ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 55938— 2014

ТЕЛЕВИДЕНИЕ ВЕЩАТЕЛЬНОЕ ЦИФРОВОЕ. МЕТОДЫ КАНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ И МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ СИСТЕМ КАБЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ (DVB-C2)

Основные параметры

ETSI EN 302 769 V1.1.1 (2010-04)
(NEQ)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательским институтом радио, Самарский филиал «Самарское отделение научно-исследовательского института радио»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 480 «Связь»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 января 2014 г. № 5-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений стандарта Европейского института по стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI) ЕТСИ EN 302 769 V1.1.1 (2010-04) «Телевидение вещательное цифровое. Методы канального кодирования и модуляции для второго поколения систем кабельного телевидения (DVB-C2)» [ETSI EN 302 769 V1.1.1 (2010-04) «Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)», NEQ]

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2015

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения, сокращения, обозначения и символы 1
4 Архитектура системы DVB-C2 8
4.1 Общее представление о Системе С2 8
4.2 Архитектура Системы 9
4.3 Заданная эффективность Системы С2 12
5 Входная обработка потоков данных 12
5.1 Режим адаптации потоков 12
5.2 Адаптация потока к каналу 20
6 Кодирование с перемежением битов и модуляция 22
6.1 Кодирование FEC 22
6.2 Параметры отображения битов в модуляционные созвездия 28
7 Формирование Пакета Слоя Данных 38
7.1 Пакеты Слоя Данных Тип 1 38
7.2 Пакеты Слоя Данных Тип 2 38
8 Формирование Символов Преамбулы сигнализации Layer1-part2 44
8.1 Краткий обзор 44
8.2 Параметры заголовка преамбулы 44
8.3 Данные сигнализации L1-part2 46
8.4 Кодирование с коррекцией ошибок и модуляция данных L1-part2 52
8.5 Перемежение времени данных сигнализации L1-part2 58
9 Формирование Кадра С2 60
9.1 Структура Кадра С2 60
9.2 Последовательность опорных пилот-сигналов 61
9.3 Символ Преамбулы 62
9.4 Формирование Слоя Данных 65
9.5 Слои Данных наполнения 71
9.6 Ввод пилот-сигналов 71
9.7 Резервирование фиктивных несущих 74
10 Формирование OFDM 74
10.1 Параметры модуляции OFDM 74
10.2 Характеристики спектра 76
Приложение А (обязательное) Синхронизатор входного потока 77
Приложение Б обязательное) Подсистема входного ремультиплексирования: Разделение входных транспортных потоков MPEG-2 на PLP данных;формирование Общего PLP группы PLP; вставка нулевых пакетов в транспортные потоки 79
Приложение В (обязательное) Вычисление слова CRC 84
Приложение Г (обязательное) Группирование PLP 85
Приложение Д (справочное) Регенерация транспортного потока и использование ISCR для восстановления тактовой частоты 87
Приложение Е (справочное) Шаблоны размещения пилот-сигнала 88
Библиография 92

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТЕЛЕВИДЕНИЕ ВЕЩАТЕЛЬНОЕ ЦИФРОВОЕ. МЕТОДЫ КАНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ И МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ СИСТЕМ КАБЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ (DVB-C2)

Основные параметры

Digital Video Broadcasting (DVB). Methods of channel coding and modulation for a second generation of cable television systems (DVB-C2). Basic parameters

Дата введения — 2014—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования и рекомендации к методам канального кодирования и модуляции для второго поколения систем кабельного телевидения DVB-C2.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 52210—2004 Телевидение вещательное цифровое. Термины и определения

ГОСТ Р 52591—2006 Система передачи данных пользователя в цифровом телевизионном формате. Основные параметры

ГОСТ Р 53528—2009 Телевидение вещательное цифровое. Требования к реализации протокола высокоскоростной передачи информации DSM-CC. Основные параметры

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, сокращения, обозначения и символы

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 52210, ГОСТ Р 52591, ГОСТ Р 53528, а также следующие термины с определениями:

3.1.1 **активная ячейка** (active cell): Ячейка OFDM, переносящая точку созвездия для сигнализации L1 или PLP.

3.1.2 **данные PLP** (data PLP): Полезные данные, переносимые PLP.

3.1.3 **заголовок преамбулы** (preamble header): Фиксированный формат данных сигнализации, размещенный в первой части преамбулы, переносящий параметры длины и перемежения Layer1-part 2.

Издание официальное

3.1.4 **идентификатор типа пакета** (packet identifier; PID): Тринадцатибитовый указатель в заголовке транспортного пакета, определяющий принадлежность пакета тому или иному потоку данных.

3.1.5 **интерфейс**: Семантическая и синтаксическая конструкция в коде программы, используемая для специфицирования услуг, предоставляемых классом или компонентом. Интерфейс определяет границу взаимодействия между классами или компонентами, специфицируя определенную абстракцию, которую осуществляет реализующая сторона.

3.1.6 **информация о службах** (Service Information; SI): Совокупность таблиц, которые передаются в составе транспортных потоков MPEG-2, предназначенных для вещания. К основным таблицам информации о службах относятся таблицы, характеризующие параметры сети передачи, компоненты служб: таблица объединения букета программ (Bouquet Association Table; BAT), таблица информации о событиях (Event Information Table; EIT), таблица состава программы (Program Map Table; PMT), таблица состояния событий (Running Status Table; RST), таблица описания служб (Service Description Table; SDT), таблица времени и даты (Time and Date Table; TDT), таблица смещения времени (Time Offset Table; TOT).

3.1.7 **Кадр C2** (C2 frame): Кадр фиксированного физического уровня TDM, который разделен на Слои Данных переменных размеров.

Примечание — Кадр C2 начинается с одного или нескольких Символов Преамбулы.

3.1.8 **Кадр FECFrame**: Последовательность N_{LDPC} (16 200 или 64 800) битов для одной операции кодирования LDPC.

Примечание — В случае применения Слоев Данных, переносящих один PLP, при постоянных параметрах модуляции и кодирования данные заголовка FECFrame могут передаваться средствами сигнализации Layer1-part2 , в этом случае пакет Слоя Данных идентичен **Кадру XFECFrame**.

3.1.9 **Кадр XFECFrame**: Кадр FECFrame, отображенный на созвездие QAM.

3.1.10 **код Боуза — Чоудхури — Хоквенгема** (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem; BCH): Семейство циклических двоичных кодов с исправлением ошибок. Длина кода n определяется выражением $2^m - 1$, где $m \geq 3$. Код позволяет исправлять t ошибок при условии увеличения длины кода на $(n - k_{bch})$ проверочных символов, где k_{bch} — количество информационных символов. Значение t определяется из условия $(n - k < mt)$.

3.1.11 **нулевой пакет** (null packet): Пакет MPEG с идентификатором Packet_ID, равным 0x1FFF.

Примечание — Нулевой пакет не несет данные полезной нагрузки и предназначен для заполнения.

3.1.12 **Общий PLP** (common PLP): Специальный PLP, который содержит данные, используемые несколькими PLP (транспортными потоками).

3.1.13 **Пакет Слоя Данных** (data slice packet): Кадр XFECFrame, включающий связанный с ним заголовок FECFrame.

3.1.14 **полоса режекции** (notch): Набор смежных ячеек OFDM в каждом символе OFDM, формирующих полосу режекции.

Примечание — В полосах режекции радиосигнал не излучается.

3.1.15 **рассредоточенные пилот-сигналы** (scattered pilots): Несущие, которые размещаются в ячейках, позиции которых в кадре OFDM изменяются от символа к символу.

Примечание — Позиции рассредоточенных пилот-сигналов характеризуют начало и окончание Слоев Данных.

3.1.16 **Символ Данных** (data symbol): Символ OFDM в Кадре C2 (не является Символом Преамбулы).

3.1.17 **Символ OFDM** (OFDM Symbol): Сигнал на выходе Системы C2, частотный спектр которого содержит все активные модулированные несущие на временном интервале Ts (общая длительность символа OFDM), включающем полезный сигнал и интервал защиты.

3.1.18 **Символ Преамбулы** (preamble symbol): Один или несколько символов OFDM, переданных в начале каждого Кадра C2.

Примечание — Символ Преамбулы переносит данные сигнализации L1-part2.

3.1.19 **символ созвездия** (constellation symbol): Характеризуется количеством передаваемых битов η^{MOD}, $\eta_{MOD}^{(i)}$.

3.1.20 **Система С2** (C2 system): Полный передаваемый сигнал Системы С2 в соответствии с Преамбулой, описанной в блоке L1-part2.

3.1.21 **Слой Данных** (data slice): Группа ячеек OFDM, переносящих один или несколько PLP в определенном поддиапазоне частот.

Примечание — Эта группа состоит из ячеек OFDM в постоянном диапазоне адресов ячеек в каждом Символе Данных полного Кадра С2, исключая Символы Преамбулы.

3.1.22 **ссылка на программные часы** (Program Clock Reference; PCR): Тридцатитрехбитовое число, оцениваемое в периодах частоты 90 кГц, вводимое на программном уровне индивидуально для каждой передаваемой телевизионной программы.

3.1.23 **транспортный поток**; ТП (transport stream; TS): Набор из нескольких программных потоков данных цифрового вещательного телевидения, сформированный из программных пакетов постоянной длины с коррекцией ошибок и независимым тактированием от своих источников синхронизации. Параметры транспортного потока определяются стандартом ISO/IEC [1] (2.4).

3.1.24 **элементарный период** (elementary period): Период времени, который зависит от выбора полосы пропускания канала и определяет другие периоды времени в Системе С2.

3.1.25 **ячейка данных** (data cell): Ячейка OFDM, которая содержит только данные и не является ни пилот-сигналом, ни тональной ячейкой резервирования.

3.1.26 **ячейка OFDM** (OFDM cell): Значение модуляции одной несущей OFDM на интервале одного символа OFDM, например, одной точки созвездия.

3.1.27 **ячейки фиктивные** (dummy cell): Ячейки OFDM, переносящие псевдослучайные значения, используемые для заполнения неиспользованной емкости, не применяются для сигнализации L1, PLP или вспомогательных данных.

3.1.28 **BBFrame** (BaseBand Frame): Формат входного сигнала, обработанный в режиме потоковой адаптации.

3.1.29 **BBHeader**: Заголовок поля данных основной полосы.

3.1.30 **BUFS**: Необходимый максимальный размер буфера приемника для компенсации изменения задержки.

3.1.31 **BUFSTAT**: Фактическое состояние буфера приемника.

3.1.32 **div**: Оператор целочисленного деления, определяемый:

$$x \text{ div } y = \lfloor x/y \rfloor$$

(с округлением результата деления x/y до целого положительного наибольшего числа, меньшего или равного x/y).

3.1.33 **FECFrame**: Последовательность N_{LDPC} (16 200 или 64 800) битов одной операции кодирования LDPC.

3.1.34 **Layer1**; L1: Наименование первого уровня схемы сигнализации системы DVB-C2 (сигнализация о параметрах физического уровня).

3.1.35 **Layer2**; L2: Наименование второго уровня схемы сигнализации системы DVB-C2 (сигнализация о параметрах транспортного уровня).

3.1.36 **L1 block**: Группа ячеек COFDM L1-part2, периодически повторяемых в частотной области (в полосе частот).

Примечание — Блоки L1 передаются в преамбуле.

3.1.37 **L1-part1**: Сигнализация о параметрах модуляции и кодирования, относящихся к Кадру XFEC, которая переносится в заголовке Пакетов Слоя Данных.

3.1.38 **L1-part2**: Сигнализация о параметрах Системы С2, Слоях Данных, полосах режекции и PLP, которая периодически передается в преамбуле.

3.1.39 **mod**: Оператор округления результата деления x/y до целого положительного наибольшего числа, меньшего или равного x/y, определяемый:

$$x \bmod y = x - y \lfloor x/y \rfloor.$$

3.1.40 **MPEG-2**: Стандарт кодирования видео и связанного с ним аудио в соответствии со стандартом ISO/IEC [1].

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

ТП (transport stream, TS) — транспортный поток (цифрового вещательного телевидения);

16QAM (16-ary Quadrature Amplitude Modulation) — 16-значная квадратурная амплитудная модуляция;

64QAM (64-ary Quadrature Amplitude Modulation) — 64-значная квадратурная амплитудная модуляция;

256QAM (256-ary Quadrature Amplitude Modulation) — 256-значная квадратурная амплитудная модуляция;

1024QAM (1024-ary Quadrature Amplitude Modulation) — 1024-значная квадратурная амплитудная модуляция;

4096QAM (4096-ary Quadrature Amplitude Modulation) — 4096-значная квадратурная амплитудная модуляция;

ACM (Adaptive Coding and Modulation) — кодирование и модуляция с переменными или с адаптивными параметрами;

BB (BaseBand) — основная полоса;

BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) — код Боуза — Чоудхури — Хоквенгема;

BICM (Bit Interleaved Coding and Modulation) — модуль с функциями кодирования с перемежением битов и модуляции;

CA (Conditional Access) — условный доступ;

CCM (Constant Coding and Modulation) — режим кодирования и модуляции с постоянными параметрами;

CRC (Cyclic Redundancy Check) — циклический контроль по четности;

DFL (Data Field Length) — длина поля данных;

DNP (Deleted Null Packets) — удаленные нуль-пакеты;

DVB (Digital Video Broadcasting) — цифровое телевизионное вещание;

DVB-C2 (Digital Video Broadcasting — Cable — Second Generation) — цифровое кабельное телевидение второго поколения;

DVB-S2 (Digital Video Broadcasting — Satellite — Second Generation) — цифровое спутниковое телевидение второго поколения;

EIT (Event Information Table) — таблица информации о событиях;

FEC (Forward Error Correction) — прямая коррекция ошибок;

FFT (Fast Fourier Transform) — быстрое преобразование Фурье;

FIFO (First In First Out) — алгоритм обслуживания [тип буфера] «первый вошел — первый вышел (обслужен)»;

GCS (Generic Continuous Stream) — универсальный непрерывный поток [пакетный поток переменной длины];

GI (Guard interval) — защитный интервал;

GS (Generic Stream) — поток универсальный (используется для обозначения группы универсальных потоков, включающей потоки: GCS, GSE, GFPS);

GSE (Generic Stream Encapsulation) — инкапсулированный универсальный поток;

HNM (high efficiency mode) — режим высокой производительности обработки вводимых данных;
HNM (high efficiency mode) — режим высокой производительности обработки вводимых данных;

IEC (International Electrotechnical Commission / Committee) — Международная электротехническая комиссия; МЭК;

ISCR (Input Stream Clock Reference) — опорная (эталонная) тактовая частота входного потока;

ISO (International Standards Organizations) — Международная организация по стандартизации;

ISSY (Input Stream SYnchronization) — поле синхронизация входного потока;

ISSYI (Input Stream SYnchronizer Indicator) — индикатор синхронизации входного потока;

ITU (International Telecommunications Union) — Международный союз электросвязи; МСЭ;

ITU-R (International Telecommunications Union — Radiocommunication Sector) — Сектор радиосвязи МСЭ;

ITU-T (International Telecommunications Union — Telecommunication Standardization Sector) — Сектор стандартизации электросвязи МСЭ;

LDPC (Low Density Parity Check) — код с малой плотностью проверок на четность;

MIS (Multiple Input Stream) — несколько входных потоков;

NM (normal mode) — нормальный режим обработки вводимых даных;

O-UP (Original User Packet) — исходный пакет пользователя;

O-UPL (Original User Packet Length) — исходная длина пакета пользователя;

PCR (Presentation Clock Reference) — представление опорной тактовой частоты;

PER (Transport Stream Packet Error Rate) — коэффициент пакетных ошибок;

PID (Packet Identifier) — идентификатор типа пакета;

PLP (Physical Layer Pipe) — канал физического уровня, который передается в одном или нескольких слоях данных;

PSI (Program Specific Information) — программно-зависимая информация;

QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) — квадратурная фазовая манипуляция;

SI (Service Information) — информация о службах;

SIS (Single Input Stream) — один входной поток;

TI (Time Interleaver) — перемежитель времени;

TS (Transport Stream) — транспортный поток (цифрового вещательного телевидения); ТП;

TSPS (Transport Stream Partial Stream) — ТП, переносимый через канал PLP данных;

TSPSC (Transport Stream Partial Stream Common) — ТП, переносимый через Общий PLP;

UP (User Packet) — пакет пользователя;

UPL (User Packet Length) — длина пакета пользователя;

XOR (Exclusive OR) — исключающее ИЛИ — логическая булева функция;

VCM (Variable Coding and Modulation) — кодирование и модуляция с изменяемыми параметрами

3.3 В настоящем стандарте применены следующие символы:

$\oplus$ —исключающее ИЛИ / операция сложения по модулю 2;

$\lfloor x \rfloor$ — округление числа x до целого наибольшего положительного числа, меньшего или равного x;

$\lceil x \rceil$ — округление числа x до наименьшего целого числа, большего или равного x;

$\in$ — символ принадлежности к множеству;

Δ — абсолютная продолжительность защитного интервала;

Λ — кодовое слово на входе кодера LDPC размером N_{ldpc};

λ_i — биты кодового слова LDPC;

λ^{RM} — 32 битовая последовательность на выходе кодера Рида—Мюллера;

— номер бита с индексом i в 32-битовой последовательности на выходе кодера Рида—Мюллера;

— количество передаваемых битов на символ созвездия (для PLP i);

π_p — оператор перестановки, определяющий группы битов четности, которые будут проколоты для сигнализации L1;

π_s — оператор перестановки, определяющий группы битов, которые будут дополнены для сигнализации L1;

$A_{m,l}$ — выходной вектор перемежителя частоты Символа OFDM l и Кадра C2 m;

A_{CP} — амплитуда ячеек непрерывных пилот-сигналов;

A_{SP} — амплитуда рассредоточенных ячеек пилот-сигналов;

$a_{m,l,q}$ — значение ячейки частного премежителя, индекс ячейки q, символа l Кадра C2 m;

$B(n)$ — расположение первой ячейки данных символа l, выделенное Слою Данных n в частотном перемежителе;

b — вектор данных сигнализации FECFrame длиной 16 битов;

$b_{e,do}$ — выход демультиплексора в зависимости от номера e демультиплексированного субпотока битов и входного номера d_i битов демультиплексора перемежителя;

b_i — номер бита c индексом i Кадра FECFrame длиной 16 бит вектора данных сигнализации;

C/N — отношение мощностей несущей и шума;

$C/N+I$ — отношение несущей и (шум + продукты интерференции);

C_i — столбец с индексом i перемежителя времени;

c_i — столбец с индексом i перемежителя бит;

$c_{m,l,k}$ — значение ячейки несущей k, символа l, Кадра C2 m;

D_P — разность индексов несущих между смежными несущими пилот-сигналов преамбулы (интервал между смежными пилот-сигналами);

D_X — интервал между несущими (индексами несущих) соседних пилот-сигналов (количество несущих между соседними рассредоточенными пилот-сигналами);

D_Y — количество символов между смежными рассредоточенными пилот-сигналами на данной несущей;

$d(x)$ — сообщение об остатке деления полинома g на генераторный полином $g(x)$ во время кодирования BCH;

d_i — номер входного бита демультиплексора перемежителя битов;

d_o — номер бита заданного потока на выходе демультиплексора перемежителя битов;

e — номер демультиплексированного бита ($0 \le e < N_{substreams}$), зависящий от номера входного бита d_i демультиплексора перемежителя битов;

f_q — нормализованная точка созвездия с энергией, равной 1;

G — матрица кодера Рида—Мюллера;

$g(x)$ — порождающий полином кода BCH;

$g_1(x)$, $g_2(x)$, …, $g_{12}(x)$ — полиномы для формирования порождающего полинома кода BCH;

g_q — индекс q комплекта ячейки пакета Слоя Данных;

$H(q)$ — функция перестановки частотного перемежителя, элемент q;

I — выходное кодовое слово кодера BCH;

i_j — биты кодового слова BCH, формирующие информационные биты LDPC;

K_{bch} — количество битов K_{bch} в некодированном блоке на входе кодера BCH;

K_i — параметр сигнализации L1-part2, выбираемый из условия:

$$N_{L1part2}(K_i) \le N_{L1part2_Cells} \times \eta_{MOD};$$

K_{ldpc} — количество битов в некодированном блоке LDPC;

$K_{L1_PADDING}$ — длина поля L1_PADDING;

$K_{L1part2}$ — длина поля сигнализации L1-part2, включая поле дополнения;

$K_{L1part2_ex_pad}$ — количество информационных битов в сигнализации L1-part2, исключая поле дополнения;

$K_{N,\min}$ — самый низкий индекс несущей частоты полосы режекции;

$K_{N,\max}$ — самый высокий индекс несущей частоты полосы режекции;

$K_{\min}$ — индекс низшей несущей частоты сигнала C2;

$K_{\max}$ — индекс высшей несущей частоты сигнала C2;

K_{sig} — количество битов блока FEC данных сигнализации L1-part2;

K_{total} — количество OFDM несущих на Символ OFDM;

k — абсолютный индекс несущей OFDM;

L_{data} — количество Символов Данных OFDM на Кадр С2, исключая преамбулу;

L_F — количество Символов OFDM в Кадре С 2, включая преамбулу;

L_P — количество Символов Преамбулы OFDM в Кадре С2;

l — индекс Символа OFDM в кадре С2, исключая преамбулу;

l_P — индекс Символа OFDM преамбулы в Кадре С2;

m — номер Кадра С2;

$m(x)$ — полином сообщения при кодировании BCH;

m_i — индекс i входного бита некодированного бит-вектора на входе кодера BCH;

M — некодированный бит-вектор на входе кодера BCH;

M_{max} — максимальная длина последовательности частотного перемежителя;

N_{bch} — количество битов в блоке, кодированном BCH;

N_{bch_parity} — количество битов четности BCH;

N_c — количество столбцов перемежителя битов или времени;

N_{data} — количество Ячеек Данных в Слое Данных в частотном перемежителе;

N_{DP} — количество комплектов ячеек в Пакете Слоя Данных;

N_{group} — количество групп битов укороченного BCH;

$N_{L1part2}$ — длина выколотого и укороченного кодового слова LDPC сигнализации L1-part2;

$N_{L1part2_Cells}$ — количество доступных ячеек для сигнализации L1-part2;

$N_{L1part2_FEC_Block}$ — количество блоков LDPC для сигнализации L1-part2;

$N_{L1part2_max_per\ Symbol}$ — максимальное количество битов информации для передачи кодированной сигнализации L1-part2 на Символ OFDM;

$N_{L1_TI_Depth}$ — глубина перемежения времени для сигнализации L1-part2;

N_{ldpc} — количество битов в блоке, кодированном кодером LDPC;

$N_{MOD_per_Block}$ — количество модулированных ячеек на блок FEC для сигнализации L1-part2;

N_{MOD_Total} — общее количество модулированных ячеек для данных сигнализации L1-part2;

N_{pad} — количество групп битов BCH, в которых все биты будут дополнены для сигнализации L1-part2;

N_{punc} — количество прокалываемых битов четности LDPC;

N_r — количество битов в последовательности частотного перемежителя;

N_r — количество строк перемежителя битов или времени;

$N_{substreams}$ — количество субпотоков, сформированных демультиплексором субпотоков битов;

n — количество Слоев Данных;

p_i — биты четности кода LDPC;

Q_{ldpc} — параметр кода LDPC (количество итераций), зависящий от скорости кода;

q — индекс ячейки данных в Символе OFDM перед операциями чередования частоты и вставки пилот-сигнала;

$R_{eff_16K_LDPC_1_2}$ — эффективная скорость кода 16K LDPC, имеющего номинальную скорость ½;

R_i — строка с индексом i перемежителя времени;

R_i — величина элемента i последовательности перемежения частоты после перестановки битов;

R'_i — величина элемента i последовательности перемежения частот до перестановки битов;

r_i — индекс строки перемежителя времени;

r_k — опорная последовательность, которая используется для DBPSK модуляции пилот-сигналов;

S_0 — список зарезервированных несущих;

T — элементарный период;

T_{Ci} — величина параметра «скрученного» столбца C перемежителя времени;

T_F — длительность Кадра С2;

T_P — период перемежения времени;

T_S — полная длительность символа OFDM;

T_{UI} — полезная длительность символа OFDM;

t — количество ошибок, исправляемых кодом BCH;

t_c — величина параметра «скрученного» столбца c перемежителя битов;

U — выход перемежителя четности;

u_i — входные биты перемежителя четности;

u^{RM} — 32-битовый выходной вектор блока циклической задержки в заголовке FECFrame;

$u^{RM}_{(1+2)}$ — выход блока циклической задержки для входного бита кодера заголовка FECFrame;

V — выход перемежителя «скрученных» столбцов;

v_i — выходные биты перемежителя «скрученных» столбцов;

$v_{m,l,i}$ — выходной вектор перемежителя частоты, индекс начальной несущей i (начальной несущей Слоя Данных) текущего Символа OFDM l и Кадра С2 m;

v^{RM} — скремблированная выходная последовательность в нижней ветви кодера заголовка FECFrame;

v^{RM}_i — бит i в скремблированной выходной последовательности в нижней ветви кодера заголовка FECFrame;

w_i — бит i в скремблирующей последовательности данных;

w^{RM} — 32-битовая скремблированная последовательность в нижней ветви кодера заголовка FECFrame;

w^{RM}_i — бит i в скремблированной последовательности в нижней ветви кодера заголовка FECFrame;

w_p — синхронизирующая последовательность пилота, формируется из w_i и w′;

w^p_k — бит с индексом k последовательности синхронизации пилот-сигнала;

w′ — специфическая последовательность синхронизации пилот-сигнала блока L1;

w'_i — бит с индексом k специфической последовательности синхронизации пилот-сигнала блока L1;

X_j — последовательность битов в группе j информационных битов BCH для укорачивания L1;

$X_{m,l}$ — Ячейки Данных Символа OFDM l и Кадра С2 m на входе частотного перемежителя;

x — адрес накопителя битов четности, соответствующий i360 в кодере LDPC;

z_q — точка созвездия перед нормализацией.

Символы s, t, i, j, k также используются в качестве фиктивных переменных и индексов в контексте некоторых пунктов или уравнений.

В общем случае параметры, имеющие фиксированное значение для конкретного PLP, для одного блока обработки (например, Кадр С2, кадр перемежения, блок TI), обозначены прописными буквами. Простые строчные буквы используются для индексов и формальных переменных.

Отдельные биты, ячейки или слова, обработанные на различных этапах формирования системы, обозначены строчными буквами с одним или несколькими нижними индексами.

4 Архитектура системы DVB-C2

4.1 Общее представление о Системе С2

Обобщенная модель формирования системы DVB-C2 (Системы С2) представлена на рисунке 1.

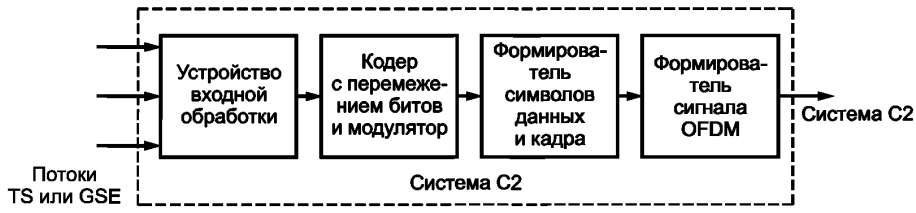


Рисунок 1 — Обобщенная модель формирования Системы С2

На входы устройства формирования Системы С2 подаются потоки данных (транспортные потоки MPEG-2 в соответствии со стандартом ISO/IEC [1] или универсальные потоки GSE в соответствии со стандартом ETSI [2]). Устройство входной обработки потоков преобразует логические потоки данных в каналы физического уровня (Physical Layer Pipe, PLP). Каналы PLP образуют группы PLP. Группа PLP содержит не менее одного PLP. Каждая группа PLP может содержать один Общий PLP. В том случае, когда в Системе С2 переносится единственный PLP, Общий PLP не формируется. Группы PLP не должны образовывать Общий PLP. Предполагается, что приемник всегда может принять один PLP данных и ассоциированный с ним Общий PLP (если он был предусмотрен).

Данные PLP преобразуются в ячейки данных. Последовательность ячеек данных преобразуется в параллельные слова ячеек с отображением этих слов в Символы Данных, определяющих значения созведия в Слое Данных. Система С2 может содержать несколько Слоев Данных.

Одновременно со Слоями Данных в Системе С2 формируется созвездие, образуемое блоками символов сигнализации L1, переносящими информацию о Системе С2 и о параметрах кодирования и модуляции, применяемых в Слоях Данных.

Совокупность Слоев Данных и блоков символов сигнализации L1 образует в частотно-временном пространстве Кадр С2.

На выходе Системы С2 формируется радиочастотный сигнал, необходимый для передачи в кабельную распределительную сеть.

Общий объем потоков данных (информационная емкость общего входного сигнала) на входе Системы С2 (после удаления нулевых пакетов и выполнения процедур кодирования и модуляции) не должен превышать полной пропускной способности Кадров С2 за интервал времени, равный продолжительности одного Кадра Системы С2. В общем случае, в группе статистически мультиплексированных служб для различных служб может использоваться кодирование и модуляция с переменными (различными) параметрами (Variable Coding and Modulation; VCM), если формируемые общие данные имеют постоянный объем в пересчете на скорость в ячейке, включая FEC и модуляцию.

При передаче входных транспортных потоков MPEG-2 через группу PLP разделение входных ТП на потоки TSPS (переносимых через данные PLP) и поток TSPSC (переносимых через Общий PLP) в соответствии с приложением Б должно быть выполнено непосредственно перед устройством входной обработки, показанном на рисунке 1. Эта обработка является неотъемлемой частью расширенной системы DVB-C2.

4.2 Архитектура системы

Сигнал на выходе Системы С2 формируется совокупностью модулей входной обработки, кодирования, модулей перемежения битов и модуляции, модулей формирования Пакетов Слоев Данных, модулей сигнализации о параметрах кодирования и модуляции, модулей формирования кадров и формирования OFDM сигнала. Блок-схемы перечисленных подсистем показаны на рисунках 2—5.

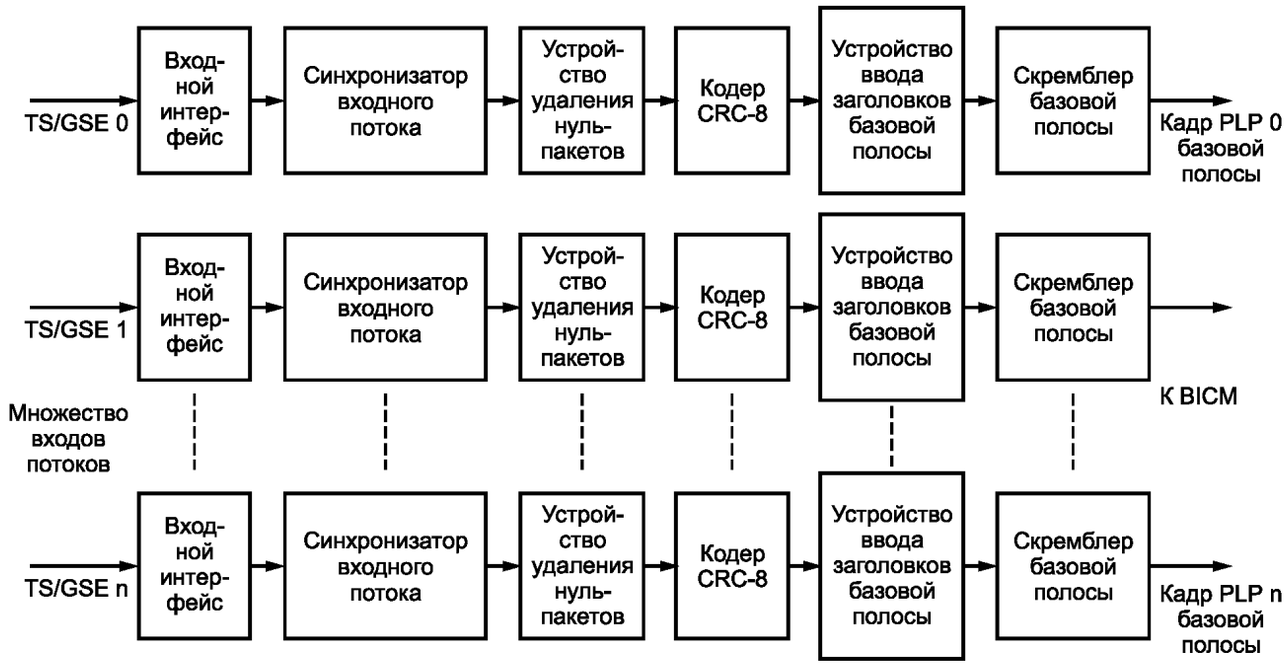


Рисунок 2 — Блок-схема подсистемы адаптации множества входных потоков

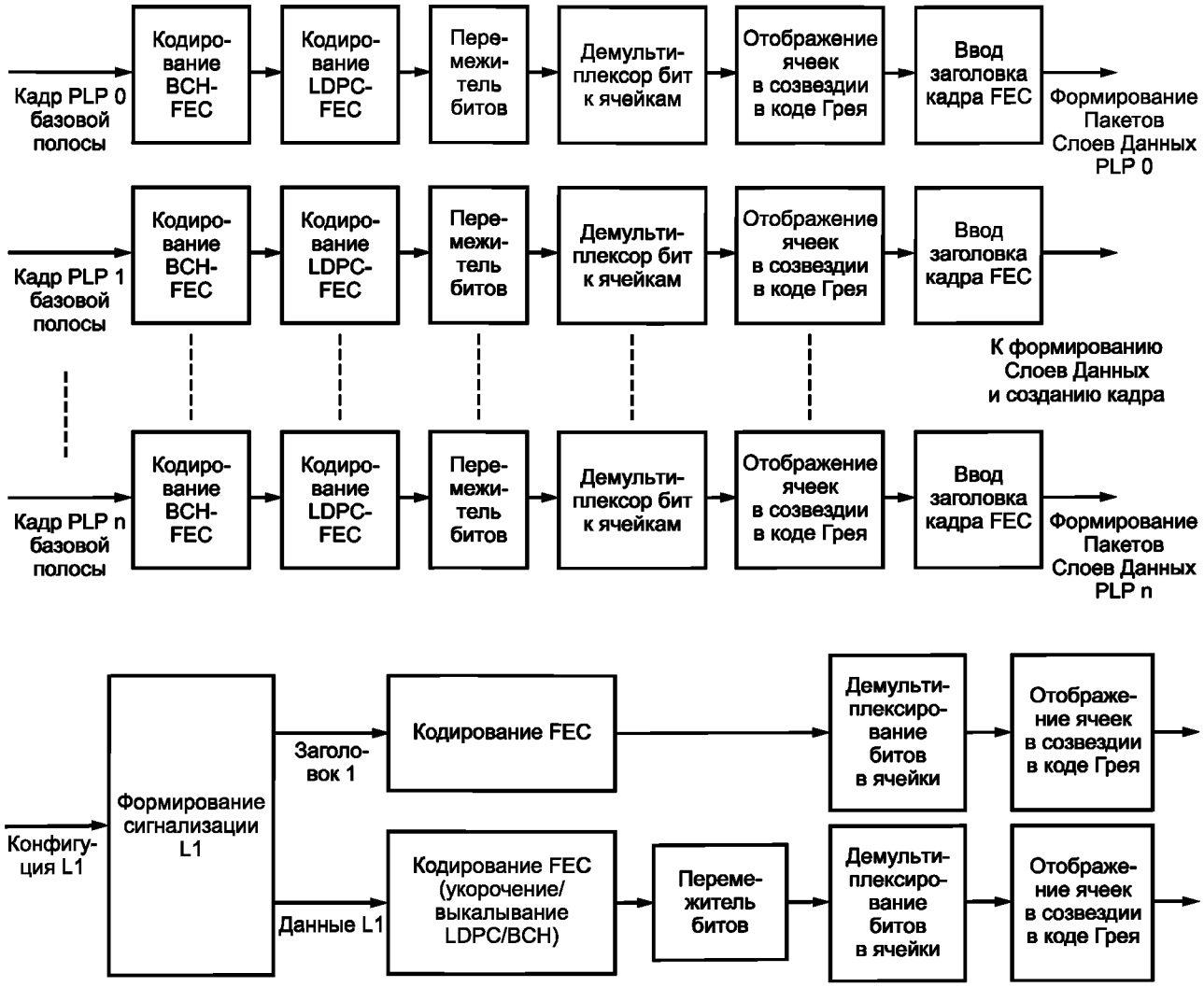


Рисунок 3 — Блок-схема подсистемы с функциями кодирования с перемежением битов и модуляции (BICM)

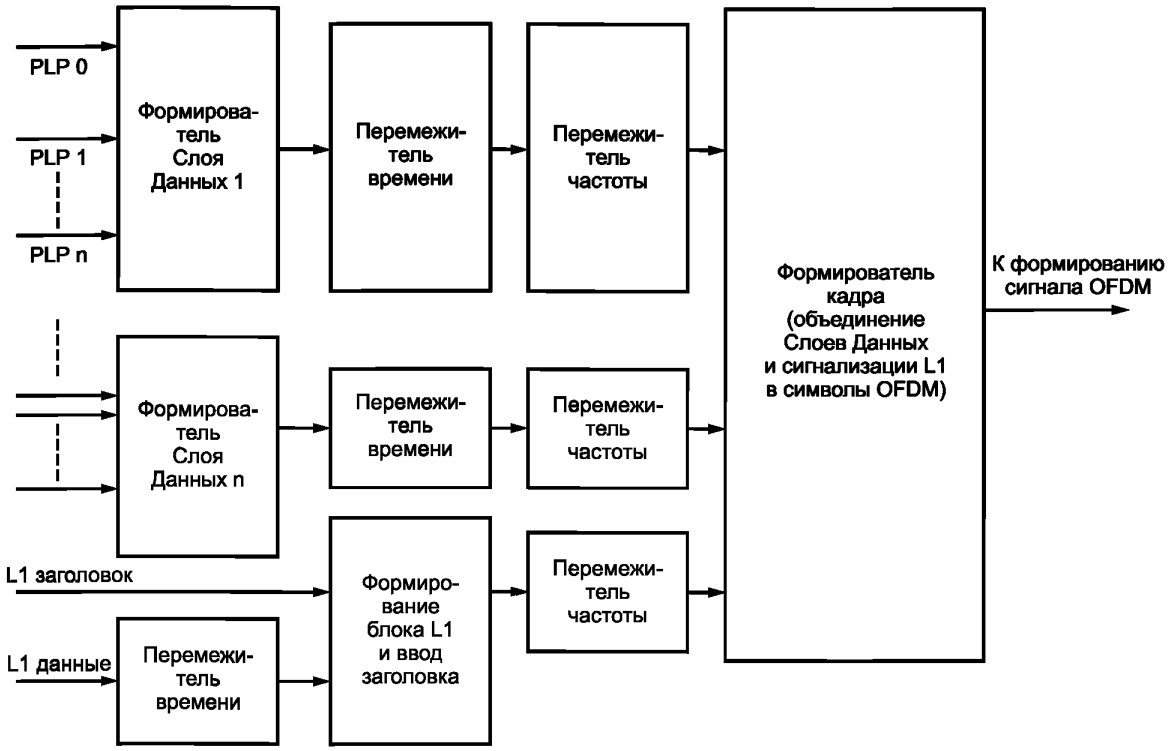


Рисунок 4 — Блок-схема подсистемы формирования Слоя данных и ядра

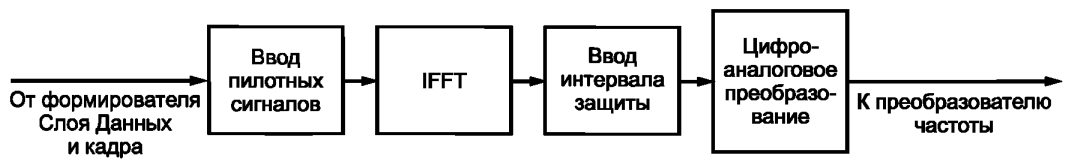


Рисунок 5 — Блок-схема подсистемы формирования сигнала OFDM

4.3 Заданная эффективность Системы С2

Система С2 при применении технологии прямой коррекции ошибок (FEC) должна обеспечивать квазибезошибочное качество приема при условии превышения уровнем принимаемого сигнала порогового значения C / N + I. При квазибезошибочном качестве приема декодер одной телевизионной службы должен обеспечивать менее одного события неисправленной ошибки в передаче в течение одного часа при скорости потока 5 МБит/с, что соответствует значению коэффициента пакетных ошибок транспортного потока $<10^{-7}$, при измерении на входе блока демультиплексора приемника.

5 Входная обработка потоков данных

5.1 Режим адаптации потоков

На вход Системы С2 подаются потоки данных. Каждый поток данных переносится одним каналом физического уровня (PLP). Устройство входной обработки (адаптер потока) обрабатывает каждый PLP независимо друг от друга и по завершении адаптации каждого потока, формирует кадры основной полосы BBFrame. В состав адаптера потока входят последовательно соединенные подсистемы входного

интерфейса, синхронизации входного потока, удаления нулевых пакетов, кодирования CRC-8, формирования из входящего потока полей данных основной полосы и вставки заголовков (BBHeader) в начало каждого поля данных основной полосы.

Форматы входных PLP определены в 5.1.1 настоящего стандарта. Адаптер потока может обрабатывать вводимые данные в нормальном режиме NM или в режиме высокой производительности HNM. Параметры этих режимов описаны в 5.1.6 и 5.1.7 настоящего стандарта. Режим NM соответствует режиму адаптации, предусмотренного стандартом ETSI [3]. В режиме HNM выполняется специфическая оптимизация потока, позволяющая уменьшить затраты на сигнализацию. Заголовок BBHeader содержит информацию о типе входного потока и режиме его обработки в соответствии с 5.1.6 настоящего стандарта.

Ниже описаны параметры процесса адаптации.

5.1.1 Входные форматы потоков

Входные сигналы поступают на входы модуля адаптации в виде одного или нескольких потоков.

Каждый входной поток системы С2 должен быть ассоциирован с конкретными режимами модуляции и защиты FEC, конфигурация которых для каждого потока является постоянной (неизменяемой). Каждый входной PLP может обрабатывать потоки одного из следующих форматов:

- транспортный поток (ТП);
- инкапсулированный универсальный поток (GSE) согласно стандарту ETSI [2];
- универсальный непрерывный поток [пакетный поток переменной длины] (GCS);
- универсальный пакетизированный поток фиксированной длины (GFPS), эта форма сохранена для обеспечения (при необходимости) совместимости с технологией стандарта DVB-S2.

В транспортном потоке (ТП) передаются пакеты пользователя (UP) фиксированной длины O-UPL = 188 × 8 битов. Первый байт является синхронизирующим SYNC байтов (47_{HEX}), он обозначается в поле TS/GS заголовка BBHeader потоков как TS. Детализированные параметры BBHeader представлены в 5.1.6 настоящего стандарта. Постоянство скорости транспортного потока может обеспечиваться дополнением потока нулевыми пакетами.

В потоке GSE могут передаваться пакеты переменной или постоянной длины. Заголовок фиксированной длины 10 байтов вставляется в переднюю часть поля данных потоков. Описание формата поля данных представлено в 5.1.6 настоящего стандарта.

Поток GCS является непрерывным потоком битов. Он обозначен в заголовке BBHeader в поле TS/GS как GCS, и в поле UPL устанавливается 0_D согласно 5.1.6 настоящего стандарта. Потоки пакетов переменной длины и потоки пакетов постоянной длины, превышающие 64 кбита, должны обрабатываться как потоки GCS и должны быть определены в заголовке BBHeader в поле TS /GS, аналогично случаю GCS при UPL = 0_D по 5.1.6 настоящего стандарта.

Поток пакетов пользователя постоянной длины (GFPS) с максимальным допустимым значением O-UPL = 64 кбита в заголовке BBHeader в поле TS/GS обозначается как GFPS. Фактическая величина O-UPL сообщается в заголовке BBHeader согласно 5.1.6 настоящего стандарта.

5.1.2 Входной интерфейс

Подсистема входного интерфейса преобразует формат входного потока в формат внутренней логической последовательности битов. Первый принятый бит обозначается как старший значащий бит (MSB). Для каждого отдельного канала физического уровня PLP предусматривается отдельный входной интерфейс согласно рисунку 2.

Входной интерфейс должен считывать поле данных, составленное из последовательности битов, имеющей длину поля данных (DFL):

$$0 \le \mathrm{DFL} \le (K_{bch} - 80),$$

где K_{bch} — количество битов в блоке на входе кодера BCH (в кадре BBFrame) по 6.1 настоящего стандарта.

Допустимое максимальное значение DFL зависит от выбранного кода LDPC, переносящего защищенную полезную нагрузку битов K_{bch}. Заголовок BBHeader 10 байтов (80 битов) присоединяется к передней части поля данных и защищается кодами LDPC и BCH.

При активированной операции фрагментации входной интерфейс выделяет количество входных битов, эквивалентное доступной емкости поля данных, таким образом размещая пакеты пользователя UP в последующих полях данных.

В случае, если операция фрагментации не активирована, входной интерфейс должен в поле данных выделить целое количество полей UP.

Доступная емкость поля данных равна K_{bch} – 80. В том случае, когда значение DFL < K_{bch} – 80, адаптер потока должен вставить дополнительное поле по 5.2 настоящего стандарта для заполнения емкости блока кода BCH/LDPC.

5.1.3 Синхронизация входного потока (опционально)

Процесс обработки данных в формирователе системы С2 может привести к переменной задержке передачи информации пользователя. Синхронизатор потока входной подсистемы должен обеспечить постоянную скорость передачи и постоянную задержку передачи любого входного формата данных. Применение входного синхронизатора потока является обязательным для PLP, переносящих транспортные потоки, в тех случаях, когда количество блоков FEC на кадр системы С2 может быть переменным. Во всех остальных случаях применение подсистемы входного синхронизатора потока является опциональным. Требования к входному синхронизатору потока должны быть в соответствии с приложением А, подобный синхронизатор представлен в стандарте ETSI [3]. Пример процесса регенерации транспортного потока в приемнике приведен в приложении Д. Этот процесс обеспечивает синхронизацию единственного PLP при его размещении в различных Слоях Данных в соответствии с приложением Г.

В поле ISSY (поле синхронизации входного потока, 2 байта или 3 байта) в соответствии с рисунком 8 переносится значение счетчика, синхронизированного тактовой частотой формирователя (1/*T*, элементарный период *T* определен в разделе 10 нашего стандарта), и может использоваться приемником для синхронизации регенерированного выходного потока. Способ переноса поля ISSY определяется входным форматом потока и режимом обработки входного потока (NM или HEM) в соответствии с 5.1.6 и 5.1.7 настоящего стандарта и рисунками 9—15. В режиме NM поле ISSY добавляется к пакетам пользователя в случае пакетизированного потока. В режиме HEM единственное поле ISSY передается в заголовке BBHeader Кадра BBFrame, благодаря этому пакеты пользователя перемещаются вместе с кадрами BB и имеют одинаковые величины задержки и джиттера.

В тех случаях, когда механизм ISSY не используется, в соответствующих полях BBHeader (если они предусмотрены) должны быть установлены '0'. Полное описание формата поля ISSY — в соответствии с приложением А.

5.1.4 Удаление нулевых пакетов (опционально, только при работе с форматом ТП в режимах NM и HEM)

Скорость передачи транспортного потока на выходе мультиплексора передатчика и на входе демультиплексора приемника, также как и задержка транспортного потока, должны быть постоянными во времени. На некоторых входах интерфейса в транспортных потоках могут присутствовать нулевые пакеты, введенные для обеспечения постоянной скорости передачи служб, имеющих переменную скоростью передачи ТП. В этом случае для исключения ненужных издержек передачи нулевые пакеты транспортного потока (PID = 8191_D) должны быть удалены. В приемнике предусматривается вставка удаленных нулевых пакетов в том месте транспортного потока, где они были первоначально установлены, что обеспечивает сохранение постоянной скорости передачи и исключает необходимость обновления ссылки PCR.

В режиме удаления нулевых пакетов (пакетов ТП с PID = 8191_D) после передачи полезных пакетов (пакеты ТП с PID ≠ 8191_D) с опциональными полями ISSY удаляются нулевые пакеты (PID = 8191_D) и соответствующие им опциональные поля ISSY, как показано на рисунке 6.

Значение счетчика DNP (счетчика удаленных нулевых пакетов) (1 байт, исходное состояние '0') должно увеличиваться с каждым удаленным нулевым пакетом. Когда счетчик DNP достигает максимального допустимого значения DNP = 255_D, и если следующий пакет является нулевым пакетом, этот нулевой пакет сохраняется и передается как полезный пакет.

Ввод поля DNP (1 байт) должен выполняться (в том случае, если удаление имело место) после каждого переданного UP согласно 5.1.7 настоящего стандарта и рисунку 6.

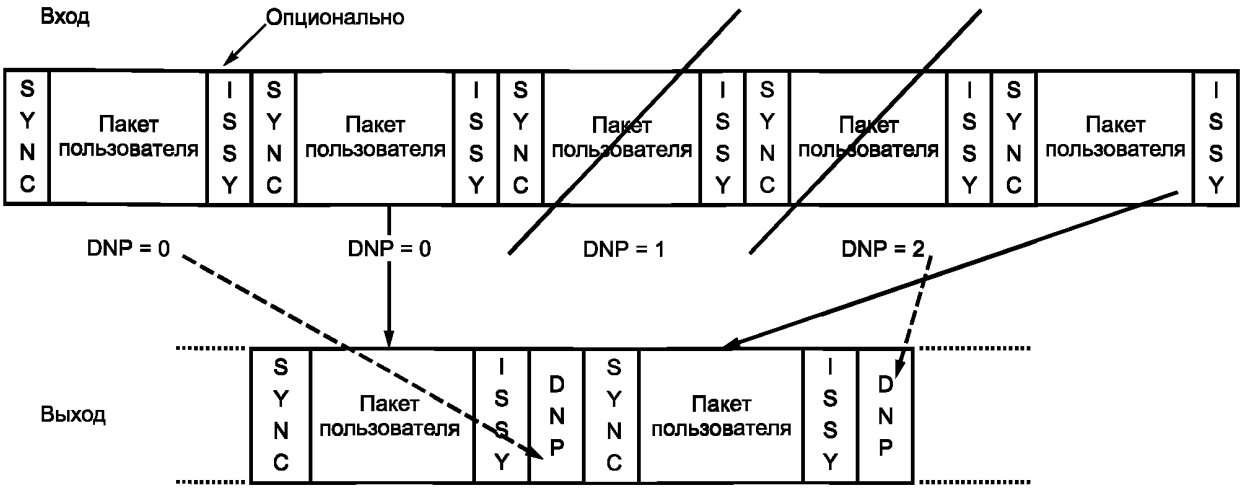


Рисунок 6 — Схема удаления нулевых пакетов

5.1.5 Кодирование CRC-8

Обнаружение ошибок в пакете пользователя циклическим контролем по четности CRC-8 применяется только при работе в режиме NM в формате пакетизированных потоков. В случае применения пакета пользователя с удаленным синхробайтом (UPL минус 8 битов) согласно 5.1.7 настоящего стандарта он должен быть обработан систематическим 8-разрядным кодером CRC-8 с порождающим полиномом: $g(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$. Параметры кодера должны быть в соответствии с приложением В. Вычисленное значение CRC-8 должно быть добавлено после пакета UP в соответствии с 5.1.8 настоящего стандарта.

5.1.6 Вставка заголовка основной полосы

Заголовок основной полосы (BBHeader) характеризует формат поля данных фиксированной длины. Он имеет размер 10 байтов и вставляется перед полем данных основной полосы (BB). Формат BBHeader для режима NM показан на рисунке 7. Формат BBHeader для режима HEM показан на рисунке 8. Вид применяемого режима (NM или HEM) отображается полем CRC-8 MODE.

MATYPE (2 байта)	UPL (2 байта)	DFL (2 байта)	SYNC (1 байт)	SYNCD (2 байта)	CRC-8 MODE (1 байт)

Рисунок 7 — Формат заголовка BBHeader в режиме NM

MATYPE (2 байта)	UPL (2 байта)	DFL (2 байта)	ISSY 1LSB (1 байт)	SYNCD (2 байта)	CRC-8 MODE (1 байт)

Рисунок 8 — Формат заголовка BBHeader в режиме HEM

Ниже дано описание полей форматов входного потока и характеристик режимов адаптации.

Поле MATYPE (2 байта) описывает формат входного потока и тип режима адаптации в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Отображение первого байта поля MATYPE-1

TS/GS (2 бита)	SIS/MIS (1 бит)	CCM/ACM (1 бит)	ISSYI (1 бит)	NPD (1 бит)	EXT (2 бита)
00 = GFPS 11 = TS 01 = GCS 10 = GSE	1 = одиночный поток 0 = несколько потоков	1 = CCM 0 = ACM	1 = активен 0 = неактивен	1 = активен 0 = неактивен	Зарезервирован для применения в будущем

Параметры субполей поля MATYPE:

Первый байт (MATYPE-1):

- субполе TS/GS (2 бита): содержит данные о формате входного потока: GFPS, транспортный поток (ТП), GCS или GSE;
- субполе SIS/MIS (1 бит): содержит данные о характере входного потока: единственный входной поток или несколько входных потоков (относится к глобальному сигналу, а не к каждому PLP);
- субполе CCM/ACM (1 бит): сообщает о режиме кодирования и модуляции: с постоянными параметрами (CCM) или с переменными/адаптивными параметрами (ACM);
- субполе ISSYI (1 бит): является индикатором синхронизации входного потока: если ISSYI = 1, то индикатор активен, поле ISSY должно вычисляться в соответствии с приложением А и должно быть вставлено в соответствии с 5.1.7 настоящего стандарта;
- субполе NPD (1 бит): является индикатором удаления нулевых пакетов: активен /не активен. Если NPD активен, то DNP должен вычисляться и добавляться после пакетов пользователя;
- субполе EXT (2 бита): для Системы С2 в субполе EXT устанавливается '0': (поле зарезервировано для использования в будущем).

Второй байт (MATYPE-2):

- если субполе SIS/MIS указывает на наличие нескольких входных потоков, то второй байт MATYPE-2 является идентификатором входного потока (Input Stream Identifier - ISI); или же в нем устанавливается '0' (зарезервирован для использования в будущем).

Примечание — Термин ISI сохранен для обозначения совместимости с технологией DVB-S2 в соответствии со стандартом ETSI [3], но имеет значение, аналогичное термину PLP_ID, который используется в настоящем документе.

Описание других полей BBHeader дано в таблице 2.

Таблица 2 — Описание полей BBHeader

Имя поля	Размер, байты	Описание
MATYPE	2	Как описано выше
UPL	2	Длина пакета пользователя в битах, в диапазоне значений [0—65535]
DFL	2	Длина поля данных в битах, в диапазоне значений [0—58112]
SYNC	1	Копия байта SYNC пакета пользователя. В случае формата GCS величины SYNC=0 x 00–0xB8 зарезервированы для сигнализации протокола транспортного уровня и будут установлены согласно стандарту ISO/IEC [1]
SYNCD	2	Интервал в битах от начала Поля Данных (DATA FIELD) до начала первого переданного поля UP, который запускается в поле данных. SYNCD=0_D означает, что первое поле UP выровнено по началу поля DATA FIELD. SYNCD = 65535_D означает, что пакет UP в поле DATA FIELD не запускается; для формата GCS поле SYNCD зарезервировано для использования в будущем, в поле должен быть установлен 0_D, если нет других указаний

Окончание таблицы 2

Имя поля	Размер, байты	Описание
CRC-8 MODE	1	Поле контрольной суммы кода CRC-8 (1 байт) и поле MODE (1 байт). Код CRC-8 применяется к 9 байтам заголовка BBHeader в соответствии с приложением В. Поле MODE (Режим) может принимать значения: - 0_D Режим NM; - 1_D Режим HNM; - другие значения зарезервированы для использования в будущем

5.1.7 Процессы адаптации для используемых форматов входного потока

Подпункт содежит описание процессов обработки адаптации и фрагментации для различных режимов и форматов входного потока и иллюстрирует формат выходного потока.

5.1.7.1 Нормальный режим, форматы входных потоков GFPS и TS

Длина исходного пакета пользователя (O-UPL) транспортного потока равна 188 байтов. Каждый исходный пакет пользователя O-UP должен включать один байт слова синхронизации, имеющего значение 47_{HEX}. Величина UPL должна быть равна длине O-UPL.

Процесс адаптации потоков должен выполняться в соответствии с правилами, иллюстрированными на рисунке 9:

- для синхронизации входного потока (опционально по 5.1.3 настоящего стандарта) размер UPL увеличивается на 16_D или 24_D битов добавлением поля ISSY после каждого пакета O-UP. В случае потока TS может использоваться «короткий» или «длинный» формат ISSY; в случае GFPS может использоваться поле ISSY только в формате 16_D битов;
- если в поле O-UP байт SYNC будет первым байтом, то он должен быть удален и сохранен в поле SYNC заголовка BBHeader, при этом величина UPL должна быть уменьшена на 8_D битов. Иными словами в BBHeader в поле SYNC должен быть установлен '0', а величина UPL должна остаться неизмененной;
- для потока TS согласно 5.1.4 настоящего стандарта выполняется (опционально) удаление нулевых пакетов; вычисление и хранение DNP после следующего переданного UP. В этом случае величина UPL увеличивается на 8_D битов;
- вычисляется контролъная сумма CRC-8 на уровне пакета UP согласно 5.1.5 настоящего стандарта с последующим сохранением вычисленной контрольной суммы CRC-8, величина UPL увеличивается на 8 битов;
- вычисляется значение SYNCD (указывающий на первый бит первого переданного пакета UP в поле данных) с последующим сохранением этого значения в заголовке BBHeader. Последовательность битов передаваемого UP начинается с CRC-8 предыдущего UP (если используется), непосредственно за полем CRC-8 следует поле O-UP и оканчивается полями ISSY и DNP (если они используются). Следовательно, SYNCD указывает на первый бит CRC-8 предыдущего пакета UP;
- для потока GFPS в заголовке BBHeader выполняется хранение величины UPL.

Примечания

1 Величина O-UPL может быть получена статической установкой (для потока GFPS) или автоматической сигнализацией, параметры которой данным стандартом не определены.

2 Режим NM совместим с режимом адаптации BBFrame технологии DVB-S2 в соответствии со стандартом ETSI [3]. SYNCD=0 означает, что пакет UP связан с началом поля данных, CRC-8 (принадлежащий последнему предыдущему BBFrame) в этом случае будет заменен в приемнике байтом SYNC или удален.

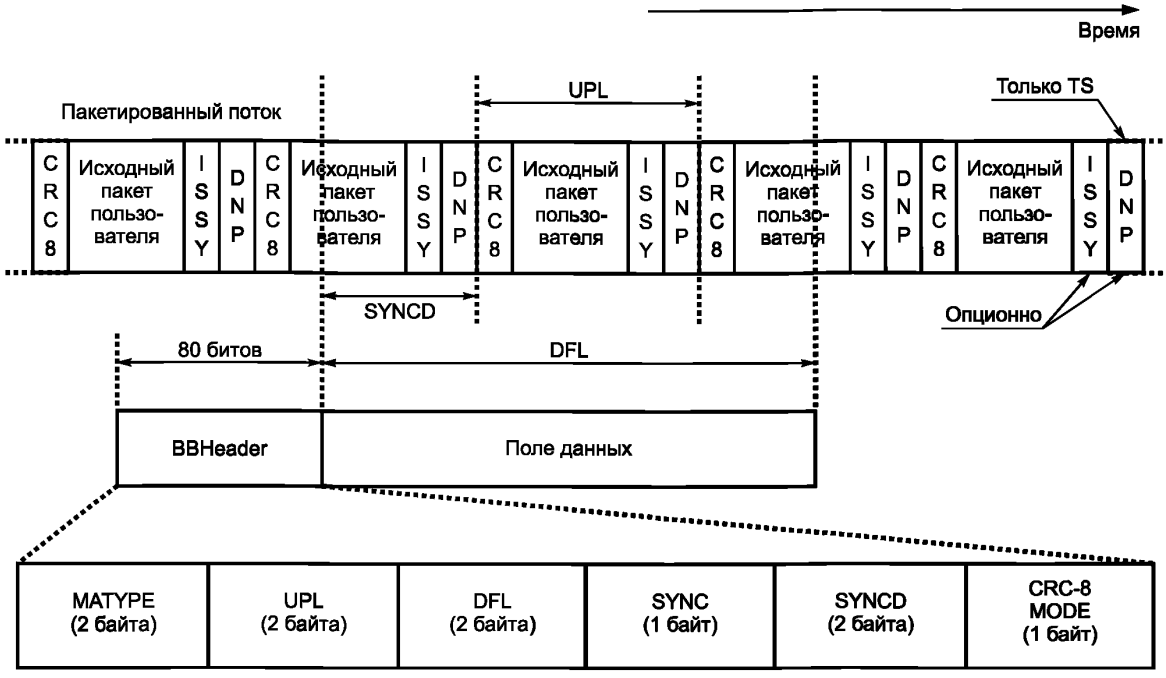


Рисунок 9 — Форматы потока TS и GFPS на выходе адаптера режима NM

5.1.7.2 Режим высокой производительности, формат входного потока TS

В случае формата входного потока TS приемнику априорно известна конфигурация синхробайта (байта SYNC) и величина O-UPL = 188 × 8 битов, поэтому поля UPL и SYNC в заголовке BBHeader используются для передачи поля ISSY. Процесс адаптации должен выполняться в соответствии с рисунком 10 со следующими правилами:

- выполняется (опционально) по 5.1.3 настоящего стандарта синхронизация входного потока, относящаяся к первому полному полю данных переданного UP, поле ISSY вставляется вместо полей UPL и SYNC заголовка BBHeader;
- удаляется синхронизирующий байт SYNC (байт SYNC не сохраняется в поле SYNC BBHeader);
- удаляются (опционально) нулевые пакеты по 5.1.4 настоящего стандарта, вычисляется значение счетчика DNP и сохраняется после следующего переданного UP;
- контрольная сумма CRC-8 на уровне UP не вычисляется и не вставляется;
- вычисляется SYNCD (указывающий на первый бит первого переданного UP, который запускается в поле данных (Data Field)) и сохраняется в заголовке BBHeader. Переданный UP начинается непосредственно с O-UP после удаления байта SYNC и заканчивается полем DNP, если оно используется. Поэтому SYNCD указывает на первый бит O-UP после байта SYNC;
- UPL не вычисляется и не передается в BBHeader.

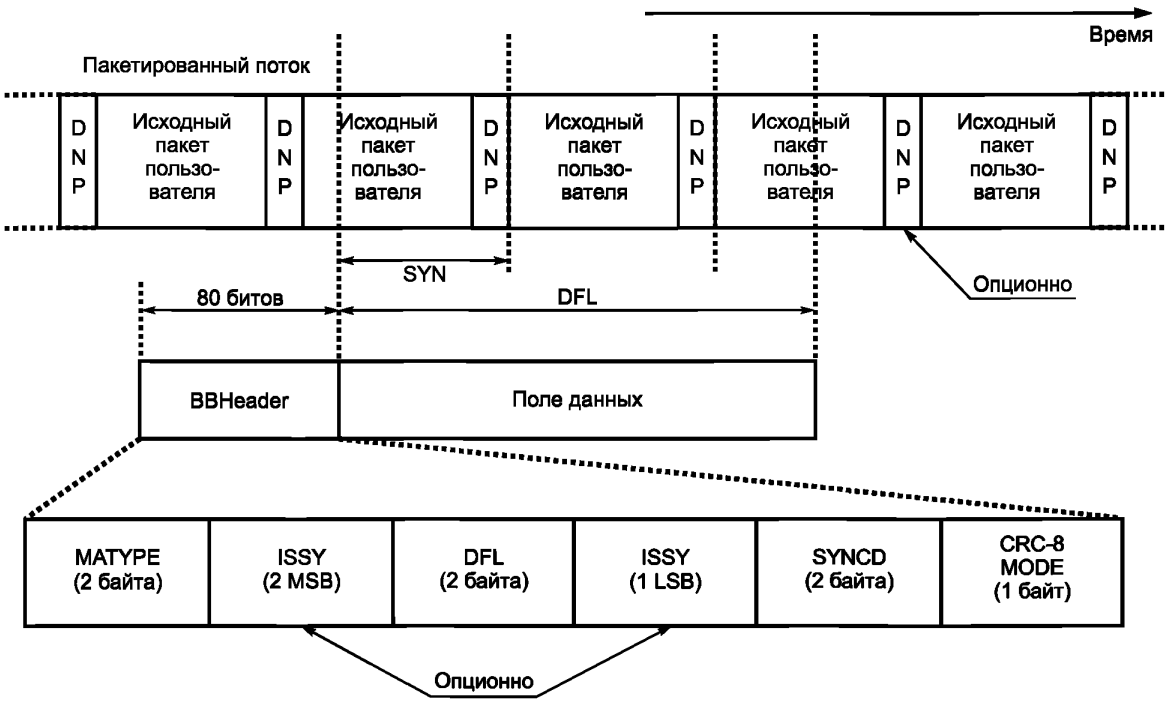


Рисунок 10 — Формат потока TS на выходе адаптера режима НЕМ

5.1.7.3 Нормальный режим, форматы входного потока GCS и GSE

В случае формата GCS структура входного потока не известна. Для случая GSE первый пакет GSE должен всегда быть приведен в соответствие с полем данных (фрагментация GSE не допускается).

Для форматов GCS и GSE процесс адаптации должен выполняться в соответствии с рисунком 11 со следующими правилами:

- устанавливаются величины:
  - в поле UPL = 0_D;
  - SYNC=0x00-0xB8 зарезервированы для сигнализации протокола транспортного уровня, они должны быть установлены согласно стандарту ISO/IEC [1];
  - SYNC=0xB9-0xFF для использования частными пользователями;
  - SYNCD зарезервировано для использования в будущем и должно быть установлено в 0_D, если другое значение не определено;
- не должно быть удалений нулевых пакетов согласно 5.1.4 настоящего стандарта и вычислений CRC-8 для поля данных согласно 5.1.5 настоящего стандарта.

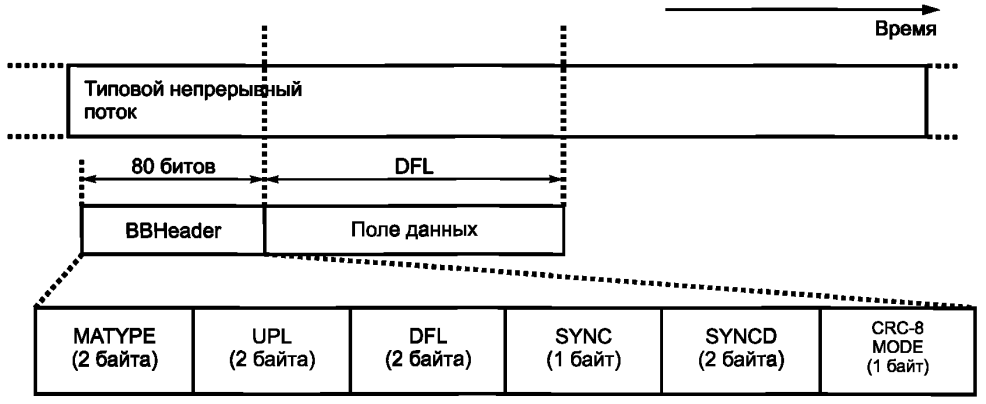


Рисунок 11 — Форматы потока GSE и GCS на выходе адаптера режима NM

5.1.7.4 Режим высокой производительности, формат входного потока GSE

В режиме HEM могут передаваться GSE с вычисленной UP переменной или постоянной длины. В случае фрагментации пакетов GSE должна вычисляться величина поля SYNCD. Если пакеты GSE не фрагментируются, то первый пакет должен быть выровнен в соответствии с полем данных, и в поле SYNCD должен устанавливаться 0_D. Приемник может получить величину длины UP в соответствии со стандартом ETSI [2], поэтому передача величины UPL в BBHeader не выполняется. По аналогии с потоком TS дополнительное поле ISSY передается в BBHeader.

Процесс адаптации должен выполняться в соответствии с рисунком 11 со следующими правилами:

- выполняется (опционально) по 5.1.3 настоящего стандарта входная синхронизация потока, относящаяся к первому полному полю данных переданного UP, поле ISSY вставляется вместо полей UPL и SYNC заголовка BBHeader;
- удаление нулевых пакетов и вычисление CRC-8 на уровне UP не выполняется;
- вычисляется величина поля SYNCD (указывающая на первый бит первого переданного UP, который стартует в поле данных) и хранится в BBHeader. Переданный UP должен точно соответствовать O-UP. SYNCD должен соответствать первому биту оригинала;
- UPL не вычисляется и не передается.

5.1.7.5 Режим Высокой производительности, форматы GFPS и GCS

Параметры этих режимов не нормируются (за исключением случая ТП, описанного выше).

5.2 Адаптация потока к каналу

Для адаптации кадров потока основной полосы BBFrame к каналу, как показано на рисунке 2, выполняются следующие операции:

- планирование информации сигнализации L1-part2 о составе Слоя Данных и структуре Кадра Системы С2 в соответствии с 5.2.1 настоящего стандарта. Состав Слоя Данных и структура Кадра Системы С2 описаны в разделе 7 настоящего стандарта;
- дополнение кадра потока BBFrame нулевыми битами для поддержания его постоянной длины, равной числу битов K_{bch} в соответствии с 5.2.2 настоящего стандарта;
- скремблирование потока для рассеивания энергии сигнала в соответствии с 5.2.3 настоящего стандарта.

Входной поток модуля адаптации потока к каналу вещания должен иметь заголовок BBHeader, сопровождаемый полем данных. Кадр BBFrame выходного потока показан на рисунке 12.



Рисунок 12 — Формат кадра BBFrame на выходе адаптера потока

5.2.1 Планировщик

При формировании необходимой информации сигнализации L1-part2 планировщик совместно с формирователем Слоя Данных принимают решение о том, какие Слои Данных на выходе системы С2 будут переносить данные, содержащиеся в PLP, как показано на рисунках 2, 4. Эта операция на данном этапе непосредственно не оказывает влияния на поток данных, однако планировщик должен определить состав Слоя Данных и структуру Кадра С2, описанного в разделе 7 настоящего стандарта.

5.2.2 Дополнение кадра BBFrame

Дополнение кадра BBFrame применяется в том случае, когда объем доступных пользователю данных в поле данных (DATA FIELD) недостаточен для полного заполнения кадра BBFrame, или когда в кадре BBFrame должно быть выделено целое число пакетов UP. Величина K_{bch} зависит от скорости кода FEC, как показано в таблице 2, 3, 4. После поля данных должно быть добавлено (K_{bch} – DFL – 80) нулевых битов. Размер получающегося кадра BBFrame должен иметь постоянную величину K_{bch}.

Таблица 3 определяет параметры кодирования FEC для нормального кадра FECFrame (N_{ldpc} = 64 800 битов) и таблица 4 для короткого кадра FECFrame (N_{ldpc} = 16 200 битов).

Таблица 3 — Параметры кодирования для нормального кадра FECFrame (размер блока, кодированного кодом LDPC, N_{ldpc} = 64 800 битов)

Скорость кода LDPC	Размер блока BCH до кодирования, K_{bch}, бит	Размер блока BCH после кодирования, K_{ldpc}, бит	Количество ошибок t, исправляемых кодом BCH	$N_{bch} - K_{bch}$, битов	$N_{ldpc} - K_{ldpc}$, битов
2/3	43 040	43 200	10	160	21 600
3/4	48 408	48 600	12	192	16 200
4/5	51 648	51 840	12	192	12 960
5/6	53 840	54 000	10	160	10 800
9/10	58 192	58 320	8	128	6 480

Таблица 4 — Параметры кодирования для короткого кадра FECFrame (размер блока, кодированного кодом LDPC, N_{ldpc} = 16 200 битов)

Идентификатор скорости кода LDPC	Размер блока BCH до кодирования K_{bch}, битов	Размер кодированного блока BCH, K_{ldpc}, битов	Количество ошибок t, исправляемых кодом BCH	$N_{bch} - K_{bch}$, битов	Эффективная скорость кода LDPC, K_{ldpc}/16200, битов	$N_{ldpc} - K_{ldpc}$, битов
1/2 (Примечание)	7 032	7 200	12	168	4/9	9000
2/3	10 632	10 800	12	168	2/3	5400
3/4	11 712	11 880	12	168	11/15	4320
4/5	12 432	12 600	12	168	7/9	3600
5/6	13 152	13 320	12	168	37/45	2880
8/9	14 232	14 400	12	168	8/9	1800
Примечание — Эта скорость кодирования используется только для защиты сигнализации L1 и не используется для защиты данных BB.						

Примечание — В таблице 3 скорости кода LDPC для N_{ldpc} = 64 800 даны значениями в графе «Скорость кода LDPC». В таблице 4 скорости кода LDPC для N_{ldpc} = 16 200 даны значениями в графе «Эффективная скорость кода LDPC», то есть для N_{ldpc} = 16 200 «идентификатор кода LDPC» не эквивалентен эффективной скорости кода LDPC.

5.2.3 Скремблирование данных BB

Для преобразования данных кадра BBFrame в рандомизированную последовательность полный кадр BBFrame должен быть скремблирован. Последовательность скремблирования (рандомизации) должна быть синхронной с кадром BBFrame. Последовательность рандомизации начинается битом MSB и заканчивается после битов K_{bch}. Рандомизирующая последовательность (псевдослучайная последовательность, ПСП) должна генерироваться регистром сдвига с обратной связью в соответствии со структурной схемой на рисунке 13. Полином генератора ПСП должен быть вида:

$$1 + X^{14} + X^{15}.$$

Загрузка последовательности (100101010000000) в регистр ПСП должна инициироваться при запуске каждого кадра BBFrame.

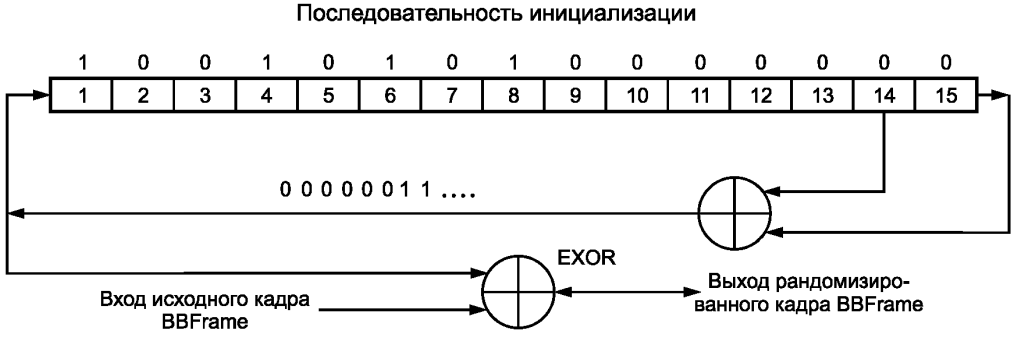


Рисунок 13 — Структурная схема возможной реализации кодера псевдослучайной последовательности

6 Кодирование с перемежением битов и модуляция

6.1 Кодирование FEC

Подсистема кодирования выполняет внешнее кодирование данных BB кодом BCH, внутреннее кодирование кодом LDPC и перемежение битов. Поток битов на входе подсистемы кодирования содержит кадры BBFrame, а выходной поток — кадры FECFrame. Каждый кадр BBFrame (размером K_{bch} битов) должен быть обработан подсистемой кодирования FEC, чтобы сформировать кадр FECFrame (размером N_{ldpc} битов).

Последовательность битов проверки на четность (битов BCHFEC) внешнего кода BCH должна быть добавлена после кадра BBFrame, а последовательность битов проверки на четность (битов LDPCFEC) внутреннего кода LDPC должна быть добавлена после поля BCHFEC, как показано на рисунке 14.

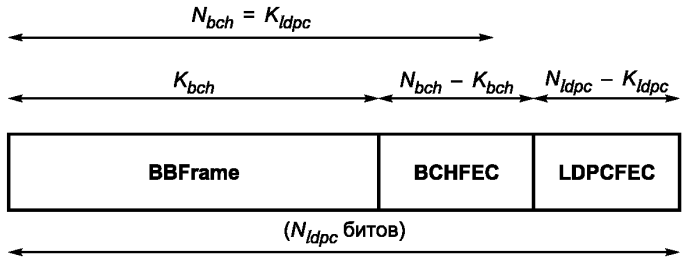


Рисунок 14 — Формат данных перед операцией перемежения битов (N_{ldpc} = 64 800 битов для нормального кадра FECFrame, N_{ldpc} = 16 200 битов для короткого FECFrame)

6.1.1 Внешнее кодирование

Код BCH (N_{bch}, K_{bch}), исправляющий t независимых ошибок, должен быть применен к каждому кадру BBFrame для формирования пакета, защищенного от ошибок. Параметры кода BCH для N_{ldpc} = 64 800 приведены в таблице 3, для N_{ldpc} = 16 200 — в таблице 4. Порождающий полином кодера BCH с коррекцией t ошибок получен умножением первых t полиномов, представленных в таблице 5 (для N_{ldpc} = 64 800) и в таблице 6 для N_{ldpc} = 16 200.

Таблица 5 — Полиномы BCH (для нормального кадра FECFrame N_{ldpc} = 64 800)

Полином	Вид
$g_1(x)$	$1+x^2+x^3+x^5+x^{16}$
$g_2(x)$	$1+x+x^4+x^5+x^6+x^8+x^{16}$
$g_3(x)$	$1+x^2+x^3+x^4+x^5+x^7+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{16}$
$g_4(x)$	$1+x^2+x^4+x^6+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{14}+x^{16}$
$g_5(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^5+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{12}+x^{16}$
$g_6(x)$	$1+x^2+x^4+x^5+x^7+x^8+x^9+x^{10}+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{15}+x^{16}$
$g_7(x)$	$1+x^2+x^5+x^6+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{13}+x^{15}+x^{16}$
$g_8(x)$	$1+x+x^2+x^5+x^6+x^8+x^9+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{16}$
$g_9(x)$	$1+x^5+x^7+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1+x^2+x^3+x^5+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{13}+x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1+x+x^5+x^6+x^7+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{16}$

Таблица 6 — Полиномы BCH (для короткого кадра FECFrame N_{ldpc} = 16 200)

Полином	Вид
$g_1(x)$	$1+x+x^3+x^5+x^{14}$
$g_2(x)$	$1+x^6+x^8+x^{11}+x^{14}$
$g_3(x)$	$1+x+x^2+x^6+x^9+x^{10}+x^{14}$
$g_4(x)$	$1+x^4+x^7+x^8+x^{10}+x^{12}+x^{14}$
$g_5(x)$	$1+x^2+x^4+x^6+x^8+x^9+x^{11}+x^{13}+x^{14}$
$g_6(x)$	$1+x^3+x^7+x^8+x^9+x^{13}+x^{14}$
$g_7(x)$	$1+x^2+x^5+x^6+x^7+x^{10}+x^{11}+x^{13}+x^{14}$
$g_8(x)$	$1+x^5+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{14}$
$g_9(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^9+x^{10}+x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1+x^3+x^6+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{14}$
$g_{11}(x)$	$1+x^4+x^{11}+x^{12}+x^{14}$
$g_{12}(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^5+x^6+x^7+x^8+x^{10}+x^{13}+x^{14}$

Кодирование BCH информационных битов $M = (m_1, m_1, \ldots, m_1, m_0)$ с формированием кодового слова выполняется следующим образом:

- умножение сообщения полинома:

$$m(x) = m_{K_{bch}-1}\, x^1 + m_{K_{bch}-2}\, x^1 + \ldots + m_1 x + m_0 \text{ на полином } x^{N_{bch}};$$

- деление $x^{Nbch}\ m(x)$ на порождающий полином $g(x)$, остатком деления является:

$$d(x) = d_{Nbch-Kbch-1}\ x^{Nbch-1} + \ldots + d_1 x + d_0;$$

- создание выходного кодового слова I для создания информационного слова для последующего кодирования LDPC:

$$I = (i_0, i_1, \ldots, i_I) = (m_1, m_1, \ldots, m_1, m_0, d_{Nbch-1}, d_{Nbch-1}, \ldots, d_1, d_0).$$

Эквивалентным вариантом кодового слова является полином:

$$c(x) = x^{Nbch}\ m(x) + d(x).$$

6.1.2 Внутреннее кодирование

Кодер LDPC обрабатывает кодовые слова с выхода внешнего кодера, $I = (i_0, i_1, \ldots, i_K)$, как блоки информации размером $K_{ldpc} = N_{bch}$ и выполняет систематическое кодирование с формированием кодового слова Λ размером N_{ldpc}, где:

$$\Lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2,) = (i_0, i_1, \ldots, i_K, p_0, p_1, p_{Nldpc-K}).$$

Параметры кодов LDPC (N_{ldpc}, K_{ldpc}) представлены в таблицах 3 и 4.

6.1.2.1 Внутреннее кодирование для нормального кадра FECFrame

Задачей кодера LDPC является определение битов четности $N_{ldpc} - K_{ldpc}$ ($p_0, p_1, \ldots, p_{Nldpc-K}$) для каждого блока информации K_{ldpc} битов ($i_0, i_1, \ldots, i_K$). Эта задача решается выполнением следующих операций:

- инициируется начальное значение $p_0 = p_1 = p_2 = \ldots = p_{Nldpc-K} = 0$;

- суммируется первый бит информации i_0 по адресам битов четности, определенным в первой строке таблиц приложения А стандарта ETSI [4] (приложение А, таблицы А.1—А.5). Например, для скорости 2/3 в соответствии со стандартом ETSI [4] (приложение А, таблица А.1) (суммирование выполняется в формате полей Галуа второго порядка):

$$p_{317} = p_{317} \oplus i_0 \qquad p_{6700} = p_{6700} \oplus i_0$$
$$p_{2255} = p_{2255} \oplus i_0 \qquad p_{9101} = p_{9101} \oplus i_0$$
$$p_{2324} = p_{2324} \oplus i_0 \qquad p_{10057} = p_{10057} \oplus i_0$$
$$p_{2723} = p_{2723} \oplus i_0 \qquad p_{12739} = p_{12739} \oplus i_0$$
$$p_{3538} = p_{3538} \oplus i_0 \qquad p_{17407} = p_{17407} \oplus i_0$$
$$p_{3576} = p_{3576} \oplus i_0 \qquad p_{21039} = p_{21039} \oplus i_0$$
$$p_{6194} = p_{6194} \oplus i_0;$$

- накапливаются 359 информационных бита i_m, m = 1, 2, ..., 359 по адресам битов четности $\{x + m \bmod 360 \times Q_{ldpc}\} \bmod (N_{ldpc} - K_{ldpc})$, где x обозначает адреса накопителя битов четности, соответствующих первому биту i_0, а Q_{ldpc} — коэффициент, зависящий от скорости кода в соответствии с таблицей 7. Например, для ранее выбранной скорости 2/3 $Q_{ldpc} = 60$. А, например, для информационного бита i_1 выполняются следующие операции:

$$p_{377} = p_{377} \oplus i_1 \qquad p_{6760} = p_{6760} \oplus i_1$$
$$p_{2315} = p_{2315} \oplus i_1 \qquad p_{9161} = p_{9161} \oplus i_1$$
$$p_{2384} = p_{2384} \oplus i_1 \qquad p_{10117} = p_{10117} \oplus i_1$$
$$p_{2783} = p_{2783} \oplus i_1 \qquad p_{12799} = p_{12799} \oplus i_1$$
$$p_{3598} = p_{3598} \oplus i_1 \qquad p_{17467} = p_{17467} \oplus i_1$$
$$p_{3636} = p_{3636} \oplus i_1 \qquad p_{21099} = p_{21099} \oplus i_1$$
$$p_{6254} = p_{6254} \oplus i_1;$$

- для 361-го информационного бита адреса накопителей битов четности приведены во второй строке таблиц приложения А стандарта ETSI [4] (приложение А, таблицы А.1—А.5). Аналогичным образом определяются адреса накопителей битов четности следующих 359 информационных битов, m = 361, 362, ..., 719 с использованием формулы $\{x + m \bmod 360 \times Q_{ldpc}\} \bmod (N_{ldpc} - K_{ldpc})$, где x — данные второй строки таблиц приложения А стандарта ETSI [4] (приложение А, таблицы А.1—А.5);

- для каждой группы из 360 новых информационных битов таким же образом используется новая строка таблиц приложения А стандарта ETSI [4] (приложение А, таблицы А.1—А.5) для получения адресов накопителей битов четности.

После обработки всех информационных битов результирующие биты четности образуются следующим образом:

- последовательно выполняются следующие операции, начиная с i = 1:

$$p_i = p \oplus p_{i-1},\ i = 1, 2, \ldots, N_{ldpc} - K_{ldpc} - 1;$$

- итоговое содержание p_i, i = 0, 1,..., $N_{ldpc} - K_{ldpc} - 1$ эквивалентно биту четности p_i.

В таблице 7 приведены значения коэффициента Q_{ldpc} для нормального кадра.

Таблица 7 — Значения коэффициента Q_{ldpc} для нормального кадра

Скорость кода	Коэффициент Q_{ldpc}
2/3	60
3/4	45
4/5	36
5/6	30
9/10	18

6.1.2.2 Внутреннее кодирование для короткого кадра FECFrame

Определение битов четности N_{ldpc} для короткого кадра FECFrame выполняется в соответствии с 6.1.2.1 настоящего стандарта с заменой таблицы 7 на таблицу 8 настоящего стандарта и таблиц приложения А стандарта ETSI [4] (приложение А, таблицы А.1—А.5) на таблицы приложения В стандарта ETSI [4] (приложение В, таблицы В.1—В.6).

Таблица 8 — Значения параметра Q_{ldpc} для короткого кадра

Скорость кода	Коэффициент Q_{ldpc}
1/2	25
2/3	15
3/4	12
4/5	10
5/6	8
8/9	5

6.1.3 Перемежитель битов

Кодовое слово Λ с выхода кодера LDPC поступает на перемежитель битов, который выполняет перемежение битов четности с последующим перемежением «скрученных» столбцов. Выход перемежителя четности далее обозначается как U. Выход перемежителя «скрученных» столбцов далее обозначается как V.

Биты четности перемежаются в соответствии со следующими условиями:

$u_i = \lambda_i$ для $0 \le i < K_{ldpc}$ (информационные биты не перемежаются);

$$u_{K_{ldpc}-3} = \lambda_{K_{ldpc}-Q_{ldc}} \text{ для } 0 \le s < 360,\ 0 \le t < Q_{ldpc}.$$

Значения параметра Q_{ldpc} должны соответствовать таблицам 7 и 8.

Конфигурация перемежителя со скручиванием столбцов для каждого формата модуляции представлена в таблице 9.

Таблица 9 — Структура перемежителя битов скручиванием столбцов

Формат модуляции	Количество строк Nr		Количество столбцов N_c
	N_{ldpc} = 64 800	N_{ldpc} = 16 200	
16QAM	8 100	2 025	8
64QAM	5 400	1 350	12
256QAM	4 050	—	16
	—	2 025	8
1024QAM	3 240	810	20
4096QAM	5 400	—	12
	—	675	24

В перемежителе битов биты данных u_i от перемежителя битов четности последовательно записываются в столбцы перемежителя со скручиванием столбцов со сдвигом позиции начала записи в столбцы на t_c, и затем последовательно считываются построчно (MSB в заголовке BBHeader считывается первым), как показано на рисунке 15, где запись в столбцы выполняет с позиции t_c. Значения t_c представлены в таблицах 10 и 11. Этот перемежитель описывается следующими соотношениями:

- входной бит u_i с индексом i, для $0 \le i < N_{ldpc}$, записывается в перемежителе в столбец c_i, строку r_i, где:

$$c_i = i \text{ div } N_r;$$

$$r_i = i + \text{mod } N_r;$$

- выходной бит v_j с индексом j, для $0 \le j < N_{ldpc}$, считывается из строки r_j, столбца c_j, где:

$$r_j = j \text{ div } N_c;$$

$$c_j = j \text{ mod } N_c.$$

В этом случае для 64QAM и N_{ldpc} = 64 800 порядок битов на выходе перемежителя столбцов будет следующим: $(v_0, v_1, v_2 \ldots v_{64799}) = (u_0, u_{5400}, u_{16198}, \ldots, u_{53992}, u_{59231}, u_{64790})$.

Детализированный список индексов в правой части равенства иллюстрирует значения индексов для всех 12 столбцов: 0, 5 400, 16 198, 21 598, 26 997, 32 396, 37 796, 43 195, 48 595, 53 993, 59 392, 64 791, ... 5 399, 10 799, 16 197, 21 597, 26 996, 32 395, 37 795, 43 194, 48 594, 53 992, 59 391, 64 790.

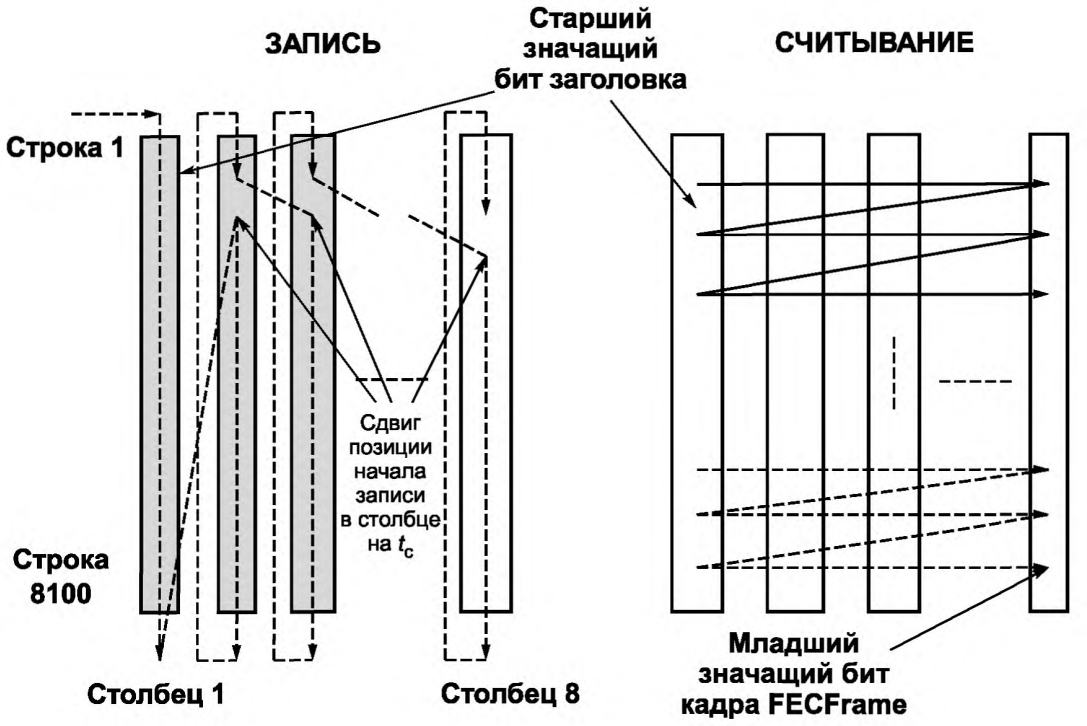


Рисунок 15 — Схема перемежителя битов FECFrame нормальной длины при модуляции 16QAM

Таблица 10 — Значения параметра скручивания столбцов t_c (столбцы с 0 по 11)

Формат модуляции	N_c	N_{ldpc}	Значения параметра скручивания столбцов t_c											
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16QAM	8	64800	0	0	2	4	4	5	7	7	—	—	—	—
		16200	0	0	0	1	7	20	20	21	—	—	—	—
64QAM	12	64800	0	0	2	2	3	4	4	5	5	7	8	9
		16200	0	0	0	2	2	2	3	3	3	6	7	7
256QAM	16	64800	0	2	2	2	2	3	7	15	16	20	22	22
	8	16200	0	0	0	1	7	20	20	21	—	—	—	
1024QAM	20	64800	0	1	3	4	5	6	6	9	13	14	14	16
		16200	0	0	0	2	2	2	2	2	5	5	5	5
4096QAM	12	64800	0	0	2	2	3	4	4	5	5	7	8	9
	24	16200	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2

Таблица 11 — Значения параметра скручивания столбцов t_c (столбцы с 12 по 23)

Формат модуляции	N_c	N_{ldpc}	Значения параметра скручивания столбцов t_c											
			12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
16QAM	8	64800	—	—	—	—								
		16200	—	—	—	—								
64QAM	12	64800	—	—	—	—								
		16200	—	—	—	—								
256QAM	16	64800	27	27	28	32								
	8	16200	—	—	—	—								
1024QAM	20	64800	21	21	23	25	25	26	28	30				
		16200	5	7	7	7	7	8	8	10				
4096QAM	12	64800												
	24	16200	2	3	7	9	9	9	10	10	10	10	10	11

6.2 Параметры отображения битов в модуляционные созвездия

Преобразование кадров FECFrame (64 800 битов для нормального кадра FECFrame, или 16 200 битов для короткого кадра FECFrame) в параллельные слова ячеек выполняется при демультиплексировании входных битов с последующим отображением слов ячеек данных в значения модуляционного созвездия.

Каждый кадр FECFrame (64 800 битов для нормального кадра FECFrame, или 16 200 битов для короткого кадра FECFrame (упакованных в ячейки)) должен быть преобразован в кодированный и модулированный блок FEC демультиплексированием входных битов в параллельные слова ячеек с последующим отображением этих слов ячеек в значения модуляционного созвездия. Количество выходных ячеек данных и количество битов в ячейке η_{MOD} для различных форматов модуляции определено в таблице 12. Демультиплексирование выполняется согласно 6.2.1 настоящего стандарта, отображение ячеек в значения модуляционного созвездия выполняется согласно 6.2.2 настоящего стандарта.

Таблица 12 — Параметры отображения битов в созвездие

Количество битов в блоке LDPC N_{ldpc}	Формат модуляции	Количество битов на ячейку η_{MOD}	Количество ячеек выходных данных
64 800	4096QAM	12	5 400
	1024QAM	10	6 480
	256QAM	8	8 100
	64QAM	6	10 800
	16QAM	4	16 200
16 200	4096QAM	12	1 350
	1024QAM	10	1 620
	256QAM	8	2 025
	64QAM	6	2 700
	16QAM	4	4 050
	QPSK	2	8 100

6.2.1 Демультиплексор входных битов в кодовые слова ячеек

Поток битов v_i от перемежителя битов демультиплексируется в субпотоки, как показано на рисунке 16. Количество субпотоков $N_{substream}$ определено в таблице 13.

Таблица 13 — Количество субпотоков, формируемых демультиплексором

Формат модуляции	Количество битов в блоке на выходе кодера LDPC N_{ldpc}	Количество субпотоков $N_{substream}$
QPSK	Не нормируется	2
16QAM	Не нормируется	8
64QAM	Не нормируется	12
256QAM	64 800	16
	16 200	8
1024QAM	Не нормируется	20
4096QAM	64 800	12
	16 200	24

Демультиплексирование обеспечивает отображение входных битов после процедуры перемежения битов, v_{di} на выходные биты $b_{e,do}$, где:

$$- d_o = d_i \text{ div } N_{substreams};$$

- v_{di} — вход демультиплексора.

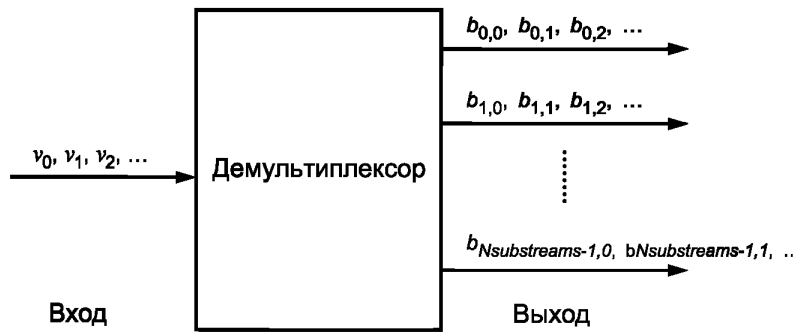


Рисунок 16 — Демультиплексирование битов в субпотоки

Таблица 14 — Параметры демультиплексирования битов в субпотоки для скоростей кодирования 1/2, 3/4, 4/5, 5/6, 9/10 (8/9)

Формат модуляции	QPSK	
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1
Номер выходного бита, e	0	1

Формат модуляции	16QAM							
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7
Номер выходного бита, e	7	1	4	2	5	3	6	0

Окончание таблицы 14

Формат модуляции	64QAM											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер выходного бита, e	11	7	3	10	6	2	9	5	1	8	4	0

Формат модуляции	256QAM (N_{ldpc} = 64 800)															
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Номер выходного бита, e	15	1	13	3	8	11	9	5	10	6	4	7	12	2	14	0

Формат модуляции	256QAM (N_{ldpc} = 16 200)							
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7
Номер выходного бита, *e*	7	3	1	5	2	6	4	0

Формат модуляции	1024QAM (N_{ldpc} = 64 800)																			
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Номер выходного бита, e	8	16	7	19	4	15	3	12	0	11	10	9	13	2	14	5	17	6	18	1

Формат модуляции	1024QAM (N_{ldpc} = 16 200)																			
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Номер выходного бита, e	8	3	7	10	19	4	9	5	17	6	14	11	2	18	16	15	0	1	13	12

Формат модуляции	4096QAM (N_{ldpc} = 64 800)											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер выходного бита, e	8	0	6	1	4	5	2	3	7	10	11	9

Формат модуляции	4096QAM (N_{ldpc} = 16 200), part 1											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер выходного бита, e	10	15	4	19	21	16	23	18	11	14	22	5

Формат модуляции	4096QAM (N_{ldpc} = 16 200), part 2											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Номер выходного бита, e	6	17	13	20	1	3	9	2	7	8	12	0

Таблица 15 — Параметры демультиплексирования битов в субпотоки для скорости кодирования 2/3

Формат модуляции	QPSK	
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1
Номер выходного бита, e	0	1

Формат модуляции	16QAM							
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7
Номер выходного бита, e	7	1	4	2	5	3	6	0

Формат модуляции	64QAM											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер выходного бита, e	11	7	3	10	6	2	9	5	1	8	4	0

Формат модуляции	1024QAM (N_{ldpc} = 64 800)															
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Номер выходного бита, e	7	2	9	0	4	6	13	3	14	19	15	2	8	12	11	1

Формат модуляции	256QAM (N_{ldpc} = 16 200)							
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7
Номер выходного бита, e	7	3	1	5	2	6	4	0

Формат модуляции	1024QAM (N_{ldpc} = 64 800)																			
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Номер выходного бита, e	8	16	7	19	4	15	3	12	0	11	10	9	13	2	14	5	17	6	18	1

Формат модуляции	1024QAM (N_{ldpc} = 16 200)																			
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Номер выходного бита, e	8	3	7	10	19	4	9	5	17	6	14	11	2	18	16	15	0	1	13	12

Формат модуляции	4096QAM (N_{ldpc} = 64 800)											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер выходного бита, e	8	0	6	1	4	5	2	3	7	10	11	9

Формат модуляции	4096QAM (N_{ldpc} = 16 200), part 1											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер выходного бита, e	10	15	4	19	21	16	23	18	11	14	22	5

Окончание таблицы 15

Формат модуляции	4096QAM (N_{ldpc} = 16 200), part 2											
Номер входного бита, d_i mod $N_{substreams}$	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Номер выходного бита, e	6	17	13	20	1	3	9	2	7	8	12	0

Для всех форматов модуляции (за исключением форматов модуляции 256QAM с N_{ldpc}=16 200 и 4096QAM с N_{ldpc}=64 800) слова размером $N_{substreams}$ на выходе демультиплексора разделены на два субслова длительностью η_{MOD} = $N_{substreams}$/2. Биты первого субслова η_{MOD} =$N_{substreams}$/2 [$b_{0,do}$ .. $b_{Nsubstreamsl2-1,do}$] образуют первое из пары выходных слов ячейки [$y_{0,2do}$ .. $y_{\eta MOD-1,2do}$], остальные биты [$b_{Nsubstreamsl2,do}$ .. $b_{Nsubstreams-1,do}$] образуют второе выходное слово ячейки [$y_{0,2do+1}$ .. $y_{\eta MOD-1,2do+1}$]. Оба слова поступают на формирователь созвездия.

В случае форматов модуляции 256QAM с N_{ldpc}= 16 200 и 4096QAM с N_{ldpc} = 64 800 слова $N_{substreams}$ от демультиплексора образуют выходные слова ячейки, питающие формирователь созвездия следующим образом:

$$[y_{0,do} .. y_{\eta MOD-1,do}] = [b_{0,do} .. b_{Nsubstreams-1,do}].$$

Возможность применения параметров демультиплексированных потоков битов v_i от перемежителя битов, приведенных в таблицах 14, 15, ограничена допустимыми комбинациями скорости кода и формата модуляции Системы С2, которые поддерживаются списком выбранных конфигураций модуляционных кодов ModCod, как показано в таблицах 16, 17.

Таблица 16 — Модуляционные коды для N_{ldpc} = 64 800

Скорость кода	Формат модуляции					
	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM	4096QAM
2/3	Нп	Нп	X	Нп	Нп	Нп
3/4	Нп	Нп	Нп	X	X	Нп
4/5	Нп	X	X	Нп	Нп	Нп
5/6	Нп	Нп	Нп	X	X	X
9/10	Нп	X	X	X	X	X
Примечание — Символ X указывает на допустимость применения конфигурации. Символ НП указывает на недопустимость применения конфигурации.						

Таблица 17 — Модуляционные коды для N_{ldpc} =16 200

Скорость кода	Формат модуляции					
	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM	4096QAM
1/2	НП	X	НП	НП	НП	НП
2/3	НП	НП	X	НП	НП	НП
3/4	НП	НП	НП	X	X	НП
4/5	НП	X	X	НП	НП	НП
5/6	НП	НП	НП	X	X	X
8/9	НП	X	X	X	X	X
Примечание — Символ X указывает на допустимость применения конфигурации. Символ НП указывает на недопустимость применения конфигурации.						

6.2.2 Требования к отображению слова ячейки на созвездие

Каждое слово ячейки ($y_{0,q}$ .. $y_{\eta MOD-1,q}$), поступающее от демультиплексора в соответствии с 6.2.1 настоящего стандарта, должно быть отображено точкой созвездия z_q для одного из форматов модуляции: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM. Параметр z_q является оценкой точки созвездия до нормализации.

Точные значения действительных и мнимых компонентов Re(z_q) и Im(z_q) созвездий для каждой комбинации соответствующих битов $y_{e,q}$ даны в таблицах 18—30.

Таблица 18 — Отображение созвездия для BPSK

$y_{0,q}$	1	0
Re(z_q)	–1	1
Im(z_q)	0	0

Таблица 19 — Отображение созвездия для действительной части QPSK

$y_{1,q}$	1	0
Re(z_q)	–1	1

Таблица 20 — Отображение созвездия для мнимой части QPSK

$y_{1,q}$	1	0
Im(z_q)	–1	1

Таблица 21 — Отображение созвездия для действительной части 16QAM

$y_{0,q}$ $y_{2,q}$	1 0	1 1	0 1	0 0
Re(z_q)	–3	–1	1	3

Таблица 22 — Отображение созвездия для мнимой части 16QAM

$y_{1,q}$ $y_{3,q}$	1 0	1 1	0 1	0 0
Im(z_q)	–3	–1	1	3

Таблица 23 — Отображение созвездия для действительной части 64QAM

$y_{0,q}$ $y_{2,q}$ $y_{4,q}$	1 0 0	1 0 1	1 1 1	1 1 0	0 1 0	0 1 1	0 0 1	0 0 0
Re(z_q)	–7	–5	–3	–1	1	3	5	7

Таблица 24 — Отображение созвездия для мнимой части 64QAM

$y_{0,q}$ $y_{2,q}$ $y_{4,q}$	1 0 0	1 0 1	1 1 1	1 1 0	0 1 0	0 1 1	0 0 1	0 0 0
Im(z_q)	–7	–5	–3	–1	1	3	5	7

Таблица 25 — Отображение созвездия для действительной части 256QAM

$y_{0,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{4,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{6,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Re}(z_q)$	–15	–13	–11	–9	–7	–5	–3	–1	1	3	5	7	9	11	13	15

Таблица 26 — Отображение созвездия для мнимой части 256QAM

$y_{1,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{5,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{7,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Im}(z_q)$	–15	–13	–11	–9	–7	–5	–3	–1	1	3	5	7	9	11	13	15

Таблица 27 — Отображение созвездия для действительной части 1024QAM

$y_{0,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{6,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{8,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Re}(z_q)$	–31	–29	–27	–25	–23	–21	–19	–17	–15	–13	–11	–9	–7	–5	–3	–1
$y_{0,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{6,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{8,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Re}(z_q)$	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31

Таблица 28 — Отображение созвездия для мнимой части 1024QAM

$y_{1,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{5,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{7,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{9,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Im}(z_q)$	–31	–29	–27	–25	–23	–21	–19	–17	–15	–13	–11	–9	–7	–5	–3	–1
$y_{1,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{5,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{7,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{9,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Im}(z_q)$	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31

Таблица 29 — Отображение созвездия для действительной части 4096QAM

$y_{0,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{6,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{10,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Re}(z_q)$	–63	–61	–59	–57	–55	–53	–51	–49	–47	–45	–43	–41	–39	–37	–35	–33

Окончание таблицы 29

$y_{0,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{6,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{10,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Re}(z_q)$	–31	–29	–27	–25	–23	–21	–19	–17	–15	–13	–11	–9	–7	–5	–3	–1
$y_{0,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{6,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{10,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Re}(z_q)$	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
$y_{0,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{6,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{10,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Re}(z_q)$	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63

Таблица 30 — Отображение созвездия для мнимой части 4096QAM

$y_{1,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{5,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{7,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Im}(z_q)$	–63	–61	–59	–57	–55	–53	–51	–49	–47	–45	–43	–41	–39	–37	–35	–33
$y_{1,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{5,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{7,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Im}(z_q)$	–31	–29	–27	–25	–23	–21	–19	–17	–15	–13	–11	–9	–7	–5	–3	–1
$y_{1,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{5,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{7,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Im}(z_q)$	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
$y_{1,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,q}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{5,q}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{7,q}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,q}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\mathrm{Im}(z_q)$	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63

Детализированные отображения созвездий на действительную ось Re и мнимую ось Im при применении кода Грея показаны на рисунках 17, 18.

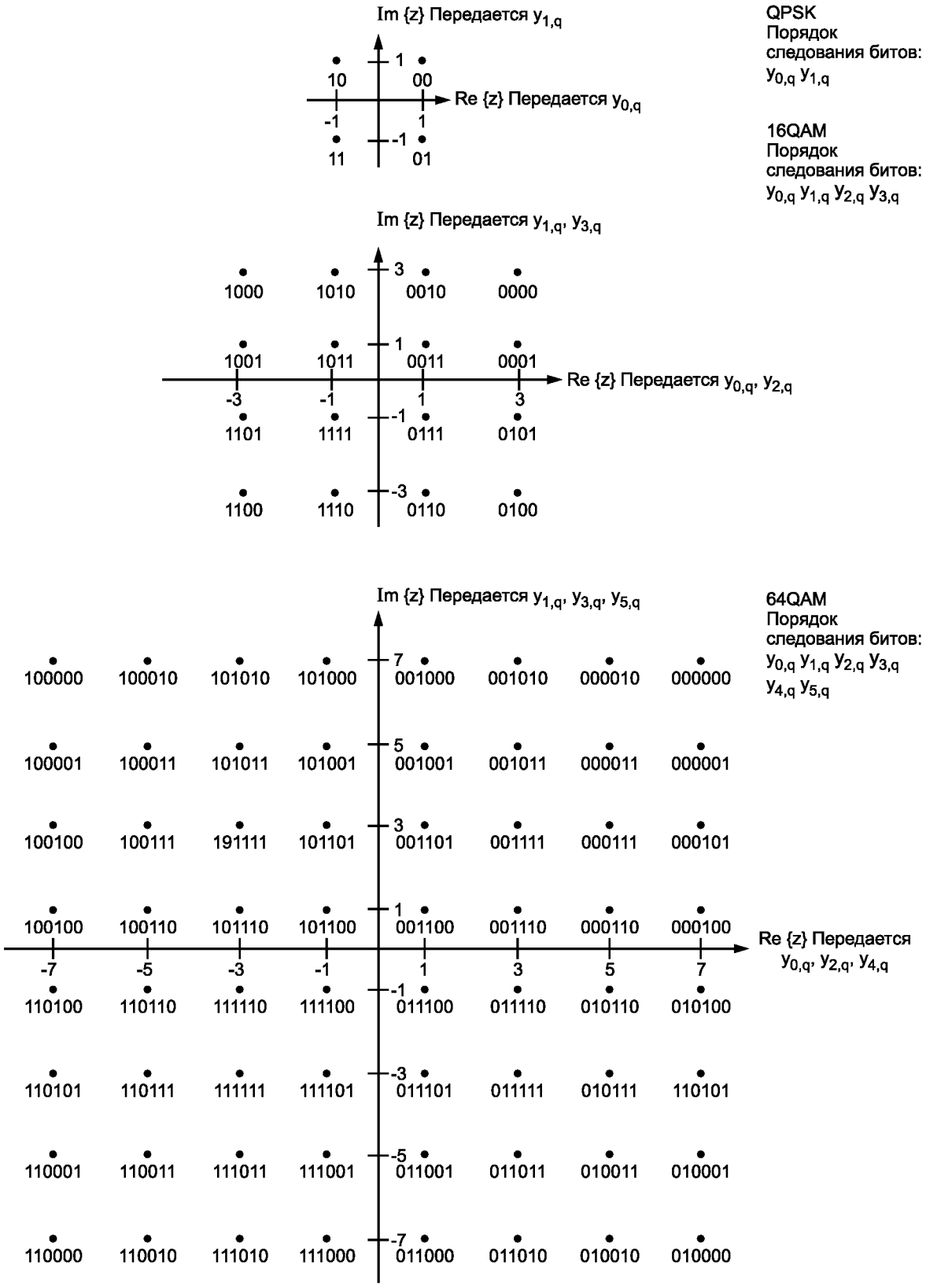


Рисунок 17 — Отображение созвездий при видах модуляции QPSK, 16QAM и 64QAM и соответствующих конфигураций битов

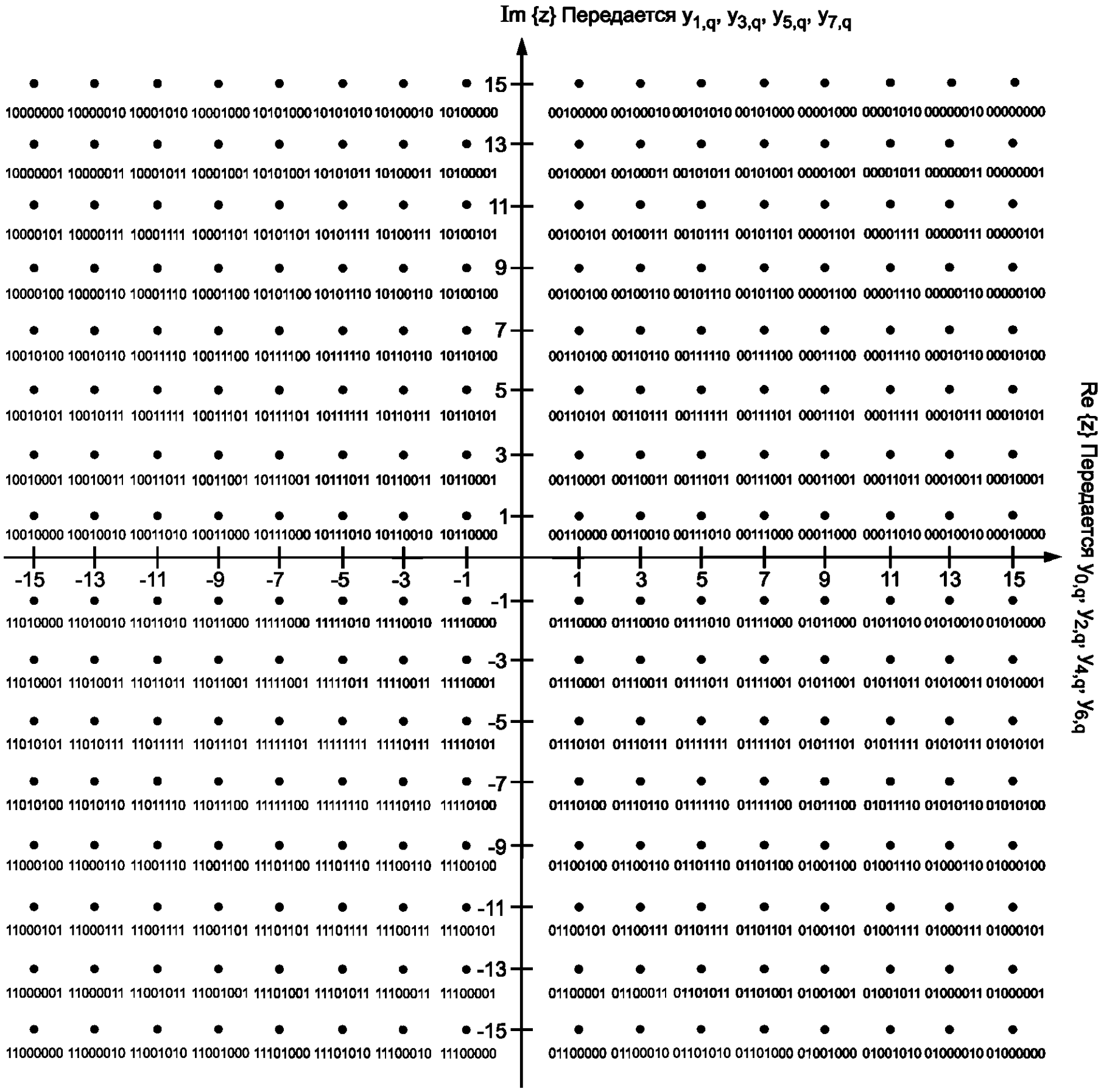


Рисунок 18 — Отображение созвездия при модуляции 256QAM и соответствующих конфигураций битов

Таблицы 27, 28 дают описание точных значений действительных и мнимых компонентов Re(z_q) и Im(z_q) для каждой комбинации соответствующих битов $y_{e,q}$ созвездий 1024QAM.

Таблицы 29, 30 дают описание точных значений действительных и мнимых компонентов Re(z_q) и Im(z_q) соответствующих комбинаций битов $y_{e,q}$ созвездий 4096QAM.

Точки созвездия z_q для каждого входного слова ячейки ($y_{0,q}$..$y_{\eta MOD\text{-}1,q}$) нормализованы использованием коэффициентов нормализации согласно таблице 31 для получения точного комплексного значения ячейки f_q для последующего использования.

Таблица 31 — Коэффициенты нормализации слов ячеек

Формат модуляции	Коэффициенты нормализации
QPSK	f_q=
16QAM	f_q=
64QAM	f_q=
256QAM	f_q=
1024QAM	f_q=
4096QAM	f_q=

7 Формирование Пакета Слоя Данных

Комплект ячеек одного или двух FECFrame формирует Пакет Слоя Данных. Пакеты Слоя Данных Тип 1 передают только данные Кадра FECFrame, выделение которых выполняется по ссылке в данных сигнализации L1-part2.

Пакеты Слоя Данных Тип 2 переносят заголовок FECFrame, который обеспечивает синхронизацию Пакетов Слоя Данных без дополнительной информации. Кроме того заголовок FECFrame информирует о параметрах модуляции, кодирования и идентификатора PLP_ID. Содержание дополнительной информации может изменяться в каждом Пакете Слоя Данных.

7.1 Пакеты Слоя Данных Тип 1

Комплект g ячеек Пакетов Слоя Данных, передаваемых в Слоях Данных Тип 1 (DSLICE_TYPE = '0') преобразуется в N_D ($N_{DP} = \lfloor N_{ldpc} / \eta_{MOD} \rfloor$) комплектов ячеек одного кодового слова LDPC при выполнении условия:

$$g_q = f_q, \text{ где } q = 0, 1, \ldots, N_{DP} - 1.$$

7.2 Пакеты Слоя Данных Тип 2

Пакеты Слоя Данных Тип 2 переносят дополнительный заголовок перед одним Кадром (или двумя Кадрами) FECFrame. Заголовок содержит PLP_ID, параметры кодирования и модуляции следующего XFECFrame, количество кадров XFECFrame, следующих за одним заголовком. Структура этих Пакетов Слоя Данных приведена на рисунке 19.

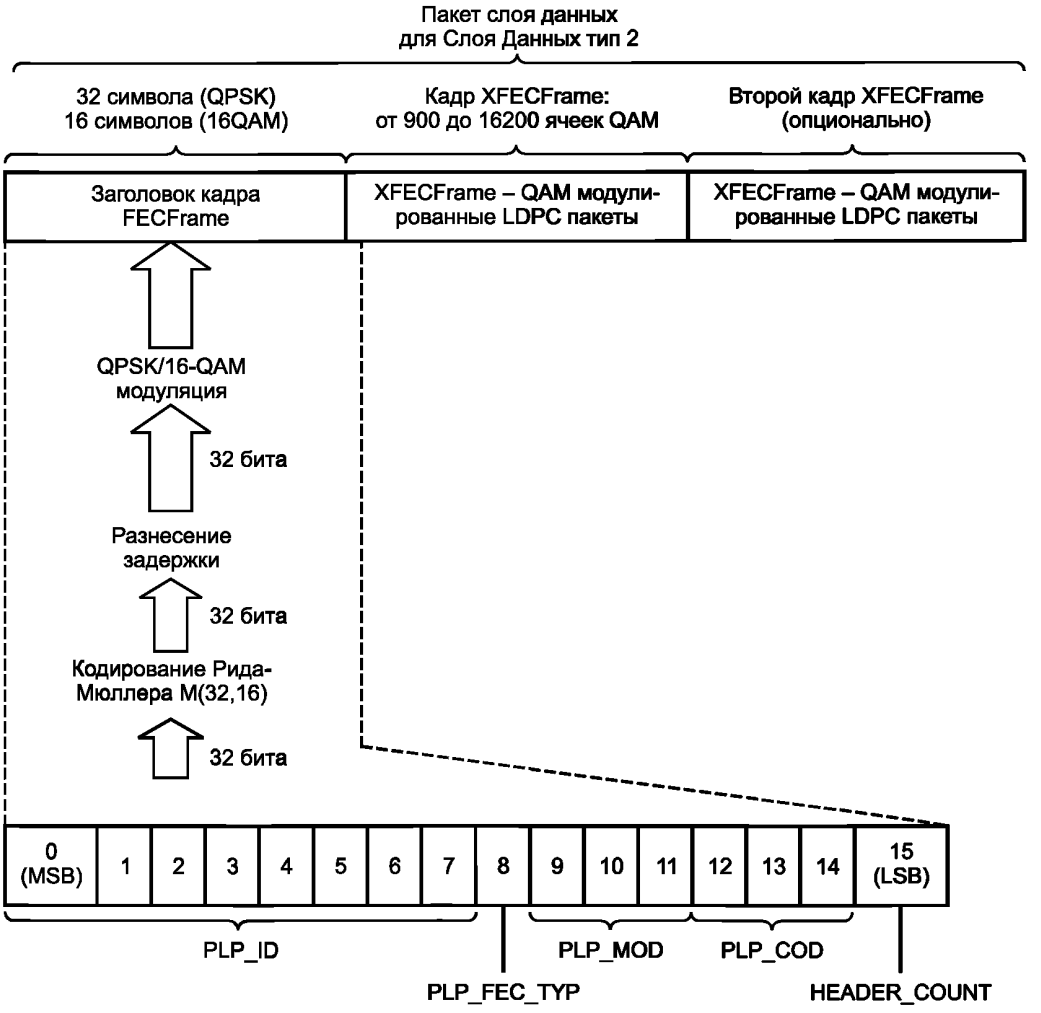


Рисунок 19 — Пакет Слоя Данных Тип 2, состоящий из заголовка FECFrame и следующих за ним пакетов XFECFrame

7.2.1 Информационные данные заголовка FECFrame

16 информационных битов заголовка FECFrame, в котором первым всегда должен отображаться MSB, содержат:

PLP_ID: поле размером 8 битов отображает количество PLP.

PLP_FEC_TYPE: поле размером 1 бит отображает размер следующего FECFrame (0 = 16 200 битов, 1 = 64 800 битов).

PLP_MOD: поле размером 3 бита отображает формат используемого отображения QAM согласно таблице 32.

Таблица 32 — Значения PLP_MOD для используемых форматов QAM

Значение PLP_MOD	Формат QAM
000	Зарезервировано
001	16QAM
010	64QAM
011	256QAM

Окончание таблицы 32

Значение PLP_MOD	Формат QAM
100	1024QAM
101	4096QAM
от 110 до 111	Зарезервировано для применения в будущем

PLP_COD: поле размером 3 бита отображает скорость кода LDPC следующего Кадра FECFrame согласно таблице 33. Возможные сочетания значений PLP_MOD и PLP_COD поддерживаются в соответствии с таблицами 16 и 17.

Таблица 33 — Значения PLP_COD для различных скоростей кода

Значение PLP_COD	Кодовая скорость
000	Зарезервировано
001	2/3
010	3/4
011	4/5
100	5/6
101	8/9 (код LDPC 16K) 9/10(код LDPC 64K)
от 110 до 111	Зарезервировано для применения в будущем

HEADER_COUNTER: поле размером 1 бит отображает количество кадров FECFrame, следующих после заголовка FECFrame. Значение '0' указывает, что за заголовком FECFrame следует один FECFrame. Значение '1' указывает, что за заголовком FECFrame следуют два кадра FECFrame, при этом оба кадра FECFrame должны иметь одинаковые PLP_ID, PLP_FEC_TYPE, PLP_MOD и PLP_COD.

7.2.2 Кодирование заголовка FECFrame

Кодирование данных заголовка FECFrame обеспечивает устойчивость синхронизации и декодирования данных сигнализации L1-part1. С этой целью применены схемы кодирования, показанные на рисунках 20, 21. На первом этапе 16 битов сигнализации L1-part1 кодируются FEC кодером Рида—Мюллера (32,16). Затем каждый бит из 32 битовой кодовой комбинации Рида—Мюллера разделяется на верхнюю и нижнюю ветви. Кодовая комбинация верхней ветви поступает непосредственно на формирователь QPSK, как показано на рисунке 20, или на формирователь QAM, как показано на рисунке 21. В нижней ветви выполняется циклический сдвиг в каждой кодовой комбинации Рида—Мюллера и скремблирование получающихся данных путем использования специфической последовательности PN. Данные отображаются на созвездии QPSK, устойчивого к помехам (робастного) заголовка FECFrame или на созвездии 16QAM для заголовка FECFrame высокой производительности.

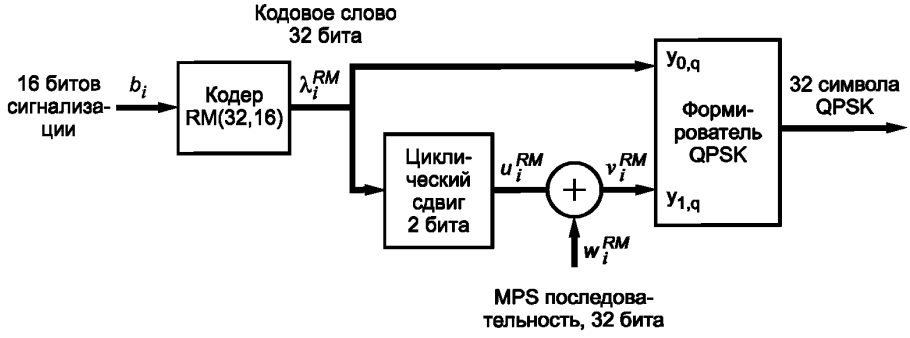


Рисунок 20 — Устойчивый (робастный) заголовок FECFrame

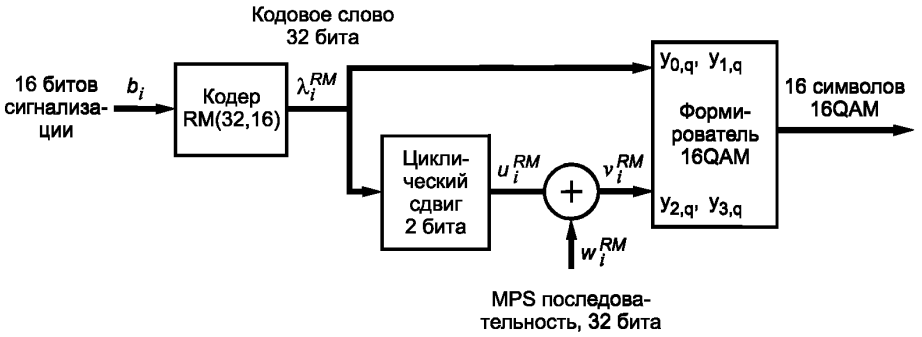


Рисунок 21 — Заголовок FECFrame высокой производительности

7.2.2.1 Кодирование для защиты от ошибок

Для защиты от ошибок (FEC) 16 информационных битов закодированы кодом Рида—Мюллера (32,16). Порождающая матрица *G* для кода Рида—Мюллера (32,16) показана в таблице 34.

Таблица 34 — Порождающая матрица кодера Рида—Мюллера

$$G = \begin{pmatrix}
1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&1&1&1&1&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&1&1&1&1&1&1\\
0&0&0&0&1&1&1&1&0&0&0&0&1&1&1&1&0&0&0&0&1&1&1&1&0&0&0&0&1&1&1&1\\
0&0&1&1&0&0&1&1&0&0&1&1&0&0&1&1&1&1&0&0&1&1&0&0&1&1&0&0&1&1&0&1\\
0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&1&0&1&1&0&1&1&0&1&0&1&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&1&1&1&1&1&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&1&1&0&0&0&0&1&1&1&1&0&0&0&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&0&0&1&1&0&0&1&1&0&0&1&1&1&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&0&1&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&1&1\\
0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&1&1&0&0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&0&0&1&1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&1&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&0&1&0&1&0&1\\
0&0&0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&0&1&1&0&0&1\\
0&0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&1&0&1&0&1&0&1\\
0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&1
\end{pmatrix}$$

Закодированная последовательность битов данных (32 вектора) $\lambda^{RM} = [\lambda_0^{RM}, ...]$ кода Рида—Мюллера получена перемножением вектора данных $b = [b_0, ..., b_{15}]$ кадра FECFrame длиной 16 бит с порождающей матрицей, то есть:

$$\lambda^{RM} = b \cdot G.$$

Все операции выполнены по модулю 2.

7.2.2.2 Циклическая задержка

В соответствии с рисунками 20, 21 каждое кодовое слово, состоящее из закодированных 32 битов данных λ_i^{RM} кода Рида—Мюллера, должно циклически задерживаться на 2 бита. На выходе блока циклической задержки последовательность битов должна иметь вид:

$$u_{(i+2)}^{RM} = \lambda_i^{RM}, \text{ где } i = 0, 1, ..., 31.$$

7.2.2.3 Скремблирование в нижней ветви

Данные в нижней ветви должны быть скремблированы последовательностью:

, ,..., = 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0 , 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1.

Эта выходная последовательность v_i^{RM} на 32 бита получена применением операции $\oplus$ по модулю 2 между циклически смещенными данными u_i^{RM} и скремблирующей последовательностью w_i^{RM}:

$$v_i^{RM} = u_i^{RM} \oplus w_i^{RM},$$ где $i = 0, 1, ..., 31$.

7.2.3 Отображения в созвездия QAM

Результирующие последовательности битов верхней ветви (32 бита) и нижней ветви (32 бита) должны быть отображены в созвездия QAM. Параметры процесса отображения описаны в 6.2.2 настоящего стандарта. Предусмотрена возможность использования двух различных заголовков FECFrame. Заголовок FECFrame, использующий формат модуляции QPSK, применяется для кабельных каналов с низкими значениями C/N; заголовок FECFrame, использующий формат модуляции 16QAM, применяется для кабельных каналов с высокими значениями C/N при меньшей длине заголовка.

7.2.3.1 Робастный заголовок FECFrame

Робастный заголовок FECFrame должен использовать QPSK в соответствии с 6.2.2 настоящего стандарта для получения комплексных значений 32 ячеек f_q. Входные слова ячейки формирователя (32 слова) должны быть определены как:

$$[y_{0,} = [\lambda_i^{RM} , ,$$ где $i = 0, 1, ..., 31$.

7.2.3.2 Заголовок FECFrame высокой производительности

Для заголовка FECFrame высокой производительности должен использоваться формат модуляции 16QAM чтобы получить 16 (слов) ячеек f_q комплекных значений. Отображение 16 слов ячейки формирователя должно быть выполнено в соответствии с правилом:

$$[y_{0i}, y_{1i}, y_{2i}, = [\lambda_{2i}^{RM}, \lambda_{2i+1}^{RM}, \nu_{2i}^{RM}$$, где $i = 0, 1, ..., 15$.

7.2.4 Отображение ячеек кадра XFECFrame

Для отображения 32 ячеек робастного заголовка FECFrame или 16 ячеек для заголовка пакета FECFrame высокой производительности должны использоваться первые ячейки Пакета Слоя Данных, то есть $g_0 = f_0$ и так далее. Заголовок FECFrame сопровождается $\lfloor N_{ldpc} / 1$ комплексными ячейками одного полного кодового слова LDPC. Если поле HEADER_COUNTER = '1', то за первым должен следовать еще один кадр FECFrame с теми же самыми идентификаторами PLP_ID, PLP_MOD и PLP_COD.

7.2.5 Длина Пакета Слоя Данных Тип 2

Длина Пакета Слоя Данных N_{DP} для Слоя Данных Тип 2 может быть вычислена использованием данных заголовка Кадра FECFrame. Длина пакетов робастного заголовка FECFrame должна быть:

$$N_{DP} = 32 + XFECFRAME_LENGTH \times (1 + HEADER_COUNTER).$$

Длина пакетов заголовка FECFrame высокой производительности должна быть:

$$N_{DP} = 16 + XFECFRAME_LENGTH \times (1 + HEADER_COUNTER).$$

Значения XFECFRAME_LENGTH для различных значений PLP_MOD и PLP_FEC_TYPE перечислены в таблице 35.

Таблица 35 — Значения XFECFRAME_LENGTH

PLP_FEC_TYPE	PLP_MOD	XFECFRAME_LENGTH
0	000	Не определена
	001	4 050
	010	2 700
	011	2 025
PLP_FEC_TYPE	PLP_MOD	XFECFRAME_LENGTH
0	100	1 620
	101	1 350
	110	1 158
	111	1 013
1	000	900
	001	16 200
	010	10 800
	011	8 100
	100	6 480
	101	5 400
	110	4 629
	111	4 050

7.2.6 Пакеты стаффинга Слоя Данных

Пакеты стаффинга Слоя Данных обеспечивают заполнение Слоя Данных Тип 2 данными стаффинга. Для пакетов стаффинга должно использоваться значение поля PLP_MOD '000'. Минимальная длина Кадра FECFrame составляет 900QAM ячеек, в то время как их полная длина должна определяться, как показано в 7.2.5 настоящего стандарта. Ниже представлены параметры полей заголовка FECFrame, относящихся к стаффингу:

PLP_ID: не нормируется (произвольное значение).

PLP_FEC_TYPE: 1 (= 64 800 битов).

PLP_MOD: 000 (= 900QAM ячеек).

PLP_COD: не нормируется (произвольное значение).

HEADER_COUNTER: 0.

Пакеты стаффинга Слоя Данных могут применяться в любых Слоях Данных и при любом их расположении в Кадре C2. Оба нормальных (обычных) пакета Слоя Данных и Пакеты Слоя Данных стаффинга накладываются на другие Кадры C2, если их окончание не совпадает с концом Кадра C2. Если Слой Данных прерван в следующем Кадре C2, то Пакет Слоя Данных стаффинга передается только частично до конца Кадра C2 (то есть не завершается в следующем Кадре C2).

Содержание Ячеек Данных 900QAM стаффинга является произвольным, но должно обеспечиваться выполнение требования к средней энергии ячейки QAM.

8 Формирование Символов Преамбулы сигнализации Layer1-part2

8.1 Краткий обзор

Структура Кадра С2, включающего преамбулу с данными сигнализации L1-part2, показана на рисунке 22. Количество символов преамбулы зависит от объема данных сигнализации L1, то есть от количества базовых Слоев Данных, количества PLP и режима работы временного перемежителя сигнализации L1. В настоящем подразделе рассматривается структура и синтаксис данных сигнализации L1-part2. Кодирование и модуляция преамбулы описываются в 8.4 настоящего стандарта. Данные сигнализации L1-part2 содержат параметры OFDM канала С2 и информацию о Слое Данных, PLP и ячейках полос режекции.

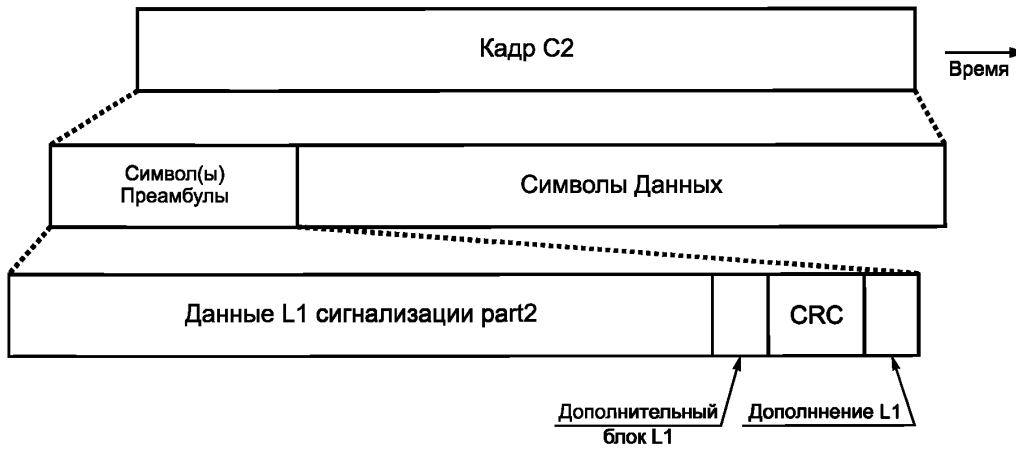


Рисунок 22 — Структура данных сигнализации L1-part2

8.2 Параметры заголовка преамбулы

Заголовок Преамбулы имеет фиксированную длину (32 ячейки OFDM), он должен быть вставлен перед блоком перемежения времени L1 в каждом Символе Преамбулы, как показано на рисунке 23. Все заголовки Преамбулы L1-part2 в одном Кадре С2 должны быть идентичными. Заголовок Преамбулы описывает длину L1-part2 и режим перемежения времени блока L1. Последовательность 16-информационных битов заголовка преамбулы закодирована FEC кодом Рида—Мюллера (32,16) с последующей модуляцией QPSK по аналогии с технологией обработки заголовка базового FECFrame в 7.2.2, 7.2.3 настоящего стандарта.

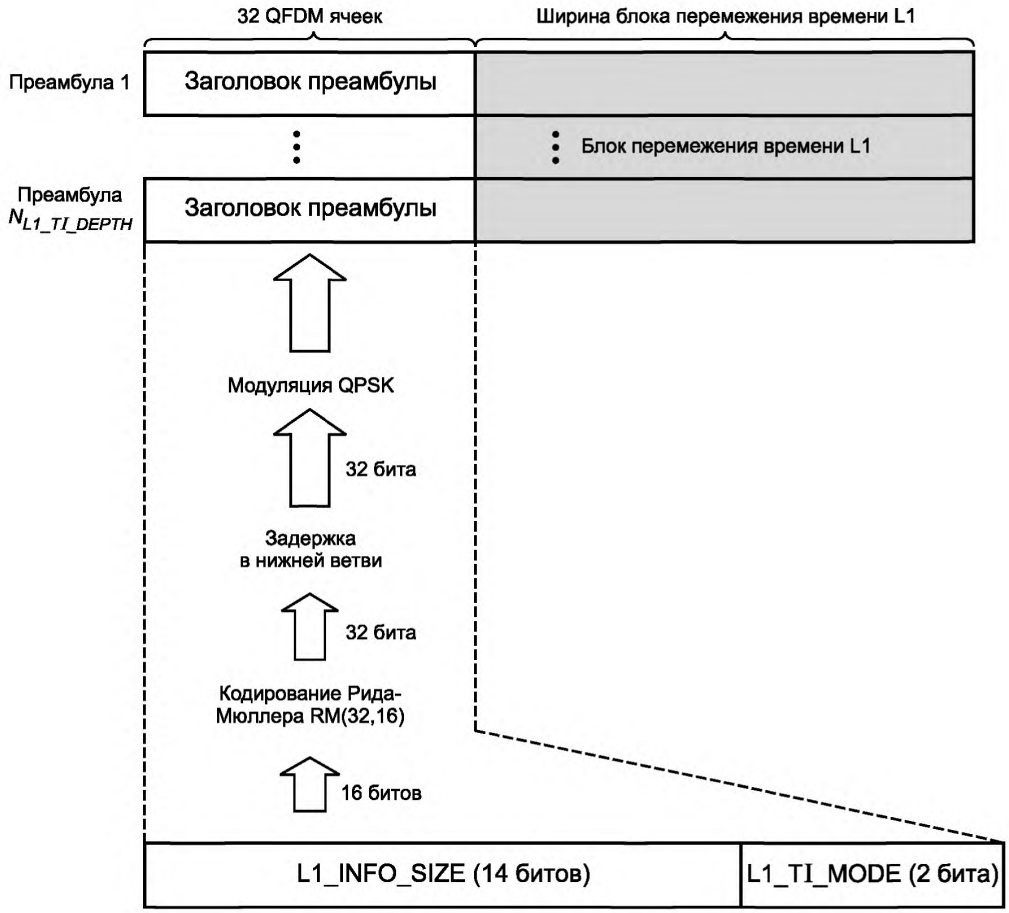


Рисунок 23 — Формирование заголовка преамбулы и полей сигнализации

L1_INFO_SIZE: поле 14 битов указывает величину половинного размера L1-part2 в битах, включающего данные сигнализации L1-part2 и блок дополнения L1 (если он присутствует), как показано на рисунке 24. Значение $K_{L1part2_ex_pad}$ вычисляется суммированием 32 (длина CRC) с величиной L1_INFO_SIZE×2.

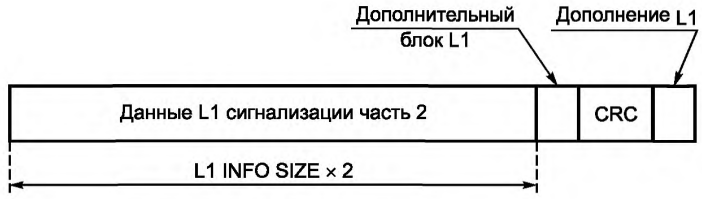


Рисунок 24 — Размер поля L1_INFO_SIZE

L1_TI_MODE: поле 2 бита указывает на формат режима перемежения данных сигнализации L1-part2 текущего Кадра C2. Таблица 36 содержит значения поля L1_TI_MODE и характеристику режима перемежения. 8.5 настоящего стандарта содержит дополнительную информацию о режимах перемежения данных сигнализации L1-part2.

Таблица 36 — Формат сигнализации поля L1_TI_MODE

Значение	Характеристика режима перемежения
00	Перемежение времени не применяется
01	Оптимальная настройка глубины перемежения
10	Глубина перемежения 4 символа OFDM
11	Глубина перемежения 8 символов OFDM

8.3 Данные сигнализации L1-part2

Наименование и размеры полей данных сигнализации L1-part2 представлены в таблице 37.

Таблица 37 — Состав и размеры полей данных сигнализации L1-part2

Наименование поля	Размер поля, бит
NETWORK_ID	16
C2_SYSTEM_ID	16
START_FREQUENCY	24
GUARD_INTERVAL	2
C2_FRAME_LENGTH	10
L1_PART2_CHANGE_COUNTER	8
NUM_BUNDLED_CH	5
NUM_DSLICE	8
NUM_NOTCH	4
for i=0..NUM_DSLICE-1 {	
DSLICE_ID	8
DSLICE_TUNE_POS	14 или 13
DSLICE_OFFSET_LEFT	9 или 8
DSLICE_OFFSET_RIGHT	9 или 8
DSLICE_TI_DEPTH	2
DSLICE_TYPE	1
if DSLICE_TYPE=='1' {	
FEC_HEADER_TYPE	1
}	
DSLICE_CONST_CONF	1
DSLICE_LEFT_NOTCH	1
DSLICE_NUM_PLP	8
for i=0..DSLICE_NUM_PLP-1 {	
PLP_ID	8
PLP_BUNDLED	1
PLP_TYPE	2

Окончание таблицы 37

Наименование поля	Размер поля, бит
PLP_PAYLOAD_TYPE	5
if PLP_TYPE=='00' or '01' {	
PLP_GROUP_I	8
}	
if DSLICE_TYPE=='0' {	
PLP_START	14
PLP_FEC_TYPE	1
PLP_MOD	3
PLP_COD	3
}	
PSI/SI_REPROCESSING	1
if PSI/SI_REPROCESSING=='0' {	
transport_stream_id	16
original_network_id	16
}	
RESERVED_1	8
}	
RESERVED_2	8
}	
for i=0..NUM_NOTCH-1 {	
NOTCH_START	14 или 13
NOTCH_WIDTH	9 или 8
RESERVED_3	8
}	
RESERVED_TONE	1
RESERVED_4	16

NETWORK_ID: поле размером 16 битов определяет сеть DVB-C2, находящуюся в эксплуатации. **C2_SYSTEM_ID:** поле размером 16 битов определяет Систему C2 в сети DVB-C2, находящейся в эксплуатации.

START_FREQUENCY: поле размером 24 бита указывает на начальную (нижнюю) частоту данной Системы C2 в герцах и дает значение разноса несущих частот находящейся в эксплуатации Системы C2. Значение '0' означает 0 Гц.

GUARD_INTERVAL: поле размером 2 бита указывает на защитный интервал текущего Кадра C2. Значения защитного интервала должны устанавливаться согласно таблице 38.

Таблица 38 — Формат сигнализации защитного интервала

Значение поля	Величина защитного интервала
00	1/128
01	1/64
от 10 до 11	Зарезервировано для использования в будущем

C2_FRAME_LENGTH: поле размером 10 битов содержит количество Символов Данных на Кадр C2 (L_{data}). В соответствии с настоящим стандартом в Системе C2 допускается величина поля C2_FRAME_LENGTH = 0 × 1C0 (448 десятичных чисел). Все другие коды поля C2_FRAME_LENGTH зарезервированы для использования в будущем.

L1_PART2_CHANGE_COUNTER: поле размером 8 битов указывает на количество следующих Кадров C2, в которых изменится конфигурация (то есть содержание полей в сигнализации L1-part2 за исключением полей PLP_START и L1_PART2_CHANGE_COUNTER). В этом поле указывается наличие или отсутствие изменений конфигурации следующего Кадра C2. Если в поле установлен '0', то это означает, что изменения не запланированы. Значение этого поля '1' указывает на изменения в следующем Кадре C2.

NUM_BUNDLED_CH: поле размером 5 битов указывает на количество каналов, переносимых в текущем Кадре C2. Минимальное значение этого поля должно быть '1'.

NUM_DSLICE: поле размером 8 битов указывает на количество Слоев Данных, переносимых в текущем Кадре C2. Минимальное значение этого поля должно быть '1'.

Примечание — Количество Слоев Данных и количество PLP для каждого Слоя Данных системы C2 выбраны так, чтобы общий объем сигнализации L1-part2 не превышал 32 766 битов.

NUM_NOTCH: поле размером 4 бита указывает на количество полос режекции. При отсутствии полос режекции в текущем Кадре C2 в этом поле должен быть установлен '0'.

Следующие поля появляются в цикле Слоя Данных:

- **DSLICE_ID:** поле размером 8 битов однозначно определяет Слой Данных в Системе C2.
- **DSLICE_TUNE_POS:** поле указывает на настройку позиции соответствующего Слоя Данных относительно START_FREQUENCY. Размер поля должен составлять 13 или 14 битов согласно значению GUARD_INTERVAL. При значении GUARD_INTERVAL '00' размер этого поля должен составлять 13 битов и указывать на позицию настройки 24 несущих в текущем Кадре C2. В противном случае размер этого поля должен составлять 14 битов и указывать на позицию настройки 12 несущих в текущем Кадре C2 относительно START_FREQUENCY.
- **DSLICE_OFFSET_LEFT:** поле указывает на начальную позицию соответствующего Слоя Данных как расстояние слева от позиции настройки и должно быть дополнено до 8 или 9 битов соответственно значением GUARD_INTERVAL. Детализация процедуры уплотнения — в соответствии со стандартом ETSI [4] (8.3).
- **DSLICE_OFFSET_RIGHT:** поле указывает на конечную позицию соответствующего Слоя Данных как расстояние направо от позиции настройки и должно быть дополнено целым числом до 8 битов или 9 битов согласно значению GUARD_INTERVAL. Детализация процедуры уплотнения — в соответствии со стандартом ETSI [4] (8.3).
- **DSLICE_TI_DEPTH:** поле размером 2 бита указывает на глубину перемежения времени в соответствующем Слое Данных согласно таблице 39.

Таблица 39 — Формат сигнализация глубины перемежения времени

Значение поля	Глубина перемежения
00	Премежение времени не применяется
01	4 символа OFDM
10	8 символов OFDM
11	16 символов OFDM

- **DSLICE_TYPE:** поле размером 1 бит указывает на тип соответствующего Слоя Данных согласно таблице 40. Дополнительная информация представлена в разделе 7 настоящего стандарта.

Таблица 40 — Формат сигнализации типа Слоя Данных

Значение поля	Тип Слоя Данных
0	Слой Данных Тип 1
1	Слой Данных Тип 2

Следующее поле появляется, если DSLICE_TYPE '1'.

- **FEC_HEADER_TYPE:** поле размером 1 бит указывает на тип заголовка FECFrame в соответствующем Слое Данных согласно таблице 41.

Таблица 41 — Формат сигнализации типа заголовка FECFrame

Значение поля	Тип заголовка FECFrame
0	Робастный режим
1	Режим высокой производительности

- **DSLICE_CONST_CONF:** поле размером 1 бит указывает тип конфигурации соответствующего Слоя Данных: переменная или фиксированная. Если в поле будет установлена '1', то конфигурация соответствующего Слоя Данных является фиксированной и не должна изменяться. В другом случае в этом поле должен быть установлен '0'. Значение '1' допускается применять только в случае Слоя Данных Тип 2

- **DSLICE_LEFT_NOTCH:** поле размером 1 бит указывает на присутствие слева в соответствующем Слое Данных соседней полосы режекции. Если в начале соответствующего Слоя Данных будет размещена полоса режекции, то в этом поле должна быть установлено '1'. В ином случае в этом поле должен быть установлен '0'.

Примечание — Поле DSLICE_LEFT_NOTCH может использоваться приемником для обнаружения количества Ячеек Данных текущего Слоя Данных. Дополнительная информация представлена в 9.6.4.1 настоящего стандарта.

- **DSLICE_NUM_PLP:** поле размером 8 битов указывает на количество PLP, которые переносятся в соответствующем Слое Данных. Минимальное значение этого поля должно быть '1'.

Примечание — Количество Слоев Данных и количество PLP для каждого Слоя Данных Системы С2 выбраны такими, чтобы объем полной сигнализации L1-part2 не превышал 32 766 битов.

Следующие поля появляются в цикле PLP:

- **PLP_ID:** поле размером 8 битов идентифицирует PLP в Системе С2.

- **PLP_BUNDLED:** поле размером 1 бит, указывает связан или нет PLP с другим (или с другими) PLP в текущей Системе С2. Если PLP входит в комплект PLP, то в этом поле должна быть установлена'1'. В противном случае в этом поле будет установлен '0'.

- **PLP_TYPE:** поле размером 2 бита указывает на тип связанного PLP. Сигнализация в PLP_TYPE должна выполняться в соответствии с таблицей 42.

Таблица 42 — Форматы сигнализации поля PLP_TYPE

Значение поля	Тип PLP
00	Общий PLP
01	PLP сгруппированных данных
10	PLP нормальных данных
11	Зарезервировано для применения в будущем

- **PLP_PAYLOAD_TYPE:** поле размером 5 битов указывает на тип данных полезной нагрузки, которые переносятся связанным PLP. Сигнализация в PLP_PAYLOAD_TYPE должна выполняться в соответствии с таблицей 43. Дополнительная информация представлена в 5.1.1 настоящего стандарта.

Таблица 43 — Форматы сигнализации поля PLP_PAYLOAD_TYPE

Значение поля	Тип полезной нагрузки
00000	GFPS
00001	GCS
00010	GSE
00011	TS
от 00100 до 11111	Зарезервировано для применения в будущем

Следующее поле появляется, если PLP_TYPE '00' или '01'.

- **PLP_GROUP_ID:** поле размером 8 битов идентифицирует группу PLP, с которой в системе C2 связан текущий PLP. Это поле может использоваться приемником, чтобы соединить данные PLP с ассоциированным с ним Общим PLP, который будет иметь тот же самый идентификатор PLP_GROUP_ID.

Следующие поля появляются, если DSLICE_TYPE '0'.

- **PLP_START:** поле размером 14 битов указывает на начальную позицию первого полного кадра XFECframe связанного PLP в текущем Кадре C2. В поле используется схема адресации ячейки, определенная в 9.4.3 настоящего стандарта.

- **PLP_FEC_TYPE:** поле размером 1 бит указывает на тип FEC, используемого связанным PLP. Формат сигнализации типа FEC должен быть в соответствии с таблицей 44.

- **PLP_MOD:** поле размером 3 бита указывает на формат модуляции, используемый связанным PLP. Формат модуляции должен отображаться в соответствии с таблицей 44.

Таблица 44 — Форматы сигнализации поля PLP_MOD и полей PLP_COD

PLP_FEC_TYPE	PLP_MOD	PLP FEC type	Modulation	XFECFrame Length
0	000	16K LDPC	Зарезервировано	Не определен
	001		16QAM	4 050
	010		64QAM	2 700
	011		256QAM	2 025
	100		1024QAM	1 620
	101		4096QAM	1 350
	110		Зарезервировано	1 158
	111		Зарезервировано	1 013
1	000	64K LDPC	Зарезервировано	900
	001		16QAM	16 200
	010		64QAM	10 800
	011		256QAM	8 100
	100		1024QAM	6 480
	101		4096QAM	5 400
	110		Зарезервировано	4 629
	111		Зарезервировано	4 050

Примечание — Длина XFECframe связанного PLP определена PLP_FEC_TYPE и PLP_MOD, как показано в таблице 44.

- **PLP_COD:** поле размером 3 бита указывает на скорость кода, используемую связанным PLP. Скорость кода должна устанавливаться в соответствии с таблицей 45. Если PLP_COD '101', то скорость кода определена PLP_FEC_TYPE. Если в PLP_FEC_TYPE установлен '0', то PLP_COD '101' означает, что скорость кода 8/9. В противном случае скорость кода равна 9/10. Следует учитывать, что поддерживаются не все возможные комбинации PLP_MOD и PLP_COD согласно таблицам 16, 17.

Таблица 45 — Форматы сигнализации скорости кода

Значение поля	Скорость кода
000	Зарезервировано для применения в будущем
001	2/3
010	3/4
011	4/5
100	5/6
101	8/9 (код LDPC 16K) 9/10(код LDPC 64K)
От 110 до 111	Зарезервировано для применения в будущем

- **PSI/SI_REPROCESSING:** поле размером 1 бит указывает, выполняется повторная обработка PSI/SI или нет. Эта информация может использоваться приемником для определения возможности использования соответствующих частей PSI/SI. При выполнении повторной обработки PSI/SI в этом поле должна быть установлена '1', в противном случае в поле должен быть установлен '0'.

При условии PSI/SI_REPROCESSING '0' появляются следующие поля:

- **transport_stream_id:** 16-разрядное поле, которое служит меткой для идентификации этого ТП от любого другого мультиплекса в системе доставки в соответствии со спецификацией ETSI [5].
- **original_network_id:** поле размером 16 бит содержит метку network_id идентифицирующую систему, которая инициирует поставку в соответствии со спецификацией ETSI [5].
- **RESERVED_1:** поле размером 8 битов зарезервировано для использования.
- **RESERVED_2:** поле размером 8 битов зарезервировано для использования в будущем.

Следующие поля появляются в цикле полос режекции:

- **NOTCH_START:** поле указывает на начальную позицию соответствующей полосы режекции и дает целочисленное значение этой позиции относительно START_FREQUENCY. Размер поля должен составлять 13 битов или 14 битов в соответствии со значением GUARD_INTERVAL. Когда GUARD_INTERVAL будет '00', размер этого поля должен составлять 13 битов и указывать на позицию группы 24 несущих в текущем кадре C2. В противном случае размер этого поля должен составлять 14 битов и укажывать на позицию группы 12 несущих в текущем кадре C2.
- **NOTCH_WIDTH:** поле указывает целочисленное значение ширины соответствующей полосы режекции. Размер поля должен составлять 8 или 9 битов в соответствии со значением GUARD_INTERVAL. Когда GUARD_INTERVAL '00', размер этого поля должен составлять 8 битов и указывать на ширину в группе 24 несущих в текущем кадре C2. В противном случае размер этого поля должен составлять 9 битов и указывать ширину в группе 12 несущих в текущем кадре C2.
- **RESERVED_3:** поле размером 8 битов зарезервировано для использования в будущем.
- **RESERVED_TONE:** поле размером 1 бит указывает наличие зарезервированных несущих. Если в текущем кадре C2 несущие зарезервированы, этот бит должен быть установлен в '1', в противном случае в поле должен быть установлен '0'. Позиции зарезервированных несущих для зарезервированных тонов в кадре C2 представлены в 9.7 настоящего стандарта.
- **RESERVED_4:** 16-разрядное поле зарезервировано для использования в будущем.

8.3.1 Дополнение блока L1

Дополнение блока L1 представляет собой поле размером 1 бит, установленный в '0'. Это поле вставляется после данных сигнализации L1-part2 для обеспечения длины сигнализации L1-part2, крат-

ной 2 (включая данные сигнализации L1-part2 и дополнение блока L1) в соответствии с рисунком 24. Если полная длина сигнализации L1-part2 не кратна числу 2, то это поле должно быть вставлено в конце данных сигнализации L1-part2.

8.3.2 CRC данных сигнализации L1-part2

Код CRC-32 с обнаружением ошибок применен ко всей последовательности данных сигнализации L1-part2, включая данные сигнализации L1-part2 и дополнение блока L1. Расположение поля CRC может быть найдено по длине последовательности сигнализации L1-part2 использованием поля L1_INFO_SIZE в заголовке преамбулы. Параметры CRC-32 должны быть в соответствии с приложением В.

8.3.3 Дополнение L1

Это поле переменной длины вставляется после поля CRC в последовательности сигнализации L1-part2, чтобы обеспечить нескольким блокам LDPC сигнализации L1-part2 одинаковый размер информации, когда данные сигнализации L1-part2 сегментированы в несколько блоков и эти блоки закодированы отдельно. Значения всех битов дополнения L1, если дополнение существует, установлено в '0'.

8.4 Кодирование с коррекцией ошибок и модуляция данных L1-part2

8.4.1 Краткий обзор

Данные L1-part2 защищены внешним кодом BCH и внутренним кодом LDPC. Данные L1-part2 должны быть сначала закодированы кодом BCH. Длина битов данных L1-part2 определяется сложностью базового Слоя Данных. Данные L1-part2 могут быть сегментированы на несколько блоков. Длина сегментированных данных L1-part2 не превышает K_{bch} = 7 032. Поэтому для кодирования кодом BCH или LDPC предусматривается операция дополнения нулевыми битами. После кодирования информации кодом BCH с добавленными нулевыми битами, биты четности BCH должны быть добавлены к данным L1-part2. Объединенные данные L1-part2 и биты четности BCH защищаются сокращенным и проколотым LDPC 16K кодом со скоростью кода 1/2 (N_{ldpc} = 16 200). Эффективная скорость кода LDPC 16K со скоростью кода 1/2 равна 4/9. Эффективная скорость кода определена как отношение длины информационной последовательности к длине кодированной последовательности. Подробности сокращения и прокалывания кода LDPC 16K описаны в 8.4.3.1, 8.4.3.4 настоящего стандарта. В каждой кодированной последовательности сигнализации L1-part2 должно быть выполнено перемежение битов в соответствии с 8.4.3.6 настоящего стандарта, с последующим ее отображением на созвездия в соответствии с 8.4.4 настоящего стандарта. Для кодированных данных сигнализации L1-part2 используется только формат модуляции 16QAM.

Структурная схема процессов кодирования и модуляции данных сигнализации L1-part2 показана на рисунке 25.

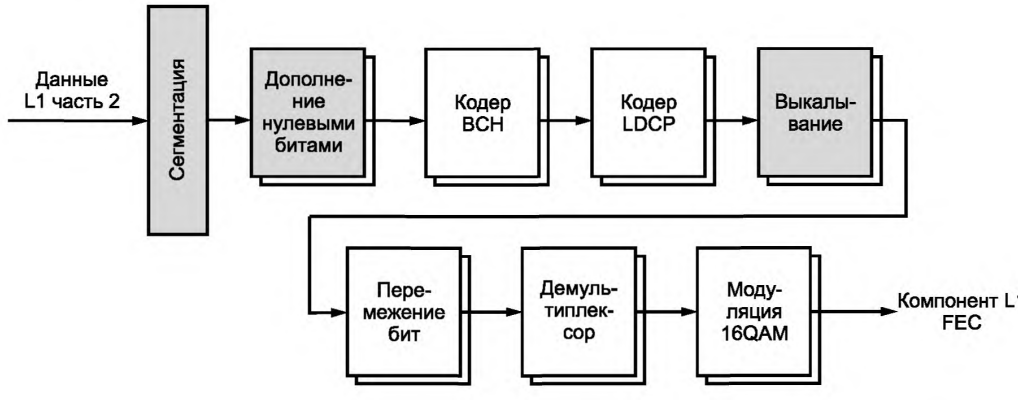


Рисунок 25 — Структурная схема процессов кодирования и модуляции данных сигнализации L1-part2

В связи с тем, что длина данных сигнализации L1-part2 является переменной, количество необходимых кадров L1 также изменяется. Каждый пакет L1 кадра FECFrame соответствует одному блоку L1 символа OFDM. Необходимость увеличения количества пакетов L1 FECFrame приводит к необходи-

мости такого же увеличения количества Символов Преамбулы в последующих символах OFDM. Если длина данных L1-part2 превышает заданную величину $N_{L1part2_max_per_Symbol}$ согласно 8.4.2 настоящего стандарта, то данные L1-part2 должны быть разделены на блоки.

Величина $N_{L1part2_max_per_Symbol}$ соответствует максимальному количеству информационных битов L1 для передачи кодированных данных сигнализации L1-part2 через один символ OFDM. На рисунках 26, 27 показаны примеры обработки для следующих случаев:

- кодированные данные L1-part2 вписываются в один кадр LDPC FECFrame L1-part2 в соответствии с рисунком 26;
- длина кодированных данных L1-part2 превышает один кадр LDPC FECFrame L1-part2 в соответствии с рисунком 27.

Подробности сегментации описаны в 8.4.2 настоящего стандарта.

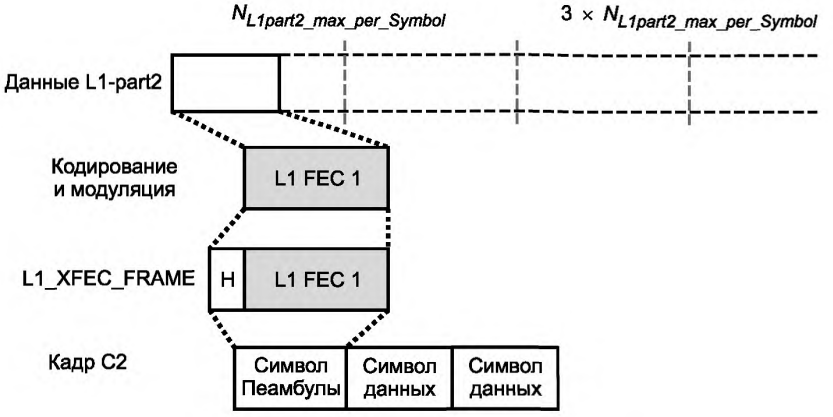


Рисунок 26 — Кодированные данные L1-part2

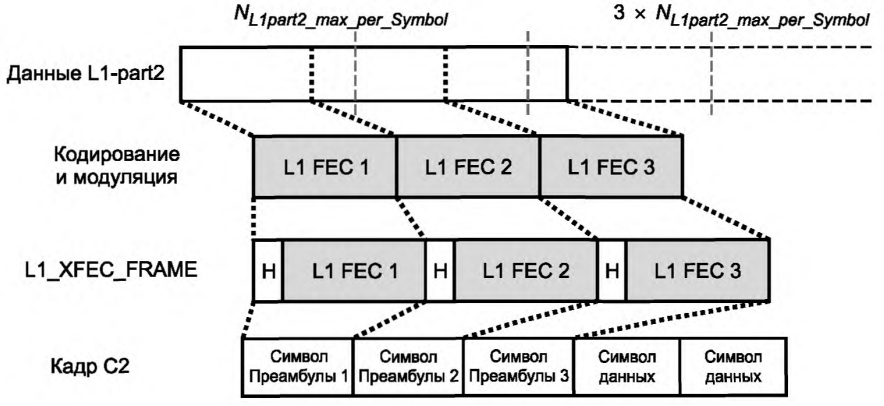


Рисунок 27 — Длина кодированных данных

В соответствии с 8.2 настоящего стандарта в форматах поля 'L1_TI_MODE' в заголовке преамбулы Символа Данных L1-part2 предусмотрена возможность применения перемежения времени к последовательности данных L1 FECFrame. Описание и параметры процесса перемежения времени представлены в 8.5 настоящего стандарта.

Если после отображения каждого L1 FECFrame в Символе Преамбулы остаются незаполненные ячейки, кадр FECFrame L1, включая заголовок L1-part2, циклически повторяется до тех пор, пока не будет заполнен полный блок преамбулы, как показано на рисунке 28. Информация о структуре циклически повторяющегося кадра FECFrame L1 в Символе Преамбулы содержится в заголовке L1-part2.

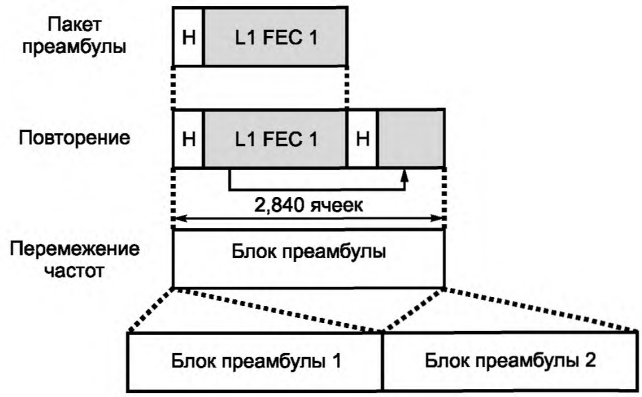


Рисунок 28 — Распределение L1 FECFrame на блоки L1 (блоки преамбулы)

8.4.2 Параметры кодирования FEC данных L1-part2

Данные сигнализации L1-part2 передаются в одном или в нескольких блоках LDPC в зависимости от длины данных. Количество блоков LDPC сигнализации L1-part2 $N_{L1part2_FEC_Block}$ определяется следующим образом:

$$N_{L1part2_FEC_Block} = \left\lceil \frac{K_{L1part2_ex_pa}}{N_{L1part2_max_per_S}} \right\rceil,$$

где $K_{L1part2_ex_pad}$ определяется как:

$$K_{L1part2_ex_pad} = 2 \times \text{L1_INFO_SIZE} + 32;$$

$N_{L1part2_max_per_Symbol}$ (= 4759) является минимальным значением из всех максимальных значений K_i, удовлетворяющих условию:

$$N_{L1part2}(K_i) \le N_{L1part2_Cells} \times \eta_{MOD}, \text{ для } i = 1, 2, \ldots, 8.$$

$N_{L1part2_Cells}$ (= 2 808) — число доступных ячеек для сигнализации L1-par + 2 в одном Символе OFDM.

Параметр η_{MOD} = 4 для формата модуляции 16QAM.

$N_{L1part2}$ (Ki) — длина закодированных данных сигнализации L1-part2 с информационными битами K_i для $N_{L1part2_FEC_Block} = i$.

Полная длина последовательности данных сигнализации L1-part2 $K_{L1part2}$, включая поле дополнения, определяется как:

$$K_{L1part2} = K_{L1part_ex_pad} + K_{L1_PADDING}.$$

Количество информационных битов K_{sig} в каждом из блоков $N_{L1part2_FEC_Block}$ определяется как:

$$K_{sig} = K_{L1part2} / N_{L1part2_FEC_Block}.$$

Каждый блок с информацией, имеющей размер K_{sig}, защищен соединением внешнего кода BCH и внутреннего кода LDPC. Каждый блок должен быть сначала закодирован кодом BCH, где его N_{bch_parity} = 168 биты проверки четности BCH должны быть добавлены к информационным битам каждого блока. Связанные информационные биты каждого блока и биты проверки четности BCH защищищаются укороченным и проколотым кодом 16K LDPC с кодовой скоростью 1/2 (эффективная скорость кода: $R_{eff_16K_LDPC_1_2}$ = 4/9). Подробности укорочения и прокалывания кода 16K LDPC описаны в 8.4.3.1, 8.4.3.4 настоящего стандарта.

Вычисление N_{punc} — количества прокалываемых битов четности LDPC выполняется в соответствии со стандартом ETSI [4] (8.4.2).

При использовании 16QAM перемежение битов должно быть применено на каждом блоке LDPC. Подробности перемежения закодированных битов описаны в 8.4.3.6 настоящего стандарта. Демультиплексирование в этом случае выполняется в соответствии с 8.4.4.1 настоящего стандарта. Данные на выходе демультиплексора отображаются на созвездии 16QAM в соответствии с 8.4.4.2 настоящего стандарта.

8.4.3 Кодирование FEC

8.4.3.1 Дополнение нулями информационных битов BCH

Биты K_{sig}, определенные в 8.4.2 настоящего стандарта, после кодирования BCH должны быть закодированы в кодовые комбинации LDPC 16K (N_{ldpc} = 16 200).

Так как K_{sig} всегда меньше количества информационных битов BCH (K_{bch} = 7 032) для данной скорости кода 1/2, код BCH должен быть укорочен. Часть информационных битов кода 16K LDPC должна быть дополнена нулями для дополнения информационных битов K_{bch}. Биты дополнениия не должны передаваться.

Все информационные биты BCH, K_{bch}, обозначенные $\{m_0, m_1, \ldots, m_i\}$, разделены на N_{group} групп, ($N_{group} = K_{ldpc}/360$):

$$X_j = \left\{ m_k \;\middle|\; j = \left\lfloor \frac{k}{360} \right\rfloor, 0 \le k < \text{для } 0 \le j < N_{group} \right.,$$

где X_j представляет j-ую группу битов. Параметры кода (K_{bch}, K_{ldpc}) даны в таблице 46 для данных сигнализации L1-part2.

Таблица 46 — Параметры кода (K_{bch}, K_{ldpc}) для данных сигнализации L1-part2

Сигнализация	K_{bch}	K_{ldpc}
Сигнализация L1-part2	7 032	7 200

Для $0 \le j \le N_{group} - 2$ каждая группа битов X_j содержит 360 битов и последняя группа битов $X_{Ngroup-1}$ содержит $360 - (K_{ldpc} - K_{bch}) = 192$ бита, как показано на рисунке 29.



Рисунок 29 — Формат данных сигнализации L1-part2 после кодирования LDPC

Для данного K_{sig} количество дополняющих нулевых битов вычислено как ($K_{bch} - K_{sig}$). Процедура укорочения выполняется в соответствии со стандартом ETSI [4] (8.4.3.1).

8.4.3.2 Кодирование BCH

Информационные биты K_{bch} (включая $K_{bch} - K_{sig}$ нулевые биты дополнения) в соответствии с 6.1.1 настоящего стандарта должны быть закодированы BCH для формирования последовательности N_{bch} выходных битов ($i_0 \ldots i_{n1}$), $N_{bch} = K_{ldpc}$.

8.4.3.3 Кодирование LDPC

Биты $N_{bch} = K_{ldpc}$ ($i_0 \ldots i_N$) на выходе кодера BCH, включая нулевые дополнительные биты ($K_{bch} - K_{sig}$) и биты четности BCH ($K_{ldpc} - K_{bch}$), формируют информационные биты K_{ldpc} , $I = (i_0, i_1, \ldots, i_K)$ для кодера LDPC. Кодер LDPC выполняет систематическое кодирование информационных битов K_{ldpc} в кодовую комбинацию Λ размера N_{ldpc}:

$\Lambda = (i_0, i_1, \ldots, i_R, p_0, p_1, \ldots, p_{N_{ldpc}-K})$ согласно 6.1.2 настоящего стандарта.

8.4.3.4 Прокалывание битов четности LDPC

При укорачивании кодированных битов сигнализации некоторые биты четности LDPC после кодирования LDPC должны быть проколоты. Эти проколотые биты не должны передаваться. Все биты четности LDPC ($N_{ldpc} - K_{ldpc}$), обозначенные $\{p_0, p_1, \ldots, p_{N_{ldpc}-K}\}$, разделены на группы четности Q_{ldpc} , где каждая группа четности LDPC битов четности сформирована из подмножества $N_{ldpc} - K_{ldpc}$ следующим образом:

$$P_j = \{p_k \mid k \bmod Q_{ldpc} = j,\ 0 \le k < N_{ldpc} \text{ для } 0 \le j < Q_{ldp},$$

где P_j представляет j-ю группу четности; значения Q_{ldpc} приведены в таблице 8. Каждая группа имеет $(N_{ldpc} - K_{ldpc})/Q_{ldpc} = 360$ битов.

Данные о количестве битов четности N_{punc}, которые будут проколоты, представлены в 8.4.2 настоящего стандарта. Прокалывание битов четности выполняется в соответствии со стандартом ETSI [4] (8.4.3.4).

8.4.3.5 Удаление нулевых битов дополнения

Нулевые биты дополнения ($K_{bch} - K_{sig}$) должны быть удалены, так как они не должны передаваться. После удаления битов дополнения остается слово, состоящее из информационных битов K_{sig}, сопровождаемых 168 битами четности BCH и ($N_{ldpc} - K_{ldpc} - N_{punc}$) битами четности LDPC.

8.4.3.6 Перемежение битов данных сигнализации L1-part2

При использовании формата модуляции 16QAM для данных сигнализации L1-part2, кодовая комбинация LDPC длины $N_{L1part2}$, состоящая из информационных битов K_{sig}, 168 битов четности BCH и (9 000 – N_{punc}) битов четности LDPC, подвергается в перемежителе процедуре перемежения битов. Конфигурация перемежителя битов для формата модуляции 16QAM определена в таблице 47.

Таблица 47 — Структура перемежителя битов

Формат модуляции и кодовая скорость		Номера строк N_r	Номера столбцов N_c
16QAM	1/2	$N_{L1part2}$ / 8	8

Кодовая комбинация LDPC последовательно записывается в перемежитель по столбцам и последовательно считывается построчно (MSB сигнализации L1-part2 последовательно считывается первым), как показано на рисунке 30.

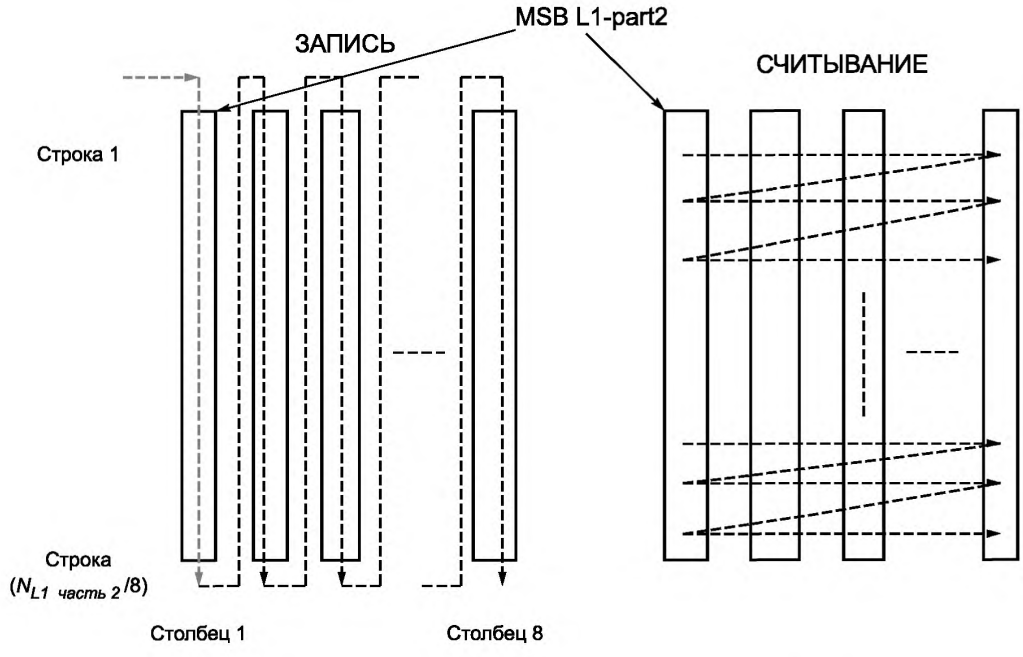


Рисунок 30 — Схема перемежителя битов данных L1-part2 (16QAM)

8.4.4 Отображение битов на созвездия

Каждая кодовая комбинация LDPC после обработки в перемежителе битов, отображается в созвездия. Данные сигнализации part2 являются первым демультиплексированным словом в ячейке согласно 8.4.4.1 настоящего стандарта, слова ячейки отображаются в созвездия согласно 8.4.4.2 настоящего стандарта.

8.4.4.1 Демультиплексирование данных сигнализации L1-part2

Последовательности битов $N_{L1part2}$ (=K_{sig} + 168 + 9 000 – N_{punc}) каждого кодового слова с перемежением битов LDPC должны быть отображены в созвездия первым демультиплексированием входных битов в параллельные слова ячейки с последующим отображением этих слов в значения созвездия.

Количество выходных Ячеек Данных и эффективное количество битов на ячейку η_{MOD} определены в таблице 48.

Входной поток битов v_{di} демультиплексирован в субтоки $N_{substreams}$, как показано на рисунке 16 в 6.2.1 настоящего стандарта. Количество $N_{substreams}$ определено в таблице 48. Подробности демультиплексирования описаны в 6.2.1 настоящего стандарта. Для формата модуляции 16QAM параметры демультиплексирования битов ячейки показаны в таблице 14 в 6.2.1 настоящего стандарта.

Таблица 48 — Параметры отображения битов в созвездия

Формат модуляции	η_{MOD}	Количество выходов ячеек данных	Количество субпотоков $N_{substreams}$
16QAM	4	$N_{L1part2}$ / 4	8

В случае формата модуляции 16QAM слова на выходе демультиплексора шириной $N_{substreams,}$ [$b_{0,do}$. $b_{N_{substreams}}$] разделены на два слова шириной η_{MOD} =$N_{substreams}$ / 2, [$y_{0,2do}$..$y_{\eta MOD}$] и [$y_{0,\ 2do\ +1}$.. $y_{\eta MOD\ -\ 1}$], как описано в 6.2.1 настоящего стандарта.

8.4.4.2 Отображение в созвездия QAM

Слова ячейки кодированных данных сигнализации L1-part2, [$y_{0,q}$. $y_{\eta M1}$] отображены в созвездия f_q согласно 6.2.2, где q — индекс ячейки в каждом кодовом слове LDPC с перемежением битов. Для каждого кодового слова данных сигнализации L1-part2 должно выполняться условие $0 \le q < N_{MOD_per_Block}$.

8.5 Перемежение времени данных сигнализации L1-part2

Целью перемежения времени данных L1-part2 является обеспечение повышенной устойчивости передачи данных сигнализации L1-part2. Процесс перемежения времени данных L1-part2 идентичен случаю перемежения Слоя Данных за исключением того, что пилот-сигналы и зарезервированные тональные позиции в преамбуле полностью исключены из процесса перемежения.

Перемежение времени выполняется на уровне данных L1-part2 до L1 XFECFrame с повторением заголовка L1 для заполнения пропускной способности символа блока L1. Варианты структуры данных сигнализации при перемежении времени данных блока L1 при различных параметрах перемежения: L1_TI_MODE = '00', L1_TI_MODE = '01', L1_TI_MODE = '10' изображены на рисунке 31.

Поле L1_TI_MODE указывает на глубину перемежения времени данных L1-part2 и передается в заголовке сигнализации L1.

L1_TI_MODE = '00' означает, что перемежение времени для данных сигнализации L1-part2 не выполняется.

L1_TI_MODE = '01' означает, что выполняется оптимальная настройка глубины перемежения времени, равная минимальному количеству символов OFDM, необходимых для переноса блока L1, или $N_{L1part2_FEC_Block}$ (детализация процесса сегментации данных L1-part2 дана в 8.4.2 настоящего стандарта).

L1_TI_MODE = '10' означает, что глубина перемежения времени установлена равной 4 символам OFDM, как это показано на рисунке 31.

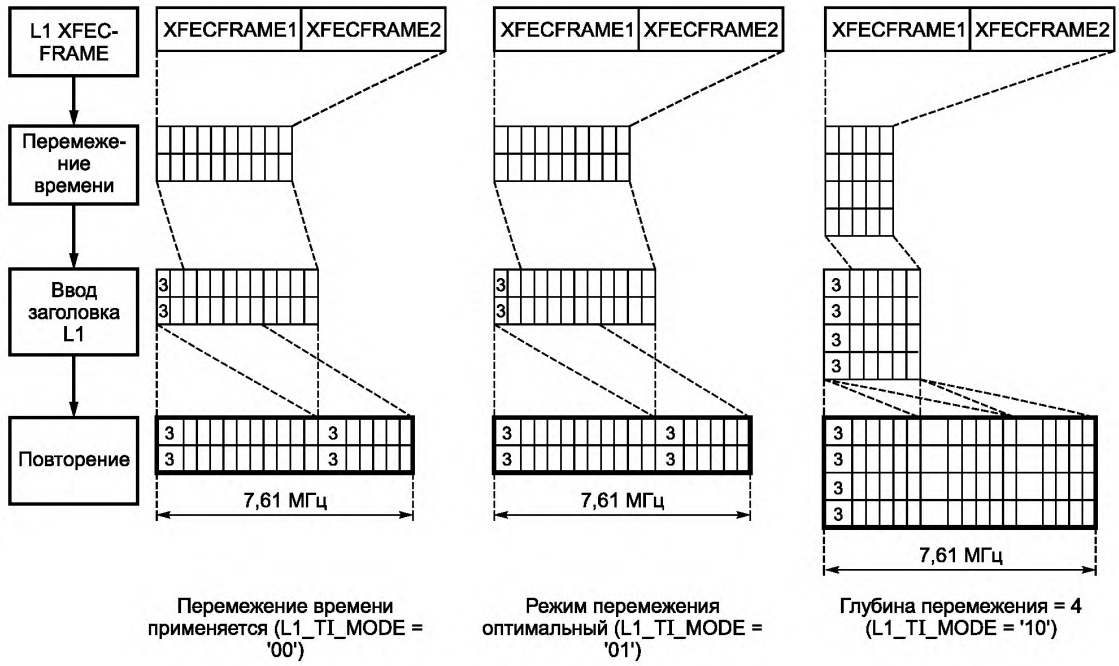


Рисунок 31 — Перемежение времени данных сигнализации L1-part2

Все Ячейки Данных L1-part2 после отображения в созвездия сгруппированы в один блок L1 TI. Продолжительность периода перемежения времени T_p вычисляется:

$$T_p = T_S \times N_{L1_TI_DEPTH},$$

где T_S — полная продолжительность символа OFDM, $N_{L1_TI_DEPTH}$ — глубина перемежения времени, определенная полем L1_TI_MODE и сообщенная в заголовке сигнализации L1.

Перемежитель времени выполнен в виде блока «скрученных» столбцов — строк перемежителя, как и в случае перемежителя Слоя Данных. Количество строк N_r памяти *TI* равно $N_{L1_TI_DEPTH}$.

Количество столбцов N_c вычисляется:

$$N_c = N_{MOD_Total} / N_{L1_TI_DEPTH}.$$

Примечание — Величина $N_{L1_TI_DEPTH}$ должна быть не менее минимального количества Символов OFDM, которые необходимы для переноса $N_{L1part2_FEC_Block}$ блоков L1. Детализация необходимого количества битов и ячеек для переноса данных L1-part2 приведена в 8.4.2 настоящего стандарта.

Входные ячейки данных сигнализации L1-part2 последовательно записаны в память *TI* в диагональном направлении и считываются последовательно построчно, как показано на рисунке 32.

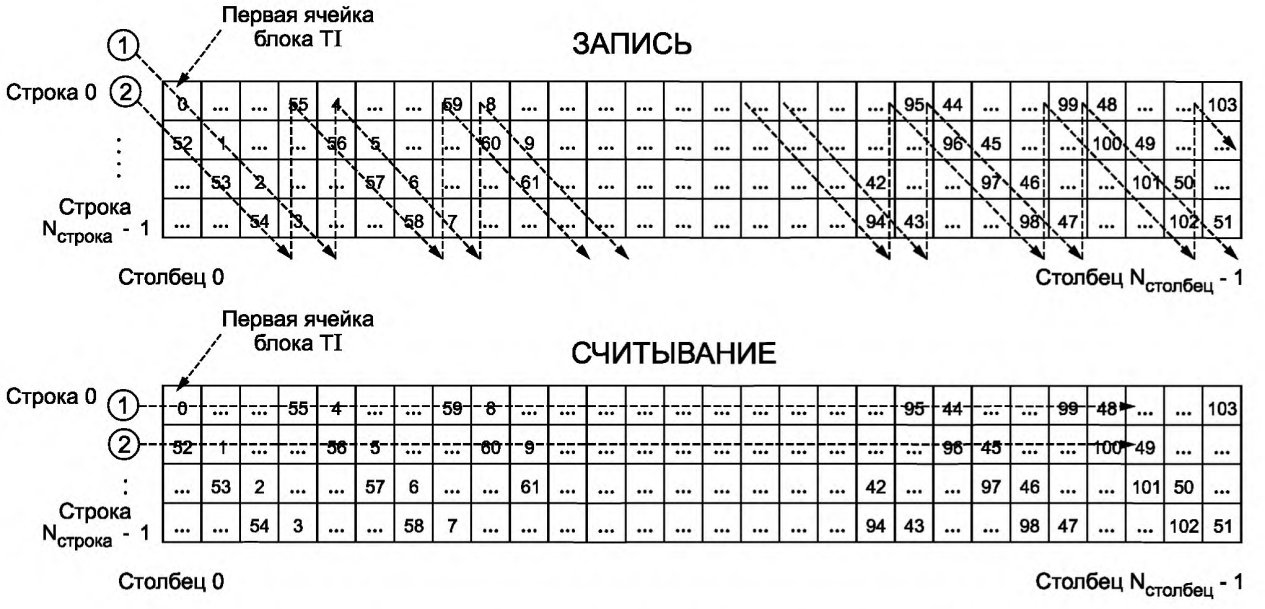


Рисунок 32 — Перемежение времени данных сигнализации L1
(NMOD_TOTAL = 208, NLI_TI_DEPTH = 4)

Если предположить, что d_i — входные ячейки данных сигнализации L1-part2 перемежителя времени (где i = 0, …, $N_{MOD_Total} - 1$), C_i — индекс столбца, R_i — индекс строки, T_{Ci} — параметр скручивания, то C_i , T_{Ci} , R_i связаны соотношениями:

$$C_i = i \bmod N_c,$$

$$= C_i \bmod N_r,$$

$$R_i = (+ (i \operatorname{div} N_c)) \bmod N_r.$$

Каждая позиция ячейки в памяти TI уникально определена координатой (R_i, C_i). Ячейки d_i данных L1-part2 записаны в позициях (R_i, C_i) в соответствии со стандартом ETSI [4] (8.5).

Примечание — Структура процесса перемежения времени не должна изменяться после создания кадра, хотя ни пилот-сигналы, ни зарезервированные позиции тонов в процессе перемежения времени данных L1-part2 не участвуют. В этом основное отличие перемежителя данных L1-part2 от перемежителя Слоя Данных.

9 Формирование Кадра С2

В этом разделе определяются параметры процесса формирования кадра Системы С2. Формирователь кадра монтирует ячейки Символов Преамбулы и ячейки каждого из Слоев Данных в массивы активных Ячеек OFDM, соответствующие структуре преамбулы и каждому из Слоев Данных и Символов OFDM, которые составляют полную структуру кадра. Формирователь кадра работает в соответствии с динамической информацией, представленной планировщиком согласно 5.2.1 настоящего стандарта, и в соответствии с конфигурацией структуры кадра.

9.1 Структура Кадра С2

Структура Кадра С2 показана на рисунке 33. Структура Кадра С2 включает L_P ($L_P \geq 1$) Символов Преамбулы, сопровождаемых L_{data} Символами Данных. В частотной области Символы Преамбулы разделяются на символы блока L1 с одинаковой пропускной способностью (полосой пропускания) (3 408 поднесущих в полосе частот 7,61 МГц). Слои Данных имеют произвольную (случайную) пропускную способность, ограниченную пропускной способностью символа блока L1. Частоты полос режекции могут вставляться в сигнал С2 на интервале длительности Кадра С2. Процедуры вставки частот полос режекции описаны в 9.3.5 и 9.4.1.3 настоящего стандарта.

Кадр С2 начинается с символа преамбулы (L_P) (должно быть не менее одного символа), сопровождаемого символами данных L_{data}.

Параметры символов преамбулы представлены в 9.3 настоящего стандарта. Символы блока L1 символа (символов) преамбулы обеспечивают синхронизацию времени и частоты и также перенос данных сигнализации L1-part2. Параметры передачи данных сигнализации L1-part2 описаны в 8.3 настоящего стандарта; параметры процессов модуляции, коррекции ошибок, кодировании и отображения этих данных в символах блока L1 описаны в 8.4 настоящего стандарта.

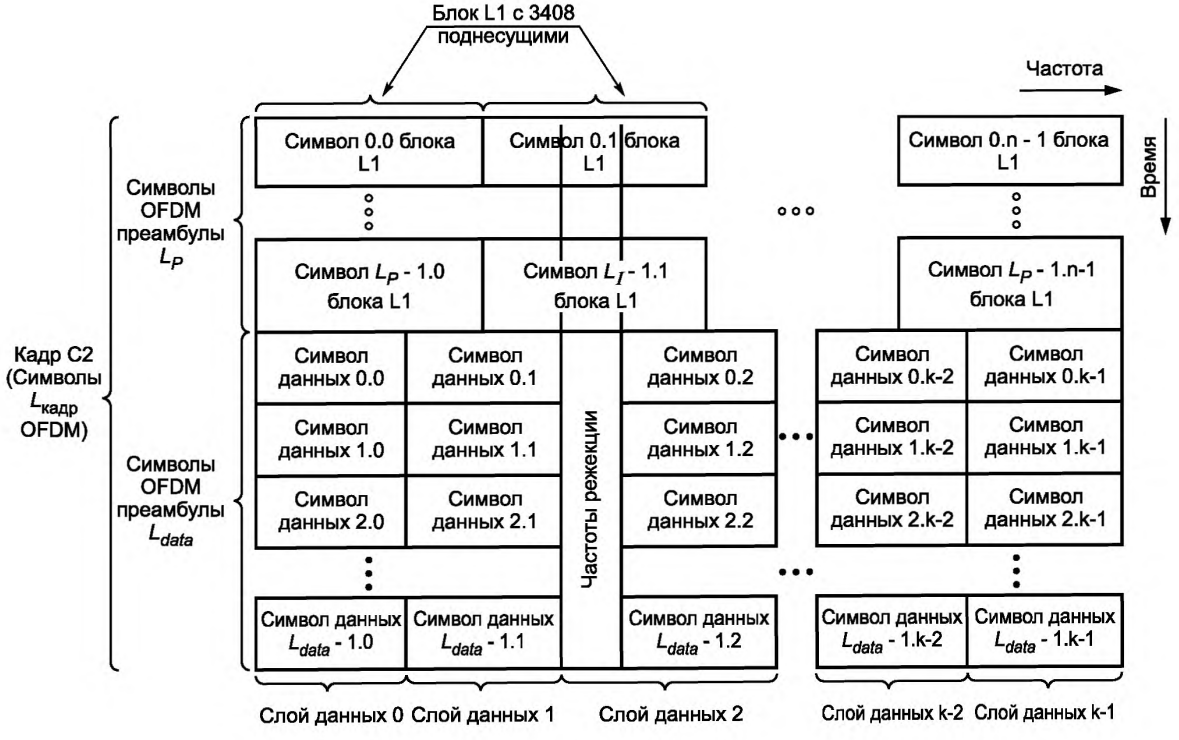


Рисунок 33 — Структура кадра С2

9.1.1 Продолжительность Кадра С2

Начало первого Символа Преамбулы является началом Кадра С2. Область данных Кадра С2 состоит из L_{data} символов (L_{data} = 448 — приблизительно 203,8 мс для *GI* = 1/64 или 202,2 мс для *GI* = 1/128, T_U = 448 мкс).

Количество L_P Символов Преамбулы содержится в информации о длине в начале каждого блока сигнализации L1-part 2, исходя из этого продолжительность Кадра С2 определяют:

$$T_F = (L_P + L_{data}) \times T_s .$$

9.2 Последовательность опорных пилот-сигналов

9.2.1 Последовательность скремблирования данных

Опорная последовательность используется для скремблирования данных преамбулы и для модуляции пилот-сигнала.

Псевдослучайная последовательность (ПСП) w_i формируется в соответствии с порождающим полиномом $X^{11} + X^2 + 1$. Схема генератора ПСП представлена на рисунке 34, где w_i является *i*-м выходным значением генератора ПСП.

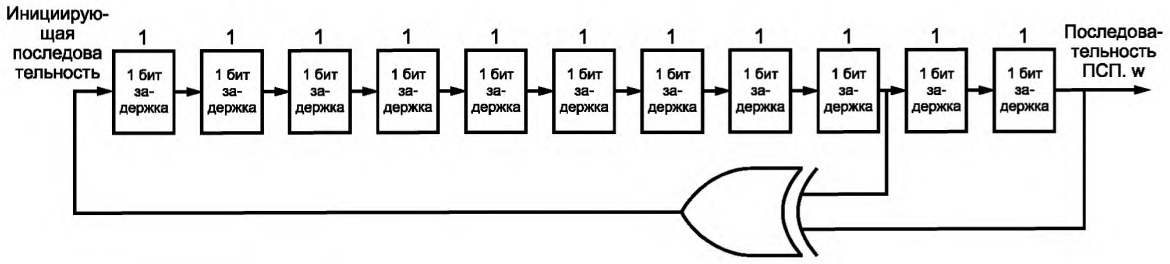


Рисунок 34 — Формирование псевдослучайной последовательности

Регистр сдвига инициализируется в состояние ‘1’ так, чтобы ПСП началась с w_0, w_1, w_2 ...= = 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0...

9.2.2 Последовательность скремблирования пилот-сигнала

Пилот-сигналы должны переносить уникальную последовательность синхронизации.

Последовательность определена как:

$$= w_k \oplus w'_i \text{, где } i = (k \bmod K_{L1}) / D_P,$$

где w'_i — *i*-й выход генератора ПСП;

w_k — k-й выход опорной последовательности, определенной в 9.2.1 настоящего стандарта.

D_P определяет шаг разделения пилот-сигналов преамбулы, D_P = 6. Необходимо помнить, что *i* всегда имеет целочисленное значение, поскольку опорная последовательность определена только для позиций пилот-сигналов ($k \bmod D_P = 0$).

Последовательность ПСП w'_i сформирована генератором в соответствии со схемой на рисунке 35. Его порождающий полином должен быть вида $X^{10} + X^3 + 1$.

Регистр инициализируется в состояние ‘1’ так, чтобы ПСП началась с w'_0, w'_1, w'_2 ... = = 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0...

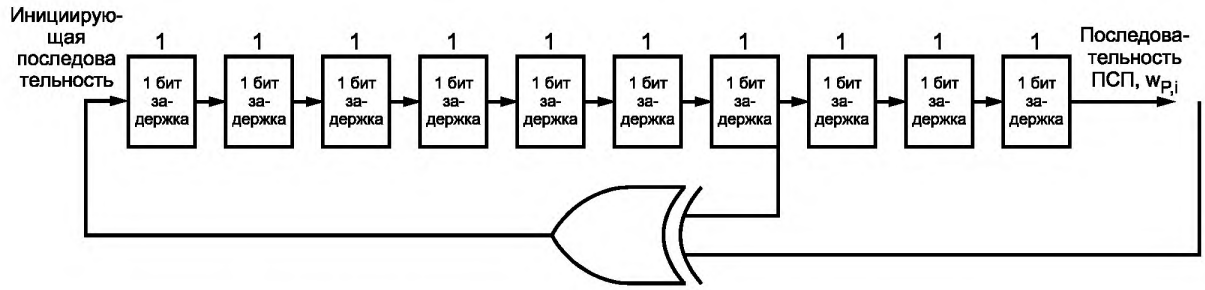


Рисунок 35 — Схема генератора ПСП для модуляции пилот-сигналов

9.2.3 Опорная последовательность пилот-сигнала

Пилот-сигналы преамбулы должны быть модулированы дифференциальной BPSK. Последовательность опорных пилот-сигналов для каждой позиции k пилот-сигнала OFDM определяется:

$$r_k = w^P_k, \text{ если } k \bmod K_{L1} = 0;$$

$$r_k = r_{k-6} \oplus w^P_{k1} \text{ в ином случае,}$$

где r_k должен удовлетворять условию кратности индекса k 6.

9.3 Символ Преамбулы

9.3.1 Краткое описание Символа Преамбулы

В начале каждого кадра должен передаваться Символ Преамбулы. Символ Преамбулы создан с L_P Символами OFDM. Параметры OFDM Символа Преамбулы аналогичны параметрам Символов Данных. В частотной области преамбула подразделена на блоки сигнализации L1. Каждый блок сигнализации L1 содержит всю информацию о L1-part2 в соответствии с разделом 8 настоящего стандарта.

Ячейка OFDM в упрощенном виде определяется для значений $k = 0, ..., \infty$. Это определение можно использовать для несущих OFDM только в интервале значений $K_{min} \le k \le K_{max}$, где K_{min} и K_{max} являются самой низкой и самой высокой частотами сигнала C2. Эта структура изображена на рисунке 36.

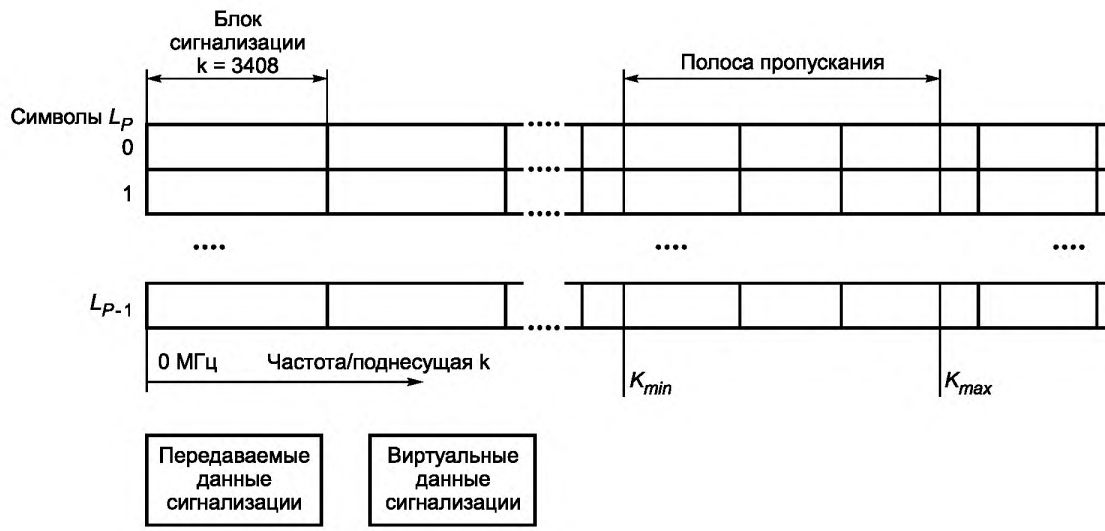


Рисунок 36 — Структура Символа Преамбулы в частотной области

9.3.2 Перемежение частоты

Целью перемежения частоты преамбулы является разделение соседних битов для защиты от пакетов ошибок.

Для этого используется перемежитель частоты, аналогичный перемежителю частоты Слоев Данных согласно 9.4.5 настоящего стандарта, который обрабатывает N_{L1}=2 840 ячеек QAM каждого блока L1.

Вектор перемежения $A^P_{lp} = (a^P_{lp,0}, a^P_{lp,1}, a^P_{lp,N_p-1})$ определен:

$a^P_{lp,H(q)} = x_{lp,q}$ для четных символов в преамбуле (l_p mod 2 = 0) при q = 0, 1, ..., N_p – 1;

$a^P_{lp,p,q} = x_{lp,H(q)}$ для нечетных символов в преамбуле (l_p mod 2 = 1) при q = 0, 1, ..., N_p – 1

с установкой N_{Data} к N_P = 2 840.

9.3.3 Вставка пилот-сигналов

Пилот-сигналы каждого блока сигнализации определены уникально и обеспечивают синхронизацию времени и частоты преамбулы. В отличие от нормальных пилотов-сигналов, пилот-сигналы преамбулы передаются с той же самой мощностью, как и данные. Для пилот-сигналов используется дифференцированная BPSK, дающая приемнику возможность синхронизироваться по этой дифференциально закодированной опорной информации.

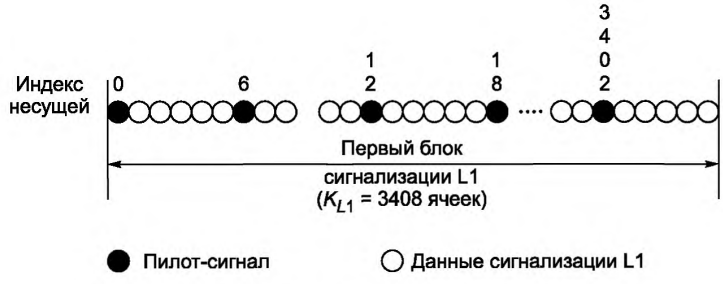


Рисунок 37 — Блок сигнализации L1

9.3.3.1 Расположения пилот-сигналов преамбулы

Несущие OFDM Символа Преамбулы являются пилот-сигналами при выполнении следующего условия:

$$k \bmod D_P = 0,$$

где D_P определяет интервал разделения пилот-сигналов преамбулы, D_P= 6.

9.3.3.2 Модуляция пилот-сигналов преамбулы

Пилот-сигналы должны модулироваться как:

$$\mathrm{Re}\{c^P_{m,l_p,k}\} = A_{pp} \times 2(1/2 - r_k),$$

$$\mathrm{Im}\{c^P_{m,l_p,k}\} = 0,$$

где A_{PP} = 1 является амплитудой пилот-сигналов преамбулы, r_k определена в 9.2.3 настоящего стандарта.

9.3.4 Отображение и скремблирование данных сигнализации

Ячейки OFDM, не занятые пилот-сигналами, переносят данные сигнализации. Данные сигнализации в частотной области являются циклическими, они должны быть скремблированы. Содержание каждой преамбулы данных ячейки OFDM k определяется как:

$$\mathrm{Re}\{c^{P}_{m,l_{pk}}\} = \mathrm{Re}\{a^{P}_{l_p,q}\}\cdot(-1)^{w_k}$$

$$\mathrm{Im}\{c^{P}_{m,l_{pk}}\} = \mathrm{Re}\{a^{P}_{l_p,q}\}\cdot(-1)^{w_k}$$

$$\text{при } q = (k \bmod K_{L1}) - \lceil (k \bmod K_{L1} / 6 \rceil,$$

где $a^{P}_{l_p,q}$ — является выходом перемежителя частоты символа OFDM l_p с индексом q;

w_k — является k-м выходом опорной последовательности, определенной в 10.3 настоящего стандарта;

$K_{L1} = 3\,408$ — количество OFDM несущих в блоке сигнализации L1.

Как правило (в частотной области), Слои Данных не совпадают с блоками сигнализации L1, окно настройки приемника содержит части различных блоков сигнализации L1. Это обеспечивает возможность изменения порядка обработки включенных несущих. Схема обработки включенных несущих для поиска блока L1 в частотной области настройки приемника (после быстрого преобразования Фурье на стороне приемника) показана на рисунке 38.

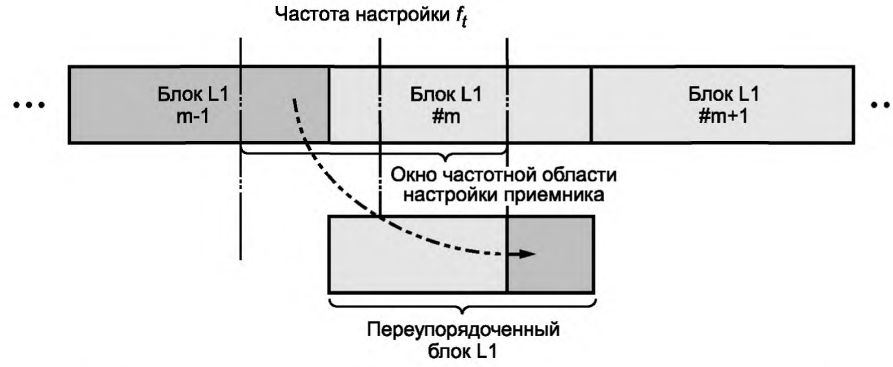


Рисунок 38 — Формирование полного блока L1 из двух частичных блоков L1

В зависимости от частоты настройки приемника f_t (фактическая позиция настройки несущей OFDM как mod K_{L1}) переупорядоченный блок L1 с измененным порядком (включая пилот-сигналы) описан следующим образом (пример приемника 3 584 несущих):

$$f_t \bmod K_{L1} < 1704\text{: L1_subcariers} = [\mathrm{L1}_m\,(f_t \ldots (f_t + 1704)), \mathrm{L1}_{m-1}\,((f_t + K_{L1} - 1703) \ldots K_{L1})];$$

$$f_t \bmod K_{L1} >= 1704\text{: L1_subcariers} = [\mathrm{L1}_m\,((f_t - 1703) \ldots K_{L1}), \mathrm{L1}_{m+1}\,(1 \ldots (f_t - K_{L1} + 1704))],$$

где m — индекс блока L1.

9.3.5 Полосы режекции в символах преамбулы

По аналогии со Слоями Данных Символы Преамбулы могут содержать полосы режекции. Ячейки в полосах режекции преамбулы должны создавать подавленные несущие. Полосы режекции преамбулы совпадают с полосами режекции Слоя Данных, то есть содержат те же самые подавленные несущие OFDM. Полосы режекции для Символов Преамбулы могут быть узкополосными и широкополосными.

9.3.5.1 Узкополосная режекция

Интервал частот узкополосной режекции содержит не более 48 поднесущих OFDM. Пропускная способность Слоев Данных кратна величине дискретности защитного интервала (11, 23, 35, 47 несущих для GI = 1/64 или 23, 47 несущих для GI = 1/128).

Отсутствие данных сигнализации L1 в случае узкополосной режекции компенсируется данными, содержащимися в преамбуле FEC. В любом частотном канале с полосой пропускания 7,61 МГц допускается только одна узкополосная режекция.

9.3.5.2 Широкополосная режекция

Широкополосная режекция имеет полосу пропускания, включающую не менее 47 несущих. Для декодирования Слоя Данных тюнер приемника не должен настраиваться на область с широкополосной режекцией, так как в этом случае не может быть гарантировано надежное декодирование данных сигнализации L1 (отсутствующие блоки L1 в преамбуле FEC не могут быть восстановлены во всех случаях).

Широкополосная режекция не должна применяться в Системе С2, если доступна хотя бы одна соседняя непрерывная область блока сигназации L1, содержащая более 3 408 несущих. Это ограничение позволит приемнику при первоначальном вхождении в синхронизм с Системой С2 распознавать широкополосную режекцию и повторно настраиваться на диапазон частот согласованными данными сигнализации L1.

Широкополосные полосы режекции должны всегда располагаться между Слоями Данных.

9.4 Формирование Слоя Данных

Слои Данных можно рассматривать как отдельные каналы, между которыми перемежение не выполняется. Начало каждого Слоя Данных идентифицируется несущей OFDM $K_{DS,min}$, а окончание — несущей OFDM $K_{DS,max}$.

Слои Данных должны начинаться и заканчиваться позициями рассредоточенных пилот-сигналов.

9.4.1 Расположение Слоев Данных

9.4.1.1 Начальные и конечные несущие OFDM Слоев Данных

Значения начальной и конечной несущих частот Слоев Данных отображаются в полях сигнализации L1: START_FREQUENCY, DSLICE_TUNE_POS, DSLICE_OFFSET_LEFT и DSLICE_OFFSET_RIGHT. В то время как поля START_FREQUENCY и DSLICE_TUNE_POS являются квазистатичными между различными Кадрами С2, поля DSLICE_OFFSET_LEFT и DSLICE_OFFSET_RIGHT могут изменять значения несущих частот в каждом кадре в зависимости от выбранного режима. Поскольку Слои Данных должны начинаться и заканчиваться в позициях рассредоточенных пилот-сигналов, сигнализация о частотах зависит от значения D_X (которое зависит от размера защитного интервала согласно таблице 34). Кроме того значение START_FREQUENCY должно быть кратно величине D_X.

Таким образом, значения начальных и конечных несущих частот Слоя Данных должны определяться:

$$K_{DS,min} = (\text{DSLICE_TUNE_POS} + \text{DSLICE_OFFSET_LEFT}) \times D_X + \text{START_FRQUENCY},$$

$$K_{DS,max} = (\text{DSLICE_TUNE_POS} + \text{DSLICE_OFFSET_RIGHT}) \times D_X + \text{START_FRQUENCY} - 1.$$

9.4.1.2 Максимальная ширина Слоев Данных

Ширина каждого Слоя Данных не должна превышать 3408 несущих OFDM (7,61 МГц для T_U = 448 мкс), то есть:

$$K_{DS,max} - K_{DS,min} \le 3408.$$

Если ширина Слоя Данных превысит 3408 несущих OFDM, то приемник должен проигнорировать этот Слой Данных и обрабатывать его как несуществующий.

9.4.1.3 Минимальная ширина Слоев Данных

Сигнализация L1 может нести сообщения о Слоях Данных, не содержащих полезной нагрузки. Эти Слои Данных должны быть сигнализированы:

DSLICE_OFFSER_LEFT = DSLICE_OFFSET_RIGHT.

Не должны передаваться данные сигнализации L1 для Слоев Данных с отрицательной шириной. Приемник должен игнорировать данные сигнализации L1 для Слоев Данных с отрицательной шириной.

Если DSLICE_TYPE будет ‘0’ и Слой Данных имеет ширину > 0, то он должен быть в состоянии передать по крайней мере один полный пакет Слоя Данных.

9.4.1.4 Полосы режекции в Слоях Данных

Слои Данных могут содержать полосы режекции. Ячейки полос режекции должны формировать подавленные несущие. Величины начальной и конечной несущих частот каждой полосы режекции обозначены соответствующей сигнализацией L1. Полосы режекции всегда начинаются и заканчиваются позициями рассредоточенных пилот-сигналов.

Несущие частоты начала и окончания каждой полосы режекции должны быть определены:

$$K_{N,\min} = \text{NOTCH_START} \times D_X + \text{START_FREQUENCY} + 1,$$

$$K_{N,\max} = (\text{NOTCH_START} + \text{NOTCH_ WIDTH}) \times D_X + \text{START_FREQUENCY} - 1.$$

Полосы режекции, имеющие величину NOTCH_WIDTH '0', приемник должен игнорировать.

9.4.2 Количество ячеек полезной нагрузки в Слое Данных

Количество ячеек полезной нагрузки N_{DS} на Слой Данных в символе OFDM равно ($K_{DS,\max} - K_{DS,\min}$) минус количество непрерывных пилот-сигналов, рассредоточенных пилот-сигналов, зарезервированных тонов и ячеек, которые расположены в полосах частот режекции.

Следует помнить, что число ячеек полезной нагрузки в Слое Данных может изменяться от Символа к Символу OFDM в одном Кадре С2.

9.4.3 Отображение Пакетов Слоя Данных

Пакеты Слоя Данных должны быть отображены на N_{DS} Ячеек Данных Символа OFDM. К Ячейкам Данных в Слое Данных не относятся ячейки пилот-сигналов, зарезервированных тонов или полос частот режекции. Пакеты Слоя Данных g_0, ... g_{Nx-1} должны быть отображены на Ячейки Данных $a_{m,l,k}$ Символа OFDM с увеличивающимся значением индекса k несущей в диапазоне значений:

$$K_{DS,\min} \le k < K_{DS,\max}.$$

Если объем данных одного Пакета Слоя Данных превысит длину Кадра С2, то данные должны перейти в следующий Кадр С2. Если в предыдущем Кадре С2 Слой Данных отсутствовал (ширина Слоя Данных была обозначена '0'), то данные Пакета Слоя Данных должны быть отображены в первой доступной Ячейке Данных Слоя Данных.

Для DSLICE_TYPE = '0' начало первого полного Пакета Слоя Данных должно быть отображено величиной поля PLP_START сигнализации L1. Если Слой Данных имеет нулевую ширину, то в поле PLP_START должен быть установлен ноль.

Если данные полезной нагрузки не передаются и в поле DATA_SLICE_TYPE установлена '1', то передаются фиктивные пакеты Слоя Данных согласно 7.2.6 настоящего стандарта.

9.4.4 Перемежение времени

Перемежитель времени (TI) должен работать на уровне Слоя Данных. Параметры перемежения времени могут быть различными для разных Слоев Данных в Системе С2. N_{PLP_DSLICE} каналов PLP в Слое Данных должны совместно использовать одинаковые параметры перемежения времени. Величина N_{PLP_DSLICE} сообщена сигнализацией L1-part2 как DSLICE_NUM_PLP. Точное количество и позиции всех пилот-сигналов и зарезервированных тонов в каждом Слое Данных должны быть известны перемежителю времени TI до создания кадра.

Ячейки Данных от формирователя Слоя Данных для каждого Слоя Данных должны быть сгруппированы в блоки TI. Требование соответствия началу и окончанию пакетов Слоя Данных каждого PLP, составляющих этот Слой Данных, блокам TI не предъявляется. Каждый блок *TI* в Слое Данных должен содержать $N_{DSLICE_TI_DATA_CELL}$ Ячеек Данных полезной нагрузки для переноса $N_{DSLICE_TI_DEPTH}$ Символов Данных. Величина $N_{DSLICE_TI_DEPTH}$ передается в поле DSLICE_TI_DEPTH сигнализации L1-part2 согласно 8.3 настоящего стандарта.

Величина $N_{DSLICE_TI_DATA_CELL}$ вычисляется:

$$N_{DSLICE_TI_DATA_CELL} = \sum_{l \in TIblok} N^{l}_{DS},$$

где N^{l}_{DS} является количеством ячеек полезной нагрузки *l*-го Символа Данных блока TI. Определение $N_{DSLICE_TI_DATA_CELL}$ дано в 9.4.2 настоящего стандарта. Каждый блок TI Слоя Данных должен иметь одинаковое количество ячеек полезной нагрузки.

Продолжительность времени перемежения T_P определяется:

$$T_P = T_S \times N_{DSLICE_TI_DEPTH}.$$

Типичный объем памяти TI (одна память на Слой Данных) соответствует объему Символов Данных $N_{DSLICE_TI_DEPTH}$ в Слое Данных. Пространство памяти TI включает позиции всех пилот-сигналов и зарезервированных тональных ячеек, а также позиции $N_{DSLICE_TI_DATA_CELL}$ Ячеек Данных. Позиции пилот-сигналов и зарезервированных тональных ячеек в пространстве памяти TI могут быть заполнены фиктивными нулями. Полосы режекции в Слое Данных из памяти TI могут быть отброшены.

TI должен хранить в своей памяти Ячейки Данных с выхода формирователя Слоя Данных. Так как количество и позиции всех пилот-сигналов и зарезервированных тонов ранее известны *TI*, то Ячейки Данных, соответствующие пилот-сигналам и зарезервированным тонам не должны сохраняться. Зарезервированные пилот-сигналы и зарезервированные тональные позиции в памяти *TI* обеспечивают структуру чередования времени Ячеек данных, как показано на рисунке 39, и остаются неизменными после формирования кадра.

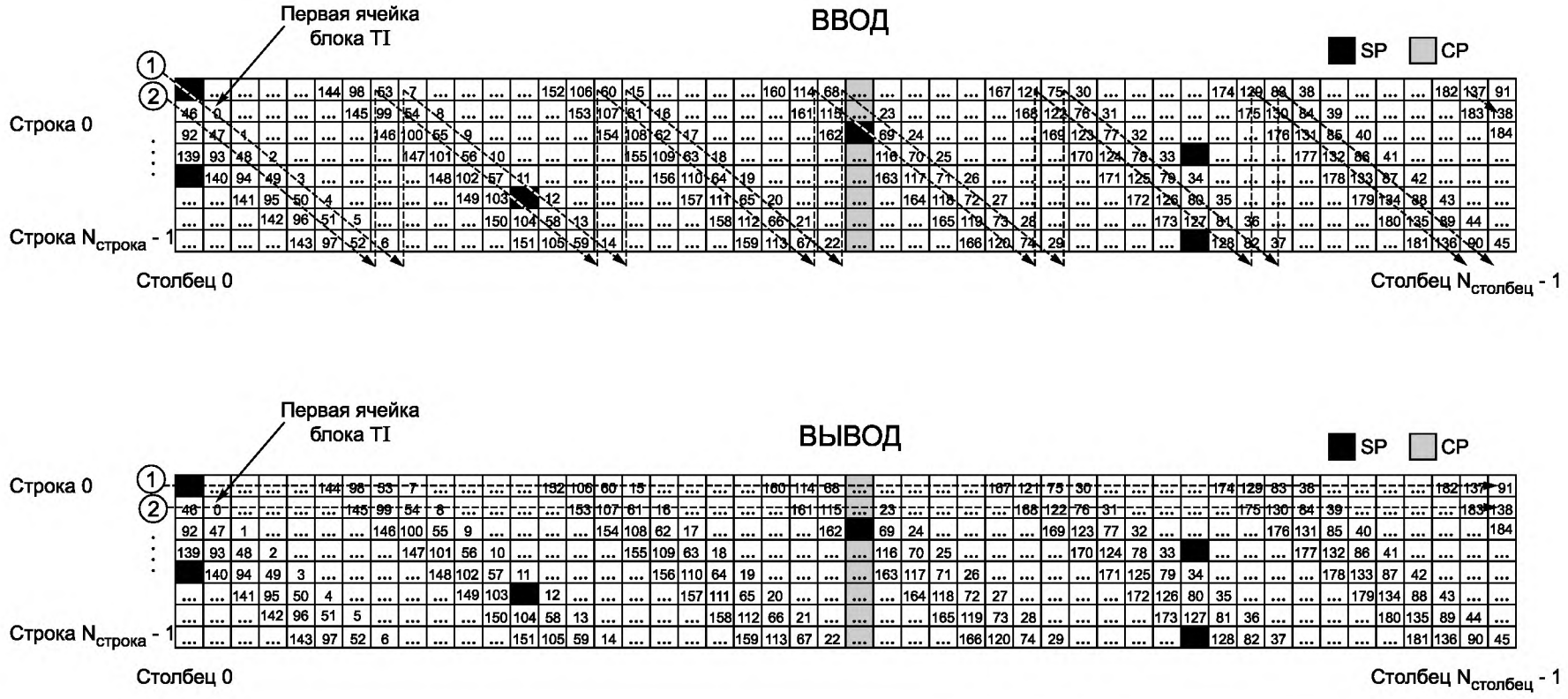


Рисунок 39 — Схема записи и считывания ячеек в перемежителе времени
(D_x = 12, GI = 1/64, N_r = 8, N_c = 48, DSLICE_WIDTH = 4)

Как правило, перемежитель времени используется в качестве буфера для ячеек Слоя Данных перед процессом создания кадра. Эта функция достигается использованием двух банков памяти для каждого Слоя Данных.

Перемежитель TI выполнен в виде блока «скрученных» строк-столбцов: количество строк N_r перемежителя равно глубине чередования времени $N_{DSLICE_TI_DEPTH}$, а количество столбцов N_c Слоя Данных — длительности N_{DSLICE_WIDTH}. Количество ячеек в Слое Данных определяется:

$$N_{DSLICE_WIDTH} = K_{DS,\max} - K_{DS,\min},$$

где $K_{DS,\max}$ и $K_{DS,\min}$ — соответственно индексы начальной и конечной ячеек OFDM Слоя Данных. Более детально конфигурация Слоя Данных описана в 9.4.1.1 настоящего стандарта. Входные ячейки последовательно записаны в память перемежителя в диагональном направлении и последовательно считываются построчно, как показано на рисунке 39.

Если индекс i принимает значения в интервале от 0 до ($N_{DSLICE_TI_CELL} - 1$), то $N_{DSLICE_TI_CELL}$ — общее количество ячеек в $N_{DSLICE_TI_DEPTH}$ символов Слоя Данных определяется выражением:

$$N_{DSLICE_TI_CELL} = N_{DSLICE_TI_DEPTH} \times N_{DSLICE_WIDTH}.$$

Индекс столбца C_i, индекс строки R_i и связанный с ними параметр скручивания T_{Ci} вычисляются:

$$C_i = i \bmod Nc,$$

$$T_{C_i} = C_i \bmod N_r,$$

$$R_i = (T_{C_i} + (i \operatorname{div} N_c)) \bmod N_r.$$

Каждая позиция ячейки в памяти TI однозначно определяется координатой (R_i, C_i). Входные Ячейки Данных d_k (k = 0, …, $N_{DSLICE_TI_DATA_CELL} - 1$) записываются в позиции (R_i, C_i) (i = 0, …, $N_{DSLICE_TI_CELL} - 1$) памяти TI в случаях, если позиции присвоены для Ячеек Данных полезной нагрузки. Процедура вычисления позиций ячейки в памяти *TI* выполняется в соответствии со стандартом ETSI [4] (9.4.4).

Примечание — TI выдает из запоминающего устройства TI только Ячейки Данных без фиктивных ячеек пилот-сигналов и зарезервированных тонов. Скорости передачи Ячеек Данных на входе и выходе TI после перемежения времени остаются неизменными.

9.4.5 Перемежение частоты

Перемежитель частоты обрабатывает Ячейки Данных одного Символа OFDM, которые включают часть ячеек конкретного Слоя Данных. Задачей перемежителя частоты является отображение Ячеек Данных этого слоя от формирователя кадра на N_{data} переносимых данных, выделенных для заданного Слоя Данных в каждом Символе OFDM.

Для Слоя Данных n перемежитель частоты должен обработать Ячейки Данных $X_{m,l} = (x_{m,l,0}, x_{m,l,1}, \ldots, x_{m,l,N_{data}(n)-1})$ Символа OFDM l, Кадра C2 m от формирователя кадра.

Максимальная длина последовательности частотного перемежителя ($M_{\max}$) равна 4 096, как наименьшее значение степени 2, превышающее максимальную ширину Слоя Данных, равную 3 408 ячейкам OFDM.

Для Слоя Данных n с $N_{data}(n)$ несущих данных в Символе OFDM l, поднесущих $M_{\max}$, вектор перемежения $A_{m,l} = (a_{m,l,0}, a_{m,l,1}, a_{m,l,2}, \ldots, a_{m,l,N_{data}(n)-1})$ определяется следующими выражениями:

$a_{m,l,H(q)} = x_{m,l,q}$ для четных символов кадра (l мод 2 = 0) при q = 0, ..., $N_{data}(n) - 1$;

$a_{m,l,q} = x_{m,l,H(q)}$ для нечетных символов кадра (l мод 2 = 1) при q = 0, ..., $N_{data}(n) - 1$.

$H(q)$ — функция перестановки, основанная на последовательности, определенной следующим образом:

($N_r - 1$) битов двоичного слова, определен, с $N_r = \log_2 M_{\max}$, где принимает следующие значения:

$$i = 0,1: R'_i [N_r - 2, N_r - 3, ..., 1, 0] = 0, 0, ..., 0, 0,$$

$$i = 2: R'_i [N_r - 2, N_r - 3, ..., 1, 0] = 0, 0, ..., 0, 1,$$

$$2 < i < M_{max}: \{R'_i [N_r - 3, N_r - 4, ..., 1, 0] = R'_{i-1} [N_r - 2, N_r - 3, ..., 2,1];$$

в 4К режиме: $N_r = 12$ и $R_i [10] = R'_{i-1} [0] \oplus R'_{i-1} [2]$.

Вектор R_i получен из вектора R'_i по правилу перестановки, приведенному в таблице 49.

Таблица 49 — Правило перестановки битов для режима 4К

Позиции битов	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Позиции битов R_i	7	10	5	8	1	2	4	9	0	3	6

Функция перестановки $H(q)$ определена следующим алгоритмом:

$$q = 0;$$

для ($i = 0$; $i < M_{max}$; $i = i + 1$)

$$\{ H(q) = (i \bmod 2). \ 2^{N_r - 1} + \sum_{j=0}^{N_r - 2} R_i(j) \cdot 2^j;$$

если ($H(q) < N_{data}$(n)) $q = q + 1$;}

Блок-схема алгоритма формирования функции перестановки представлена на рисунке 40.

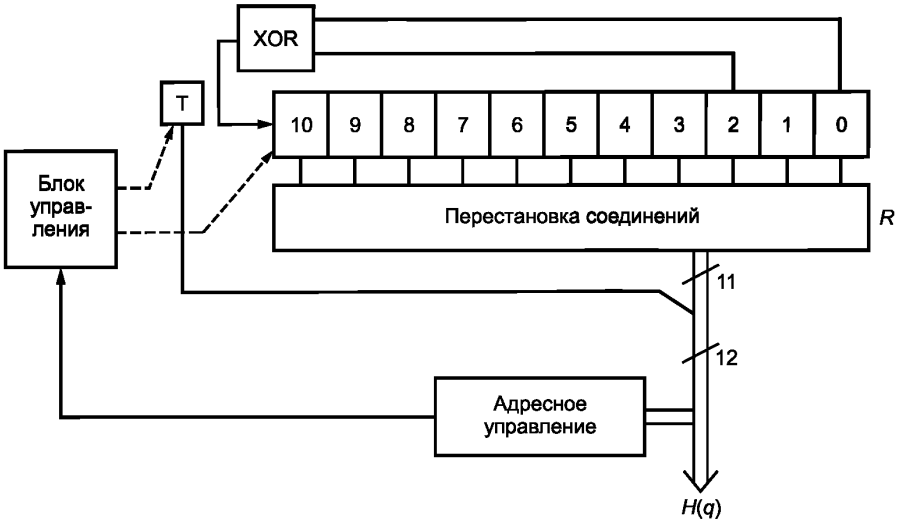


Рисунок 40 — Блок-схема алгоритма формирования функции перестановки перемежителя частоты режима 4К

Перемежитель частоты на своем выходе для Слоя Данных n формирует вектор перемежения Ячеек Данных, $A_{m,l} = (a_{m,l,0}, a_{m,l,1}, a_{m,l,2}, \ldots, a_{m,l,N_{data}(n)-1})$, который размещен в Ячейках Данных $v_{m,l,i}$ символа l кадра С2 m в соответствии с:

$$v_{m,l,B(n)+i} = a_{m,l,l},$$

где $B(n)$ является местоположением первой Ячейки Данных символа l, выделенного в слое n и $i = 0, 1, 2, ..., N_{data}(n) - 1$.

9.5 Слои Данных наполнения

В сигнале OFDM могут передаваться Слои Данных стаффинга (наполнения). В этом случае пилот-сигналы и фиктивные несущие передаются в тех же позициях, что и в нормальных Слоях Данных.

Модуляция ячеек не отображается в пилот-сигналах или зарезервированных тонах, должно обеспечиваться среднее значение мощности равное 1. Передатчик должен обеспечивать псевдослучайное распределение значений модуляции.

9.6 Ввод пилот-сигналов

9.6.1 Введение

Отдельные ячейки кадра OFDM модулируются сигналом опорной информации (и именуются далее пилот-сигналами), которые используются приемником при декодировании принимаемого сигнала. В зависимости от принципа размещения этих ячеек в кадре они подразделяются на распределенные, непрерывные и граничные пилот-сигналы. Расположение и амплитуды этих пилот-сигналов определены в 9.6.2—9.6.4 настоящего стандарта. Информация, передаваемая пилот-сигналами, содержится в опорной последовательности r_k, которая является набором значений для каждой несущей любого данного символа. Опорная последовательность определена в 9.2.3 настоящего стандарта.

Пилот-сигналы используются приемником для кадровой синхронизации, синхронизации частоты, синхронизации времени, оценки качества канала, для отслеживания фазового шума.

Этот подраздел описывает только пилот-сигналы, вводимые в символы данных, то есть рассеянные, непрерывные и граничные пилот-сигналы. Пилот-сигналы преамбулы описаны в 9.3.3 настоящего стандарта.

Ниже приведены параметры ячеек несущей $k(c_{m,l,k})$ для определенных значений m, l и k.

9.6.2 Рассредоточенный пилот-сигнал

Информация, содержащаяся в опорной последовательности, передается в ячейках рассредоточенных пилот-сигналов в каждом символе, кроме символа преамбулы Кадра С2. Расположение рассредоточенных пилот-сигналов определено в 9.6.2.1 настоящего стандарта, их амплитуды определены в 9.6.2.2 настоящего стандарта, и их модуляция определена в 9.6.2.3 настоящего стандарта.

9.6.2.1 Расположение рассредоточенных пилотов-сигналов

Расположение рассредоточенных пилот-сигналов зависит от индекса символа l, индекса несущей k и величины защитного интервала (GI). На несущей k сигнала OFDM данного символа l будет размещен рассредоточенный пилот-сигнал, если выполняется условие согласно уравнению:

$$k \bmod (D_X \times D_Y) = D_X (l \bmod D_Y),$$

где D_X, D_Y — в соответствии с таблицей 50;

k — индекс несущей OFDM, начиная с нуля.

Таблица 50 — Параметры, определяющие рассредоточенные пилот-сигналы

GI, относительная величина	Интервал между несущими (индексами несущих) соседних пилот-сигналов (D_X)	Количество символов, образующих одну последовательность рассредоточенного пилот-сигнала (D_Y)	$D_X D_Y$
1/64	12	4	48
1/128	24	4	96

Расположение рассредоточенных пилот-сигналов приведено в приложении Е.

9.6.2.2 Амплитуды рассредоточенных пилот-сигналов

Амплитуды рассредоточенных пилот-сигналов A_{SP} установлены равными 7/3.

9.6.2.3 Фазы и модуляция рассредоточенных пилот-сигналов

Фазы рассредоточенных пилот-сигналов определены опорной последовательностью в 9.3 настоящего стандарта.

Значения модуляции рассредоточенных пилот-сигналов определяются выражением:

$$\mathrm{Re}\{c_{m,l,k}\} = A_{SP} \cdot 2\,(1/2 - r_k),$$

$$\mathrm{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0,$$

где A_{SP} согласно 9.6.2.2 настоящего стандарта, r_k согласно 9.3 настоящего стандарта.

9.6.3 Непрерывный пилот-сигнал

В дополнение к рассредоточенным пилот-сигналам в каждый символ кадра (за исключением символов преамбулы) вводятся непрерывные пилот-сигналы. Количество и расположение непрерывных пилот-сигналов одинаковы для всех величин *GI*.

9.6.3.1 Расположения непрерывных пилот-сигналов

Непрерывные пилот-сигналы размещены в блоке K_{L1} = 3 408 несущих, эта структура повторяется во всем возможном диапазоне. Блок несущей с индексом K_{L1} совмещен с блоком сигнализации L1, длина которого также равна K_{L1}.

Расположение непрерывных пилот-сигналов блока несущих с индексом K_{L1} определено таблицей 51. Несущая OFDM с индексом k будет непрерывным пилот-сигналом, если величина k mod K_{L1} будет соответствовать одному из чисел в таблице 50.

Таблица 51 — Индексы непрерывных пилот-сигналов

Индексы							
96	216	306	390	450	486	780	804
924	1 026	1 224	1 422	1 554	1 620	1 680	1 902
1 956	2 016	2 142	2 220	2 310	2 424	2 466	2 736
3 048	3 126	3 156	3 228	3 294	3 366		

9.6.3.2 Амплитуды непрерывных пилот-сигналов

Амплитуды непрерывных пилотов A_{CP} установлены равными 7/3.

9.6.3.3 Фазы и модуляция непрерывных пилот-сигналов

Фазы непрерывных пилот-сигналов определены опорной последовательностью в 9.3 настоящего стандарта.

Значения модуляции непрерывных пилот-сигналов определяются:

$$\mathrm{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2\,A_{CP}\,(1/2 - r_k);$$

$$\mathrm{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0,$$

где r_k — в соответствии с 9.3 настоящего стандарта.

9.6.4 Граничные пилот-сигналы

Граничные пилот-сигналы вводятся на границах полос спектра, на позициях несущих каждого символа (исключая символы преамбулы). Количество граничных пилот-сигналов в основном зависит от количества полос режекции спектра в сигнале OFDM.

9.6.4.1 Расположение граничных пилот-сигналов

Граничные пилот-сигналы располагаются:

- на крайних верхних и крайних нижних значениях спектра OFDM;
- на каждой стороне полосы режекции спектра.

Граничный пилот-сигнал самой низкой частоты спектра OFDM вводится для замены потенциально возможных поднесущих данных и рассредоточенных пилот-сигналов. Граничный пилот-сигнал самой высокой частоты спектра OFDM вводится как дополнительная несущая для передачи данных. Это гарантирует расположение граничных пилот-сигналов на позициях несущих рассредоточенных пилот-сигналов. Расположение этих пилот-сигналов показано на рисунке 41.

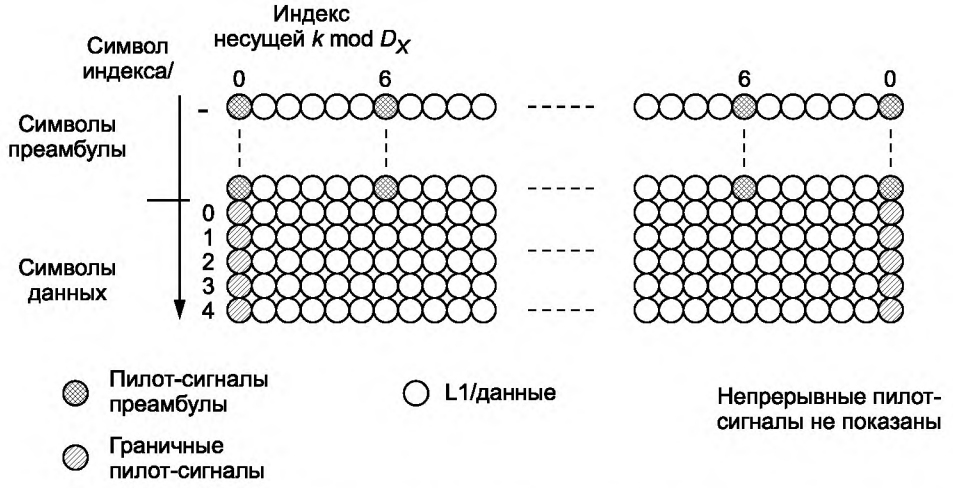


Рисунок 41 — Расположение граничных пилот-сигналов в спектре OFDM сигнала

Граничные пилот-сигналы размещены на каждой стороне полосы частот режекции. Граничный пилот-сигнал для низкочастотного края полосы режекции вставлен на месте несущей с индексом $K_{N,\min} - 1$, граничный пилот-сигнал высокочастотного края полосы режекции введен на месте несущей с индексом $K_{N,\max} + 1$, где $K_{N,\min}$ и $K_{N,\max}$ являются индексами начальной и конечной меток несущих полос режекции, подробности определены в 9.4.1.3 настоящего стандарта. Эти граничные пилот-сигналы будут размещены на позициях рассредоточнных пилот-сигналов. Расположение граничных пилот-сигналов на границах полосы режекции показано на рисунке 42.

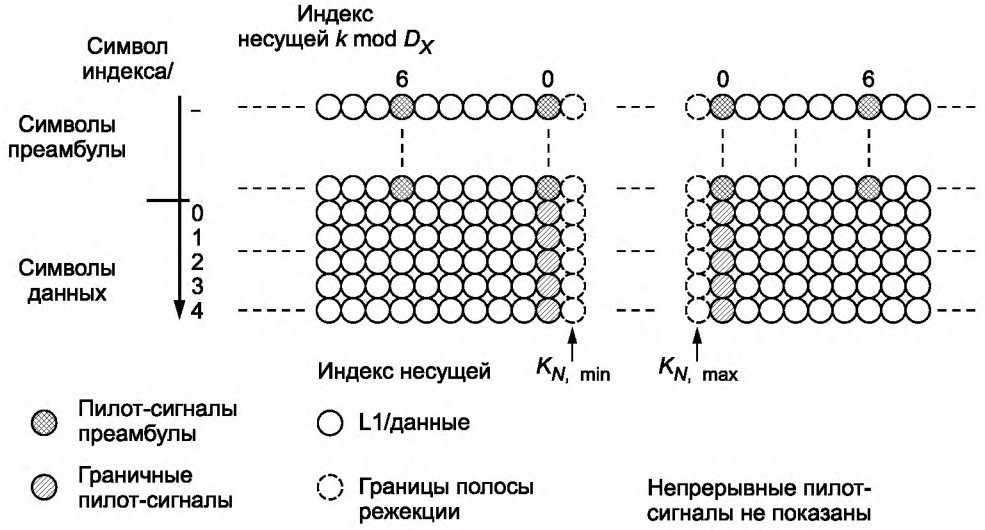


Рисунок 42 — Расположение граничных пилот-сигналов на границах полосы режекции

Примечание — Граничные пилот-сигналы всегда расположены на позициях несущих k, кратных D_x.

9.6.4.2 Амплитуды граничных пилот-сигналов

Амплитуды граничных пилот-сигналов и распределенных пилот-сигналов должны быть равны 7/3.

9.6.4.3 Модуляция граничных пилот-сигналов

Модуляция этих ячеек аналогично модуляции распределенных пилот-сигналов должна быть в соответствии с 9.6.2.3 настоящего стандарта:

$$\mathrm{Re}\,\{c_{m,l,k}\} = 2\,A_{SP}\,(1/2 - r_k),$$

$$\mathrm{Im}\,\{c_{m,l,k}\} = 0.$$

9.7 Резервирование фиктивных несущих

Некоторые ячейки OFDM могут быть зарезервированы, например, с целью уменьшения отношения пиковой мощности к средней. Значения амплитуд этих ячеек могут устанавливаться в широких пределах, однако мощность ячеек не должна превышать мощности пилот-сигналов Символов Данных OFDM.

Группа несущих Символов Данных с индексами, определенными в таблице 36 (или циркулярно смещаемая группа несущих Символов Данных), будут зарезервированы в зависимости от индекса Символа OFDM при активации этой операции соответствующим полем 'RESERVED_TONES' сигнализации L1-part2. Величина сдвига между двумя последовательными Символами OFDM определяется интервалом между соседними несущими D_X и количеством символов, формирующих последовательность рассредоточенных пилот-сигналов D_Y согласно таблице 50 в 9.6.2.1 настоящего стандарта. Кроме того зарезервированные шаблоны несущих повторяются с интервалом 8 блоков K_{L1}= 3 408 несущих. Таким образом символ данных, соответствующий символу данных с индексом l кадра C2, ячейки OFDM является зарезервированным тоном при выполнении условия:

$$[k \bmod (8\,K_{L1})] - D_X(l \bmod D_Y) \quad S_0\,0 \le l < L_{data},$$

где S_0 — набор индексов несущих, представленный в таблице 52.

Позиции зарезервированных несущих в полосах режекции должны быть исключены из группы зарезервированных несущих.

Таблица 52 — Индексы зарезервированных несущих S_0

Индексы зарезервированных несущих S_0
161, 243, 296, 405, 493, 584, 697, 741, 821, 934, 1021, 1160, 1215, 1312, 1417, 1462, 1591, 1693, 1729, 1845, 1910, 1982, 2127, 2170, 2339, 2365, 2499, 2529, 2639, 2745, 2864, 2950, 2992, 3119, 3235, 3255, 3559, 3620, 3754, 3835, 3943, 3975, 4061, 4210, 4270, 4371, 4417, 4502, 4640, 4677, 4822, 4904, 5026, 5113, 5173, 5271, 5317, 5426, 5492, 5583, 5740, 5757, 5839, 5935, 6033, 6146, 6212, 6369, 6454, 6557, 6597, 6711, 6983, 7047, 7173, 7202, 7310, 7421, 7451, 7579, 7666, 7785, 7831, 7981, 8060, 8128, 8251, 8326, 8369, 8445, 8569, 8638, 8761, 8873, 8923, 9017, 9104, 9239, 9283, 9368, 9500, 9586, 9683, 9782, 9794, 9908, 9989, 10123, 10327, 10442, 10535, 10658, 10739, 10803, 10925, 11006, 11060, 11198, 11225, 11326, 11474, 11554, 11663, 11723, 11810, 11902, 11987, 12027, 12117, 12261, 12320, 12419, 12532, 12646, 12676, 12808, 12915, 12941, 13067, 13113, 13246, 13360, 13426, 13520, 13811, 13862, 13936, 14073, 14102, 14206, 14305, 14408, 14527, 14555, 14650, 14755, 14816, 14951, 15031, 15107, 15226, 15326, 15392, 15484, 15553, 15623, 15734, 15872, 15943, 16043, 16087, 16201, 16299, 16355, 16444, 16514, 16635, 16723, 16802, 16912, 17150, 17285, 17387, 17488, 17533, 17603, 17708, 17793, 17932, 18026, 18081, 18159, 18285, 18356, 18395, 18532, 18644, 18697, 18761, 18874, 18937, 19107, 19119, 19251, 19379, 19414, 19522, 19619, 19691, 19748, 19875, 19935, 20065, 20109, 20261, 20315, 20559, 20703, 20737, 20876, 20950, 21069, 21106, 21231, 21323, 21379, 21494, 21611, 21680, 21796, 21805, 21958, 22027, 22091, 22167, 22324, 22347, 22459, 22551, 22691, 22761, 22822, 22951, 22981, 23089, 23216, 23290, 23402, 23453, 23529, 23668, 23743, 24019, 24057, 24214, 24249, 24335, 24445, 24554, 24619, 24704, 24761, 24847, 24947, 25089, 25205, 25274, 25352, 25474, 25537, 25612, 25711, 25748, 25874, 25984, 26078, 26155, 26237, 26324, 26378, 26545, 26623, 26720, 26774, 26855, 26953, 27021, 27123

10 Формирование OFDM

Модуль формирования OFDM выполняет отображение ячеек, выполненных формирователем кадра в виде коэффициентов частотной области, на несущие OFDM.

10.1 Параметры модуляции OFDM

В этом разделе определяется структура OFDM для нескольких режимов передачи. Переданный сигнал организован в кадры. Каждый кадр имеет продолжительность T_F, и состоит из L_F символов OFDM. Каждый символ образован множеством несущих K_{total}, передаваемых на интервале времени T_S. Интервал времени T_S состоит из двух частей: полезной части с продолжительностью T_U и интервала защиты с продолжительностью Δ. Интервал защиты представляет собой циклическое продолжение полезной части T_U и вставлен перед ним. Разрешенные комбинации формата FFT и интервала защиты определены в таблице 54.

Символы в кадре С2 пронумерованы от 0 до $L_F - 1$. Все символы содержат данные и опорную информацию.

Сигнал OFDM состоит из множества отдельно модулированных несущих, каждый символ разделяется на ячейки, каждая ячейка определяет параметры модуляции одной несущей на интервале одного символа.

Несущие k индексированы в интервале значений: $k \in [K_{min}; K_{max}]$ и определены в интервале значений от K_{min} до K_{max}. Интервал между смежными несущими определяется отношением $1/T_U$, интервал между несущими K_{min} и K_{max} определен отношением K_{total}/T_U.

Излучаемый сигнал описан следующим выражением:

$$s(t) = \mathrm{Re}\left\{\sum_{m=0}^{\infty}\left[\frac{1}{\sqrt{K_{total}}}\sum_{l=0}^{L_F-1}\sum_{k=K_{min}}^{K_{max}} c_{m,l,k}\cdot\psi_{m,l,k}(t)\right]\right\},$$

где $\psi_{m,l,k}(t) = e^{j2\pi\frac{k}{T_U}(t-\Delta-lT_S-mlT_F)}$ при $mT_F + lT_S \le t \le mT_F + (l+1)T_S$,

$\psi_{m,l,k}(t) = 0$ в иных случаях,

где l — номер символа OFDM, начинающийся от 0 для первого символа преамбулы кадра;

K_{total} — количество передаваемых несущих: $K_{total} = K_{max} - K_{min}$;

T_S — полная продолжительность символа для всех символов $T_S = T_U + \Delta$;

T_U — активная продолжительность символа, определенная в таблице 54;

Δ — продолжительность интервала защиты, в соответствии с 10.2 настоящего стандарта;

$c_{m,l,k}$ — комплексное значение модуляции для несущей k символа OFDM с номером l в кадре С2 с номером m;

T_F — продолжительность кадра, $T_F = L_F T_S$.

Результирующие параметры OFDM приведены в таблице 54. Значения параметров, связанных со временем, даны для нескольких значений элементарных периодов T; для двух значений полосы пропускания канала и для двух значений интервалов защиты (Δ/T_U) представлены в таблице 53.

Таблица 53 — Элементарный период как функция полосы пропускания канала

Полоса пропускания канала	«6 МГц»	«8 МГц»
Элементарный период T, мкс	7/48	7/64

Таблица 54 — Параметры OFDM

Параметр	«6 МГц» 1/64	«6 МГц» 1/128	«8 МГц» 1/64	«8 МГц» 1/128
Количество несущих OFDM на блок L1 K_{L1}	3 408	3 408	3 408	3 408
Полоса пропускания блока сигнализации L1, МГц (см. примечание)	*5,71*	*5,71*	*7,61*	*7,61*
Продолжительность T_U в периодах T	*4096T*	*4096T*	*4096T*	*4096T*
Продолжительность T_U, мкс	*597,3*	*597,3*	*448*	*448*
Разнос несущих частот $1/T_U$, Гц	*1 674*	*1 674*	*2 232*	*2 232*
Продолжительность интервала защиты Δ в периодах T	*64T*	*32T*	*64T*	*32T*
Продолжительность интервала защиты Δ, мкс (см. примечание)	*9,33*	*4,66*	*7*	*3,5*
Примечание — Численные значения, выполненные курсивом, являются приблизительными.				

10.2 Характеристики спектра

Символы OFDM представляют собой наложение равномерно распределенных ортогональных несущих. Амплитуды и фазы несущих ячейки данных изменяются от символа к символу в соответствии с ранее описанным процессом отображения.

Спектральная плотность мощности $P_k(f)$ каждой несущей частоты:

$$f_k = \frac{k}{T_U} \text{ для } K_{min} \le k \le K_{max}$$

определена следующим выражением:

$$P_k(f) = \left[\frac{\sin\pi (f - f_k) I_s}{\pi (f - f_k) I_s}\right].$$

Полная спектральная плотность мощности модулируемых несущих ячейки данных является суммой спектральных плотностей мощности всех этих несущих. Теоретический спектр сигнала передачи DVB показан на рисунке 43. Сплошная кривая иллюстрирует расчетный спектр сигнала шириной 7,61 МГц (первая используемая поднесущая K_{min} расположена на относительной частоте 0 МГц). Штрихпунктирная кривая иллюстрирует нижний край спектра сигнала шириной 445 МГц. Поскольку продолжительность символа OFDM больше обратной величины разноса несущих частот, основной лепесток спектральной плотности мощности каждой несущей уже двойного разноса несущих частот. Поэтому спектральная плотность не постоянна в пределах номинальной ширины полосы частот.

Примечание — Этот расчетный спектр не учитывает изменения мощности от несущей к несущей, вызванной изменением усиления пилот-сигналов.

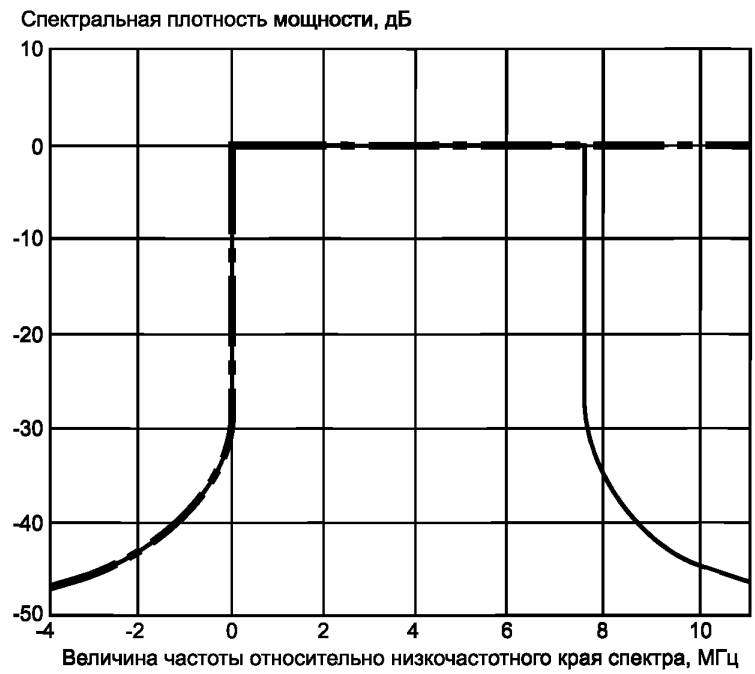


Рисунок 43 — Расчетные спектры сигнала DVB-C2 для относительного интервала защиты 1/128 и с разными полосами пропускания (8 МГц и 445 МГц (только низкочастотный край спектра))

Требования к характеристикам спектра сигнала DVB-C2 после усиления и фильтрации настоящим стандартом не устанавливаются.

Приложение А
(обязательное)

Синхронизатор входного потока

Задержки и дрожания пакетов, вносимые оборудованием Системы С2, могут зависеть от скорости передачи и могут изменяться при изменении битовой скорости или скорости кода. Синхронизатор входного потока в соответствии с рисунком А.1 на входе адаптера режима обеспечивает возможность регенерации в приемнике тактовой частоты транспортного потока (или пакетизированного универсального потока). Это позволяет гарантировать постоянство скорости передачи и постоянство задержки. Таблица А.1 показывает подробности кодирования поля индикатора синхронизации ISSY, генерированного входным потоковым синхронизатором.

Таблица А.1 — Кодирование поля индикатора синхронизации ISSY

Первый байт					Второй байт	Третий байт
бит 7	бит 6	бит 5 и бит 4	бит 3 и бит 2	бит 1 и бит 0	бит 7 — бит 0	бит 7 — бит 0
0 = $ISCR_{short}$	MSB $ISCR_{short}$	Следущие биты $ISCR_{short}$			следующие 8 битов $ISCR_{short}$	Не существует
1	0= $ISCR_{long}$	6 MSB $ISCR_{long}$			следующие 8 битов $ISCR_{long}$	следущие 8 битов $ISCR_{long}$
1	1	00 = BUFS	блок BUFS 00 = биты 01 = кбиты 10 = Мбиты 11 = 8 Кбит	2 MSB BUFS	следующие 8 битов BUFS	Не существует, когда используется $ISCR_{short}$; зарезервировано для применений в будущем
1	1	10 = BUFSTAT	блок BUF-STAT 00 = биты 01 = кбиты 10 = Мбиты 11=BUFS/ 1024	2 MSB BUFSTAT	следующие 8 битов BUFSTAT	Не существует, когда используется $ISCR_{short}$; зарезервировано для применений в будущем
1	1	Зарезервировано для применений в будущем	Зарезервировано для применений в будущем	Зарезервировано для применений в будущем	Зарезервировано для применений в будущем	Не существует, когда используется $ISCR_{short}$; зарезервировано для применений в будущем

Когда в поле MATYPE установлено ISSYI = 1 в соответствии с 5.1.6 настоящего стандарта, счетчик (22 бита) должен быть активирован частотой, синхронизированной модулятором (частота $R_s = 1/T$, где T определен в разделе 10 настоящего стандарта). Поле синхронизации входного потока (ISSY, 2 или 3 байта) должно передаваться согласно 5.1.7 настоящего стандарта.

Поле ISSY должно быть кодировано по таблице А.1 при передаче следующих переменных:

- ISCR ((короткий ($ISCR_{short}$) 15 битов; длинный ($ISCR_{long}$) 22 бита) — опорное время входного потока) загружается с младших разрядов счетчика контента в момент, соответствующий обработке входного пакета (на постоянной скорости R_{IN}), и определяется в момент времени, когда MSB соответствующего пакета достигает интерфейса модулятора. В случае непрерывных потоков счетчик контента загружается после обработки MSB поля данных;
- BUFS (2 + 10 битов) — блок BUFS устанавливает необходимый максимальный размер буфера приемника для обеспечения компенсации изменения задержки.

Эта переменная указывает на размер буфера приемника, определенного модулятором для соответствующего PLP. Ее максимальное значение должно быть 2 Мбит. Когда группа данных нескольких PLP совместно использует Общий PLP, суммарный размер буфера любых данных PLP в группе с учетом размера буфера для общего PLP не должен превышать 2 Мбит.

- BUFSTAT (2+10 битов) — блок BUFSTAT описывает фактическое состояние сбрасываемого буфера приемника, равное числу заполненных битов. Если ISSYI = 1, эта переменная должна передаваться не реже 5 раз в секунду, заменяя ISCR. Это значение может использоваться для того, чтобы установить состояние буфера приемника во время приема процедуры запуска, а также для проверки нормальности функционирования в стационарном режиме.

На рисунке А.1 представлена блок-схема синхронизатора входного потока.

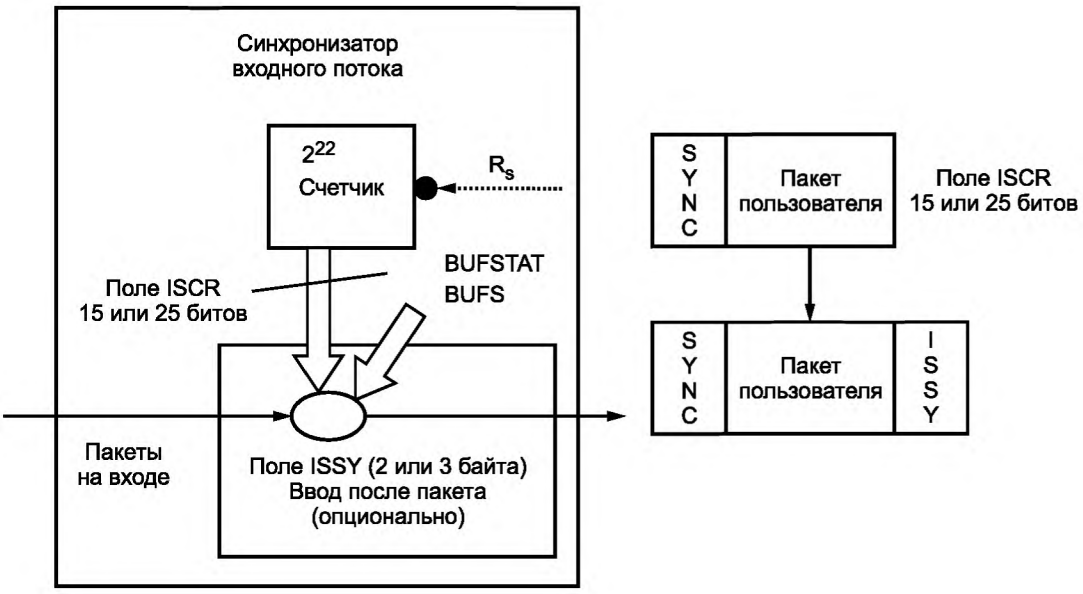


Рисунок А.1 – Блок-схема синхронизатора входного потока

Приложение Б
(обязательное)

Подсистема входного ремультиплексирования: Разделение входных транспортных потоков MPEG-2 на PLP данных; формирование Общего PLP группы PLP; вставка нулевых пакетов в транспортные потоки

Б.1 Общее представление

В настоящем приложении определяются параметры процесса ремультиплексирования, применяемого в Системе С2 в случае передачи нескольких транспортных потоков MPEG-2 (в соответствии со стандартом ISO/IEC [1]) в группе PLP и в Общем PLP. Ремультиплексирование должно применяться для транспортировки N ($N \geq 2$) транспортных потоков MPEG-2 (от TS_1 до TS_N) через N +1 PLP данных (от PLP1 до PLPN +1)), один из которых является Общим PLP (CPLP) из группы PLP, показано на рисунке Б.1.

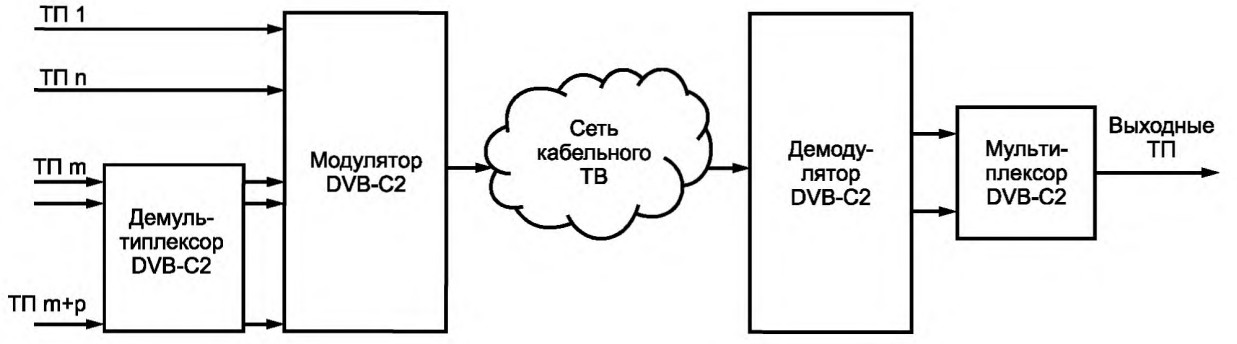


Рисунок Б.1 — Расширение функциональнальных возможностей системы DVB-C2 при использовании демультиплексирования и мультиплексирования

Если указанная обработка не применяется к группе транспортных потоков, то Общие PLP для этой группы не должны формироваться и каждый PLP группы должен переносить входной ТП без изменений. Когда несколько групп PLP используются для передачи ТП, каждая такая группа имеет свое собственное независимое расширение функциональности.

Кроме того, настоящее приложение описывает процесс обработки, который может выполняться приемником при выделении ТП из принятых данных PLP и соответствующего им общего PLP.

Расширение функциональных возможностей обеспечивается демультиплексором транспортных потоков на передающей стороне и мультиплексором на приемной стороне Системы С2. Входы и выходы Системы С2 синтаксически корректны транспортным потокам, каждый из которых имеет свой уникальный transport_stream_id и содержит всю информацию сигнализации, соответствующую уровню L2 (например, PSI/SI — согласно стандарту ISO/IEC [1] и Спецификации ETSI [5]). Различные входные ТП могут иметь параметры таблиц PSI/SI или данные уровня L2, общие с другими параметрами других входных ТП. При использовании потоков TSPS и синтаксически не корректных по отношению к транспортному потоку MPEG-2, перенос их должен осуществляться в формате пакетов MPEG.

Скорости входных ТП могут превышать пропускную способность соответствующих PLP из-за существования в ТП определенной доли нулевых пакетов, которые удаляются процедурой удаления нулевых пакетов (DNP).

Предусматривается два варианта переноса входных транспортных потоков MPEG-2:

- в полном объеме в одном PLP; в этом случае ТП не принадлежит к какой-либо группе PLP (и Общий PLP отсутствует);
- разделением ТП на потоки TSPS, переносимые в PLP Данных, и потоки TSPSC, переносимые в Общем PLP. В настоящем приложении определяется процедура разделения транспортного потока и описывается технология рекомбинации выходных потоков PLP Данных и PLP Общих, которая может быть достигнута в приемнике при формировании выходного транспортного потока.

Б.2 Разделение группы транспортных потоков на потоки TSPS и поток TSPSC

Б.2.1 Общий

Когда группа N транспортных потоков (TS_1, ..., TS_N, $N \geq 2$) передается в группе N + 1 PLP, все ТП могут иметь различную скорость передачи данных, но должны нести все пакеты данных, которые предназначены для

передачи в Общем PLP. Требование к синхронности пакетов данных, которые будут переноситься в Общем PLP, не предъявляется. Однако предполагается, что все ТП в группе были сформированы в общем Центре и что возможны отклонения между ТП, касающиеся сигналов синхронизации, вызванные в том числе различными задержками распространения, вносимыми каналом.

Предусматривается два этапа обработки. На первом этапе пакеты ТП, которые должны быть переданы через общие PLP, должны быть заменены нуль-пакетами, и на втором этапе дополнительные нуль-пакеты вводятся с целью снижения требований к буферизации в приемнике.

Каждый TSPS должен иметь параметры скорости передачи данных и синхронизации аналогичными параметрам ассоциированных с ними входных ТП. TSPSC является элементарным потоком с той же скоростью передачи данных, как и входной ТП, из которого он был извлечен. Он содержит пакеты данных, общие для всех транспортных потоков внутри группы ТП в определенном слое данных. Данные TSPSC не требуют временной синхронизации с соответствующими данными TSPS. Таблицы SDT или EIT DVB SI не должны переноситься через Общие PLP, так как обработка этих таблиц на уровне table_id не предусмотрена в Системе DVB-C2.

Примечание — Входные TS могут содержать определенную долю нулевых пакетов. Операция разделения не будет вводить в дальнейшем нулевые пакеты в потоки TSPS. Нулевые пакеты будут удалены в модуляторе и повторно вставлены в демодуляторе так, чтобы Система С2 была прозрачна для пакетов TSPS, несмотря на то, что нулевые пакеты не передаются. Кроме того, DNP и механизм ISSY Системы С2 гарантирует, что временная синхронизация потоков TSPS и TSPSC на выходе демодулятора до определенной степени будет сохраняться.

Б.2.2 Выделение Общего PLP из группы ТП

Пакеты TS, которые могут передаваться в Общих PLP, идентифицируются по одному или нескольким PID и разделяются на следующие три категории:

1) пакеты TS, переносящие любые виды данных, которые не требуют точной синхронизации времени с другими пакетами TS, переносимыми в других PLP соответствующих групп PLP;

2) данные EPG, например на основе формата таблицы сведений о событиях (EIT). При этом механизмы «actual» и «other» — в соответствии со Спецификацией ETSI [5];

3) данные управления условным доступом, например сообщения EMM.

Пакеты TS DVB-SI, которые не могут передаваться в общих PLP, так как это требует сложных процедур ремультиплексирования, можно разделить на следующие две категории:

1) пакеты TS, передающие таблицы описания службы (SDT), имеющие значение PID 0x0011;

2) пакеты TS, передающие таблицы информации о событиях (EIT), имеющие значение PID 0x0012.

Пакеты TS, предназначенные для передачи через Общий PLP, должны быть извлечены из одного входного ТП. Если входной поток, переносящий данные Общих PLP, переносит также данные полезной нагрузки, которые предназначены для ввода в PLP, то те пакеты TS, которые были извлечены в Общий PLP, должны быть заменены на нулевые пакеты, как показано на рисунке Б.2. Все пакеты TS других входных TS, принадлежащих к этой группе PLP, обработаны так, что все пакеты TS с PID, связанные с Общим PLP, заменены нулевыми пакетами.

Во время процесса извлечения данных Общих PLP, опционально, компоненты TS могут быть удалены заменой соответствующих пакетов данных нулевыми пакетами.

Может быть достигнута обработка одного TS параллельно в двух линиях ремультиплексирования и замена дополнительных пакетов TS нуль-пакетами для разделения одного TS на два частичных TS, которые предназначены для передачи через другие PLP (с другим уровнем устойчивости). Этот принцип также применим, если разделение одного ТП более чем на два частичных потока не требуется.

Рисунок Б.2 упрощен, поскольку он не показывает нулевые пакеты во входных TS. В реальных входных TS они имеют место. Однако отсутствие этих пакетов на рисунке не влияет на возможность применения процесса разветвления и рекомбинации, в соответствии с описанным в этом приложении.

SDT	EMM	Аудио	Видео	ECM	EMM

ТП 1 вход

SDT	Нулевые пакеты	Аудио	Видео	ECM	Нулевые пакеты

TSPS 1 выход

Видео	Аудио	EMM	EPG данные	EIT	ECM

ТП 2 вход

Видео	Аудио	Нулевые пакеты	Нулевые пакеты	EIT	ECM

TSPS 2 выход

Нулевые пакеты	Нулевые пакеты	EMM	EPG данные	Нулевые пакеты	Нулевые пакеты

TSPS выход (основан на данных ТП 2)

Рисунок Б.2 — Пример формирования двух TSPS и формирования TSPSC из двух входных TS

Б.2.3 Вставка дополнительных нулевых пакетов в потоки TSPS

Пакеты ТП, к которым не предъявляются требования обязательной временной синхронизации, но одинаковые во всех входных ТП группы, перед разделением должны быть заменены нуль-пакетами в соответствующих временных позициях TSPS. Кроме того, пакеты, предназначенные для ввода в Общий PLP, во входном потоке могут возникать не эквидистантно. Если у пакетов данных в Общем PLP действительно есть «пульсирующее», характеристики и пакеты Общего PLP и соответствующего PLP Данных не синхронизированы, необходимый размер буфера в приемнике может быть значительно увеличен из-за недостающей временной связи. Вставка дополнительных нуль-пакетов в TSPS позволяет сглаживать характеристики нуль-пакетов и таким образом уменьшать требования к буферу приемника.

Количество вставленных Нулевых Пакетов должно быть выбрано таким образом, чтобы буфер в приемнике на 2 Мбит был в состоянии выполнить мультиплексирование данных PLP и общего PLP должным образом.

После вставки Нулевых Пакетов должна быть выполнена переустановка PCR.

Рисунок Б.3 дает пример двух транспортных потоков, где после экстракции пакетов общих PLP вставлены дополнительные Нулевые Пакеты.

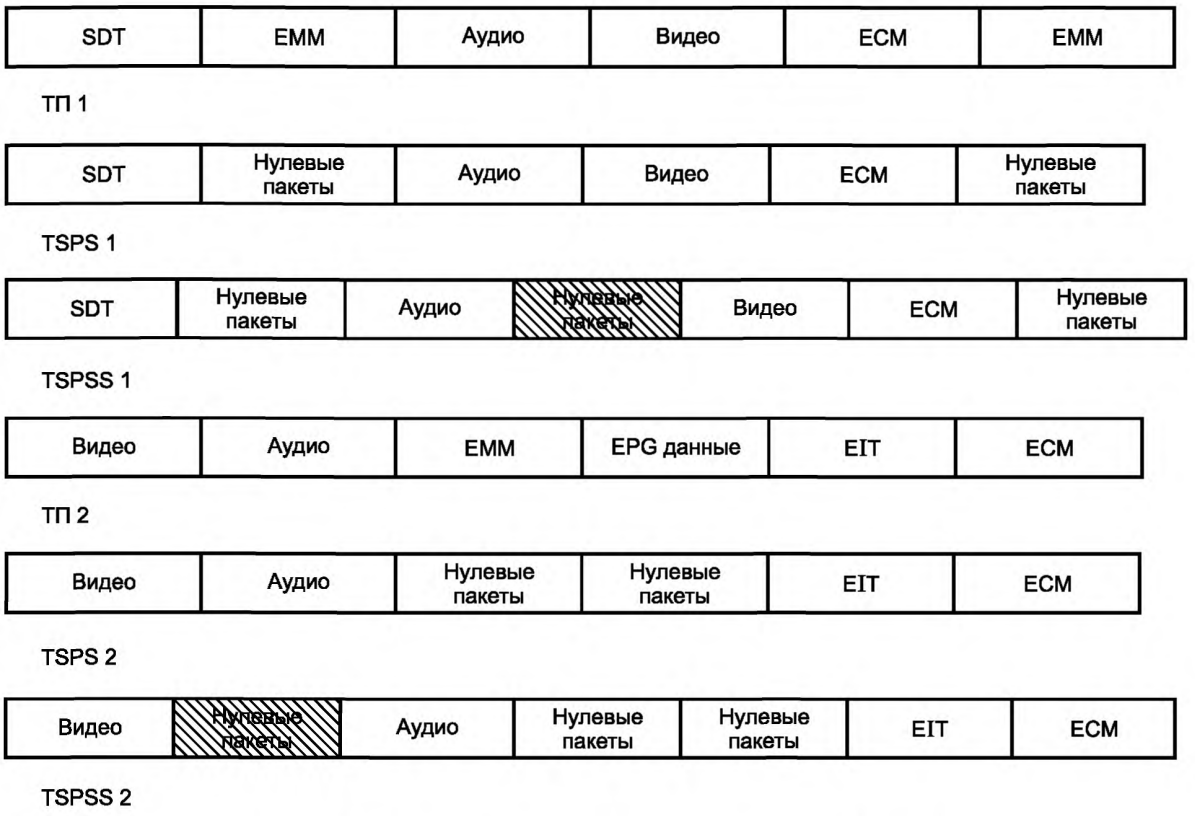


Рисунок Б.3 — Пример вставки нулевых пакетов на два TS / TSPS

Б.3 О реализации приемника

Ключевая роль, которую играет транспортный поток, как физический интерфейс, позволяет рекомендовать реализацию в существующих приемниках и приемниках будущего базовых функций, описанных в этом приложении. В особенности это относится к универсальной функции слияния TSPSC и TSPS транспортных потоков для универсальных данных, как определено в Б.2 настоящего стандарта и иллюстрировано на рисунке Б.3.

Реализации декодера канала, определенного выше, должны гарантировать корректную интеграцию многих существующих систем DVB при использовании аппаратных и программных решений для DVB с такими декодерами канала.

Б.3.1 Рекомбинация TSPSS и TSPSC в приемнике

Приемник должен воссоздать целевой TS, мультиплексируя полученный синхронизируемый частичный Транспортный Поток (TSPSS) с полученным Транспортным Потоком Общего PLP (TSPSC). Он должен заменить любые нулевые пакеты, которые появляются в полученных TSPSS, пакетом из его буфера Общего PLP (TSPSC) (если этот буфер не пуст) согласно рисунку Б.4. Выходной сигнал демодулятора DVB-C2 поставляет Частичный Транспортный Поток (TSPS) и Общий PLP (TSPSC), мультиплексированные вместе. Пакеты Общего PLP могут быть смещены во времени относительно входного сигнала модулятора, и соответственно дополнительно вставленные нулевые пакеты в модуляторе увеличивают скорость передачи данных в мультиплексированном полном выходнм сигнале. Однако после фильтрации PID в MPEG -Демультиплексоре это превышение будет удалено полностью.



Рисунок Б.4 — Пример рекомбинации входного ТП из TSPSS и TSPSC

Приложение В
(обязательное)

Вычисление слова CRC

Реализация кодов циклического контроля избыточным кодом (кодом CRC) позволяет обнаруживать ошибки передачи на стороне приемника. С этой целью слова CRC должны быть включены в передаваемые данные. Слова CRC должны формироваться в соответствии с процедурой, описанной в этом приложении.

Код CRC определен полиномом степени n:

$$G_n(x) = x^n + g_{n-1}x^{n-1} + \ldots + g_2 x^2 + g_1 x + 1$$

при $n \geq 1$ и $g_1 \in \{0,1\}$, $i = 1 \ldots n - 1$.

Вычисление CRC может быть выполнено использованием регистра сдвига, содержащего n ячеек, где n — степень полинома.

Детализация процедур вычисления CRC — в соответствии со стандартом ETSI [4] (приложение Е).

Коды CRC, используемые в системе DVB-C2, основаны на следующих полиномах:

$$G_{32}(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1,$$

$$G_8(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1.$$

Интерпретации полиномов к соответствующим приложениям даны в соответствующих разделах.

Примечание — Кодер CRC 32 , определенный в этом приложении, неявно идентичен кодеру, определенному спецификацией ETSI [5].

Приложение Г
(обязательное)

Группирование PLP

В дополнение к основному режиму работы (один или несколько PLP размещены в одном Слое Данных) Система С2 позволяет распределять данные отдельного PLP по другим Слоям Данных (режим группирования PLP). В результате пропускная способность, необходимая для отдельного PLP, может быть увеличена до полной пропускной способности Системы С2. Этот режим работы предназначен для служб, требующих пропускную способность, превышающую пропускную способность отдельного Слоя Данных.

В режиме группирования PLP все пакеты данных сгруппированного соединения PLP должны передаваться на блок входной обработки. Вставка метки времени ISSY в блок адаптации режима обязательна для этого режима работы, для обеспечения корректного переупорядочения пакетов других Слоев Данных на стороне приема. На выходе блока входной обработки кадров BBFrame сгруппированный PLP распределен по различным Слоям Данных. На рисунке Г.1 показана блок-схема режима работы группирования PLP.

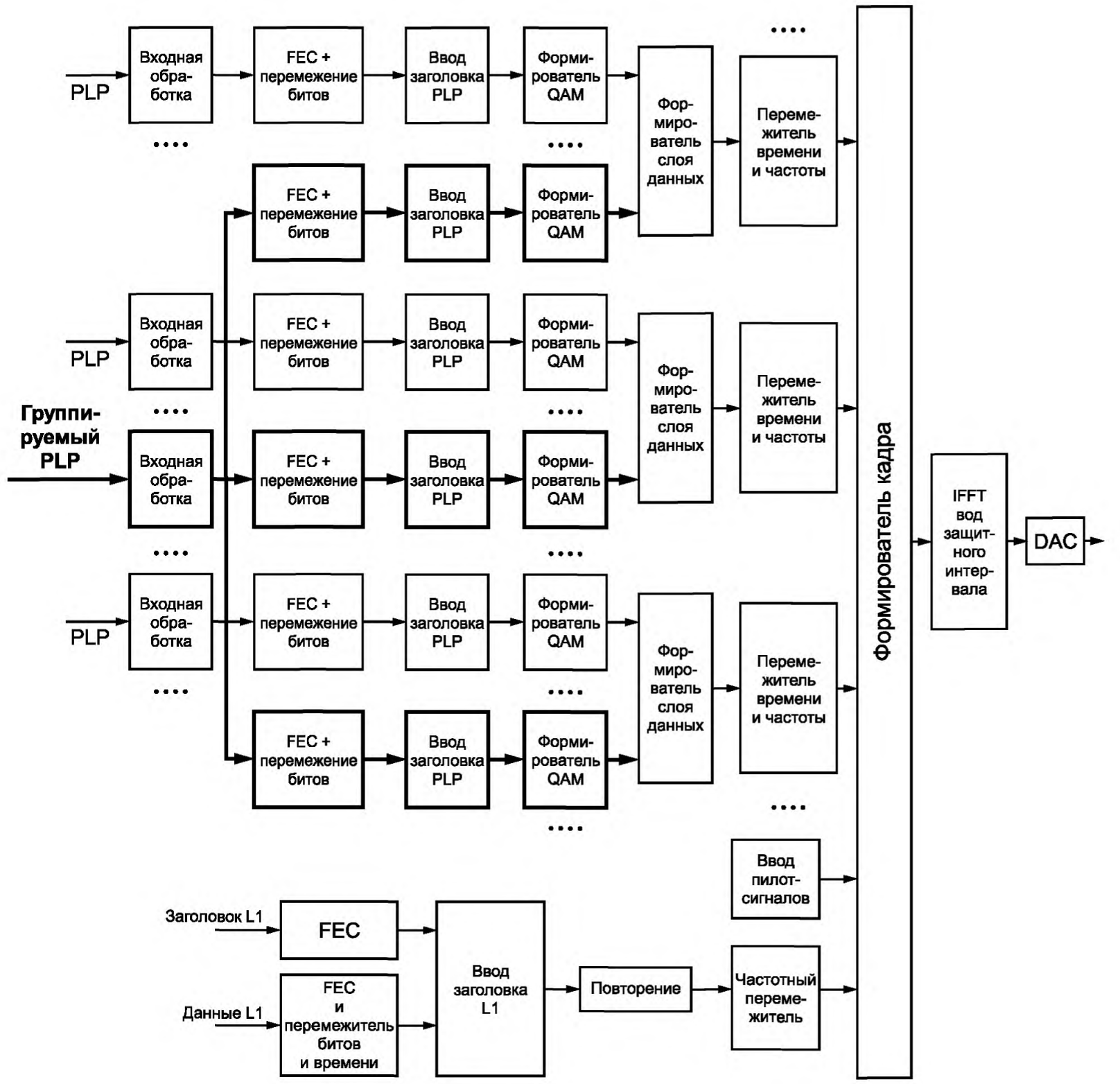


Рисунок Г.1 — Блок-схема режима группирования PLP

На рисунке Г.1 данные отдельного PLP распределены по другим Слоям Данных.

Режим работы сгруппированных PLP определяет использование заголовка FECFrame для Слоев Данных, содержащих пакеты от сгруппированного PLP.

Примечание — В основном режиме работы Слои Данных, включающие кадры FECFrame от сгруппированного PLP, могут содержать пакеты FECFrame других PLP.

Приложение Д
(справочное)

Регенерация транспортного потока и использование ISCR для восстановления тактовой частоты

В том случае, когда модулятор работает в режиме с удалением нулевых пакетов, приемник может регенерировать транспортный поток, вставляя перед каждым полезным пакетом удаленные нулевые пакеты (DNP) в буфере FIFO приемника. Как показано на рисунке Д.1, тактовая частота транспортного потока R'_{IN} может быть восстановлена с помощью цепи фазовой синхронизации. Восстановленная модулятором частота R_s может использоваться для синхронизации локального счетчика (который по определению работает синхронно со счетчиком синхронизации входного потока, как показано на рисунке Д.1). PLL сравнивает содержание локального счетчика с переданным ISCR каждого пакета ТП, и разность фаз используется для корректировки тактовой частоты R'_{IN}. Таким образом R'_{IN} остается постоянным, и буфер приемника FIFO автоматически компенсирует последовательные изменения задержки. Так как буфер FIFO приема не является самобалансирующимся (в устойчивом состоянии заполнена половина ячеек), то информация, содержащаяся в полях BUFSTAT и BUFS, может использоваться для установки буфера FIFO в начальное состояние.

Альтернативным решением может быть случай, когда динамические изменения результирующей задержки и скорости передачи (относительно источника) могут быть приемлемыми для декодера, буфер приемника может использоваться для управления PLL. В этом случае буфер приемника может быть самобалансирующимся и поле ISSY может не передаваться.

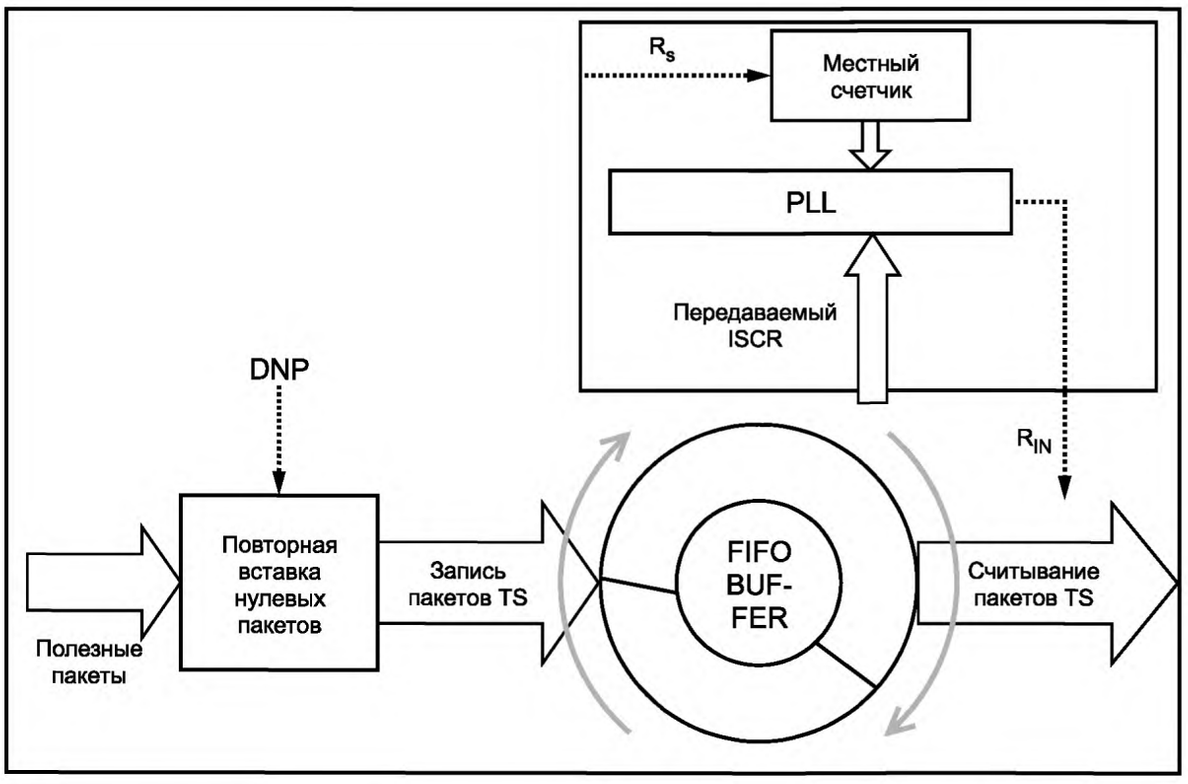


Рисунок Д.1 — Пример блок-схемы приемника повторной вставки пакетов и синхронизации восстановленной тактовой частоты R_{TS}

Приложение Е
(справочное)

Шаблоны размещения пилот-сигнала

В приложении представлены шаблоны размещения рассредоточенных пилот-сигналов на низкочастотном крае ансамбля нескольких первых символов кадра для двух значений интервала защиты:1/64 и 1/128. Шаблоны размещения рассредоточенных пилот-сигналов представлены в четырех фазах — для четырех значений параметра k mod D_xD_y по 9.6.2.1 настоящего стандарта, характеризующих частоту нижней границы. На рисунках Е.1—Е.4 показаны шаблоны для GI = 1/64 для четырех значений k mod D_xD_y. На рисунках Е.5—Е.8 показаны шаблоны для GI = 1/128 для четырех других значений k mod D_xD_y.

Непрерывные пилот-сигналы не показаны.

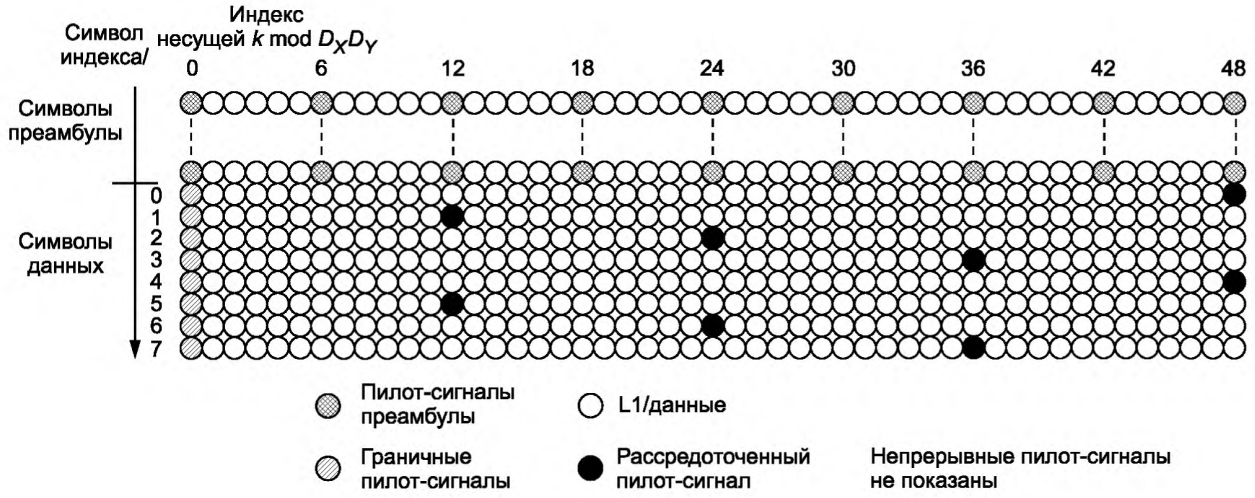


Рисунок Е.1 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/64 с низкочастотной границей k mod D_xD_y = 0

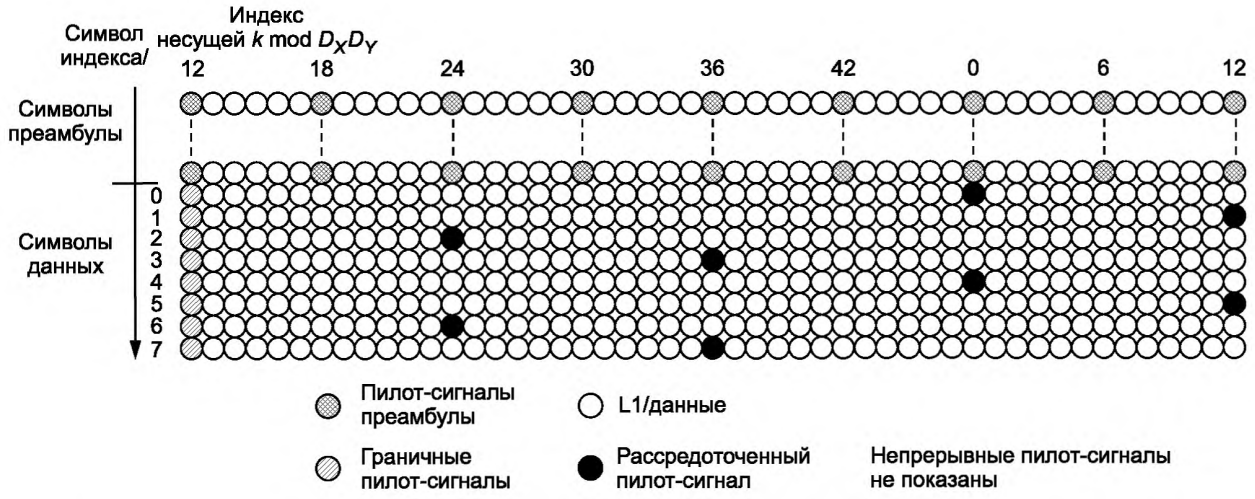


Рисунок Е.2 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/64 с низкочастотной границей k mod D_xD_y = 12

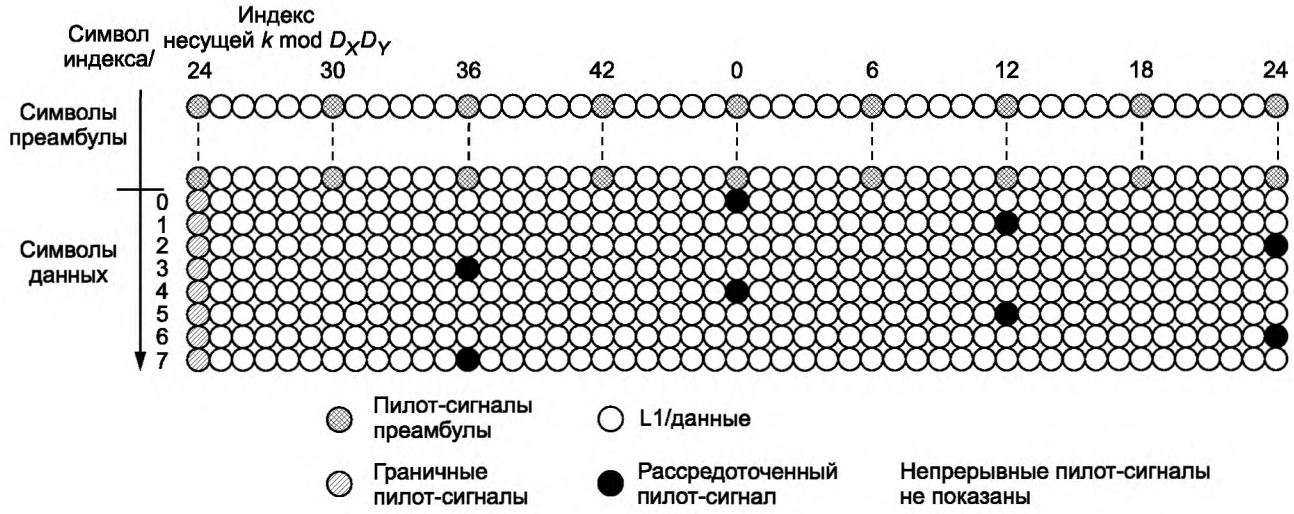


Рисунок Е.3 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/64 с низкочастотной границей k mod $D_x D_y$ = 24

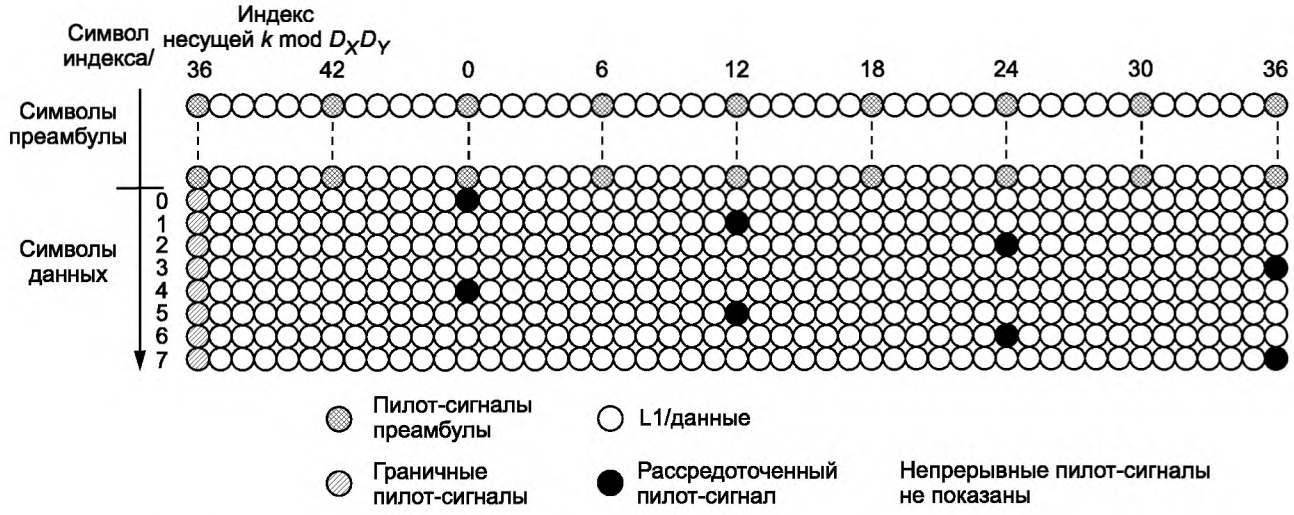


Рисунок Е.4 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/64 с низкочастотной границей k mod $D_x D_y$ = 36

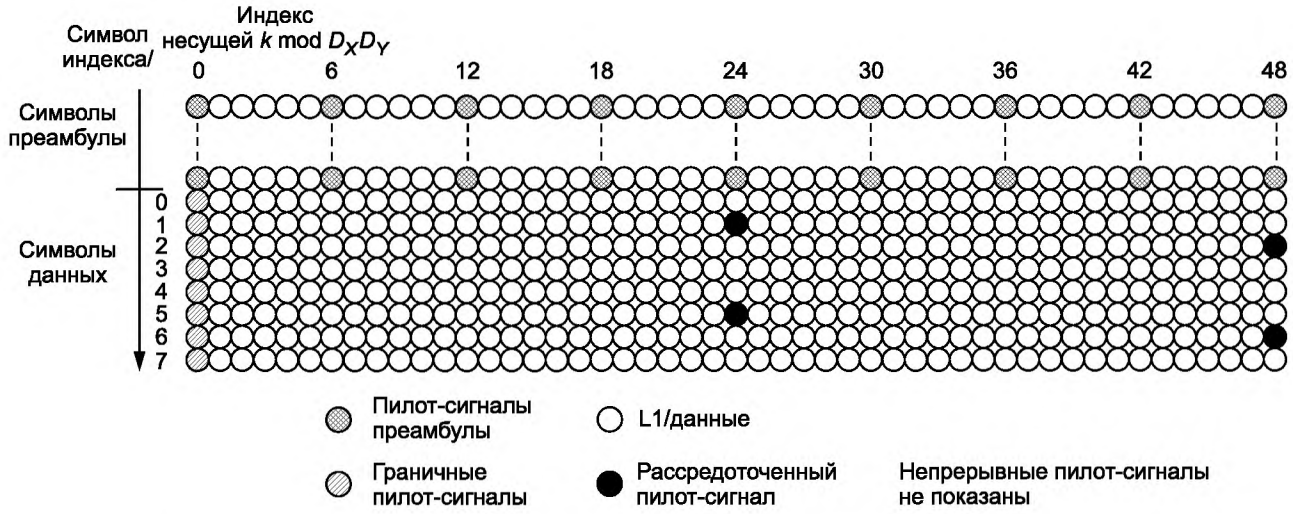


Рисунок Е.5 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/128 с низкочастотной границей k mod $D_x D_y = 0$

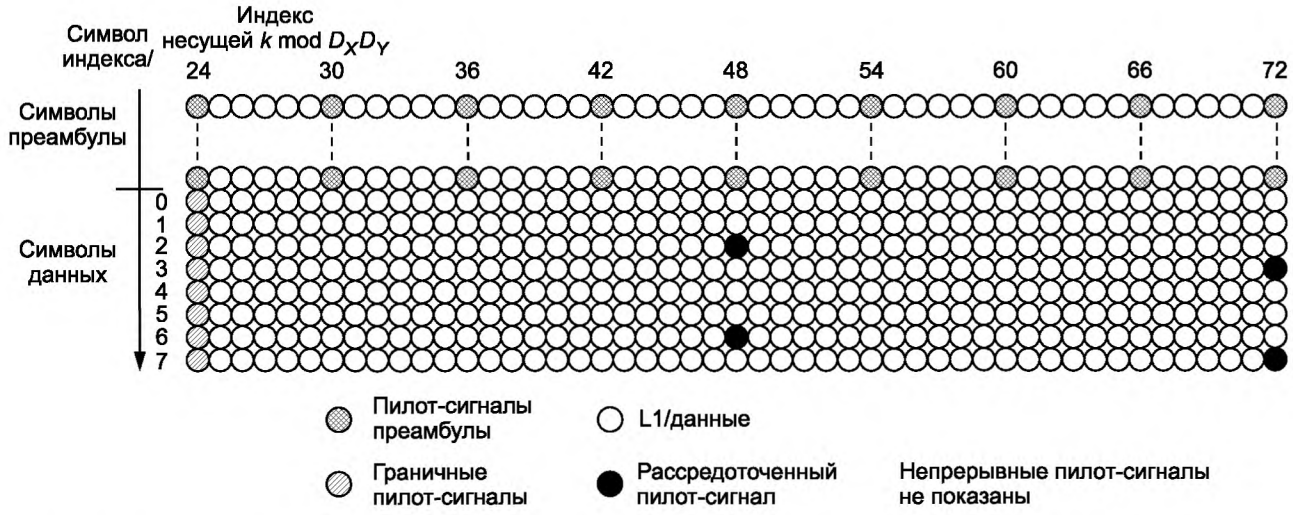


Рисунок Е.6 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/128 с низкочастотной границей k mod $D_x D_y = 24$

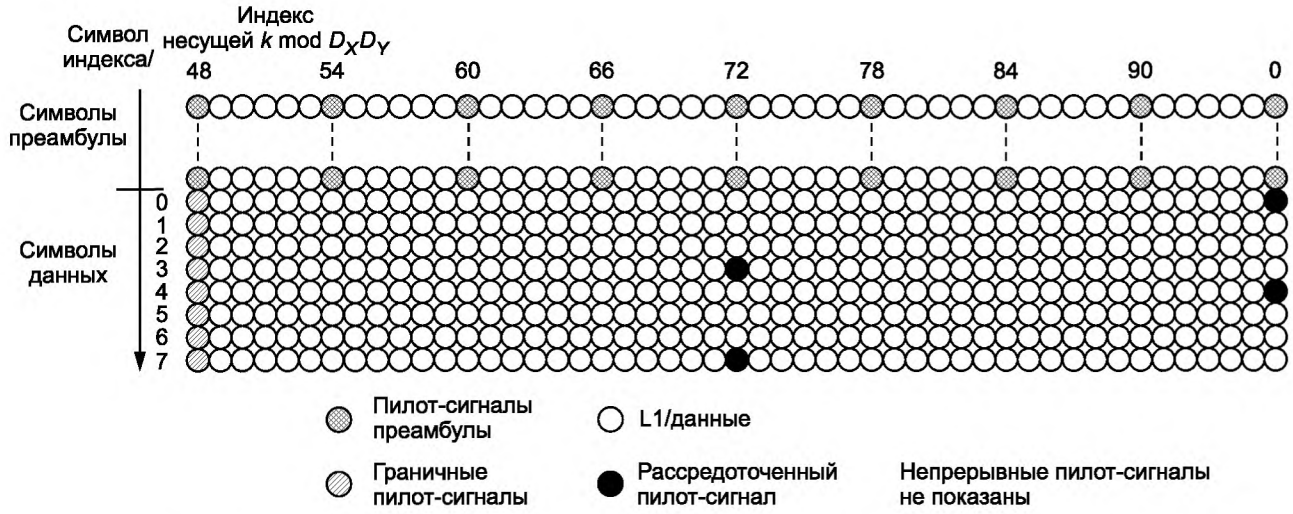


Рисунок Е.7 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/128 с низкочастотной границей k mod $D_x D_y$ = 48

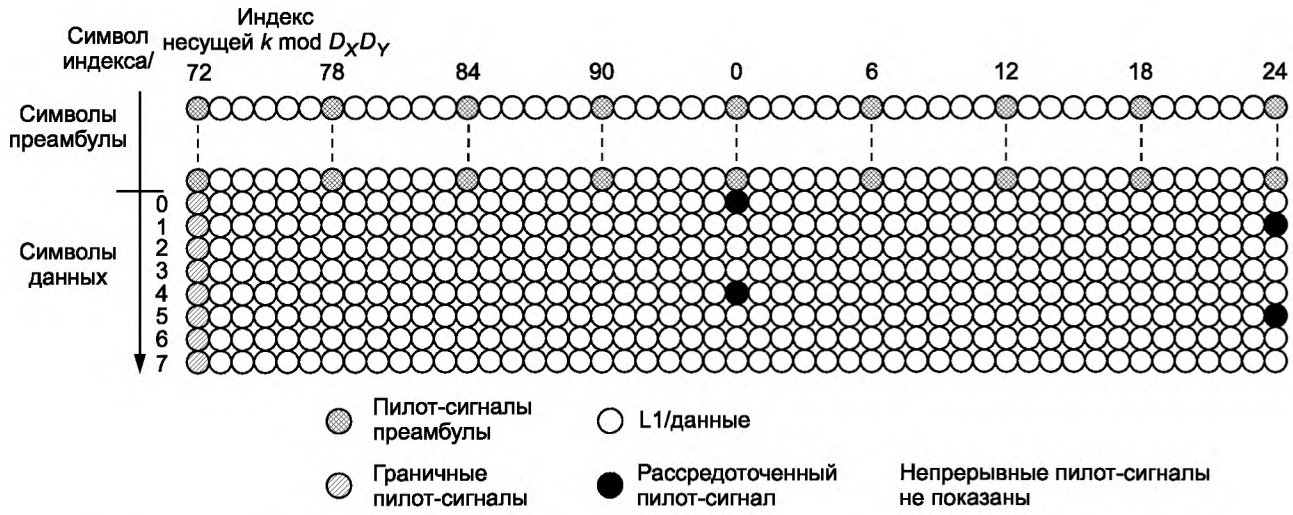


Рисунок Е.8 — Рассредоточенный пилот-сигнал для GI 1/128 с низкочастотной границей k mod $D_x D_y$ = 72

Библиография

[1]	ISO/IEC 13818-1 (2013)	Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems
[2]	ETSI TS 102 606	Digital Video Broadcasting (DVB); Generic Stream Encapsulation (GSE) Protocol
[3]	ETSI EN 302 307	Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)
[4]	ETSI EN 302 769 V1.1.1 (2010-04)	Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)
[5]	ETSI EN 300 468	Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems

УДК 621.397: 006.354 ОКС 33.170 ОКП 65 7400

Ключевые слова: телевидение вещательное цифровое, DVB-C2, транспортный поток MPEG-2, универсальный поток GSE, кодирование, перемежение, BCH, LDPC, созвездие, слой данных, сигнализация о параметрах кодирования и модуляции, кадр С2, символ преамбулы, пилот-сигнал, OFDM

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.Е. Нестерова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 17.03.2015. Подписано в печать 13.08.2015. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 11,60. Тираж 34 экз. Зак. 2811.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru