s , передаваемая с заданной амплитудой и фазой и соответствующей позиции несущей

Примечание - Каждый символ OFDM является суммой K таких частичек синусоидального колебания, равномерно смещенных по частоте.

энергетическое рассредоточение (скремблирование) (energy dispersal): Обработка, включающая детерминированное селективное дополнение битов в логическом фрейме с целью избежать систематического повторения комбинаций, приводящего к нежелательной регулярности передаваемого сигнала

канал быстрого доступа (Fast Access Channel) (FAC): Канал мультиплексного потока данных, который содержит информацию, необходимую для поиска служб и начала декодирования мультиплекса

кбит/с (kbit/s): Килобит в секунду (1000 битов в секунду)

логический фрейм (logical frame): Данные, содержащиеся в одном потоке длительностью 400 мс

канал основного сервиса (Main Service Channel) (MSC): Канал мультиплексного потока данных, который занимает большую часть фрейма передачи и который несет данные всех цифровых аудио служб вместе с данными вспомогательных и дополнительных служб

мультиплексный фрейм (multiplex frame): Фрейм, образованный логическими фреймами всех потоков

Примечание – Мультиплексный фрейм является существенной основой для кодирования и перемежения.

символ OFDM (OFDM symbol): Передаваемый сигнал, соответствующий промежутку времени, когда амплитуда модуляции и состояние фазы сохраняются постоянными для каждой из разнесенных несущих сигнала

зарезервировано для будущих добавлений (reserved for future addition) (rfa): Биты с таким обозначением устанавливаются в ноль

Примечание – Приемники не декодируют эти биты

зарезервировано для будущего использования (reserved for future use) (rfu): Биты с таким обозначением устанавливаются в ноль

Примечание – Приемникам необходимо проверить эти биты с целью определения действительного состояния других полей в том же самом просмотре

канал описания услуг (Service Description Channel) (SDC): Канал мультиплексного потока данных, который дает информацию для декодирования служб, включенных в мультиплекс

Примечание - SDC также содержит дополнительную информацию, которая позволяет приемнику определить альтернативные источники тех же самых данных.

одночастотная сеть (Single Frequency Network) (SFN): Сеть передатчиков, совместно использующих одну и ту же частоту для достижения большей зоны покрытия

фрейм передачи (transmission frame): Некоторое количество последовательных символов OFDM, причем первый символ OFDM содержит ячейки временной синхронизации

суперфрейм передачи (transmission super frame): Ряд последовательных фреймов передачи, причем первые символы OFDM содержат блок SDC

3.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$E[\]$	ожидаемая величина выражения в скобках
f_R	опорная частота излучаемого сигнала
K	число активных несущих в символе OFDM
K_{\max}	индекс верхней активной несущей в OFDM сигнале

K_{\min}	индекс нижней активной несущей в OFDM сигнале
T	элементарный период времени, равный $83^{1/3}$ мкс (1/12кГц)
T_f	длительность фрейма передачи
T_g	длительность защитного интервала
T_s	длительность символа OFDM
T_{sf}	длительность суперфрейма передачи, образованного рядом фреймов передачи
T_u	длительность полезной (ортогональной) части символа OFDM, исключая защитный интервал

3.3 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

AAC	Advanced Audio Coding – усовершенствованное аудио кодирование
AF	Audio Frequency – звуковая частота
AFS	Alternative Frequency Switching – переключение альтернативных частот
AM	Amplitude Modulation – амплитудная модуляция
BER	Bit Error Rate – частота битовых ошибок
CELP	Code Excited Linear Prediction – кодирование с линейным предсказанием
CRC	Cyclic Redundancy Check – циклический контроль с избыточностью
DAB	Digital Audio Broadcasting – цифровое звуковое радиовещание
DRM	Digital Radio Mondiale – всемирное цифровое радио
DSB	Double SideBand – двойная боковая полоса
EEP	Equal Error Protection – равная защита от ошибок
ER	Error Robust – устойчивость к ошибкам
FAC	Fast Access Channel – канал быстрого доступа
FEC	Forward Error Correction – прямое исправление ошибок путем введения избыточности
HF	High Frequency – высокая частота
FM	Frequency Modulation – частотная модуляция
HVXC	Harmonic Vector eXcitation Coding – гармоническое кодирование с векторным возбуждением
ISO	International Organization for Standardization – международная орга-

	низация по стандартизации
LF	Low Frequency – низкая частота
LPC	Linear Predictive Coding – кодирование с линейным предсказанием
MF	Medium Frequency – средняя частота
MPEG	Moving Picture Experts Group – группа экспертов по сжатию цифрового видео
MPS	MPEG Surround – стандарт сжатия многоканального аудио для объемного звучания
MSC	Main Service Channel – канал основного сервиса
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием
Pan	Panorama – панорама, обзор
PS	Parametric Stereo – параметрическое стерео
QAM	Quadrature Amplitude Modulation – квадратурная амплитудная модуляция
RF	Radio Frequency - радиочастота
rfa	reserved for future addition - зарезервировано для будущих добавлений
rfu	reserved for future use - зарезервировано для будущего использования
SA	Stereo Ambience –стерео окружение
SAC	Spatial Audio Coding – пространственное аудио кодирование
SBR	Spectral Band Replication – копирование спектральной полосы
SDC	Service Description Channel – канал описания услуг
SFN	Single Frequency Network – одночастотная сеть
SM	Standard Mapping – стандартное отображение
SPP	Standard Protected Part – часть со стандартной защитой
SSB	Single SideBand – одна боковая полоса частот
UEP	Unequal Error Protection – неравная защита от ошибок
VXC	Vector eXcitation Coding –кодирование с векторным возбуждением

4. Технические основы системы цифрового радиовещания DRM в диапазонах частот ниже 30 МГц.

4.1 Краткое описание системы.

Система DRM (Digital Radio Mondiale) предназначена для организации цифрового звукового радиовещания на любой частоте ниже 30 МГц, то есть в пределах следующих полос частот, выделенных для длинноволнового (от 148,5 кГц до 283,5 кГц), средневолнового (от 526,5 кГц до 1 606,5 кГц) и коротковолнового (от 2,3 МГц до 27 МГц) звукового радиовещания.

Для учёта различных ограничений на характеристики каналов и условий распространения в этих каналах используются различные режимы передачи. Режим передачи определяется параметрами передачи 2-х типов:

- Параметрами, связанными с полосой пропускания сигнала;
- Параметрами, связанными с эффективностью передачи данных.

Первый тип параметров определяет общую ширину полосы пропускания для одной передачи. Параметры, связанные с эффективностью передачи данных, допускают компромисс между емкостью (полезной битовой скоростью передачи данных) и устойчивостью к шумам, многолучевым распространением и доплеровским эффектом.

4.2 Структура системы.

4.2.1. Реализация системы DRM на передающей стороне функционально должна соответствовать структурной схеме, приведенной на рис.1.

4.2.2 Общий поток информации различных классов содержит:

- поток аудио данных;
- поток данных;
- информацию FAC-канала (Fast Access Channel);
- информация SDC-канала (Service Description Channel).

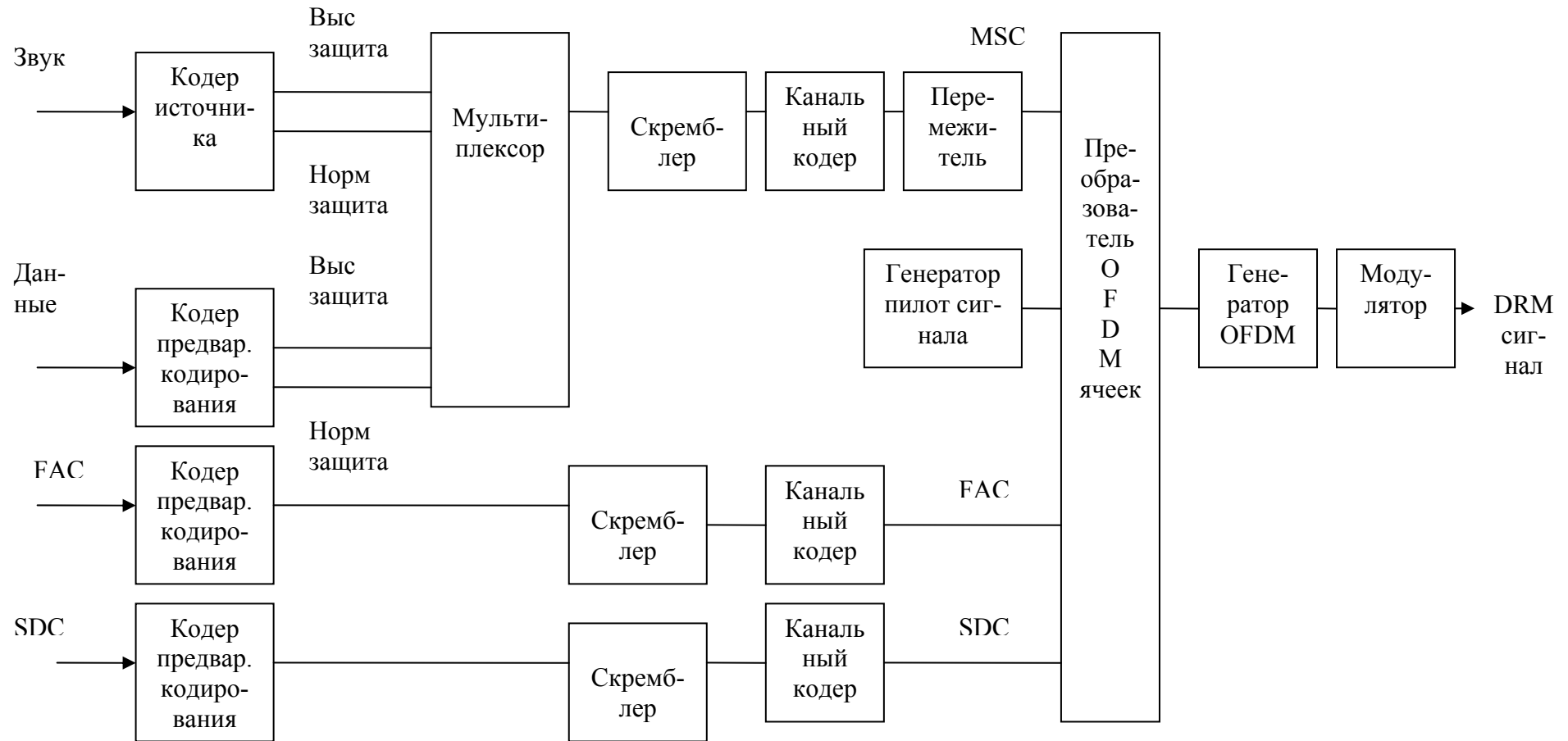


Рис.1 Структурная схема передающей части системы DRM

4.2.2.1. Поток аудио данных и поток данных содержат информацию канала основного сервиса MSC (Main Service Channel). В этом канале должна быть предусмотрена возможность использования зарезервированных сигналов для кодирования сигналов оповещения гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, принятых в российской Федерации.

Система оповещения населения должна обеспечивать работу в следующих режимах:

- Автоматизированный режим передачи информации или сигналов оповещения по командам, поступающим от автоматизированной системы оповещения (АСЦО). Данный режим работы является основным;

- Неавтоматизированный режим передачи информации или сигналов оповещения с подключением объекта на время передачи к каналам связи;

- Режим передачи речевой информации населению из студий радиовещания с перерывом программ вещания или (по решению постоянно действующих органов управления РСЧС) с рабочих мест дежурного персонала организаций связи, операторов связи, радиовещательных и телевизионных передающих станций;

- Режим передачи речевой информации населению из студий радиовещания, размещенных на запасных пунктах управления;

- В системе DRM для целей оповещения может формироваться дополнительный мультиплекс, соответствующий по параметрам основному мультиплексу. Этот дополнительный мультиплекс должен содержать во всех аудио и речевых каналах сообщения оповещения.

4.2.2.2. FAS канал (канал быстрого доступа) содержит информацию о параметрах радиочастотного спектра (ширина полосы, тип модуляции, тип кодирования), характер передаваемой информации (аудио/данные), указатель языка.

4.2.2.3. SDC канал (канал описания услуг) содержит информацию, относящуюся к условному доступу, программу передач, информацию об авторских правах, а также даёт сведения об альтернативных частотах, на которых передаётся та же программа.

4.2.3. Кодер источника и предварительные кодеры преобразуют входные потоки в соответствующий цифровой формат передачи. В случае исходного аудио кодирования функциональные возможности кодера источника включают методы эффективного сжатия аудио сигнала. Цифровые потоки с выхода кодера источника и предварительного кодера данных содержат две части, требующие различные уровни защиты от ошибок в соответствующем кодере канала. Все передаваемые виды информации должны использовать те же два уровня защиты (нормальная защита и высокая защита).

4.2.4. Мультиплексор комбинирует уровни защиты данных и аудио сигналов в канале передачи.

4.2.5. Скремблер обеспечивает псевдослучайную структуру кодовой последовательности, что уменьшает нежелательную регулярность в излучаемом сигнале.

4.2.6. Канальный кодер добавляет избыточную информацию как средство для квазибезошибочной передачи и определяет преобразование цифровой кодированной информации в ячейки QAM.

4.2.7. Перемежитель ячеек распределяет последовательные QAM ячейки в последовательность ячеек квазислучайным образом разделенных по времени и частоте, для того чтобы обеспечить устойчивую передачу в каналах, параметры которых изменяются от времени и частоты.

4.2.8. Генератор пилот-сигнала обеспечивает средство для получения в приёмнике информации о состоянии канала, что позволяет выполнить когерентную демодуляцию сигнала.

4.2.9. OFDM преобразователь объединяет все входящие цифровые потоки (MSC, FAC и SDC) и размещает их на частотно-временной сетке.

4.2.10. Генератор OFDM преобразует каждое множество OFDM ячеек в соответствующую временную область сигнала. Символ OFDM получают из этого представления во времени, последовательно вводя интервал защиты в виде циклического повторения части сигнала.

4.2.11. Модулятор преобразует цифровое представление сигнала OFDM в аналоговый сигнал в эфире. Это действие завершает цифро-аналоговое преобразование и после полосовой фильтрации обеспечивается требуемая форма спектра излученного сигнала.

4.3. Кодирование источника информации.

В соответствии с установленными правилами, ограничивающими полосу частот эфирных каналов в диапазоне частот ниже 30 МГц и параметрами применяемых методов кодирования и модуляции, скорость передачи информации в битах должна находиться в пределах от 8 Кбит/сек (половинные каналы) до 20 Кбит/сек (стандартные каналы) и до 72 Кбит/сек (сдвоенные каналы).

Для того, чтобы достигнуть оптимального качества при заданной скорости передачи информации в битах в системе должны использоваться следующие методы кодирования источника информации:

- Варианты MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding) – усовершенствованное аудио кодирование, включающее устойчивость к ошибкам для общего монофонического и стереофонического звукового радиовещания;

- Варианты MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction) – кодирование с линейным предсказанием для устойчивой к ошибкам передачи речи в монофоническом звуковом радиовещании в случаях, когда возможна только низкая скорость передачи информации или когда специально требуется высокая устойчивость к ошибкам;

- Варианты MPEG-4 HVXC (Harmonic Vector Excitation Coding) - гармоническое кодирование с векторным возбуждением для очень низкой скорости передачи речи и для устойчивой к ошибкам передачи речи в монофоническом звуковом радиовещании, особенно хорошо применимым для речевых баз данных;

- SBR – (Spectral Band Replication) – копирование спектральных полос - метод в аудио и речевом кодировании, который позволяет достигнуть полной ширины полосы пропускания аудио и речевых сигналов при низкой цифровой скорости. Этот метод применим для AAC, CELP и HVXC;

- PS - (Parametric Stereo) -параметрическое стерео, усовершенствованное средство аудио кодирования, которое позволяет обеспечить стерео кодирование при низкой скорости передачи;

- Метод MPEG Surround (MPS) – стандарт сжатия многоканального аудио для объёмного звучания - инструмент улучшения кодирования аудио, который позволяет учитывать многоканальное кодирование на низких битовых скоростях;

- Транспортный формат битового потока схем кодирования источника был модифицирован с целью удовлетворить требования системы DRM (формирование аудио суперфреймов). Для улучшения поведения системы в каналах, подверженных ошибкам, может использоваться неравная защита от ошибок (UEP).

4.4 Режимы передачи

4.4.1 Параметры, связанные с шириной полосы пропускания сигнала.

Ширина полосы эфирного канала в звуковом радиовещании в диапазоне частот ниже 30 МГц в соответствии с документом №140 МККР октябрь 1974г. и ВАРК ВЧРВ – 87 [10, 11] составляет:

- в диапазонах НЧ и СЧ – 9 кГц;

- в диапазоне ВЧ – 10 кГц.

Система DRM спроектирована для использования:

- В пределах указанных номинальных значений ширины полос, чтобы удовлетворить требования текущего положения частотного планирования;
- В пределах половины ширины указанных полос (4,5 кГц или 5 кГц) для того, чтобы обеспечить цифровое звуковое радиовещание совместно с аналоговым АМ вещанием;
- В пределах удвоенной ширины полос (18 кГц или 20 кГц) для обеспечения большей ёмкости передачи и только в тех случаях, когда ограничения частотного планирования допускают такую возможность.

4.4.2. Параметры, связанные с эффективностью передачи.

Для любого значения ширины полосы пропускания сигнала должны быть установлены параметры эффективности передачи, обеспечивающие возможность компромисса между полезной скоростью передачи информации в битах и устойчивостью к шуму, многолучевому распространению и эффекту Доплера.

Параметры эффективности подразделяются на два типа:

- параметры скорости кодирования и сигнально-кодовой конструкции, используемые для передачи данных;
- параметры символов OFDM, определяющие структуру символов OFDM, которая используется в зависимости от условий распространения в эфирных каналах.

4.4.2.1. Скорость кодирования и сигнально-кодовые конструкции

В зависимости от требуемого уровня защиты от ошибок, связанной с каждой сервисной информацией, должны обеспечиваться ряд опций, позволяющих достигнуть одного или двух уровней защиты.

Уровни защиты должны обеспечиваться либо выбором скорости кодирования кодера канала, либо выбором порядка сигнально-кодовой конструкции (например, 4QAM, 16QAM, 64QAM) или иерархической модуляцией.

4.4.2.2. Параметры символов OFDM

Для типичных условий распространения радиоволн в диапазонах частот ниже 30 МГц установлены следующие режимы помехоустойчивости, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Использование режимов помехоустойчивости

Режим помехоустойчивости	Типичные условия распространения
А	Гауссовский канал с незначительными замираниями
В	Частотные и временные избирательные каналы с разбросом длительных задержек
С	Как режим помехоустойчивости В, но с более сильным Доплеровским сдвигом
Д	Как режим помехоустойчивости В, но с большими задержками и Доплеровским сдвигом

При заданной полосе пропускания различные режимы помехоустойчивости должны обеспечивать различные доступные скорости передачи данных. Передаваемый сигнал содержит последовательность символов OFDM, каждый символ состоит из защитного интервала, за которым следует так называемая полезная часть символа. Каждый символ является суммой K отрезков синусоиды, равномерно разнесенных по частоте. Каждый отрезок синусоиды, называемый «ячейкой», передается с заданной амплитудой и фазой и соответствует позиции несущей. Каждая несущая обозначается индексом k , где k принадлежит интервалу $[k_{\min}, k_{\max}]$ ($k=0$ соответствует опорной несущей частоте передаваемого сигнала).

Временные параметры символов OFDM выражаются в виде множителей элементарного периода времени T , который равен $83 \frac{1}{3}$ мксек.

Для разных режимов помехоустойчивости временные параметры символов OFDM должны быть равными величинам, указанным в таблице 2.

Таблица 2 Параметры символов OFDM

Список параметров	Режим помехоустойчивости			
	A	B	C	D
T_s , (мкс)	$83\frac{1}{3}$	$83\frac{1}{3}$	$83\frac{1}{3}$	$83\frac{1}{3}$
T_u , (мс)	24 (288 x T)	$21\frac{1}{3}$ (256 x T)	$14\frac{2}{3}$ (176 x T)	$9\frac{1}{3}$ (112 x T)
T_g , (мс)	$2\frac{2}{3}$	$5\frac{1}{3}$	$5\frac{1}{3}$	$7\frac{1}{3}$
T_g/T_u	1/9	$\frac{1}{4}$	4/11	11/14
$T_s=T_u+T_g$, (мс)	$26\frac{2}{3}$	$26\frac{2}{3}$	20	$16\frac{2}{3}$
T_f , (мс)	400	400	400	400

5. Режимы кодирования источника.

5.1 Кодирование аудиосигналов.

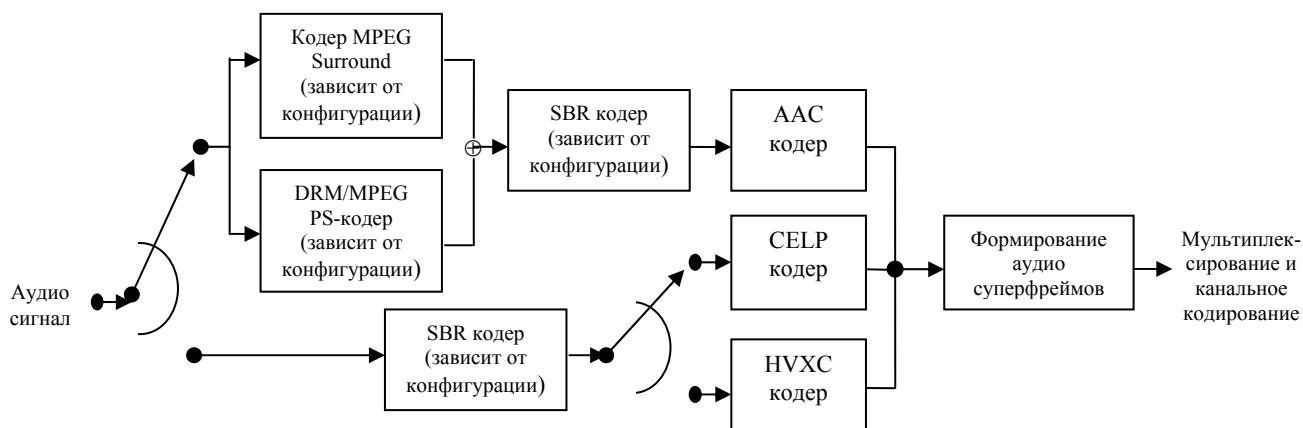
Варианты кодирования и декодирования сигналов в системе DRM показаны на рисунке 2.

5.1.1 Кодирование аудио AAC

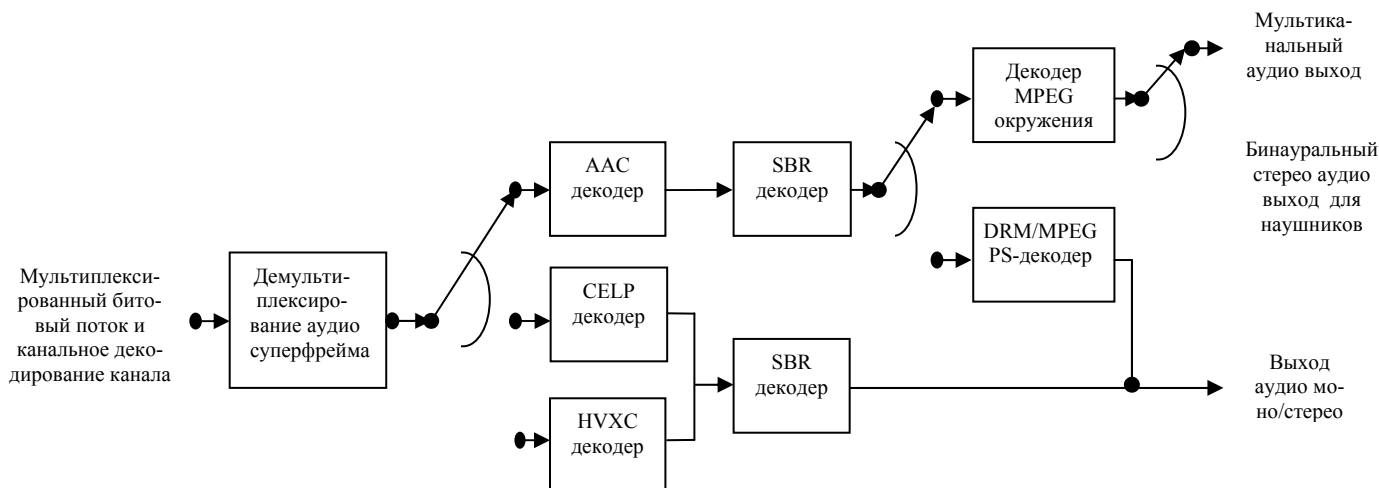
Для обобщенного кодирования аудио сигналов используется набор правил Advanced Audio Coding (AAC) стандарта MPEG-4 (документ ИСО/МЭК 14496-3), как наиболее подходящий для применения в системе DRM.

Конкретными особенностями реализации потока AAC в рамках системы DRM являются:

- AAC может использоваться на любой скорости. Установленная битовая скорость AAC равна 20 кбит/с для режимов устойчивости A, B, C, D;
- допустимые частоты дискретизации составляют 12 кГц и 24 кГц для режимов A, B, C и D.



а) Кодирование источников аудио сигналов в системе DRM



б) Декодирование источников аудио сигналов в системе DRM

Рисунок 2 - Кодирование и декодирование источников аудио сигналов

- длина преобразования составляет 960 отсчетов, так что один аудио фрейм соответствует по времени 80 или 40 мс (при частотах дискретизации 12 кГц и 24 кГц соответственно). Это требуется для увязки длин фреймов CELP и AAC так, чтобы аудио суперфрейм длительностью 400 мс (режимы устойчивости А, В, С и D) состоял из целого числа аудио фреймов;

- 5 или 10 аудио фреймов объединяются в один суперфрейм длительностью 400 мс. Аудио фреймы в аудио суперфреймах закодированы вместе таким образом, что каж-

дый аудио суперфрейм имеет постоянную длину, т.е. обмен битами между аудио фреймами возможен только в пределах одного аудио суперфрейма. Один аудио суперфрейм всегда размещается в одном логическом фрейме. Поэтому не требуется никакой дополнительной синхронизации для аудио кодирования. Внутри аудио суперфрейма происходит установление границ фрейма и установок UEP;

- применение UEP в битовом потоке AAC обеспечивает более устойчивую работу при высокой частоте битовых ошибок. Неравная защита от ошибок обеспечивает повышенную защиту от ошибок наиболее чувствительной к ошибкам части информации и нормальную защиту для оставшейся части информации.

5.1.2 MPEG-4 CELP кодирование

MPEG-4 CELP - (кодирование с линейным предсказанием, документ ИСО/МЭК 14496-3 версия 2) - речевое кодирование применяется для получения приемлемого качества передачи речи при битовых скоростях существенно ниже стандартных (например, работа на «половинной» скорости при 8 кбит/с). Использование этого речевого кодера позволяет:

- вместо одной аудио программы на скорости от 20 до 24 кбит/с передавать два или три речевых сигнала со скоростью от 8 до 10 кбит/с каждый, обеспечивая параллельные речевые передачи;

- передавать речевые программы в дополнение к аудио программе;

- обеспечивать более высокую защиту от ошибок в речевом канале при скорости кодирования 8 кбит/с.

Основными характеристиками MPEG-4 CELP кодирования являются:

- частоты дискретизации 8 или 16 кГц;

- битовые скорости от 4 до 20 кбит/с;

- устойчивость к ошибкам;

- объединение целого числа фреймов CELP в один аудио суперфрейм.

5.1.3 MPEG-4 HVXC кодирование

MPEG-4 HVXC (гармоническое кодирование с векторным возбуждением) - речевое кодирование используется в режимах устойчивости А, В, С и D для получения удовлетворительного качества передачи речи при очень низких битовых скоростях, например до 2 кбит/с. Рабочие битовые скорости HVXC открывают новые возможности системы DRM, такие как:

- речевые программы в дополнение к аудио программе;

ГОСТ Р

(Проект, 1-я редакция)

- многоязычное вещание;
- хранение множества программ в памяти, таких как новости, база данных приемника на карте расширения (например, на флэш-памяти объемом 4 Мб может храниться до 4,5 часов радиопрограмм);
- изменение масштаба времени для быстрого воспроизведения или просмотра хранящихся программ;
- передачи с высокой защитой от ошибок с использованием или без использования методов иерархической модуляции.

Основными характеристиками HVXC кодирования являются:

- частота дискретизации 8 кГц;
- битовые скорости 2 и 4 кбит/с для кодирования с фиксированной скоростью;
- временный масштаб и степень сжатия произвольных отклонений;
- поддерживается синтаксис защиты от ошибок, возможно использование механизма CRC для улучшения устойчивости битового потока HVXC в каналах, подверженных ошибкам;
- формирование постоянного целого числа фреймов HVXC (20) для аудио суперфрейма.

5.1.4 SBR кодирование

Метод SBR (копирование спектральной полосы) - использует метод копирования спектральной полосы для обеспечения приемлемого субъективного качества аудио и речевых сигналов при низких битовых скоростях.

Задачей SBR является воспроизведение высокочастотной части полосы частот аудио и речевых сигналов, которая не может быть воспринята кодером. Чтобы достичь этого наиболее подходящим способом, в битовом потоке должна передаваться некоторая дополнительная информация, которая использует некоторую долю битовой скорости, доступной кодеру. Эта дополнительная информация извлекается из полного аудио сигнала до его кодирования и обеспечивает воспроизведение высокочастотных составляющих после декодирования аудио/речи.

5.1.5 PS кодирование

Для повышения качества стерео сигнала при низких битовых скоростях применяется кодер Параметрического Стерео (PS). Средства параметрического стерео могут исполь-

зоваться в конфигурациях AAC+SBR (профиль AAC высокой эффективности MPEG). Общая идея PS кодирования состоит в том, чтобы передать данные, описывающие стерео картину, параллельно с моно сигналом в качестве дополнительной информации. Эта дополнительная стерео информация очень компактная и требует лишь незначительной доли цифрового потока, обеспечивая максимальное качество моно сигнала в рамках доступной общей битовой скорости.

5.1.6 Маскировка ошибок

Для каждого аудио кодера, а также для средств SBR и PS применяется маскировка ошибок, которая производится DRM декодером.

5.1.7 Кодирование MPEG Surround (MPS)

Кодер MPS используется для совместного моно/стерео многоканального кодирования. MPEG Surround стандартизован как MPEG-D, часть 1 (см. ИСО/МЭК 23003-1). Этот документ описывает:

- кодирование многоканальных сигналов на базе преобразованных вниз сигналов оригинального многоканального сигнала и связанных пространственных параметров. Используется самая низкая скорость для кодирования многоканальных сигналов, такая же, как для преобразованного вниз моно или стерео сигнала, включенного в поток данных. Следовательно, моно или стерео сигнал может быть дополнен к многоканальному в виде очень малых дополнительных данных;

- бинауральное декодирование потока MPEG Surround, дающее возможность прослушивать через наушники стереозвучание;

- улучшенный матричный режим, который допускает многоканальное преобразование вверх сигналов стерео без любых пространственных параметров.

Приемники, не поддерживающие многоканальное декодирование, могут декодировать немодифицированный моно или основной стерео сигнал.

6 Определение мультиплекса

6.1 Состав мультиплекса

Суперфрейм DRM передачи (мультиплекс) состоит из трех каналов: канал основного сервиса (MSC), канал быстрого доступа (FAC) и канал описания услуг (SDC). MSC содержит данные о службах. FAC предоставляет информацию о ширине канала и другие

подобные параметры, а также содержит информацию о выборе услуг для быстрого поиска программ. SDC несет информацию о том, как декодировать MSC, как найти альтернативные источники тех же данных, и атрибуты услуг внутри мультиплекса. Он также может включать ссылки на одновременно передаваемые аналоговые службы.

6.2 Канал основного сервиса

6.2.1 Структура канала

MSC (канал основного сервиса) содержит от одного до четырех потоков. Каждый поток разделяется на логические фреймы длиной 400 мс каждый. Аудио потоки содержат сжатый аудио сигнал и опционально могут нести текстовые сообщения. Потоки данных могут быть составлены из пакетов данных, содержащих информацию до четырех «частичных потоков». Аудио служба состоит из одного аудио потока и, опционально, из одного потока данных или одного частичного потока данных. Служба данных состоит из одного потока данных или одного частичного потока данных.

Каждый логический фрейм обычно состоит из двух частей, каждая со своим уровнем защиты. Длины каждой из частей устанавливаются независимо. Неравномерная защита от ошибок для потока обеспечивается установкой разного уровня защиты для этих двух частей.

6.3 Канал быстрого доступа

6.3.1 Структура канала

Каждый фрейм передачи содержит блок FAC. Блок FAC содержит параметры, которые описывают канал, и параметры, которые описывают одну или две службы, вместе с CRC (Cyclic Redundancy Check – циклический контроль с избыточностью).

Для режимов устойчивости A, B, C и D должен передаваться один набор параметров службы.

Если мультиплекс несет более чем одну службу, для описания всех служб требуется несколько блоков FAC.

6.3.2 Параметры канала

Канал имеет следующие параметры:

- флаг базовый/расширенный 1 бит;
- идентификация 2 бита;

- флаг RM	1 бит;
- занимаемый спектр	3 бита;
- флаг глубины переключения	1 бит;
- режим MSC	2 бита;
- режим SDC	1 бит;
- число служб	4 бита;
- индекс реконфигурации	3 бита;
- флаг переключения	1 бит;
- rfu	1 бит.

6.3.3 Параметры службы

Службы имеют следующие параметры:

- идентификатор службы	24 бита,
- краткий идентификатор	2 бита,
- индикатор аудио SA	1 бит,
- язык	4 бита,
- флаг аудио/данные	1 бит,
- описание службы	5 битов,
- индикатор SA данных	1 бит,
- rfa	6 битов.

Параметр «язык» должен содержать коды языков целевой аудитории, как показано в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 - Коды языков

Десятичный номер	Язык	Десятичный номер	Язык
0	Язык не указан	8	Хинди
1	Арабский	9	Японский
2	Бенгали	10	Яванский
3	Китайский (Мандарин)	11	Корейский
4	Голландский	12	Португальский
5	Английский	13	Русский
6	Французский	14	Испанский
7	Немецкий	15	Другой язык

Параметр «описание службы» должен содержать коды типов передаваемых программ согласно таблице 4.

Т а б л и ц а 4 - Коды типов программ

Десятичное число	Тип программы	Десятичное число	Тип программы
0	Нет типа программы	16	Погода/метеорология
1	Новости	17	Финансы/бизнес
2	Текущие события	18	Детские программы
3	Информация	19	Социальные вопросы
4	Спорт	20	Религия
5	Образование	21	Позвони
6	Драма	22	Путешествия
7	Культура	23	Отдых
8	Наука	24	Джаз
9	Разное	25	Кантри
10	Поп музыка	26	Национальная музыка
11	Рок музыка	27	Ретро музыка
12	Легкая музыка	28	Народная музыка
13	Легкая классическая	29	Документальное
14	Серьезная классическая	30	Не используется
15	Другая музыка	31	Не используется – пропустить индикатор

6.3.4 Циклический контроль с избыточностью

8-битовый циклический контроль с избыточностью (CRC) должен вычисляться с использованием параметров канала и службы. При этом должен использоваться полиномиальный генератор $G_8(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

6.3.5 Повторение FAS

Параметры канала FAS должны передаваться в каждом блоке FAS. Параметры службы FAS для одной или двух служб должны посылаться в каждом блоке FAS. Если необходимо более одного блока FAS для сообщения обо всех службах в мультиплексе, то для времени сканирования приемника существенную роль играет шаблон повторения. Когда все службы одного типа (например, все аудио или все данные), параметры всех служб должны передаваться последовательно. Если присутствует комбинация служб аудио и данных, должны передаваться шаблоны, показанные в таблице 5. В случае присутствия только одной службы и если блок FAS сообщает о двух наборах параметров служб, то оба набора должны иметь идентичное наполнение.

Т а б л и ц а 5 - Шаблоны повторения параметров служб для комбинации служб аудио и данных

Число аудио служб	Число служб данных	Шаблон повторения
		Блок FAC содержит один набор параметров службы
1	1	A1A1A1A1D1
1	2	A1A1A1A1D1A1A1A1 A1D2
1	3	A1A1A1A1D1A1A1A1 A1D2A1A1A1 A1D3
2	1	A1A2A1A2D1
2	2	A1A2A1A2D1 A1A2A1A2D2
3	1	A1A2A3A1A2A3D1

Здесь An означает аудио службу, а Dn означает службу данных.

6.4 Канал описания услуг

6.4.1 Структура

SDC блок в SDC данных содержится в одном передаваемом суперфрейме.

SDC рассматривается как одиночный канал данных. Общая величина отправляемых данных может требовать для отправки больше одного SDC блока. Поэтому AFS индекс позволяет приемнику знать, когда будет передана следующая часть текущего SDC блока и таким образом позволяет провести проверку и переключение для альтернативной частоты (AFS). Правильность функции обеспечена в FAC индикацией верен или нет AFS индекс, индицирующий приемнику, когда AFS функция может действовать.

SDC блок составлен следующим образом:

- AFS индекс – указывает количество сверхкадров передачи, отделяющих данный SDC блок от следующего с тем же содержанием. Таким образом осуществляется поиск альтернативных источников одинаковых программ;
- поле данных – служит для передачи данных SDC;
- CRC – кодовое слово служит для проверки наличия ошибок в блоке SDC;
- заполнение.

6.4.2 Объекты данных

В канале SDC передаются 15 типов данных:

- 0- описание мультиплекса;
- 1- маркировка программ;
- 2- параметры условного доступа;
- 3- информация о частотах радиосигналов DRM, AM, УКВ ЧМ, DAB;
- 4- список частот радиосигналов для быстрого поиска;
- 5- информация о применении; содержит описание всех передаваемых программ;
- 6- поддержка объявлений и переключений;
- 7- определение географических районов, для которых набор альтернативных частот обеспечен;
- 8- текущее время и дата;
- 9- описание параметров аудиоканалов, необходимое для их декодирования;
- 10- параметры каналов FAC;
- 11- данные установления связи, позволяющие находить альтернативные источники одинаковых программ;
- 12- язык вещания и страна;
- 13- сигнализация альтернативной частоты, детальное определение района;
- 14- параметры FEC (Forward Error Correction) – прямое исправление ошибок.

7 Канальное кодирование и модуляция

7.1 Адаптация передаваемого мультиплекса

Система DRM состоит из 3-х различных каналов, MSC (канал основного сервиса), SDC (канал описания услуг) и FAC (канал быстрого доступа). Из-за различия свойств этих каналов в них используются различные схемы кодирования и отображения. Общая схема процесса кодирования приведена на рисунке 3.

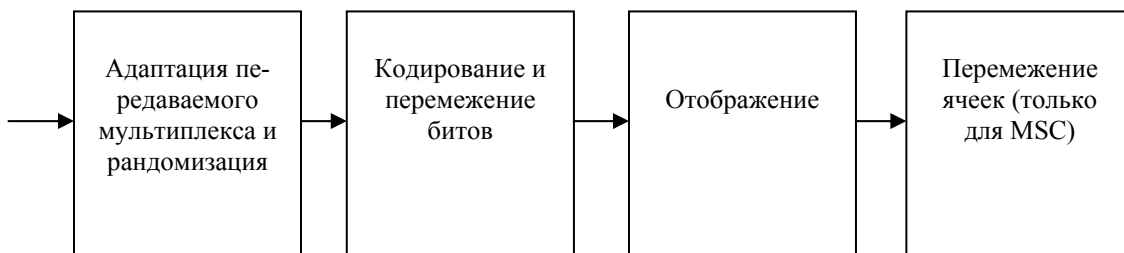


Рисунок 3 - Функциональная блок-схема кодирования и перемежения

Более подробно метод кодирования приводится в стандарте «Система цифрового радиовещания DRM в диапазонах частот ниже 30 МГц. Цифровой кодер-модулятор. Общие технические требования» (в разработке) [12].

7.2 Кодирование

При канальном кодировании сообщения, передаваемые в каналах MSC, FAC и SDC, обрабатываются независимо. Кодированию подвергаются кадры (фреймы) MSC, блоки FAC и SDC

7.2.1 Многоуровневое кодирование

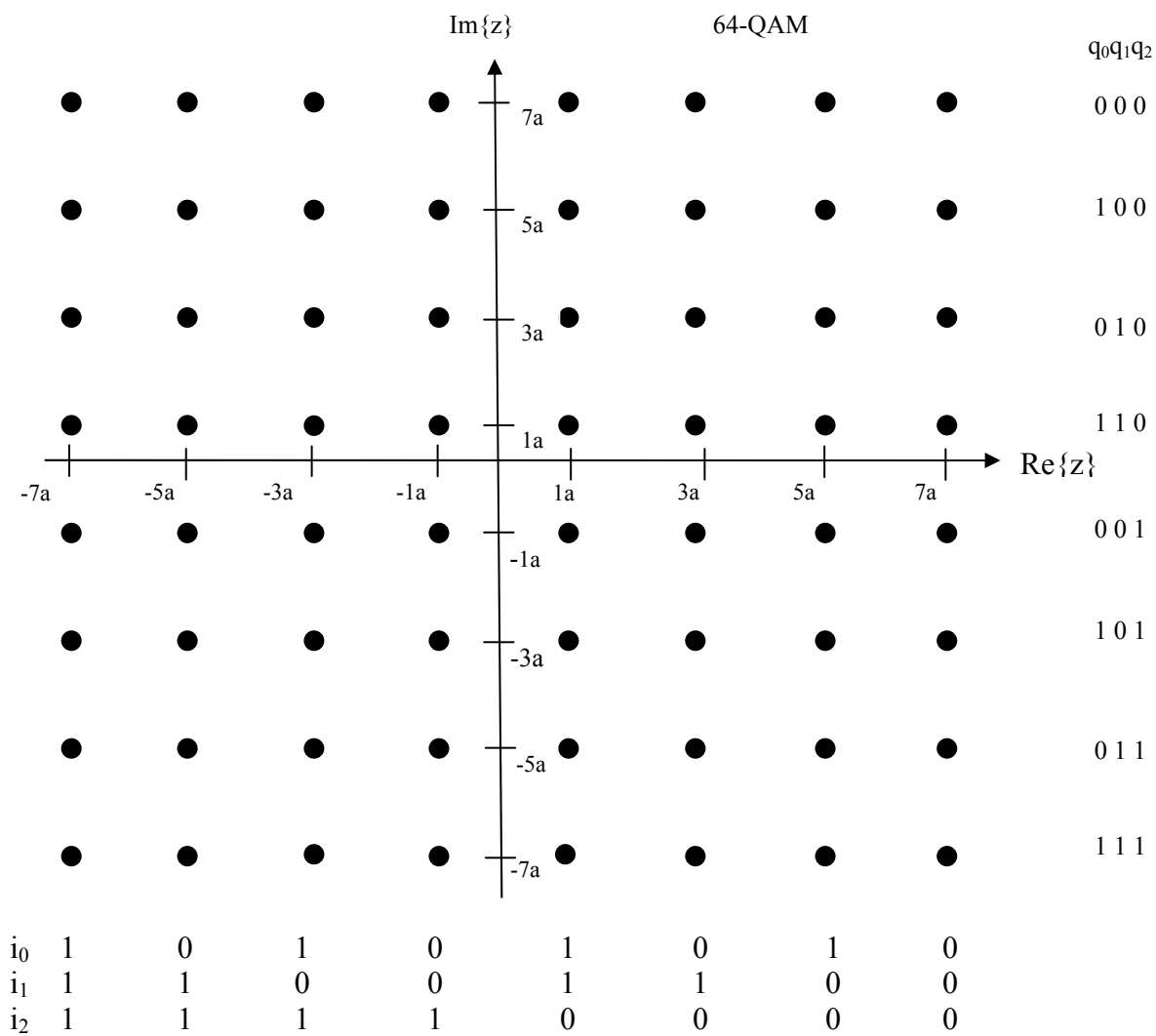
Процесс кодирования канала основан на многоуровневой схеме кодирования. Принцип многоуровневого кодирования - оптимизированное сочетание кодирования и модуляции для достижения лучших характеристик передачи. Различные уровни защиты достигаются при различных компонентах кода, которые реализуются перфорированными сверхточными кодами, полученными от того же самого материнского кода. Скорость кода может меняться в зависимости от требований к уровням защиты информации от ошибок. Затем производится временное перемежение битов. Это повышает устойчивость системы против групповых ошибок.

7.3 Сигнальные созвездия и отображение

После канального кодирования и перемежения битов производится преобразование информации в так называемые «QAM-ячейки».

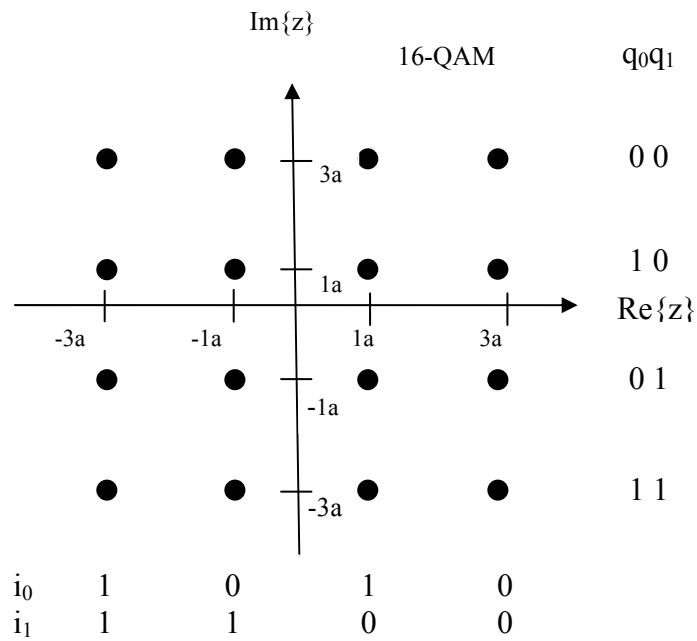
Стратегия отображения для каждой ячейки зависит от назначения канала (FAC, SDC, MSC) и режима устойчивости. Все ячейки данных имеют вид 4-QAM, 16-QAM либо 64-QAM.

Заданный по умолчанию метод должен обеспечивать отображение в соответствии с рисунками 4 – 6. Здесь y'_i – обозначает биты, представляющие символ комплексной модуляции z .



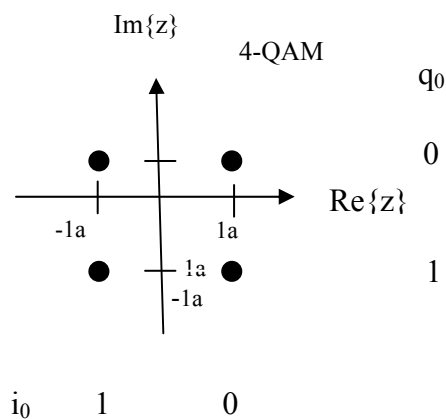
Порядок бит: $\{i_0 i_1 i_2 q_0 q_1 q_2\} = \{y'_0 y'_1 y'_2 y'_3 y'_4 y'_5\}$

Рисунок 4 – SM 64-QAM отображение с соответствующей битовой комбинацией



Порядок битов: $\{i_0 i_1 q_0 q_1\} = \{y'_0 y'_1 y'_2 y'_3\}$

Рисунок 5 – SM 16-QAM отображение с соответствующей битовой комбинацией



Порядок битов: $\{i_0 q_0\} = \{y'_0 y'_1\}$

Рисунок 6 – SM 4-QAM отображение с соответствующей битовой комбинацией

Примечание - Бит с левой стороны является первым по времени

Для 64-QAM, коэффициент нормализации: $a = \frac{1}{\sqrt{42}}$.

Для 16-QAM, коэффициент нормализации: $a = \frac{1}{\sqrt{10}}$.

Для 4-QAM, коэффициент нормализации: $a = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Поток данных на выходе перемешителя состоит из нескольких битовых слов, которые отображены как сигнальные точки на диаграмме сигнала, соответствующего комплексному числу z . Для SM диаграмма 64-QAM должна использоваться в соответствии с рисунком 4. Биты должны преобразовываться в соответствии с:

$$(y'_0 y'_1 y'_2 y'_3 y'_4 y'_5) = (y_{0,0} y_{1,0} y_{2,0} y_{0,1} y_{1,1} y_{2,1}).$$

Диаграмма 16-QAM должна применяться в соответствии с рисунком 5. Биты должны преобразовываться в соответствии с:

$$(y'_0 y'_1 y'_2 y'_3) = (y_{0,0} y_{1,0} y_{0,1} y_{1,1}).$$

Диаграмма 4-QAM должна применяться в соответствии с рисунком 6. Биты должны преобразовываться в соответствии с:

$$(y'_0 y'_1) = (y_{0,0} y_{0,1}).$$

7.4 Применение канального кодирования

7.4.1 Кодирование MSC

MSC может использовать 64-QAM либо 16-QAM преобразование в режимах устойчивости А, В, С и D. Для всех режимов устойчивости более сложное сигнальное созвездие обеспечивает более высокую спектральную эффективность, тогда как более простое сигнальное созвездие обеспечивает большую устойчивость к ошибкам.

7.4.2 Кодирование SDC

В канале SDC может использоваться либо 16-QAM либо 4-QAM преобразование с кодовой скоростью 0,5 для режимов устойчивости А, В, С, D. В каждом режиме устойчивости доступен выбор между большой пропускной способностью канала или более высокой устойчивостью к ошибкам. В каждом случае используется фиксированная кодовая скорость.

Сигнальное созвездие и кодовую скорость следует выбирать с учетом параметров MSC таким образом, чтобы обеспечить большую устойчивость для SDC чем для MSC.

При использовании иерархической модуляции SDC должно кодироваться с использованием 4-QAM.

7.4.3 Кодирование FAS

В канале FAS должно использоваться 4-QAM преобразование с кодовой скоростью 0,6 для режимов устойчивости A, B, C, D. Должна использоваться фиксированная кодовая скорость.

7.5 Перемежение ячеек в канале MSC

Перемежение QAM ячеек должно применяться в канале MSC после многоуровневого кодирования. Для режимов устойчивости A, B, C, D возможность выбора низкой или высокой глубины перемежения (обозначенное здесь как короткое или длинное перемежение) согласно прогнозируемым условиям распространения. Основные параметры перемежителя адаптированы к размеру мультиплексного фрейма.

Для каналов распространения ниже 30 МГц с умеренными замираниями (типично для распространения сигнала земной волны в диапазонах длинных и средних волн) короткое перемежение обеспечивает достаточное временное и частотное многообразие для правильного процесса дешифрования в приемнике.

Для каналов ниже 30 МГц, подверженным значительным временным и частотно-селективным замираниям, что типично для сигналов в КВ диапазоне, глубина перемежения может быть увеличена. Общая задержка процесса перемежения/деперемежения занимает приблизительно 2×400 мс, т.е. 800 мс для короткого перемежения для режимов устойчивости A, B, C, D. В случае длинного перемежения она соответствует примерно 2,4 сек. для режимов устойчивости A, B, C, D.

8 Структура передачи

8.1 Структура фрейма передачи и режимы устойчивости

Передаваемый сигнал организован в суперфреймы передачи. В режимах устойчивости A, B, C, D каждый суперфрейм передачи состоит из трех фреймов передачи. Каждый фрейм передачи имеет продолжительность T_f и состоит из N_s OFDM символов. Каждый OFDM символ образован совокупностью K несущих, передаваемых с длительностью T_s . Разнос между смежными несущими составляет $1/T_u$.

Продолжительность символа представляет собой сумму 2 частей:

- полезная часть с продолжительностью T_u ;
- защитный интервал с продолжительностью T_g .

Защитный интервал состоит в циклическом продолжении полезной части T_u , и введен перед ней.

OFDM символы во фрейме передачи пронумерованы от 0 до $N_s - 1$. Все символы содержат данные и справочную информацию.

Ввиду того, что сигнал OFDM состоит из многих отдельно модулированных несущих, каждый символ можно в свою очередь рассматривать как разделенным на ячейки, каждая ячейка соответствует модуляции одной несущей во время одного символа.

OFDM фрейм состоит из:

- пилотных ячеек;
- ячеек управления;
- ячеек данных.

Пилотные ячейки могут быть использованы для кадровой, частотной и временной синхронизации, оценки канала и идентификации режима устойчивости.

Передаваемый сигнал описывается следующим выражением:

$$x(t) = \operatorname{Re} \left\{ e^{j2\pi f_R t} \sum_{r=0}^{\infty} \sum_{s=0}^{N_s-1} \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} c_{r,s,k} \Psi_{r,s,k}(t)_k \right\}, \quad (111)$$

$$\text{где } \Psi_{r,s,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k}{T_u}(t-T_g-sT_s-N_s r T_s)} & (s + N_s r)T_s \leq t \leq (s + N_s r + 1)T_s \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases}, \quad (112)$$

и:

N_s – количество OFDM символов во фрейме передачи;

k – обозначает номер несущей ($=K_{\min}, \dots, K_{\max}$);

s – обозначает номер символа OFDM ($=0 \dots N_s-1$);

r – обозначает номер фрейма передачи ($=0 \dots \text{бесконечность}$);

K – число передаваемых несущих ($\leq K_{\max} - K_{\min}$);

T_s – продолжительность символа;

T_u – продолжительность полезной части символа;

T_g – продолжительность защитного интервала;

f_R – опорная частота радиочастотного сигнала;

$c_{r,s,k}$ – комплексная величина ячейки для несущей k в символе s фрейма номер r .

Значения $c_{r,s,k}$ зависят от типа ячейки.

Для ячеек данных и ячеек управления (MSC, SDC, FAC), $c_{r,s,k} = z$, где z - точка со-
звездия для каждой ячейки.

8.2 Параметры OFDM, связанные с распространением

Параметры OFDM должны быть выбраны исходя из условий распространения и
необходимой оператору зоны покрытия. Различные установки OFDM параметров опре-
деляются для различных условий распространения. Их значения приведены в таблице 6.

Та б л и ц а 6 - Числовые значения параметров OFDM

Режим ус- тойчивости	Длительность T_u , мс	Разнос несущих $1/T_u$, Гц	Длительность защитного интервала T_q , мс	Длительность символа $T_s = T_u + T_q$, мс	T_q/T_u	Число сим- волов во фрейме N_s
A	24	$41^{2/3}$	2,66	26,66	1/9	15
B	21,33	$46^{7/8}$	5,33	26,66	1/4	15
C	14,66	$68^{2/11}$	5,33	20	4/11	20
D	9,33	$107^{1/7}$	7,33	16,66	11/14	24

8.3 Параметры ширины полосы частот сигнала

8.3.1 Определение параметра

Параметры OFDM зависят от доступной полосы частот, числа несущих K и их ме-
стоположения относительно опорной частоты (названной DC, по аналогии с несущей,
используемой при аналоговых АМ передачах).

Занимаемый спектр определяет номинальную ширину полосы частот канала. Для
режимов устойчивости А, В, С, D группа несущих FAC всегда правее (выше по частоте)
по отношению к опорной частоте f_R , которая равна целому числу, кратному 1 кГц.

В таблице 7 приведены параметры занимаемого спектра, передаваемые в FAC, оп-
ределяющие номинальную ширину полосы частот канала, на рисунках 7 и 8 показано по-
ложение несущих для $f_R < 30$ МГц.

Наименование параметра	Занимаемый спектр					
	0	1	2	3	4	5
Полоса пропускания канала, кГц, режимы устойчивости А, В, С, D	4,5	5	9	10	18	20

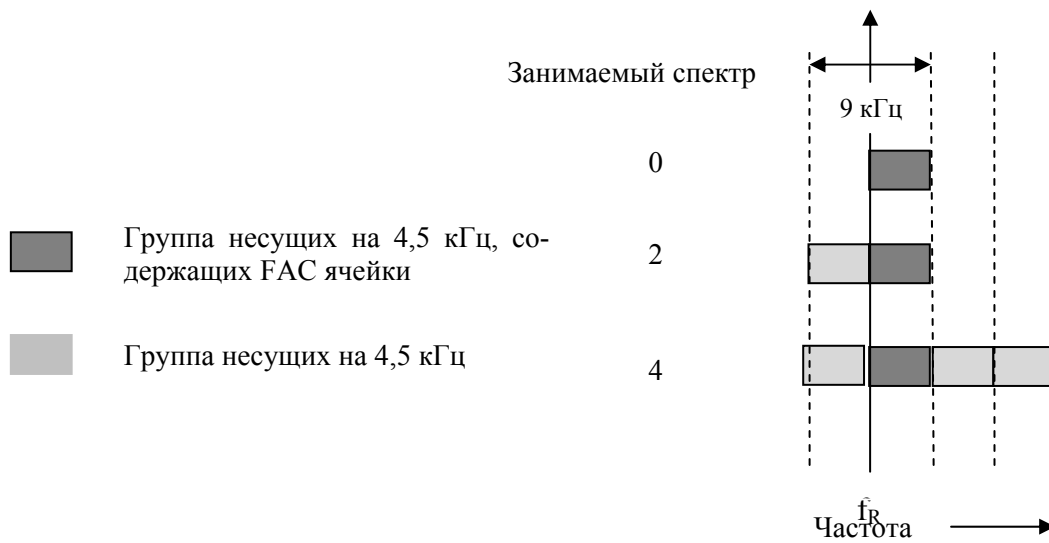


Рисунок 7 – Занимаемый спектр для 9 кГц каналов

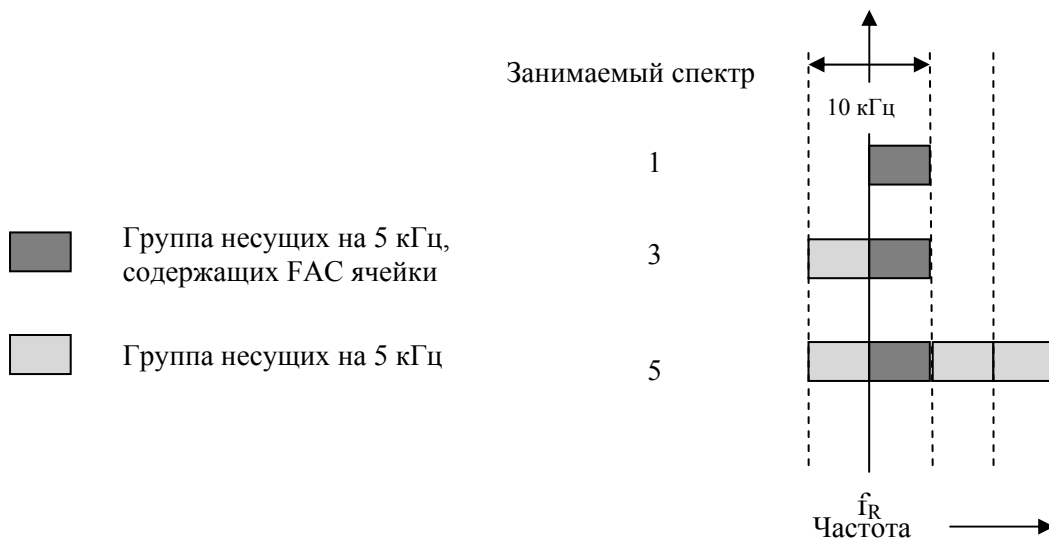


Рисунок 8 – Занимаемый спектр для 10 кГц каналов

Несущие индексированы как $k \in [K_{\min}, K_{\max}]$, $k = 0$ для опорной несущей DC и определены значениями, зависящими от выбора занимаемой полосы частот.

Несущие с $k < 0$ будут слева от DC, а с $k > 0$ - справа от DC.

В таблице 8 представлено минимальное и максимальное количество несущих для каждого режима устойчивости и номинальной полосы частот.

Т а б л и ц а 8 – Количество несущих для каждого режима устойчивости

Режим устойчивости	Несущая	Занимаемый спектр					
		0	1	2	3	4	5
А	K_{\min}	2	2	-102	-114	-98	-110
	K_{\max}	102	114	102	114	314	350
В	K_{\min}	1	1	-91	-103	-87	-99
	K_{\max}	91	103	91	103	279	311
С	K_{\min}	-	-	-	-69	-	-67
	K_{\max}	-	-	-	69	-	213
D	K_{\min}	-	-	-	-44	-	-43
	K_{\max}	-	-	-	44	-	135

8.3.2 Совместная передача

В режимах устойчивости А, В, С, D DRM сигнал предназначен для использования в тех же радиовещательных диапазонах, что и АМ сигналы. Совместная передача радиостанций, использующих DRM и АМ, может быть выполнена размещением рядом аналогового сигнала АМ (однополосная или двухполосная АМ) и цифрового DRM сигнала.

Ширина занимаемого спектра относится к характеристикам сигнала DRM. Вещатель может сообщить об одновременной передаче АМ сигнала при помощи альтернативного частотного сигнала.

8.4 Пилотные ячейки

8.4.1 Функции и происхождение

Некоторые ячейки внутри фрейма передачи OFDM промодулированы с известными фиксированными значениями фазы и амплитуды. Эти ячейки являются пилотными и служат для оценки и синхронизации канала. Позиции, амплитуды и фазы этих ячеек тща-

тельно выбраны для оптимизации параметров, особенно начальной длительности синхронизации и надежности.

8.4.2 Опорная частота

Эти ячейки используются приемником для того, чтобы обнаружить принимаемый сигнал и оценить его смещение (сдвиг) частоты. Они также могут быть использованы для оценки канала и отслеживания различных процессов.

8.4.3 Опорное время

Эти ячейки расположены в первом символе OFDM каждого фрейма передачи.

Ячейки опорного времени главным образом используются для обеспечения быстрого разрешения неопределенности с защитой временного отношения и частоты, нечувствительной к оценке времени поступления с периодичностью одного символа. Они используются для определения первого символа фрейма передачи. Они могут также использоваться для оценки сдвига частоты.

8.4.4 Опорное усиление

Ячейки опорного усиления используются главным образом для когерентной демодуляции. Эти ячейки разбросаны повсеместно по общей частотно-временной шкале и используются приемником для оценки реакции канала.

8.5 Ячейки управления

8.5.1 Общие положения

Имеются два типа ячеек управления:

- ячейки канала быстрого доступа (FAC), интегрированные в каждый фрейм передачи. Они используются для быстрого получения необходимой информации приемником для демодулирования сигналов DRM;

- ячейки служебного канала (SDC), которые повторяются в каждом суперфрейме передачи. Они содержат всю дополнительную информацию, которая описывает текущее состояние сервисных служб в данный момент. Ячейки SDC также используются для альтернативного переключения частоты (AFS).

На рисунке 9 приведено частотно-временное расположение этих сигналов.

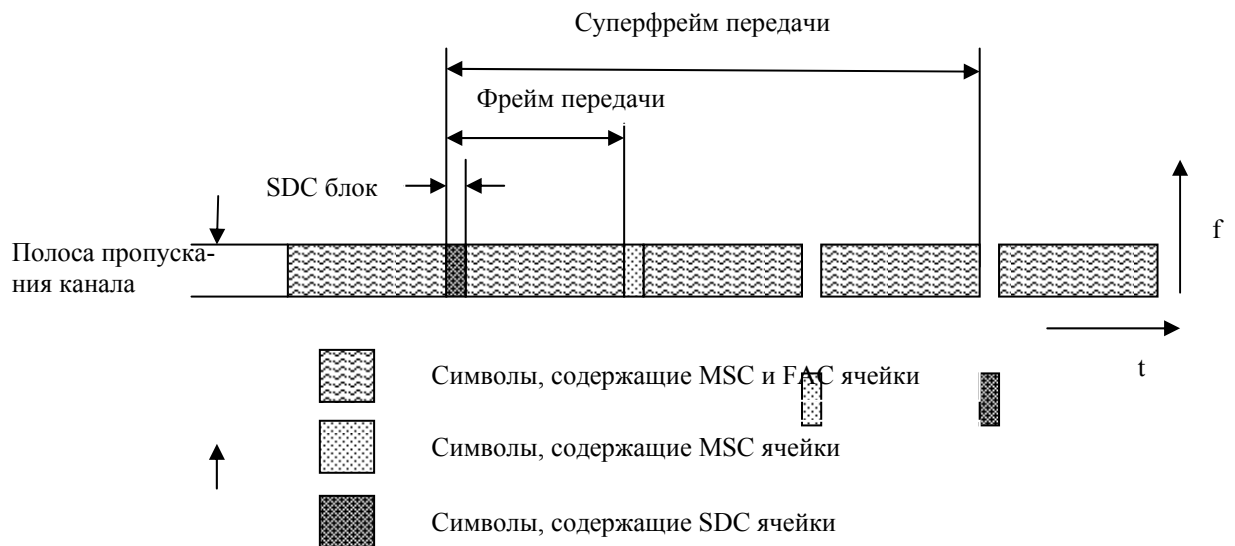


Рисунок 9 – Частотно-временное расположение FAC и SDC сигналов

8.5.2 Ячейки FAC

8.5.2.1 Положения ячеек

Ячейки, используемые для FAC- это ячейки, в которых нет информации ни об опорной частоте, ни об опорном времени и усилении, они не являются ячейками данных в символах, которые не содержат SDC. Ячейки FAC переносят высоко защищенные QAM символы, которые позволяют приемнику быстро обнаружить получаемый в данное время тип сигнала.

8.5.3 Ячейки SDC

8.5.3.1 Положения ячеек

Ячейками, используемыми для SDC, являются все ячейки в символах SDC, которые не несут информации ни об опорной частоте, ни об опорном времени, ни об опорном усилении, для которых $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ и k не принадлежит к совокупности неиспользованных несущих.

Для режимов устойчивости А и В, SDC символами являются 0 и 1 в каждом суперфрейме передачи. Для режимов устойчивости С и D, SDC символы - 0, 1 и 2 в каждом суперфрейме передачи.

8.6 Ячейки данных

8.6.1 Позиции ячеек

К ячейкам данных относятся все ячейки, не являющиеся ни пилотными, ни ячейками управления; для которых $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ и k не принадлежит к совокупности неиспользованных несущих. С помощью ячеек данных передаётся основная информация, содержащаяся в сигнале DRM.

8.6.2 Ячейки усиления и фазы

Величины $c_{r,s,k}$ являются нормированными величинами модуляции точки созвездия z согласно алфавиту модуляции, используемому для MSC (64-QAM или 16-QAM для режимов устойчивости A, B, C, D, см. рисунки 4, 5).

Приложение А (информационное)

Радиочастотные защитные отношения

Защитные отношения требуются для:

- АМ сигналов, интерферирующих с цифровыми сигналами DRM;
- DRM цифровых сигналов, интерферирующих с АМ сигналами;
- DRM цифровых сигналов, интерферирующих с DRM цифровыми сигналами.

Приведенные в данном приложении величины защитных отношений определяют также требования к параметрам радиочастотного тракта радиоприемников, как бытовых, так и контрольных (измерительных) согласно стандарту «Система цифрового радиовещания DRM в диапазонах частот ниже 30 МГц. Контрольный радиоприемник. Общие технические требования» (в разработке) [13].

Комбинации типов спектрального размещения и режимов устойчивости DRM сигналов приводят к различным РЧ спектрам передатчика, которые вызывают различные взаимовлияния и поэтому требуют различных РЧ защитных отношений. Применяемый метод вычислений описан в деталях в Рекомендации МСЭ-Р BS.1615. Различие в защитных отношениях для разных режимов устойчивости DRM довольно мало. Поэтому РЧ защитные отношения, представленные в следующих таблицах, ограничены режимом устойчивости В. Более подробные результаты вычислений можно найти в Рекомендации МСЭ-Р BS.1615.

В таблице А.1 представлены результаты вычисления для АМ сигналов, интерферирующих с DRM сигналами, в таблице А.2 – для DRM сигналов, интерферирующих с АМ сигналами. Эти величины вычислены для АМ сигналов с высокой компрессией. РЧ защитные отношения для DRM сигналов, интерферирующих с DRM сигналами, даны в таблице А.3. Корректирующие величины для DRM приема при использовании различных схем модуляции и уровней защиты, представлены в таблице А.4.

Значения в таблицах А.1 – А.4 представляют собой относительные РЧ защитные отношения ($A_{RF_relative}$). Для случая чистой АМ относительное защитное отношение есть разность в децибелах между защитным отношением, когда сигналы несущих желательного и нежелательного передатчиков имеют разность частот Δf Гц и защитным отношением, когда несущие этих передатчиков имеют одинаковую частоту (Рекомендация МСЭ-Р BS.560), т.е. соканальное РЧ защитное отношение A_{RF} , которое соответствует аудио частотному (AF) защитному отношению (A_{AF}). В случае цифрового сигнала их номинальной частотой вместо несущей частоты является значимая ве-

ГОСТ Р

(Проект, 1-я редакция)

личина для определения разности частот. Для спектрального размещения типов 2 и 3 номинальная частота соответствует центральной частоте OFDM блока, для типов 0 и 1 спектральная частота сдвигается на 2,2 кГц и 2,4 кГц соответственно, выше номинальной частоты.

Вследствие того факта, что спектр сигнала интерференции отличается от АФ спектра аналоговой АМ, значения для относительных РЧ защитных отношений в случае соканальной интерференции не равны нулю.

Для использования таблицы А.1 в заданном сценарии планирования АМ, релевантное АФ защитное отношение добавляется к значению в таблице, чтобы получить требуемое РЧ защитное отношение. Релевантные значения могут быть определены, принимая во внимание:

- для КВ, АФ защитное отношение равно 17 дБ, которое одобрено для HFBC планирования WARC HFBC-87 для сигналов АМ, интерферирующих с АМ сигналами;
- для ДВ/СВ АФ защитное отношение равно 30 дБ, которое одобрено Региональной Административной конференцией по радиовещанию в диапазонах ДВ/СВ для регионов 1 и 3 (Женева, 1975 г.) для АМ сигналов, интерферирующих с АМ сигналами.

Для DRM как полезного сигнала АФ защитное отношение, рассматриваемое как параметр качества обслуживания, заменяется на отношение сигнал/интерференция, требуемое для достижения определенной BER. Порог BER, равный 10^{-4} , принят для расчетов. Значения защитного отношения в таблицах А.2 и А.3 основаны на 64-QAM модуляции и защитном уровне

№ 1. Для других комбинаций корректирующие значения в таблице А.4 добавляются к значениям сигнал/интерференция, приведенным в таблице.

Т а б л и ц а А.1 – Относительные РЧ защитные отношения (дБ) для АМ сигналов, интерферирующих с DRM сигналами

Полезный сигнал	Мешающий сигнал	Разность частот													Параметры	
		$f_{\text{меш.}} - f_{\text{полез.}}$ (кГц)													B_{DRM} (кГц)	A_{AF} (дБ) (см. прим. 3 и 4)
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20		
АМ	DRM_B0 (см. прим. 1)	-50,4	-50,4	-49	-35,5	-28,4	6,4	6,6	-30,9	-46,7	-48,2	-50,4	-50,4	-50,4	4,5	-
АМ	DRM_B1 (см. Прим. 2)	-51	-50,5	-47,6	-32	-23,8	6	6	-31,1	-45,7	-47,4	-51	-51	-51	5	-
АМ	DRM_B2	-48,8	-46,9	-43,5	-34,4	-29,7	3,4	6,5	3,4	-29,7	-34,4	-43,5	-46,9	-48,8	9	-
АМ	DRM_B3	-47,2	-45,3	-41,9	-32	-25,9	3	6	3	-25,9	-32	-41,9	-45,3	-47,2	10	-

B_{DRM} – номинальная полоса частот DRM сигнала.
 DRM B0 – DRM сигнал, режим устойчивости В, спектральное размещение типа 0.

П р и м е ч а н и е 1 – Центральная частота передачи DRM_B0 сдвинута на 2,2 кГц выше номинальной частоты.
 П р и м е ч а н и е 2 – Центральная частота передачи DRM_B1 сдвинута на 2,4 кГц выше номинальной частоты.
 П р и м е ч а н и е 3 – Защитные РЧ отношения для АМ сигнала, интерферирующего с DRM сигналом, могут быть вычислены путем добавления подходящих AF защитных отношений согласно данному сценарию планирования, к значениям, приведенным в таблице.
 П р и м е ч а н и е 4 – Значения, представленные в этой таблице, относятся к АМ сигналам с высокой компрессией. Для совместимости с таблицей 2 та же самая глубина модуляции, а именно связанная с высокой компрессией, была принята для АМ сигнала. Чтобы обеспечить адекватную защиту АМ сигналам с нормальным уровнем компрессии (см. Рек. МСЭ-Р BS 1615)), каждое значение в таблице должно быть увеличено, чтобы учесть различие между нормальной и высокой компрессией.

Т а б л и ц а А.2 – Относительные РЧ защитные отношения (дБ) для DRM сигналов (64-QAM, уровень защиты № 1), interfering с АМ сигналами

Полезный сигнал	Мешающий сигнал	Разность частот $f_{\text{меш.}} - f_{\text{полезн.}}$ (кГц)													Параметры	
															B_{DRM} (кГц)	S/I (дБ)
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20		
DRM_B0 (см. Прим. 1)	АМ	-57,7	-55,5	-52,2	-46,1	-45	-36,2	0	-3,5	-30,9	-41,1	-46,9	-50,6	-53	4,5	4,6
DRM_B1 (см. Прим. 2)	АМ	-57,4	-52,2	-51,9	-45,9	-44,7	-36	0	-0,2	-22	-37,6	-46	-49,6	-52	5	4,6
DRM_B2	АМ	-54,6	-52,4	-48,8	-42,8	-33,7	-6,4	0	-6,4	-33,7	-42,8	-48,8	-52,4	-54,6	9	7,3
DRM_B3	АМ	-53,9	-53,9	-48	-39,9	-25	-3,1	0	-3,1	-25	-39,9	-48	-51,5	-53,9	10	7,3
<p>B_{DRM} – номинальная полоса частот DRM сигнала. DRM_B0 – DRM сигнал, режим устойчивости В, спектральное размещение типа 0. S/I – отношение сигнал/интерференция для BER 1×10^{-4}.</p>																
<p>П р и м е ч а н и е 1 – Центральная частота передачи DRM_B0 сдвинута на 2,2 кГц выше номинальной частоты. П р и м е ч а н и е 2 – Центральная частота передачи DRM_B1 сдвинута на 2,4 кГц выше номинальной частоты</p>																

Т а б л и ц а А.3 – Относительные РЧ защитные отношения (дБ) для DRM сигналов (64-QAM, уровень защиты № 1), интерферирующих с DRM сигналами

Полезный сигнал	Мешающий сигнал	Разность частот $f_{\text{меш.}} - f_{\text{полез.}}$ (кГц)													Параметры	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (кГц)	S/I (дБ)
DRM_B0	DRM_B0	-60	-59,9	-60	-55,2	-53,2	-40,8	0	-40,8	-53,2	-55,2	-60	-59,9	-60	4,5	16,2
DRM_B0	DRM_B1	-60,1	-60	-59,5	-52,5	-50,4	-37,4	0	-40	-51,6	-53,6	-59,8	-60	-60,1	5	15,7
DRM_B0	DRM_B2	-57,4	-55,7	-52,9	-46,7	-45,1	-36,6	0	-0,8	-35,6	-38,4	-47,7	-51,5	-53,6	9	13,2
DRM_B0	DRM_B3	-55,2	-53,6	-50,7	-44,5	-42,9	-33,1	0	-0,1	-13,6	-36,2	-45,5	-49,3	-51,4	10	12,6
DRM_B1	DRM_B0	-59,4	-59,5	-59,5	-55	-53	-40,8	0	-37,9	-51,7	-53,9	-59,4	-59,5	-59,4	4,5	16,2
DRM_B1	DRM_B1	-60	-60	-59,5	-52,8	-50,8	-37,8	0	-37,8	-50,8	-52,8	-59,5	-60	-60	5	16,2
DRM_B1	DRM_B2	-57,1	-55,4	-52,6	-46,4	-44,9	-36,4	0	-0,1	-13,7	-36,8	-46,6	-50,5	-52,7	9	13,2
DRM_B1	DRM_B3	-55,5	-53,8	-51	-44,8	-43,3	-33,5	0	-0,1	-8,1	-35,2	-45	-48,9	-51,1	10	13,2
DRM_B2	DRM_B0	-57	-56,8	-54,8	-43,4	-39,1	-0,7	0	-40,6	-52,2	-53,9	-57	-57	-57	4,5	15,9
DRM_B2	DRM_B1	-56,9	-56,1	-52,7	-40,2	-14,1	-0,1	0	-39,7	-50,8	-52,5	-56,9	-57	-57	5	15,4
DRM_B2	DRM_B2	-55,1	-53,1	-49,5	-40,7	-38,1	-3,7	0	-3,7	-38,1	-40,7	-49,5	-53,1	-55,1	9	15,9
DRM_B2	DRM_B3	-52,9	-51	-47,4	-38,6	-16,6	-3,2	0	-3,2	-16,6	-38,6	-47,4	-51	-52,9	10	15,4
DRM_B3	DRM_B0	-56,4	-56,2	-53,8	-41,1	-14,1	-0,1	0	-37,7	-50,9	-52,8	-56,4	-66,4	-56,4	4,5	15,9
DRM_B3	DRM_B1	-56,8	-55,7	-52,1	-38,2	-8,2	-0,1	0	-37,6	-50,1	-51,9	-56,7	-57	-57	5	15,9
DRM_B3	DRM_B2	-54,3	-52,3	-48,6	-39,3	-16,7	-3,1	0	-3,1	-16,7	-39,3	-48,6	-52,3	-54,3	9	15,9
DRM_B3	DRM_B3	-52,7	-50,7	-47	-37,7	-11,1	-3,1	0	-3,1	-11,1	-37,7	-47	-50,7	-52,7	10	15,9

B_{DRM} – номинальная полоса частот DRM сигнала.
 DRM_B0 – DRM сигнал, режим устойчивости В, спектральное размещение типа 0.
 S/I – отношение сигнал/интерференция для BER 1×10^{-4} .

Т а б л и ц а А.4 – Корректированные значения S/I в таблицах А.2 и А.3, которые будут использоваться для других комбинаций схем модуляции и уровней защиты

Схема модуляции	Уровень защиты, №	Средняя кодовая скорость	Корректированные значения (дБ) для DRM, режим устойчивости/тип спектр. Размещения	
			В/0 (4,5 кГц), В/1 (5 кГц)	В/2 (9 кГц), В/3 (10 кГц)
16-QAM	0	0,5	-6,7	-6,6
	1	0,62	-4,7	-4,6
64-QAM	0	0,5	-1,3	-1,2
	1	0,6	0	0
	2	0,71	1,7	1,8
	3	0,78	3,3	3,4

Библиография

1. Словарь ESB Tech. 3274 – Применение цифровой техники в телерадиовещании Part 3 EBU. December 1998
2. Англо-русский толковый словарь-справочник Невдяев Л.М. Телекоммуникационные технологии. Под ред. Ю.М. Горностаева М.; МЦНТИ, ООО «Мобильные коммуникации».2002-592с.
3. Рекомендация МСЭ-Р BS.1514-1 System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz.
4. Рекомендация МСЭ-Р BS.1348-1 Service requirements for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.
5. Рекомендация МСЭ-Р BS.1615-1. «Planning parameters» for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.
6. ETSI ES 201980 V3.1.1 (2009-08). Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification
7. ITU-R Recommendation BS.559-2 Objective measurement of radio-frequency protection ratios in LF, MF and HF broadcasting
8. ITU-R Recommendation SM.328-10 Spectra and bandwidth of emissions
9. ITU-R Recommendation SM.560 Radio-frequency protection ratios in LF, MF and HF broadcasting
10. МККР, октябрь 1974 г. Документ №140
11. ВАРК ВЧРВ-87 Всемирная административная радиоконференция по планированию ВЧ полос частот распределения радиовещательной службе. (Женева-87)
12. ГОСТ Р «Система цифрового радиовещания DRM в диапазонах частот ниже 30 МГц. Цифровой кодер-модулятор. Общие технические требования» (в разработке).
13. ГОСТ Р «Система цифрового радиовещания DRM в диапазонах частот ниже 30 МГц. Контрольный радиоприемник. Общие технические требования» (в разработке)

УДК _____

ОКС 33.170

Ключевые слова: Система DRM, цифровое звуковое радиовещание, кодирование аудио сигналов, технические основы.

Руководитель организации-разработчика
ФГУП Научно-исследовательский институт радио

Генеральный директор _____ Бутенко В.В.

Директор НТЦ Анализа ЭМС _____ Веерпалу В.Э.

Начальник отдела _____ Дотолев В.Г.

Руководитель
разработки
начальник сектора _____ Котикова Р.А.