ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58912— 2020

ТЕЛЕВИДЕНИЕ ВЕЩАТЕЛЬНОЕ ЦИФРОВОЕ. СИСТЕМА ЭФИРНОГО НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ DVB-T2

Общие технические требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт радио» (ФГУП «НИИР») и Акционерным обществом «Научно-исследовательский институт телевидения» (АО «НИИ телевидения») (разработчик раздела 12)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 480 «Связь»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 июля 2020 г. № 354-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 В настоящем стандарте учтены положения основных нормативных положений стандартов Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК), рекомендаций Международного союза электросвязи (МСЭ), стандартов и технических требований Европейского института по стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI)

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». 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, оформление, 2020

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 и определения . . . 2
4 Обозначения и сокращения . . . 9
5 Структура системы цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения DVB-T2 . . . 11
5.1 Определение системы . . . 11
5.2 Архитектура системы на передающей стороне . . . 13
6 Основные технические требования к подсистеме SS2 — процессору входящих потоков . . . 14
6.1 Форматы потоков на входе системы . . . 14
6.2 Режимы работы процессора входящих потоков . . . 15
7 Основные технические требования к подсистеме SS3 и параметрам радиочастотного интерфейса С «DVB-T2» . . . 16
7.1 Полоса пропускания радиоканала и скорости передачи информации . . . 16
7.2 Требования к помехоустойчивому кодированию . . . 17
7.3 Первичная модуляция и отображение символов на сигнальные созвездия . . . 22
7.4 Поворот сигнального созвездия OFDM . . . 28
7.5 Перемежитель ячеек OFDM . . . 29
7.6 Перемежитель по времени . . . 29
8 Генерация, кодирование и модуляция данных сигнализации уровня L1 . . . 33
8.1 Введение . . . 33
8.2 Данные L1-сигнализации . . . 34
8.3 Модуляция и кодирование с исправлением ошибок для данных L1-сигнализации . . . 40
9 Кадровая структура сигнала системы DVB-T2 . . . 45
9.1 Общие положения . . . 45
9.2 Кадровая структура на физическом уровне . . . 45
9.3 Кадровая структура на логическом уровне . . . 49
10 Образование сигнала OFDM . . . 50
10.1 Общие положения . . . 50
10.2 Обработка MISO . . . 51
10.3 Ввод пилот-сигналов . . . 51
11 Свойства спектра OFDM . . . 54
11.1 Спектральная плотность мощности . . . 54
11.2 Спектральные маски . . . 55
12 Сквозные параметры функционирования сети телерадиовещания . . . 57
12.1 Общие положения . . . 57
12.2 Исходные параметры цифрового телевизионного сигнала . . . 60
12.3 Параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания . . . 63
12.4 Параметры сквозной доставки цифрового телевизионного сигнала по магистральным линиям связи . . . 67
12.5 Параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала на объекте вещания . . . 68
Библиография . . . 70

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТЕЛЕВИДЕНИЕ ВЕЩАТЕЛЬНОЕ ЦИФРОВОЕ. СИСТЕМА ЭФИРНОГО НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ DVB-T2

Общие технические требования

Digital video broadcasting. Second generation of digital terrestrial television broadcasting system DVB-T2. General technical requirements

Дата введения — 2021—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на систему цифрового наземного эфирного телевизионного вещания второго поколения DVB-T2 и устанавливает:

- общее описание и структуру;
- основные параметры;
- требования к интерфейсам и элементам тракта;
- параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания и по магистральным линиям связи, включая объекты вещания;
- методики выполнения измерения характеристик и параметров исходного и доставленного цифрового телевизионного сигнала на объекты вещания.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 52210 Телевидение вещательное цифровое. Термины и определения

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

ГОСТ Р 52592 Тракт передачи сигналов цифрового вещательного телевидения. Звенья тракта и измерительные сигналы. Общие требования

ГОСТ Р 55694 Телевидение вещательное цифровое. Наземное цифровое телевизионное вещание. Структура цикловой синхронизации, методы кодирования для канала и модуляции

ГОСТ Р 55696 Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2. Технические требования. Основные параметры. Методы измерений

ГОСТ Р 55697 Телевидение вещательное цифровое. Сервисная информация. Общие технические требования

ГОСТ Р 55714 Телевидение вещательное цифровое. Оборудование сигнализации меток о вставке (сплайсинге) региональных программ в транспортный поток MPEG-2 вещательного телевидения. Основные параметры

ГОСТ Р 55715 Телевидение вещательное цифровое. Оборудование цифровой вставки (сплайсинга) региональных программ в транспортный поток MPEG-2 вещательного телевидения. Основные параметры

Издание официальное

ГОСТ Р 55947 Телевидение вещательное цифровое. Приемники для эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T2. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний

ГОСТ Р 56151 Телевидение вещательное цифровое. Измерительный приемник системы цифрового телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2). Основные параметры. Технические требования

ГОСТ Р 56152 Телевидение вещательное цифровое. Интерфейс модулятора (T2-MI) для системы цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2. Основные параметры

ГОСТ Р 56161 Телевидение вещательное цифровое. Модулятор системы цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2. Основные параметры. Технические требования

ГОСТ Р 56171 Телевидение вещательное цифровое. Шлюз системы цифрового телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2). Основные параметры. Технические требования

ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1 Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель

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 и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 52210, ГОСТ Р 52591, ГОСТ Р 55694, ГОСТ Р 55696, ГОСТ Р 55697, ГОСТ Р 55947, ГОСТ Р 56151, ГОСТ Р 56152, ГОСТ Р 56161, ГОСТ Р 56171, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **L1-сигнализация** (L1-signalling): Сигнализация 1-го уровня (о физических параметрах передачи каналов PLP), содержащаяся в символах P1 и P2 и предназначенная для информирования приемника о параметрах сигнала DVB-T2 и способах доступа к данным PLP в пределах T2-кадра.

3.2 **L2-сигнализация** (L2-signalling): Сигнализация 2-го уровня (о надежности передачи кадров данных).

Примечания

1 В стандарте на систему DVB-T2 сигнализация 2-го уровня не определена (см. [1]).

2 При обработке в системе DVB-T2 транспортных потоков MPEG-2 TS (см. [2]) и инкапсулированных потоков общего назначения GSE требования к сигнализации 2-го уровня должны определяться по ГОСТ Р 55697, с учетом требований стандарта ETSI EN 300 468 (см. [3]) и технических требований ETSI TS 102 606 (см. [4] и [5]).

3.3 **P1-сигнализация** (P1-signalling): Сигнализация, передаваемая в символе P1 и используемая для идентификации преамбулы как таковой и основного режима системы DVB-T2.

3.4 **PLP с данными** (data PLP): Канал PLP типа 1 или типа 2, несущий информационные (полезные) данные.

3.5 **T2-кадр** (T2-frame): Кадр физического уровня в системе DVB-T2, имеющий постоянную длину и состоящий из последовательно мультиплексированных символа P1, одного или нескольких символов P2 и конфигурируемого числа символов данных.

Примечание — T2-кадр делится на подсегменты переменного размера.

3.6 **T2-шлюз** (T2-gateway): Устройство, принимающее входящие транспортные или общие потоки данных и формирующее на своем выходе поток данных T2-MI.

Примечание — Помимо базовых функций T2-шлюз может иметь дополнительные функции, например функцию ремультиплексирования.

3.7 **адаптация потока** (stream adaptation): Формирование потоковых кадров BBFRAME из структурированных последовательностей данных с выхода модуля адаптации режима путем выполнения над ними операций заполнения фиктивными байтами, внутриполосной сигнализации и скремблирования.

3.8 **адаптация режима** (сопряжения входящих потоков с форматом каналов PLP) (mode adaptation): Ряд операций по обработке содержимого каждого канала PLP, включая сопряжение с входящим потоком, синхронизацию, удаление нуль-пакетов, циклический контроль по избыточности CRC-8, разбиение потока на поля данных DATA FIELD со вставкой потокового заголовка BBHEADER в начало каждого поля данных.

3.9 **активная ячейка** (active cell): Ячейка OFDM в системе DVB-T2, которая не является пилот-сигналом, ячейкой зарезервированных несущих или немодулированной ячейкой в символе закрытия кадра и служит для формирования точки сигнального созвездия для L1-сигнализации или PLP.

3.10 **биты компенсации смещения L1** (L1 bias balancing bits): Неиспользованные биты в полях L1-сигнализации, которые могут быть установлены в значения, уменьшающие разбаланс нулей и единиц в данных L1-сигнализации.

3.11 **блок кодозащиты;** FEC-блок (forward error correction block; FEC block): Набор из N_{cells} ячеек OFDM, несущих все биты одного кадра кодозащиты LDPC FECFRAME.

Примечание — Длина FEC-блока зависит от длины кадра кодозащиты и числа позиций первичной модуляции OFDM.

3.12 **блок с перемежением по времени;** TI-блок (time interleaving block; TI-block): Набор ячеек OFDM, в которых выполняется перемежение по времени, соответствующее однократному использованию памяти перемежителя по времени.

3.13 **вспомогательные данные** (auxiliary data): Последовательность ячеек, несущих данные, для которых еще не определены параметры модуляции и кодирования.

Примечание — В системе DVB-C2 вспомогательные данные могут быть использованы для заполнения сегментов данных или пакетов сегментов данных фиктивными битами.

3.14 **вспомогательный поток** (auxiliary stream): Поток, состоящий из вспомогательных данных, который может быть использован для будущих расширений системы или для удовлетворения требований вещателей или сетевых операторов.

3.15 **глубина перемежения** (interleaving depth): Максимальное расстояние, на которое разносятся соседние символы по длине последовательности, подвергаемой перемежению.

3.16 **группа MISO** (MISO group): Группа передатчиков 1 или группа передатчиков 2, к которой принадлежит отдельный передатчик сети MISO и которая определяет тип обработки, осуществляемой над ячейками данных и пилот-сигналами.

Примечание — Сигналы от передатчиков, относящихся к различным группам, объединяются в приемнике оптимальным способом.

3.17 **деперемежение** (de-interleaving): Метод перестановки символов в принимаемой последовательности с целью восстановления исходной структуры цифрового сигнала, подвергнутого перемежению (операция, обратная перемежению).

3.18 **деперемежитель** (de-interleaver): Устройство, осуществляющее функцию деперемежения.

3.19 **динамическая L1-сигнализация** (dynamic L1-signalling): Сигнализация для первого уровня (L1) системы DVB-T2, состоящая из параметров, которые могут меняться от одного T2-кадра к другому.

3.20 **длительность активного символа** (active symbol duration): Разность между общей длительностью символа и длительностью выбранного защитного интервала, равная произведению размера БПФ на длительность элементарного периода.

Примечание — См. [6].

3.21 **завершающая L1-сигнализация** (L1-post signalling): Расширенная постсигнализация для уровня L1, передаваемая в символах P2 после предварительной L1-сигнализации и содержащая более детальную информацию о системе DVB-T2 и каналах PLP.

Примечание — Для завершающей L1-сигнализации установлены переменные параметры длины поля, типов кодирования и модуляции.

3.22 **заполнение фиктивными битами** (padding): Метод регулировки средней скорости передачи данных или выравнивания длины кадра за счет заполнения незанятой части поля данных незначащими битами.

3.23 **защитный интервал** (guard interval): Интервал времени между активными частями символа OFDM, служащий для защиты от отражений радиосигнала и переходных помех между символами.

Примечание — Обычно имеет вид циклического префикса, т. е. оконечной части символа OFDM, дополнительно передаваемой перед его активной частью (см. [6]).

3.24 **идентификатор PLP;** PLP_ID (PLP Identifier; PLP_ID): 8-битовое поле, которое в системах DVB-x2 однозначно идентифицирует конкретный канал PLP в пределах общего передаваемого сигнала.

Примечание — Один и тот же PLP_ID может встречаться в одном или нескольких кадрах суперкадра.

3.25 **инкапсулированный поток общего назначения;** GSE (generic encapsulated stream; GSE): Поток пакетов переменной или фиксированной длины, которая сигнализируется в заголовках GSE-пакетов.

Примечание — См. [4].

3.26 **интерфейс модулятора T2-MI** (modulator interface T2-MI): Интерфейс передачи сформированных BB-кадров, информации L1-сигнализации, потоков вспомогательных данных, меток времени и других данных между T2-шлюзом и модулями BICM модуляторов удаленных передатчиков при работе системы DVB-T2 в режиме одночастотной сети.

3.27 **кадр OFDM** (OFDM frame): Частотно-временная структура данных, состоящая из ряда последовательных символов OFDM, каждый из которых содержит полный набор несущих с первичной модуляцией.

3.28 **кадр кодозащиты;** FEC-кадр (forward error correction frame; FECFRAME): Блок FECFRAME информационных данных и проверочных символов длиной N_{ldpc} (16 200 или 64 800 бит), формируемых одной процедурой каскадного кодирования (коды БЧХ и LDPC) потокового кадра BBFRAME в подсистеме защиты от ошибок.

3.29 **кадр перемежения** (interleaving frame): Логическая структура данных, относящаяся к конкретному PLP, для которой в модуле BICM осуществляется динамическое выделение пропускной способности с получением целого, динамически изменяющегося числа блоков кодозащиты, и имеющая фиксированное соотношение с T2-кадрами.

3.30 **кадр перспективного расширения;** FEF-кадр (future extension frame; FEF): T2-кадры, структура которых не определена в действующем стандарте ETSI на систему DVB-T2.

Примечания

1 См. [1].

2 Кадры FEF используют как резерв места для информации, которая может появиться (например, для профилей T2-Lite и DVB-NGH — см. [7]) и передаваться по системе в будущем как регулярные T2-кадры. Использование FEF-кадров не является обязательным (см. [1]).

3.31 **канал PLP типа 1** (type 1 PLP): Канал PLP, имеющий только один сегмент в T2-кадре.

Примечание — Канал PLP типа 1 передается перед любым каналом PLP типа 2.

3.32 **канал PLP типа 2** (type 2 PLP): Канал PLP, имеющий два и более подсегмента в T2-кадре.

Примечание — Канал PLP типа 2 передается после любого канала PLP типа 1.

3.33 **канал физического уровня;** канал PLP (physical layer pipe; PLP): Канал с установленными неизменными параметрами передачи (включая вид модуляции, кодовую скорость, глубину перемежения во времени), передаваемый в заданных подсегментах с использованием мультиплексирования с временным разделением.

Примечание — Канал PLP может переносить одну или несколько служб.

3.34 **квадратурная амплитудная модуляция с числом позиций m;** m-QAM (m-ary quadrature amplitude modulation; m-QAM): Способ модуляции, при котором две несущие, сдвинутые по фазе на 90°, модулируются по амплитуде каждая своим цифровым сигналом с конечным числом уровней амплитуды и затем складываются друг с другом, при этом при равенстве числа уровней в квадратурных каналах результат модуляции представляет собой прямоугольное сигнальное созвездие из m точек.

Примечание — В системе DVB-T2 m = 16, 64, 256 (см. [8]).

3.35 **код Боуза — Чоудхури — Хоквенгема;** БЧХ (Boze-Chaudhuri-Hocguenghem code; BCH): Циклический блоковый код, используемый в качестве внешнего кода для исправления множественных ошибок в канале передачи данных в системах DVB второго поколения.

3.36 **код с малой плотностью проверок на четность;** LDPC (low-density parity-check code; LDPC): Блоковый линейный код, используемый для исправления ошибок в качестве внутреннего кода в канале передачи данных в системах DVB второго поколения.

3.37 **кодовая скорость** (code rate): Отношение числа символов источника к числу символов кода для кодируемого блока или последовательности символов.

3.38 **контроль циклическим избыточным кодом;** CRC (cyclic redundancy check; CRC): Алгоритм обнаружения ошибки на уровне пакета, при котором избыточные проверочные биты генерируются циклическим алгоритмом.

Примечание — В системе DVB-T2 применяют коды CRC-8 и CRC-32 с 8- и 32-битовыми словами соответственно.

3.39 **конфигурируемая L1-сигнализация** (configurable L1-signalling): Сигнализация уровня L1 в системе DVB-T2, содержащая параметры, не изменяющиеся в течение длительности суперкадра.

3.40 **модуль BICM** (BICM module): Устройство, в котором производится внешнее кодирование БЧХ, внутреннее кодирование LDPC, перемежение битов и сопоставление битов точкам сигнального созвездия выбранного вида модуляции.

3.41 **модуль адаптации потока [адаптер потока]** (stream adaptation module; stream adapter): Цепь блоков, входящих в состав процессора систем DVB второго поколения, преобразующих последовательности данных, поступающих с выхода модуля адаптации режима, и формирующих на своем выходе потоковые кадры BBFRAME, подаваемые затем на вход модуля BICM.

3.42 **модуль адаптации режима [адаптер режима]** (mode adaptation module; mode adapter): Цепь блоков, входящих в состав процессора систем DVB второго поколения, выполняющих сопряжение входящих потоков с форматом каналов PLP, синхронизацию, удаление нуль-пакетов, циклический контроль по избыточности CRC-8 и разбиение потоков на поля данных DATA FIELD со вставкой заголовка BBHEADER в начале каждого поля данных.

3.43 **непрерывные пилот-сигналы** (continual pilots): Пилот-сигналы, размещаемые в пределах ячеек с фиксированными позициями внутри символов и кадров OFDM.

3.44 **непрерывный поток общего назначения;** GCS (generic continuous stream; GCS): Поток в виде непрерывной последовательности битов без какой-либо пакетной структуры, или поток пакетов переменной длины без сигнализации о расположении границ пакетов, или поток пакетов постоянной длины, превышающей 64 Кбайт.

3.45 **общая длительность символа** (overall symbol duration): Сумма длительности активной части символа OFDM и длительности выбранного защитного интервала.

3.46 **общий PLP** (common PLP): Канал PLP, имеющий один сегмент в T2-кадре, передаваемый после L1-сигнализации и любых ячеек компенсации смещения и содержащий общие данные, совместно используемые несколькими каналами PLP.

3.47 **обычный символ** (normal symbol): Символ OFDM в T2-кадре, который не является символом P1, P2 или символом закрытия кадра.

3.48 **одночастотная сеть;** SFN (single frequency network; SFN): Сеть эфирного цифрового вещания, в которой несколько передатчиков одновременно излучают один и тот же сигнал по одному частотному каналу.

3.49 **относительный защитный интервал** (guard-interval fraction): Отношение длительности защитного интервала к длительности активной части символа OFDM.

3.50 **пакет** (packet): Последовательность информационных и служебных битов, передаваемая, обрабатываемая и коммутируемая как единое целое.

3.51 **первичная модуляция** (primary modulation): Модуляция каждой отдельной несущей, входящей в состав ортогонального частотного распределения несущих OFDM.

3.52 **перемежение** (interleaving): Метод перестановки символов передаваемого сигнала с целью их декоррелирования для изменения распределения ошибок при обработке сигнала на приеме.

Примечание — Перемежение битов, ячеек и перемежение по времени в системе DVB-T2 проводится раздельно для каждого канала физического уровня PLP.

3.53 **перемежение по символам** (symbol interleaving): Метод перемежения, осуществляемый путем перестановки символов в виде слов данных в передаваемой последовательности до модуляции сигнала.

3.54 **перемежение по битам** (bit-wise interleaving; bit interleaving): Блоковое перемежение, осуществляемое путем перестановки битов передаваемой последовательности на выходе кодера LDPC.

3.55 **перемежение по времени** (time interleaving): Блоковое перемежение, осуществляемое на выходе подсистемы BICM с целью защиты от продолжительных импульсных помех.

3.56 **перемежение по частоте** (frequency interleaving): Перемежение с псевдослучайными перестановками, осуществляемое перед ОБПФ символов в сигнал OFDM с целью защиты от селективных частотных помех.

Примечание — Перемежение по частоте проводится единообразно сразу над всеми каналами физического уровня PLP.

3.57 **перемежение ячеек** (cell interleaving): Перемежение с псевдослучайными перестановками, осуществляемое после сопоставления комбинаций битов векторов I и Q из поля FECFRAME точкам сигнального созвездия.

3.58 **перемежитель с модификацией столбцов** (column-twist interleaver): Блоковый перемежитель по битам со смещением начальных позиций записи в столбцы.

3.59 **перемежитель ячеек** (cell interleaver): Устройство, осуществляющее псевдослучайную перестановку ячеек внутри FEC-блока с изменением характера перестановки от одного FEC-блока к следующему.

3.60 **пилот-сигналы** (pilots): Набор служебных несущих в составе кадра OFDM, предназначенных для кадровой синхронизации, частотной и временной синхронизации, оценки состояния канала и идентификации режима передачи.

3.61 **планировщик** (scheduler): Функциональный элемент, задающий расписание передачи BB-кадров и точный состав кадровой структуры путем распределения секций входных потоков битов по BB-кадрам, образующим каждый конкретный кадр перемежения, сопоставление сегментов и подсегментов каждого канала PLP ячейкам T2-кадра, создание и ввод динамической информации о конфигурации в соответствующие каналы PLP и в генератор L1-сигнализации.

3.62 **поворот созвездия** (constellation rotation): Метод формирования сигнала с квадратурной модуляцией, при котором исходному сигнальному созвездию придается фазовый сдвиг в комплексной плоскости на некоторый угол относительно осей I и Q.

Примечание — При передаче сигнала с поворотом созвездия его квадратурные компоненты I и Q разделяются с задержкой компонента Q на одну ячейку с последующим перемежением, в результате которого они передаются в различное время и на различных частотах, что исключает одномоментное поражение помехой в канале сразу двух компонентов.

3.63 **подсегмент** (sub-slice): Группа ячеек из одного канала PLP, которые перед частотным перемежением передаются в активных OFDM-ячейках со следующими друг за другом адресами в T2-кадре (в одном радиочастотном канале).

Примечание — См. [1].

3.64 **поток T2-MI** (T2-MI stream): Поток пакетов T2-MI, несущих T2-данные одиночного профиля T2 и опционально непрофильные данные с определенным значением идентификатора потока T2-MI.

3.65 **поток общего назначения с фиксированной длиной пакетов; GFPS** (generic fixed-length packetized stream; GFPS): Пакетированный поток данных, состоящий из пакетов постоянной длины (не более 64 Кбайт) и байтов синхронизации.

Примечание — Данный формат был введен для совместимости со стандартом цифрового спутникового вещания DVB-S2, но может быть заменен на поток GSE (см. [1]).

3.66 **потоковый заголовок [BB-заголовок]** (baseband header; BB header): Поле фиксированной длины 10 байтов (80 битов), добавляемое в начало каждого потокового кадра с целью сигнализации о типе входного потока и режиме его обработки.

3.67 **потоковый кадр [BB-кадр]** (baseband frame; BB frame): Кадр фиксированной длины, поступающий на вход модуля BICM и состоящий из потокового заголовка, блока данных входного потока и (при необходимости) битов заполнения и/или сигнализации.

Примечание — Потоковые кадры являются основной единицей в логической структуре кадрирования в системе DVB-T2 и образуют входные данные для одной процедуры корректирующего кодирования в кодерах БЧХ и LDPC. Длина потокового кадра зависит от установленной кодовой скорости кодера LDPC.

3.68 **преамбула** (preamble): Поля символов P1 и P2 в T2-кадре, служащие для передачи информации L1-сигнализации.

3.69 **предварительная L1-сигнализация** (L1-pre signalling): Предварительная сигнализация для уровня L1, передаваемая в символах P2 и содержащая основную информацию о системе DVB-T2 и информацию, необходимую для декодирования битов завершающей L1-сигнализации.

Примечания

1 Для предварительной L1-сигнализации установлены фиксированные параметры длины поля, кодирования и модуляции.

2 Информация предварительной L1-сигнализации остается неизменной в течение всего суперкадра.

3.70 **профиль T2-Base** (T2-Base profile): Полный набор конфигураций системы DVB-T2, позволяющих построить основные варианты системы, оптимизированные для приема на фиксированные и мобильные терминалы.

Примечание — В профиле T2-Base для вещания сигнала OFDM должна использоваться полоса частот радиоканала шириной 8 МГц.

3.71 **профиль T2-Lite** (T2-Lite profile): Ограниченный набор конфигураций системы DVB-T2, оптимизированных для приема на мобильные терминалы.

Примечания

1 В профиле T2-Lite для вещания сигнала OFDM должна использоваться полоса частот радиоканала шириной 1,712 МГц.

2 Вариант с шириной полосы частот 1,712 МГц соответствует планированию частот для системы цифрового звукового вещания T-DAB (см. [6]).

3.72 **прямое исправление ошибок; FEC** (forward error correction; FEC): Алгоритм кодирования данных, позволяющий автоматически обнаруживать и исправлять ошибки в принимаемых данных за счет введения дополнительных избыточных символов в передаваемую последовательность.

Примечания

1 Термин относится к защите данных на канальном уровне модели взаимосвязи открытых систем (ВОС).

2 Термин «прямое исправление ошибок» часто используется в более широком смысле, охватывая как исправление битовых ошибок, возникающих из-за искажений сигнала на физическом уровне, так и исправление (восстановление) потерянных пакетов в каналах со стираниями (см. [9]).

3.73 **псевдослучайная двоичная последовательность; PRBS** (pseudo random binary sequence; PRBS): Периодическая последовательность двоичных символов, которая генерируется детерминированным образом, но при этом обладает всеми статистическими свойствами, присущими случайному процессу.

3.74 **пустая ячейка** (dummy cell): OFDM-ячейка, заполняемая псевдослучайными данными, которая используется в качестве резервной емкости и не предназначена для L1-сигнализации, передачи каналов PLP или вспомогательных потоков.

3.75 **размер БПФ** (FFT size): Параметр быстрого преобразования Фурье (БПФ), численно равный максимально возможному числу обрабатываемых несущих OFDM (фактически сумме используемых и обнуленных несущих).

Примечание — В системе DVB-T2 размер БПФ может иметь следующие значения: 1К, 2К, 4К, 8К, 16К, 32К.

3.76 **разнос несущих** (carrier spacing): Разница между номинальными частотами любых двух соседних первичных несущих символа OFDM.

Примечание — Значение разноса несущих численно равно обратной величине от длительности активного символа OFDM.

3.77 **рассеивание энергии** (energy dispersal): Способ уменьшения пиков спектральной плотности мощности радиоизлучения путем преднамеренного перераспределения мощности в зависимости от частоты.

3.78 **рассредоточенные пилот-сигналы** (scattered pilots): Пилот-сигналы с предопределенными амплитудой и фазой, служащие для динамической оценки характеристик канала и размещаемые

внутри кадра OFDM в ячейках с изменяющимися позициями от символа к символу, но с регулярными интервалами во времени и по частоте.

3.79 **резерв для использования в будущем** (reserved for future use): Любое поле потока, которое не используется в действующей спецификации, но может быть использовано в будущем при развитии системы.

Примечание — Значение любого поля, помеченного как резерв для использования в будущем, должно быть равно нулю, иначе оно должно быть определено.

3.80 **сегмент** (slice): Набор всех ячеек PLP, которые сопоставлены определенному T2-кадру физического уровня.

Примечание — Сегмент может быть разделен на подсегменты (subslice) (см. [1]).

3.81 **сигнальное созвездие** (signal constellation): Геометрическое представление ансамбля сигналов с цифровой многопозиционной модуляцией в отсчетные моменты времени на двумерной комплексной плоскости.

3.82 **символ OFDM** (OFDM symbol): Минимальный элемент передаваемого сигнала, включающий в себя в частотной области полный набор активных несущих OFDM (каждая с собственными координатами точки созвездия) и состоящий во временной области из полезной части и защитного интервала.

3.83 **символ P1 [символ 1 преамбулы]** (P1 symbol; preamble symbol 1): Символ пилот-сигнала постоянной длины с модуляцией DBPSK, переносящий 7 бит информации сигнализации в полях S1 и S2 и находящийся в начале каждого T2-кадра, передаваемого по радиочастотному каналу.

Примечание — Основное назначение символа P1 — это идентификация преамбулы системы DVB-T2 в процессе быстрого первоначального сканирования полосы радиоканала, установление временной синхронизации, определение смещения частоты и сигнализация о формате преамбулы, типе символа P2, размере БПФ и защитного интервала.

3.84 **символ P2 [символ 2 преамбулы]** (P2 symbol; preamble symbol 2): Символ пилот-сигнала, расположенный сразу после символа P1, с тем же размером БПФ и защитным интервалом, как у символов данных.

Примечание — Число символов P2 зависит от размера БПФ. Символы P2 используют для точной временной и частотной синхронизации, а также для первоначальной оценки канала. Символы P2 несут информацию сигнализации L1 и L2, а также могут переносить данные.

3.85 **символ закрытия кадра** (frame closing symbol): Символ OFDM с более высокой плотностью пилот-сигналов, передаваемый в конце T2-кадра при определенных комбинациях размера БПФ, защитного интервала и набора рассредоточенных пилот-сигналов.

3.86 **система DVB-T2 [система T2]** (DVB-T2 system; T2 system): Система цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения.

3.87 **система доставки** (delivery system): Физическая среда, по которой от источника к получателю передаются один или несколько мультиплексов.

Примечание — Функции системы доставки могут выполнять, например, спутниковая система, широкополосный коаксиальный кабель, оптическое волокно, наземный канал одного пункта излучения (см. [3]).

3.88 **скремблер** (scrambler): Устройство безызбыточного преобразования двоичных данных в кодовую последовательность, символы которой распределены по псевдослучайному закону.

3.89 **скремблирование** (scrambling): Процесс безызбыточного преобразования двоичных данных в кодовую последовательность, символы которой распределены по псевдослучайному закону.

3.90 **стандарт DVB-T2** (DVB-T2 standard): Европейский стандарт ETSI EN 302 755 на систему эфирного наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения.

3.91 **суперкадр** (super-frame): Частотно-временная структура, состоящая из определенного числа следующих друг за другом T2-кадров.

3.92 **транспортный пакет** (transport packet): Пакет данных фиксированной длины в 188 байтов, включая заголовок из 4 байтов, содержащий данные, определяемые стандартом MPEG-2.

Примечание — См. [2].

3.93 **транспортный поток;** TS (transport stream; TS): Последовательность транспортных пакетов, мультиплексированных в один поток.

3.94 **уровень 1 [L1]** (layer 1; L1): Обозначение первого (физического) уровня эталонной модели взаимосвязи открытых систем.

Примечание — См. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1.

3.95 **уровень 2 [L2]** (layer 2; L2): Обозначение второго (канального) уровня эталонной модели взаимосвязи открытых систем.

Примечание — См. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1.

3.96 **формирователь кадров** (frame builder): Устройство упорядочения ячеек, соответствующих данным каналов PLP после их перемежения по времени, и ячеек, соответствующих модулированным данным L1-сигнализации, в массивы активных ячеек OFDM, относящихся к каждому из символов OFDM, которые составляют полную структуру кадра.

3.97 **фрагмент FEF** (FEF part): Часть суперкадра между двумя T2-кадрами, содержащая FEF-кадр, который может быть использован для перспективного расширения системы.

Примечание — Фрагмент FEF всегда начинается с символа P1. Остальное содержимое фрагмента FEF должно игнорироваться приемником DVB-T2 и может содержать дополнительные символы P1. Все фрагменты FEF в пределах суперкадра должны иметь одну и ту же длину. Максимальная длина фрагмента FEF равна 250 мс для профиля T2-base и 1 с для профиля T2-Lite (см. [7]).

3.98 **центральная частота** (centre frequency): Абсолютное значение частоты несущей, расположенной в середине полосы между низшей и высшей частотами несущих OFDM в системе DVB-T2.

3.99 **элементарный период** (elementary period): Период времени, зависящий от пропускной способности системы DVB-T2 и используемый для определения других временных интервалов в конкретном варианте системы.

3.100 **ячейка** (cell): Структурная единица символа OFDM, соответствующая одной модулированной несущей и определяемая номером модулированной несущей в T2-кадре, номером T2-кадра и номером суперкадра.

3.101 **ячейка OFDM** (OFDM cell): Частотно-временное положение для одной несущей OFDM в пределах одного кадра (суперкадра) OFDM.

Примечание — Ячейка OFDM соответствует одной точке сигнального созвездия в кадре (суперкадре) OFDM.

3.102 **ячейка с данными** (data cell): Ячейка OFDM, не являющаяся пилот-сигналом или ячейкой зарезервированных несущих в подсистеме компенсации пиков сигнала OFDM.

Примечание — Ячейка с данными может использоваться в качестве немодулированной ячейки в символе закрытия кадра.

3.103 **ячейки компенсации смещения** (bias balancing cells): Специальные ячейки, введенные в символы P2 системы DVB-T2 для снижения эффекта от разбаланса нулей и единиц в данных L1-сигнализации.

4 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

BB — основная полоса (BaseBand).

Примечание — В системах DVB второго поколения BB играет роль прилагательного «потоковый», указывающего на обработку потоков данных во входном процессоре, т. е. до подсистемы модуляции;

BBFRAME — обозначение полного поля битов, образующих один потоковый кадр (BaseBand FRAME);

BBHEADER — обозначение поля потокового заголовка (BaseBand HEADER);

BCH — код БЧХ (Боуза — Чоудхури — Хоквингема) (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem code);

BCHFEC — обозначение служебного поля потока PLP, заполняемого битами внешнего корректирующего кода БЧХ (BCH Forward Error Correction);

BICM — кодирование с перемежением битов и модуляция (Bit Interleaved Coding and Modulation);

BPSK — двоичная фазовая манипуляция (Binary Phase Shift Keying);

CI — перемежитель ячеек (Cell Interleaver);

CRC — циклический избыточный код (Cyclic Redundancy Check);

DBPSK — двоичная относительная фазовая манипуляция (Differential Binary Phase Shift Keying);

DF — поле данных (Data Field);

DFL — длина поля данных (Data Field Length);

DVB-T2 — цифровое наземное телевизионное вещание второго поколения (Digital Video Broadcasting — second generation Terrestrial);

ETSI — Европейский институт стандартов электросвязи (European Telecommunications Standards Institute);

FDM — частотное разделение каналов (Frequency Division Multiplex);

FEC — прямое (упреждающее) исправление ошибок (Forward Error Correction);

FECFRAME — обозначение выходного блока данных длиной N_{ldpc} бит подсистемы кодирования в модуле BICM (Forward Error Correction Frame);

FEF — кадр перспективного расширения (Future Extension Frame);

FFT — быстрое преобразование Фурье (БПФ) (Fast Fourier Transform);

GCS — непрерывный поток общего назначения (общий непрерывный поток) (Generic Continuous Stream);

GFPS — поток пакетов фиксированной длины общего назначения (общий поток пакетов фиксированной длины) (Generic Fixed-length Packetized Stream);

GI — защитный интервал (Guard Interval);

GIF — относительный защитный интервал (Guard Interval Fraction);

GS — поток общего назначения (Generic Stream);

GSE — инкапсулированный поток общего назначения (общий инкапсулированный поток) (Generic Stream Encapsulation);

I/Q — синфазная и квадратурная составляющие модулированного сигнала (Inphase and Quadrature);

IFFT — обратное быстрое преобразование Фурье (ОБПФ) (Inverse Fast Fourier Transform);

L1-signalling — L1-сигнализация; сигнализация уровня 1 (Level 1 signalling);

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

LDPCFEC — обозначение служебного поля потока PLP, заполняемого битами внутреннего корректирующего кода LDPC (LDPC Forward Error Correction);

MISO — «множественный вход, одиночный выход» — система с несколькими передающими антеннами и с одной приемной антенной (Multiple Input, Single Output);

MODCOD — обозначение группы параметров, относящихся к модуляции и кодированию (MODulation and CODing);

MPEG-2 — неформальное обозначение группы стандартов с официальным номером регистрации ИСО/МЭК 13818 (см. [2]), предназначенных для основополагающего кодирования видеоизображений и сопровождающей звуковой информации, а также для описания контейнеров данных для систем вещания и цифровой записи;

m-QAM — квадратурная амплитудная модуляция с числом позиций m (m-ary Quadrature Amplitude Modulation);

OFDM — многочастотная схема модуляции с ортогональным частотным распределением несущих в полосе канала вещания (Orthogonal Frequency Division Multiplex);

O-UPL — первоначальная длина пользовательского пакета (Original User Packet Length);

PAPR — отношение пиковой мощности к средней мощности (Peak to Average Power Ratio);

PLP — канал физического уровня (Physical Layer Pipe);

PRBS — псевдослучайная двоичная последовательность (Pseudo Random Binary Sequence);

QoE — качество восприятия (Quality of Experience);

QoS — качество обслуживания (Quality of Service);

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

SA — адаптация потока (Stream Adaptation);

SFN — одночастотная сеть (Single Frequency Network);

SISO — «одиночный вход, одиночный выход» — система с одной передающей и одной приемной антенной (Single Input, Single Output);

SS — подсистема (SubSystem);

T2-Base profile — основной профиль системы стандарта DVB-T2 (second generation Terrestrial — Base profile);

T2-frame — T2-кадр (DVB-T2 frame);

T2-Lite profile — облегченный профиль системы стандарта DVB-T2 (second generation Terrestrial — Lite profile);

T2-MI — интерфейс модулятора в системе DVB-T2 (DVB-T2 Modulator Interface);

TDM — временное разделение каналов (Time Division Multiplex);

TI — перемежитель по времени (Time Interleaver);

TI-block — блок с перемежением по времени (Time-Interleaving block);

TS — транспортный поток (Transport Stream);

UP — пользовательский пакет (User Packet);

UPL — длина пользовательского пакета (User Packet Length);

$\lfloor x \rfloor$ — округление в сторону минус бесконечности.

Примечание — Выражение в нижних угловых скобках означает наибольшее целое число, меньшее или равное x;

$\lceil x \rceil$ — округление в сторону плюс бесконечности.

Примечание — Выражение в потолочных угловых скобках означает наименьшее целое число, большее или равное x;

1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K — обычные режимы вещания в системе DVB-T2, обозначаемые согласно используемому размеру ОБПФ.

Примечание — K = 1024;

8K ext, 16K ext, 32K ext — расширенные режимы вещания в системе DVB-T2.

Примечание — K = 1024;

f_q — точка сигнального созвездия, нормализованная до среднего значения энергии, равного 1;

N_{bch} — общее число битов в блоке, кодированном кодом БЧХ;

N_{bch_parity} — число проверочных битов в блоке, кодированном кодом БЧХ;

N_{cells} — число ячеек OFDM в одном блоке кодозащиты;

N_{ldpc} — общее число битов в блоке, кодированном кодом LDPC;

PP1, PP2, PP3, PP4, PP5, PP6, PP7, PP8 — возможные структуры размещения рассредоточенных пилот-сигналов в сигнале OFDM, которые выбираются в зависимости от числа несущих и защитного интервала (Pilot Pattern type 1—8);

q — текущий индекс ячейки, относящейся к слову кода LDPC после модуляции;

Q_{ldpc} — константа кода LDPC, зависящая от кодовой скорости;

t_c — параметр модификации (сдвига записи) для столбца c;

T_F — длительность T2-кадра;

T_S — длительность символа OFDM;

T_{SF} — длительность суперкадра;

$y_{i,q}$ — логическая переменная, обозначающая в кортеже для ячейки q биты с порядковым индексом i, из которых образован комплексный модулированный символ z;

z_q — комплексный модулированный символ, определяющий точку сигнального созвездия для ячейки q, до его нормализации.

5 Структура системы цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения DVB-T2

5.1 Определение системы

5.1.1 Система цифрового наземного (эфирного) телевизионного (ТВ) вещания второго поколения DVB-T2 (далее — система) — это комплекс оборудования, обеспечивающий доставку телевизионных программ потребителю по радиоканалам распределительных сетей с использованием наземных передающих центров. В системе DVB-T2 должна быть обеспечена возможность кодирования, мультиплексирования, передачи и приема видеосигналов, звуковых сигналов, мультимедийных программ, дополнительных и вспомогательных данных, сервисной информации в составе вещательных мультиплексов (см. [1]).

5.1.2 Архитектура системы DVB-T2 должна позволять построение многочастотных и одночастотных сетей вещания, допускать вставку регионального контента, обеспечивать сопряжение с источниками информации на уровне транспортных потоков (TS) и/или потоков общего назначения GS (GSE, GCS, GFPS).

5.1.3 Высокоуровневая архитектура системы DVB-T2 для сквозной передачи информации по одночастотной сети показана на рисунке 1. Она включает в себя пять основных подсистем: три — на передающей стороне (SS1, SS2, SS3) и две — на приемной (SS4, SS5) (см. [5]), разграниченных четырьмя интерфейсами (A, B, C, D).

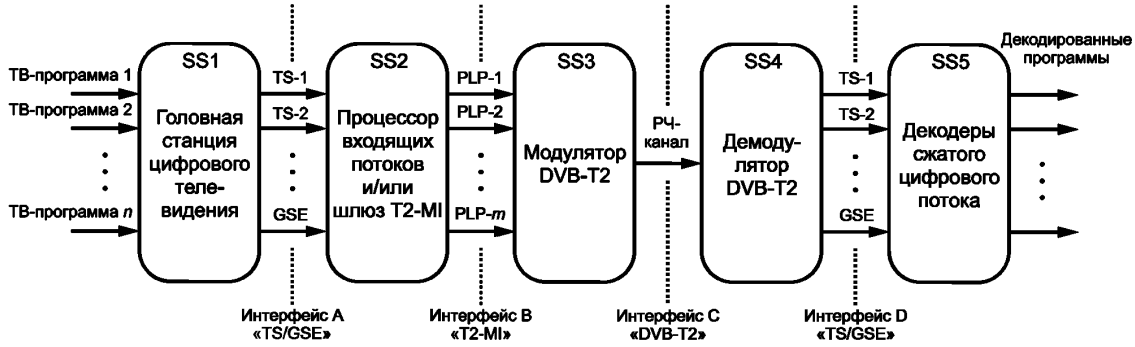


Рисунок 1 — Высокоуровневая архитектура системы DVB-T2

5.1.4 Подсистема SS1 (кодирование и мультиплексирование) обычно расположена на головной станции цифрового телевидения или в центре формирования мультиплексов и содержит кодеры аудио- и видеоинформации совместно с генераторами сервисной и другой служебной информации, формирующие на выходном интерфейсе A транспортные потоки по протоколу MPEG-2 TS и/или потоки общего назначения, например по протоколу GSE. Поскольку подсистема SS1 является универсальной для систем цифрового ТВ-вещания различного назначения, то она не входит в собственно систему DVB-T2 с учетом требований [1], определяющих методы формирования кадров, помехоустойчивого кодирования и модуляции на физическом уровне, охватывающем подсистемы SS2 и SS3.

5.1.5 Функциональный состав подсистем SS2 и SS3 передающей части системы DVB-T2 может несколько отличаться в зависимости от типа сети вещания. В многочастотных сетях MFN подсистемы SS2 и SS3 должны располагаться на одной радиопередающей станции. При этом подсистема SS2 должна выполнять функции процессора входящих потоков, а подсистема SS3 — функции модулятора, формирователя кадров и генератора сигнала OFDM.

5.1.6 В одночастотных сетях вещания SFN подсистема SS2, выполняющая дополнительно функции основного межсетевого преобразователя или шлюза T2-MI, должна быть расположена в пределах центра формирования мультиплексов или пункта их распределения. При этом на интерфейс A (вход подсистемы) должны поступать входящие потоки, а на интерфейс B (выход подсистемы) должен выдаваться поток T2-MI, содержащий всю информацию, необходимую для подачи на территориально разнесенные передатчики сети SFN, включая потоковые кадры BBFrame, данные векторов IQ для любого вспомогательного потока, информацию сигнализации (уровней L1 или SFN), временные метки излучения T2-кадров.

Технические требования к интерфейсу модулятора T2-MI и формату пакета T2-MI — по ГОСТ Р 56152.

Технические требования к шлюзу T2-MI — по ГОСТ Р 56171.

5.1.7 Подсистема SS3 (модулятор DVB-T2) должна получать из приходящего потока T2-MI потоковые кадры BBFrame и инструкции по сборке T2-кадров. На выходном радиочастотном интерфейсе C должен формироваться сигнал OFDM, подлежащий излучению передатчиками сети в заданное время, обеспечивающее правильную синхронизацию одночастотной сети (см. [5]).

Основные параметры и технические требования к модулятору системы DVB-T2 — по ГОСТ Р 56161.

Технические требования к радиопередатчикам системы DVB-T2 — по ГОСТ Р 55696.

5.1.8 Подсистема SS4 (демодулятор DVB-T2) должна принимать радиосигнал от одного (многочастотная сеть) или нескольких (одночастотная сеть) передатчиков и выдавать на интерфейс D один транспортный поток MPEG-2 TS или один поток общего назначения GSE. Данные сигнализации и управления при этом выделяются из общего канала физического уровня common PLP.

5.1.9 Подсистема SS5 (декодеры сжатых цифровых потоков) должна принимать транспортный поток MPEG-2 TS или поток общего назначения GSE и после декодирования выдавать на выход аудио- и видеосигналы телевизионной или мультимедийной программы.

5.1.10 Технические требования к подсистемам SS4 и SS5, входящим в состав приемников для эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T2, — по ГОСТ Р 55947.

5.2 Архитектура системы на передающей стороне

5.2.1 Архитектура передающей части системы DVB-T2 для вещания по многочастотной сети показана на рисунке 2, где упрощенно показана также подсистема SS1 кодирования источников информации и их мультиплексирования в транспортный поток MPEG-2 TS и/или инкапсуляции в потоки общего назначения GSE. На вход процессора входящих потоков (интерфейс А) должны поступать цифровые потоки непосредственно с выхода транспортного мультиплексора или ремультиплексора, входящего в состав входного препроцессора, расположенного в центре формирования мультиплексов. Выходным сигналом системы является сигнал с модуляцией OFDM, сдвинутый по частоте в полосу рабочего радиочастотного канала с последующим усилением и излучением с помощью радиопередатчика и соответствующих антенных систем.

Технические требования к передатчикам DVB-T2 — по ГОСТ Р 55696.

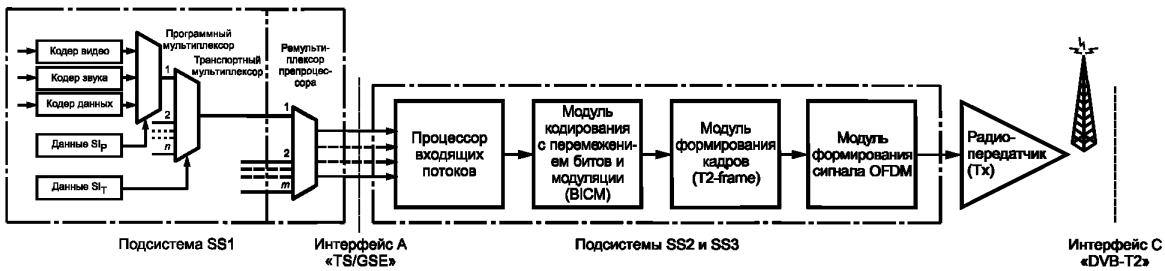


Рисунок 2 — Архитектура передающей части системы DVB-T2 для вещания по многочастотной сети

5.2.2 Архитектура передающей части системы DVB-T2 для вещания по одночастотной сети показана на рисунке 3. Основное отличие в этом случае состоит в пространственном разнесении подсистем SS2 и SS3: подсистема SS2 должна быть расположена на входе сети первичного распределения ТВ-программ, например в центре формирования мультиплексов, и выполнять функцию межсетевого преобразователя системы DVB-T2 (T2-шлюза), а подсистема SS3 — на каждой передающей станции одночастотной сети. Сопряжение подсистем SS2 и SS3 по интерфейсу T2-MI должно осуществляться путем инкапсуляции данных T2-MI либо в транспортные потоки с использованием для передачи на физическом уровне интерфейсов ASI или Ethernet (IP-протокол).

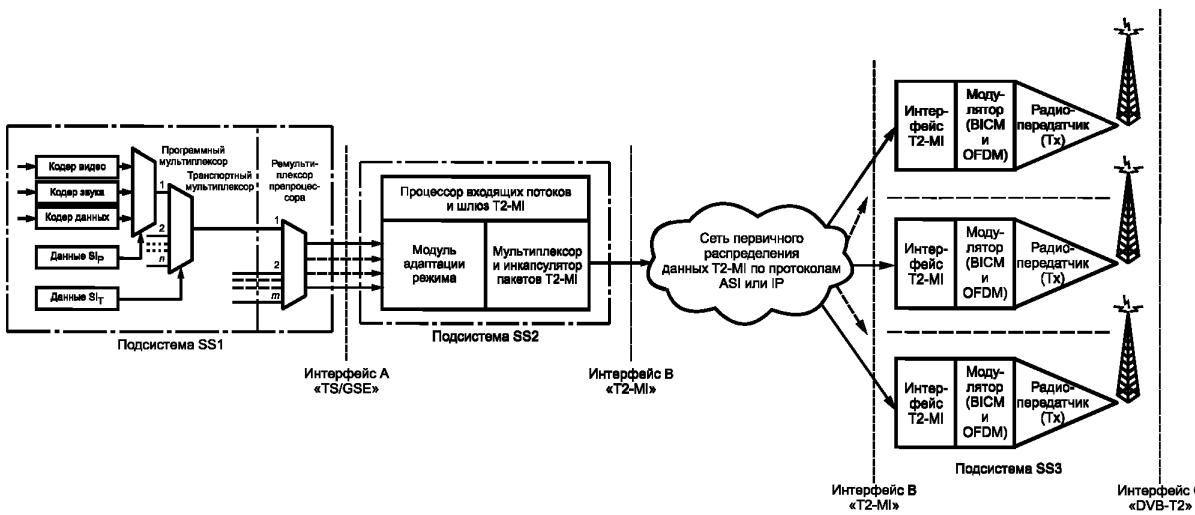


Рисунок 3 — Архитектура передающей части системы DVB-T2 для вещания по одночастотной сети

5.2.3 Система DVB-T2 должна обеспечивать вставку регионального контента. В этом случае архитектура передающей части системы должна соответствовать схеме, показанной на рисунке 4.

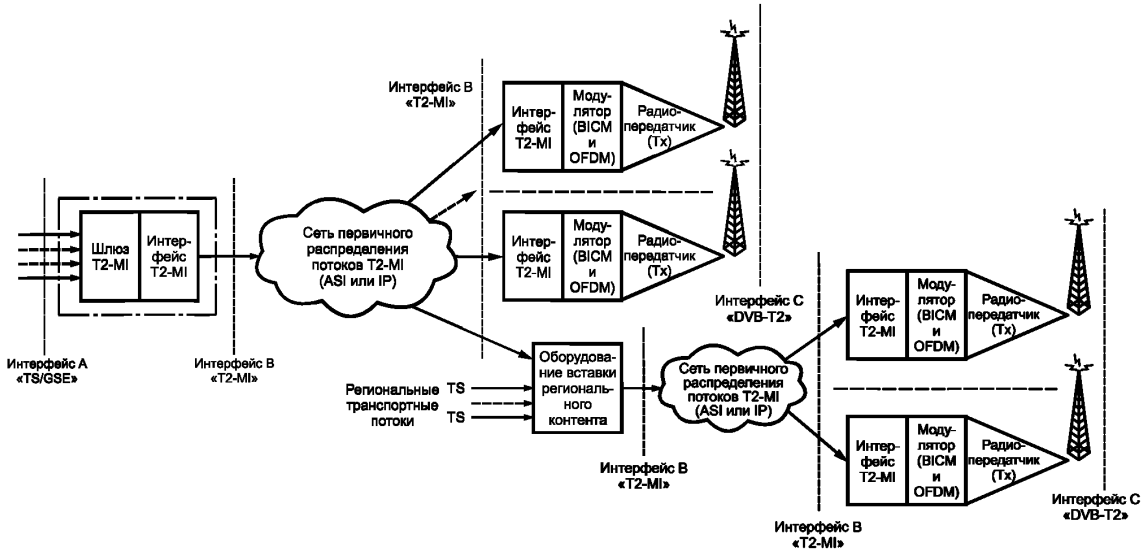


Рисунок 4 — Архитектура передающей части системы DVB-T2, обеспечивающей вставку регионального контента

В региональном комплексе цифрового вещания должно быть установлено оборудование программного замещения (T2-шлюзы) федеральных каналов путем вставки регионального контента. Это оборудование должно, в частности, обеспечивать:

- прием федеральных мультиплексов, передаваемых по сети первичного распределения со входным и выходными интерфейсами T2-MI;
- прием поступающих из центра формирования региональных мультиплексов транспортных потоков MPEG-2 TS или получение регионального контента в формате потоков GSE;
- обработку всех полученных потоков с целью получения ремультиплексированных программ, содержащих региональный контент;
- адаптацию сформированных транспортных потоков к передаче по региональным распределительным сетям в формате потоков T2-MI для загрузки передатчиков.

Технические требования к оборудованию цифровой вставки (сплайсинга) региональных программ в транспортный поток MPEG-2 вещательного телевидения — по ГОСТ Р 55715.

Технические требования к оборудованию сигнализации меток о вставке (сплайсинге) региональных программ в транспортный поток MPEG-2 вещательного телевидения — по ГОСТ Р 55714.

6 Основные технические требования к подсистеме SS2 — процессору входящих потоков

6.1 Форматы потоков на входе системы

6.1.1 Входной процессор предварительной обработки (препроцессор/разделитель служб) должен выдавать на модуль(и) адаптации режима один или несколько потоков PLP (по одному на каждый модуль адаптации режима). Каждый логический канал PLP может переносить входной поток данных в одном из следующих форматов:

- транспортный поток TS;
- инкапсулированный поток общего назначения GSE;
- непрерывный поток общего назначения GCS;
- поток общего назначения с фиксированной длиной пакетов GFPS.

6.1.2 Транспортный поток TS должен состоять из пользовательских пакетов (UP) фиксированной длины O-UPL = 188×8 бит (один пакет MPEG), первый байт должен быть байтом синхронизации со

значением 47HEX. Формат входного потока должен быть указан в поле TS/GS в потоковом заголовке BBHEADER.

Максимально достижимая пропускная способность после удаления нулевых пакетов, когда это применимо, должна составлять примерно 50,3 Мбит/с (в канале 8 МГц).

6.1.3 Поток GSE может состоять из пакетов переменной длины или из пакетов постоянной длины, что должно быть обозначено в заголовках пакетов GSE, а формат входного потока должен быть указан в поле TS/GS в потоковом заголовке BBHEADER.

6.1.4 Поток GCS должен быть непрерывным битовым потоком и должен быть обозначен в BBHEADER полем TS/GS и UPL = 0_D. Поток пакетов переменной длины, без указания границ пакета, или поток пакетов фиксированной длины, превышающей 64 кбит, должен рассматриваться как поток GCS, и это должно быть обозначено в поле TS/GS потокового заголовка BBHEADER как GCS и UPL = 0_D.

6.1.5 Поток GFPS должен быть потоком с фиксированной длиной пользовательских пакетов (UP), равной O-UPL бит (максимальное значение O-UPL равно 64 кбит), и это должно быть обозначено в поле TS/GS потокового заголовка BBHEADER как O-UPL для исходной длины пользовательского пакета и UPL для переданной длины пользовательского пакета.

6.2 Режимы работы процессора входящих потоков

6.2.1 На вход процессора входящих потоков системы DVB-T2 должны поступать один или несколько логических потоков данных. Каждый отдельный логический поток данных должен транспортироваться по одному каналу физического уровня PLP. Канал физического уровня PLP должен переносить одну службу (одна или несколько программ), имеющую одно заданное качество обслуживания, определяемое выбранными параметрами схемы помехоустойчивого кодирования, перемежения и пр.

6.2.2 Обработку входящих данных допускается проводить в двух режимах ввода — режиме ввода A (единственный PLP) и режиме ввода B (несколько PLP).

6.2.3 В режиме ввода A должна применяться транспортировка одного входного потока данных (TS или GS) по одному-единственному каналу физического уровня PLP. В приемниках системы в этом случае должна проводиться демодуляция всего принимаемого потока.

6.2.4 В режиме ввода B должна применяться транспортировка нескольких входных потоков данных (TS и/или GS) с одной или несколькими службами в каждом потоке по соответствующему числу каналов физического уровня PLP. В этом случае должна проводиться передача с разделением времени между всеми каналами PLP. Это позволяет выбирать различные параметры помехоустойчивого кодирования, модуляции и перемежения по времени для каждого конкретного PLP. Тем самым могут быть обеспечены различные уровни качества обслуживания для каждого PLP. Кроме того, в режиме ввода B допускается устанавливать бóльшую глубину перемежения по времени с целью экономии энергопотребления приемника за счет приема только необходимых PLP в течение соответствующих квантов времени. Поэтому режим ввода B, даже в случае выбора идентичных физических параметров для различных PLP, следует использовать для обеспечения помехоустойчивого, экономичного приема на переносное или мобильное оборудование.

6.2.5 В том случае, если несколько PLP с данными имеют одинаковые параметры модуляции, кодирования, глубины перемежения и постоянной скорости передачи данных, они могут быть объединены в группу PLP. Поскольку службы, передаваемые по разным PLP, как правило, имеют много общих компонентов (таблицы сервисной информации PSI/Si, электронный программный гид EPG, информацию управления ограничением доступа), то для устранения дублирования этих компонентов допускается использовать общие PLP для каждой группы PLP. Каждая группа PLP может содержать один общий PLP, но группы PLP не должны содержать PLP общего для нескольких групп. В режиме ввода A с единственным PLP общий PLP не должен использоваться. В режиме ввода B приемник, в случае приема одной службы, должен принять и декодировать два PLP: PLP с данными и соответствующий ему общий PLP.

6.2.6 Структурная схема модуля адаптации для режима ввода A показана на рисунке 5.

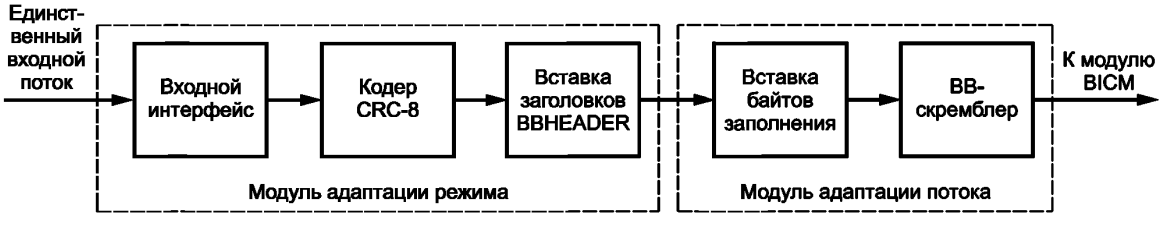


Рисунок 5 — Структурная схема модуля адаптации для режима ввода A

Модуль адаптации для режима А должен состоять из входного интерфейса, кодера циклической проверки по избыточности CRC-8 и блока вставки заголовка BBHEADER в начало каждого поля данных.

6.2.7 Структурная схема модулей адаптации для режима ввода В показана на рисунке 6.

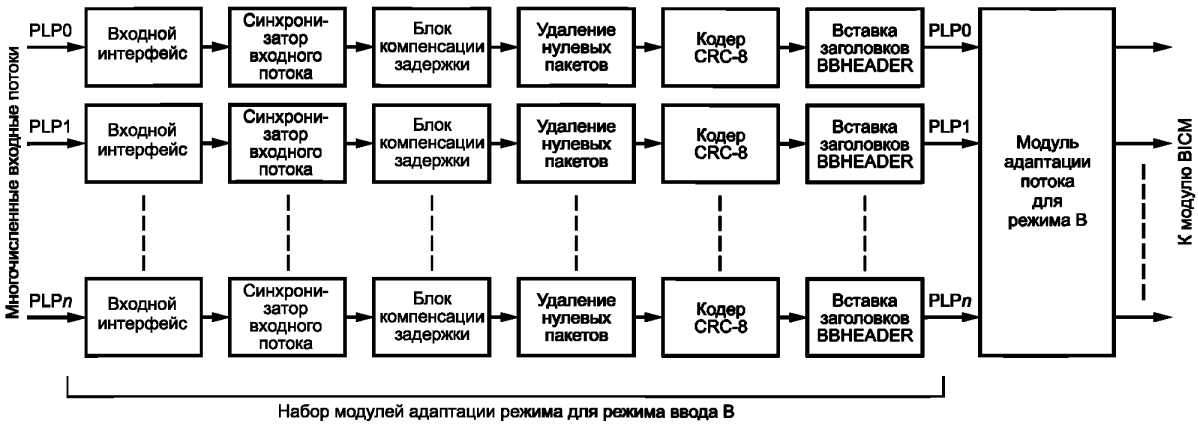


Рисунок 6 — Структурная схема модулей адаптации для режима ввода В

Модули адаптации для режима ввода В обрабатывают по отдельности содержимое каждого канала PLP, разделяя входной поток данных на поля данных, из которых в модуле адаптации потока должны быть сформированы немодулированные кадры BBFRAME. В отличие от модуля адаптации для режима А модуль адаптации для режима В содержит три дополнительных блока (синхронизатор входного потока, блок компенсации задержки, блок удаления нулевых пакетов), расположенных между входным интерфейсом и кодером циклической проверки по избыточности CRC-8. В блоке ввода заголовка обработка данных завершается разбиением входного потока на поля данных и вставкой заголовка BBHEADER в начало каждого поля данных.

7 Основные технические требования к подсистеме SS3 и параметрам радиочастотного интерфейса С «DVB-T2»

7.1 Полоса пропускания радиоканала и скорости передачи информации

7.1.1 Система DVB-T2 может обеспечивать возможность работы по радиоканалам с шириной полосы частот, равной 1,7; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0 МГц. Для наземного эфирного цифрового телевизионного вещания обязательным набором параметров системы является вариант для работы по радиоканалам с шириной полосы частот 8,0 МГц.

7.1.2 Ширина полосы частот, равная 1,7 МГц, должна использоваться в профиле системы T2-Lite, а ширина полосы частот, равная 10,0 МГц, предназначена только для профессионального применения и может не поддерживаться домашними приемниками.

7.1.3 Значения различных связанных со временем параметров в системе DVB-T2 должны быть кратны элементарному периоду времени T или же должны быть заданы в микросекундах. Элементарный период времени T зависит от ширины полосы частот канала и должен соответствовать данным, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 — Значения элементарного периода в зависимости от ширины полосы частот канала

Ширина полосы частот, МГц	1,7	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0
Элементарный период T, мкс	71/131	7/40	7/48	1/8	7/64	7/80

7.1.4 В системе DVB-T2 в зависимости от размера блока БПФ и числа полезных несущих могут использоваться либо обычные режимы вещания (1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K), либо расширенные режимы вещания (8K ext, 16K ext, 32K ext). Параметры системы DVB-T2 в варианте для каналов с шириной полосы частот 8 МГц должны соответствовать данным, приведенным в таблице 2.

Таблица 2 — Параметры системы DVB-T2 в зависимости от размера блока БПФ в канале с полосой частот 8 МГЦ

Параметр	Режим (размер БПФ)								
	1K	2K	4K	8K	8K ext	16K	16K ext	32K	32K ext
Полное число несущих в спектре K_{total}	853	1705	3409	6817	6913	13633	13921	27265	27841
Число дополнительных несущих с каждой стороны спектра K_{ext}	0	0	0	0	48	0	144	0	288
Длительность полезной части символа T_U в элементарных периодах T	1024T	2048T	4096T	8192T	8192T	16384T	16384T	32768T	32768T
Абсолютное значение длительности полезной части символа T_U, мкс	112	224	448	896	896	1792	1792	3584	3584
Разнос соседних несущих $1/T_U$, Гц	8928,571	4464,286	2232,143	1116,071	1116,071	558,036	558,036	279,018	279,018
Разнос граничных несущих $(K_{total}-1)/T_U$, МГц	7,607143	7,607143	7,607143	7,607143	7,714286	7,607143	7,767857	7,607143	7,767857

7.1.5 Параметры системы DVB-T2 в варианте для каналов с шириной полосы пропускания, отличающейся от 8 МГц, в зависимости от размера блока быстрого преобразования Фурье могут быть рассчитаны с учетом значений элементарного периода времени T, приведенных в таблице 1.

7.1.6 Скорость передачи полезной информации в системе DVB-T2 зависит от размера БПФ, вида модуляции, защитного интервала, шаблона пилот-сигналов, а также от использования режимов MISO, FEF и PAPR. Граничные значения скорости передачи полезной информации в зависимости от ширины полосы частот канала вещания приведены в таблице 3 (см. также [6]) (полосы частот 5, 6 и 7 МГц в настоящее время в Российской Федерации не используются).

Таблица 3 — Скорости передачи полезной информации в зависимости от ширины полосы частот канала

Ширина полосы частот, МГц	1,7	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0
Скорость передачи полезной информации, Мбит/с	0,22—10,17	3,01—31,55	4,01—37,8	4,68—44,1	5,35—50,4	5,93—63,23

Значения скоростей передачи для всех вариантов выбираемых параметров — по ГОСТ Р 55696.

7.2 Требования к помехоустойчивому кодированию

7.2.1 Общие требования

7.2.1.1 В подсистеме кодозащиты со структурой прямого исправления ошибок FEC следует применять внешнее кодирование кодом БЧХ, внутреннее кодирование кодом LDPC и перемежение по битам. Входной поток подсистемы кодозащиты должен состоять из потоковых кадров BBFRAME, а выходной поток — из кадров кодозащиты FECFRAME.

7.2.1.2 Каждый кадр BBFRAME (битовая длина K_{bch}) должен обрабатываться подсистемой кодозащиты FEC для генерации кодированного кадра FECFRAME (битовая длина N_{ldpc}). Проверочные

биты BCHFEC систематического внешнего кода БЧХ должны добавляться после кадра BBFRAME, а проверочные биты кода LDPCFEC внутреннего кода LDPC должны добавляться после поля BCHFEC, как показано на рисунке 7.

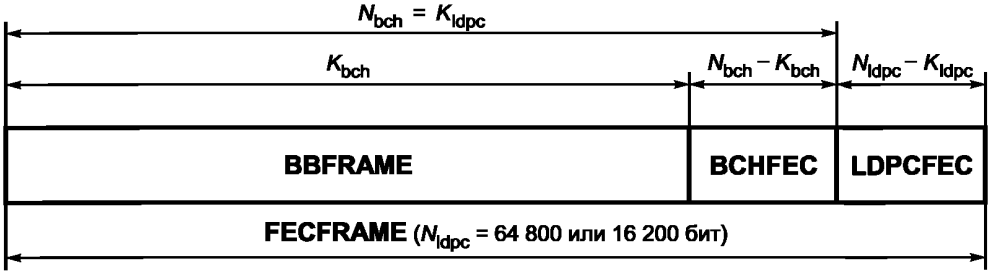


Рисунок 7 — Формат данных перед перемежением по битам

7.2.1.3 В таблице 4 приведены параметры кодирования FEC для обычного FECFRAME (N_{ldpc} = 64 800 бит), а в таблице 5 — для короткого FECFRAME (N_{ldpc} = 16 200 бит).

Таблица 4 — Параметры кодирования для обычного FECFRAME (N_{ldpc} = 64 800 бит)

Кодовая скорость кода LDPC	Некодированный блок кода БЧХ K_{bch}	Кодированный блок кода БЧХ N_{bch}; некодированный блок кода LDPC K_{ldpc}	Число ошибок t, корректируемых кодом БЧХ	$N_{bch} - K_{bch}$	Кодированный блок кода LDPC N_{ldpc}
1/2	32 208	32 400	12	192	64 800
3/5	38 688	38 880	12	192	64 800
2/3	43 040	43 200	12	192	64 800
3/4	48 408	48 600	12	192	64 800
4/5	51 648	51 840	12	192	64 800
5/6	53 840	54 000	10	192	64 800

Таблица 5 — Параметры кодирования для короткого FECFRAME (N_{ldpc} = 16 200 бит)

Идентификатор кодовой скорости кода LDPC	Некодированный блок кода БЧХ K_{bch}	Кодированный блок кода БЧХ N_{bch}; некодированный блок кода LDPC K_{ldpc}	Число ошибок t, корректируемых кодом БЧХ	$N_{bch} - K_{bch}$	Эффективная кодовая скорость кода LDPC K_{ldpc}/16 200	Кодированный блок кода LDPC N_{ldpc}
1/4*	3072	3240	12	168	1/5	16 200
1/2	7032	7200	12	168	4/9	16 200
3/5	9552	9720	12	168	3/5	16 200
2/3	10 632	10 800	12	168	2/3	16 200
3/4	11 712	11 880	12	168	11/15	16 200
4/5	12 432	12 600	12	168	7/9	16 200
5/6	13 152	13 320	12	168	37/45	16 200
* Данная кодовая скорость используется только для защиты группы битов предварительной L1-сигнализации, но не для полезных данных.						

Для N_{ldpc} = 64 800, а также для N_{ldpc} = 16 200 кодовая скорость кода LDPC задается как K_{ldpc}/N_{ldpc}. В таблице 4 для N_{ldpc} = 64 800 кодовые скорости кода LDPC указаны их значениями в столбце «Кодовая скорость кода LDPC». В таблице 5 для N_{ldpc} = 16 200 кодовые скорости кода LDPC указаны их значениями

в столбце «Эффективная кодовая скорость кода LDPC». Таким образом, для N_{ldpc} = 16 200 значения идентификатора кодовой скорости кода LDPC не эквивалентны значениям кодовой скорости кода LDPC.

7.2.2 Внешнее кодирование (БЧХ)

7.2.2.1 Код БЧХ, исправляющий t ошибок (длины блоков N_{bch}, K_{bch}), должен применяться для кодирования каждого потокового кадра BBFRAME с целью получения защищенного от ошибок пакета. Параметры кода БЧХ при внутреннем кодировании кодом LDPC с обычной длиной блока N_{ldpc} = 64 800 приведены в таблице 4, а для короткой длины блока N_{ldpc} = 16 200 — в таблице 5.

7.2.2.2 Порождающие многочлены $g_i(x)$ кодера БЧХ, корректирующего t ошибок, приведены в таблице 6 для N_{ldpc} = 64 800 и в таблице 7 для N_{ldpc} = 16 200.

Таблица 6 — Порождающие многочлены кода БЧХ для обычного FECFRAME (N_{ldpc} = 64 800 бит)

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

7.2.3 Внутреннее кодирование (LDPC)

7.2.3.1 Кодер LDPC должен обрабатывать данные $I = \left(i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1}\right)$, поступающие с выхода внешнего кодера БЧХ, как информационный блок размером $K_{ldpc} = N_{bch}$ и систематически кодировать его в кодовое слово Λ размера N_{ldpc}, где:

$$\Lambda = \left(\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{N_{ldpc}-1}\right) = \left(i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \ldots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1}\right). \quad (1)$$

Таблица 7 — Порождающие многочлены кода БЧХ для короткого FECFRAME (N_{ldpc} = 16 200 бит)

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

Окончание таблицы 7

Обозначение многочлена	Степени многочлена
$g_9(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^9+x^{10}+x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1+x^3+x^6+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{14}$
$g_{11}(x)$	$1+x^4+x^{11}+x^{12}+x^{14}$
$g_{12}(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^5+x^6+x^7+x^8+x^{10}+x^{13}+x^{14}$

7.2.3.2 Параметры кода LDPC (N_{ldpc}, K_{ldpc}) приведены в таблицах 4 и 5.

Задача кодера LDPC состоит в определении проверочных битов $N_{ldpc} - K_{ldpc} = \left(p_0, p_1, \ldots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1}\right)$ для каждого блока информационных битов $K_{ldpc} = \left(i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1}\right)$ согласно алгоритму кодирования, приведенному в стандарте на систему DVB-T2 (см. [1]).

7.2.4 Перемежитель по битам для модуляции 16-QAM, 64-QAM и 256-QAM

7.2.4.1 Выходной сигнал кодера LDPC (кодовое слово Λ) должен быть подвергнут перемежению по битам, которое состоит из перемежения блока проверочных битов с последующим блоковым перемежением с модификацией столбцов.

Выходной сигнал перемежителя проверочных битов обозначают буквой U, а выходной сигнал перемежителя с модификацией столбцов — буквой V. Перемежение проверочных битов должно происходить согласно формулам:

$$u_i = \lambda_i \text{ для } 0 \le i < K_{ldpc} \text{ (информационные биты не перемежаются)}, \quad (2)$$

$$u_{K_{ldpc}+360t+s} = \lambda_{K_{ldpc}+Q_{ldpc}\cdot s+t} \text{ для } 0 \le s < 360,\ 0 \le t < Q_{ldpc}, \quad (3)$$

где Q_{ldpc} — константа кода LDPC, значения которой приведены в таблице 8 для N_{ldpc} = 64 800 и в таблице 9 для N_{ldpc} = 16 200.

Таблица 8 — Значения Q_{ldpc} для обычного FECFRAME (N_{ldpc} = 64 800 бит)

Кодовая скорость	Q_{ldpc}
1/2	90
3/5	72
2/3	60
3/4	45
4/5	36
5/6	30

Таблица 9 — Значения Q_{ldpc} для короткого FECFRAME (N_{ldpc} = 16 200 бит)

Кодовая скорость	Q_{ldpc}
1/4	36
1/3	30
2/5	27
1/2	25
3/5	18
2/3	15

Окончание таблицы 9

Кодовая скорость	Q_{ldpc}
3/4	12
4/5	10
5/6	8

7.2.4.2 Конфигурация перемежителя с модификацией столбцов для каждого формата модуляции должна соответствовать параметрам, указанным в таблице 10.

Таблица 10 — Структура перемежителя по битам

Модуляция	Ряды N_r		Столбцы N_c
	N_{ldpc} = 64 800 бит	N_{ldpc} = 16 200 бит	
16-QAM	8100	2025	8
64-QAM	5400	1350	12
256-QAM	4050	—	16
	—	2025	8

Биты данных u_i, поступающие с выхода перемежителя проверочных битов, последовательно по столбцам записываются в перемежитель с модификацией столбцов и последовательно по рядам считываются на выход (сначала считывается наибольший значащий бит потокового заголовка BBHEADER), как показано на рисунке 8, где начальная позиция записи в каждый столбец сдвинута на величину t_c бит согласно таблице 11 (см. также [1]).

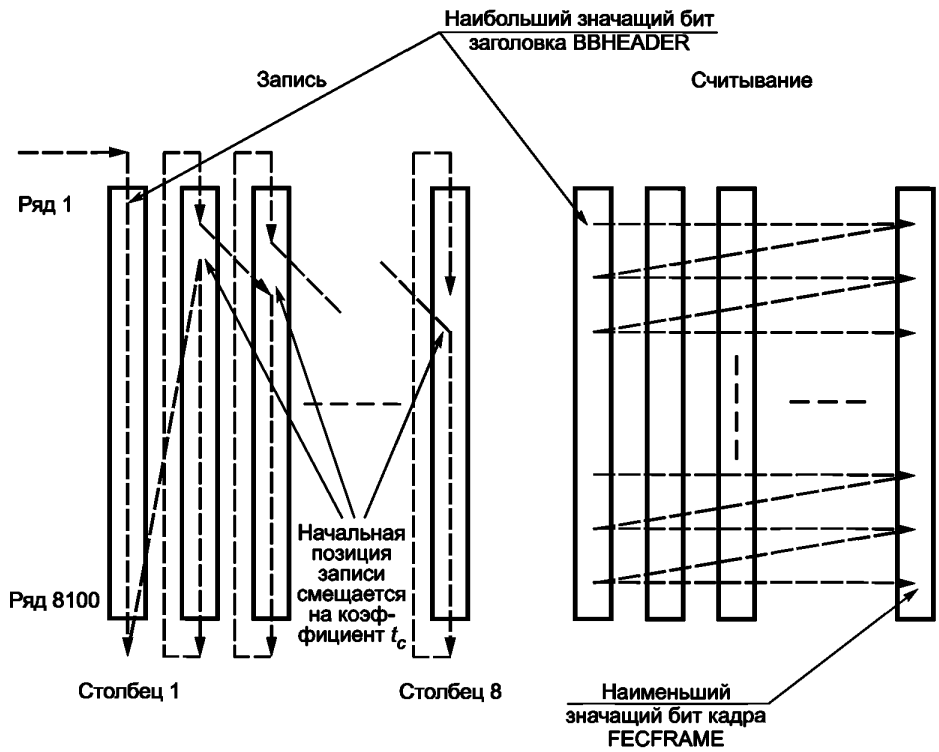


Рисунок 8 — Схема перемежителя по битам для обычного FECFRAME и модуляции 16-QAM

Таблица 11 — Параметр модификации столбца t_c

Модуляция	Число столбцов N_c	N_{ldpc}	Параметр сдвига t_c для столбца с номером c_i															
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16-QAM	8	64 800	0	0	2	4	4	5	7	7	—	—	—	—	—	—	—	—
		16 200	0	0	0	1	7	20	20	21	—	—	—	—	—	—	—	—
64-QAM	12	64 800	0	0	2	2	3	4	4	5	5	7	8	9	—	—	—	—
		16 200	0	0	0	2	2	2	3	3	3	6	7	7	—	—	—	—
256-QAM	16	64 800	0	2	2	2	2	3	7	15	16	20	22	22	27	27	28	32
	8	16 200	0	0	0	1	7	20	20	21	—	—	—	—	—	—	—	—

7.2.4.3 Перемежитель с модификацией столбцов должен работать следующим образом:
Входной бит u_i с индексом i при $0 \le i < N_{ldpc}$ записывается в столбец c_i, ряд r_i перемежителя, где:

$$c_i = i \text{ div } N_r, \tag{4}$$

$$r_i = (i + t_{c_i}) \bmod N_r, \tag{5}$$

где div — оператор целочисленного деления, вычисляемый по формуле

$$x \text{ div } y = \left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor.$$

Выходной бит v_j с индексом j при $0 \le j < N_{ldpc}$ считывается из ряда r_j, столбца c_j, где:

$$r_j = j \text{ div } N_c, \tag{6}$$

$$c_j = j \bmod N_c. \tag{7}$$

Для модуляции 64-QAM и $N_{ldpc} = 64\,800$ на выходе перемежителя с модификацией столбцов будет следующий порядок битов:

$$(v_0, v_1, v_2, \ldots, v_{64\,799}) = (u_0, u_{5400}, u_{16\,198}, \ldots, u_{53\,992}, u_{59\,231}, u_{64\,790}). \tag{8}$$

7.3 Первичная модуляция и отображение символов на сигнальные созвездия

7.3.1 Общие требования

7.3.1.1 В системе DVB-T2 для передачи сигналов необходимо использовать многочастотную схему модуляции с частотным распределением ортогональных несущих (OFDM).

7.3.1.2 Каждая из первичных несущих схемы модуляции OFDM должна модулироваться низкоскоростным цифровым потоком, являющимся частью общего передаваемого цифрового потока системы. В качестве видов первичной модуляции для различных условий передачи полезных данных допускается использовать QPSK, 16-QAM, 64-QAM и 256-QAM.

7.3.1.3 При передаче данных L1-сигнализации должна использоваться модуляция BPSK.

7.3.1.4 Каждый кадр FECFRAME (последовательность длиной 64 800 бит для обычного FECFRAME или 16 200 бит для короткого FECFRAME) должен быть отображен на кодированный и модулированный FEC-блок следующим образом. Сначала производится демультиплексирование последовательности входных битов в слова-ячейки в параллельном коде, а затем отображение этих слов-ячеек в значения точек сигнального созвездия. Число выходных ячеек с данными и эффективное число битов η_{MOD}, приходящихся на одну ячейку в зависимости от вида модуляции, должно определяться согласно таблице 12 (см. также [1]).

Таблица 12 — Параметры отображения битов на сигнальные созвездия

Длина блока LDPC N_{ldpc}	Вид модуляции	η_{MOD}	Число выходных ячеек с данными
64 800	256-QAM	8	8100
	64-QAM	6	10 800
	16-QAM	4	16 200
	QPSK	2	32 400
16 200	256-QAM	8	2025
	64-QAM	6	2700
	16-QAM	4	4050
	QPSK	2	8100

7.3.2 Демультиплексирование битов в слова-ячейки

7.3.2.1 Поток битов v_{di} с выхода перемежителя по битам должен быть демультиплексирован в $N_{substreams}$ подпотоков, число которых определено в таблице 13.

Таблица 13 — Число подпотоков демультиплексора

Модуляция	N_{ldpc}	Число подпотоков, $N_{substreams}$
QPSK	Любое	2
16-QAM		8
64-QAM		12
256-QAM	64 800	16
	16 200	8

7.3.2.2 Демультиплексирование определяется как преобразование битов v_{di} с выхода перемежителя по битам в биты подпотоков на выходе демультиплексора $b_{e,do}$, где:

v_{di} — последовательность битов на входе демультиплексора;

do = di div $N_{substreams}$ — номер бита заданного потока на выходе демультиплексора;

di — номер бита в последовательности на входе демультиплексора;

e — номер демультиплексированного подпотока битов ($0 \le e < N_{substreams}$), который зависит от di.

При всех вариантах модуляции, за исключением QPSK (N_{ldpc} = 64 800 или 16 200) и 256-QAM (только N_{ldpc} = 16 200), на выходе демультиплексора слова ширины $N_{substreams}$ разбиваются на два слова-ячейки шириной $\eta_{MOD} = N_{substreams}/2$. Первые $\eta_{MOD} = N_{substreams}/2$ выходных битов $[b_{0,do} \cdots b_{N_{substreams}/2-1,do}]$ образуют первые из парных выходных слов-ячеек $[y_{0,\,2do} \cdots y_{\eta_{MOD}-1,\,2do}]$, а оставшиеся выходные биты $[b_{N_{substreams}/2,\,do} \cdots b_{N_{substreams}-1,\,do}]$ формируют вторые из парных выходных слов-ячеек $[y_{0,\,2do+1} \cdots y_{\eta_{MOD}-1,\,2do+1}]$ подаваемых в формирователь сигнального созвездия.

В случае модуляции QPSK (N_{ldpc} = 64 800 или 16 200) и 256-QAM (только N_{ldpc} = 16 200) слова ширины $N_{substreams}$ с выхода демультиплексора образуют слова-ячейки, которые передаются непосредственно в устройство формирования сигнального созвездия, при этом: $[y_{0,\,do} \cdots y_{\eta_{MOD}-1,\,do}] = [b_{0,\,do} \cdots b_{N_{substreams}-1,\,do}]$.

7.3.3 Отображение слов-ячеек на точки сигнального созвездия

7.3.3.1 При отображения битовых комбинаций модулирующих кортежей на точки сигнального созвездия должно использоваться преобразование натурального кода в код Грея. Соответствие кодовых комбинаций кода Грея точкам сигнальных созвездий для допустимых видов модуляции показано на рисунках 9—13.

7.3.3.2 Положения точек на сигнальных созвездиях для используемых видов первичной модуляции определяются значениями битов модулирующих кортежей, поступающих в модулятор в отсчетные

моменты времени для каждой ячейки q. В кортеже биты с четными индексами логической переменной $y_{u,q}$ ($y_{0,q}$, $y_{2,q}$, $y_{4,q}$, ...) должны поступать в синфазный канал модулятора и задавать положение комплексного модулированного символа (сигнальной точки) z_q относительно действительной оси Re{z} сигнального созвездия. Биты с нечетными индексами ($y_{1,q}$, $y_{3,q}$, $y_{5,q}$, ...) должны поступать в квадратурный канал модулятора и задавать положение сигнальной точки z_q относительно мнимой оси Im{z} сигнального созвездия.

Точные значения действительного Re(z_q) и мнимого Im(z_q) компонентов сигнального созвездия, относящихся к ячейке q, приведены ниже для различных комбинаций входных битов $y_{i,q}$ при различных видах первичной модуляции.

а) Модуляция BPSK

Длина кортежа равна одному биту ($y_{0,q}$). Модулирующие биты поступают только в синфазный канал, квадратурный канал постоянно находится в нулевом значении. Сигнальные точки располагаются на действительной оси в соответствии с данными таблицы 14. Вид сигнального созвездия показан на рисунке 9.

Таблица 14 — Значения компонентов сигнального созвездия Re(z_q) и Im(z_q) для модуляции BPSK

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

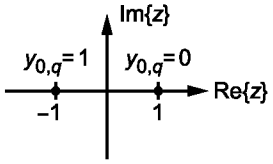


Рисунок 9 — Сигнальное созвездие при модуляции BPSK

б) Модуляция QPSK

Длина кортежа равна двум битам ($y_{0,q}$, $y_{1,q}$). Значения компонентов сигнального созвездия Re(z_q) и Im(z_q) в зависимости от значений битов кортежа приведены в таблицах 15 и 16 соответственно. Вид сигнального созвездия показан на рисунке 10.

Таблица 15 — Значения компонентов сигнального созвездия Re(z_q) для модуляции QPSK

$y_{0,q}$	1	0
Re(z_q)	–1	1

Таблица 16 — Значения компонентов сигнального созвездия Im(z_q) для модуляции QPSK

$y_{1,q}$	1	0
Im(z_q)	–1	1

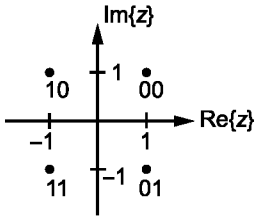


Рисунок 10 — Сигнальное созвездие при модуляции QPSK

в) Модуляция 16-QAM

Длина кортежа равна четырем битам ($y_{0,q}$, $y_{1,q}$, $y_{2,q}$, $y_{3,q}$). Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Re}(z_q)$ и $\mathrm{Im}(z_q)$ в зависимости от значений битов кортежа приведены в таблицах 17 и 18 соответственно. Вид сигнального созвездия показан на рисунке 11.

Таблица 17 — Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Re}(z_q)$ для модуляции 16-QAM

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

Таблица 18 — Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Im}(z_q)$ для модуляции 16-QAM

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

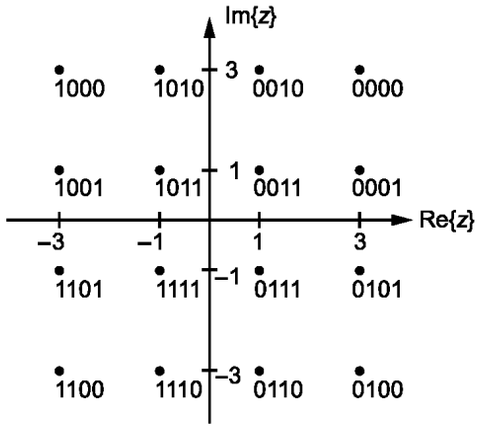


Рисунок 11 — Сигнальное созвездие при модуляции 16-QAM

г) Модуляция 64-QAM

Длина кортежа равна шести битам ($y_{0,q}$, $y_{1,q}$, $y_{2,q}$, $y_{3,q}$, $y_{4,q}$, $y_{5,q}$). Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Re}(z_q)$ и $\mathrm{Im}(z_q)$ в зависимости от значений битов кортежа приведены в таблицах 19 и 20 соответственно. Вид сигнального созвездия показан на рисунке 12.

Таблица 19 — Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Re}(z_q)$ для модуляции 64-QAM

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

Таблица 20 — Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Im}(z_q)$ для модуляции 64-QAM

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

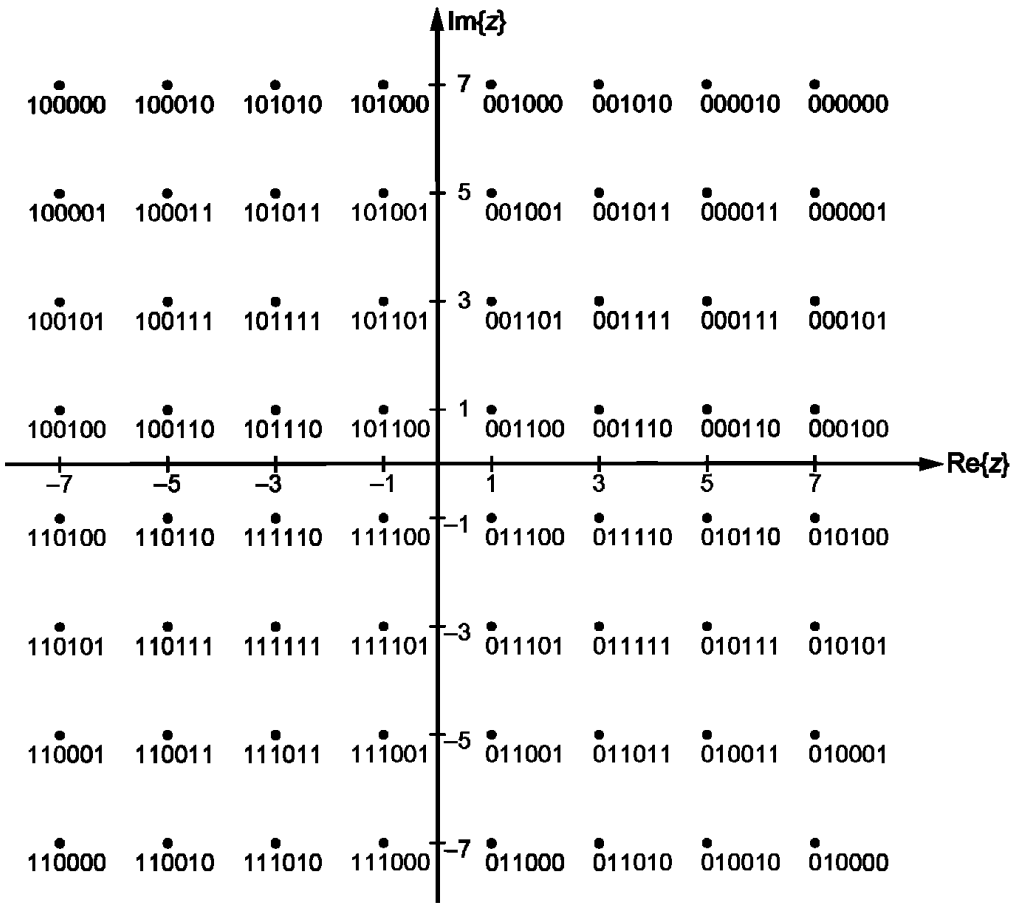


Рисунок 12 — Сигнальное созвездие при модуляции 64-QAM

д) Модуляция 256-QAM

Длина кортежа равна восьми битам ($y_{0,q}$, $y_{1,q}$, $y_{2,q}$, $y_{3,q}$, $y_{4,q}$, $y_{5,q}$, $y_{6,q}$, $y_{7,q}$). Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Re}(z_q)$ и $\mathrm{Im}(z_q)$ в зависимости от значений битов кортежа приведены в таблицах 21 и 22 соответственно. Вид сигнального созвездия показан на рисунке 13.

Таблица 21 — Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Re}(z_q)$ для модуляции 256-QAM

$y_{0,q}$	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 22 — Значения компонентов сигнального созвездия $\mathrm{Im}(z_q)$ для модуляции 256-QAM

$y_{1,q}$	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

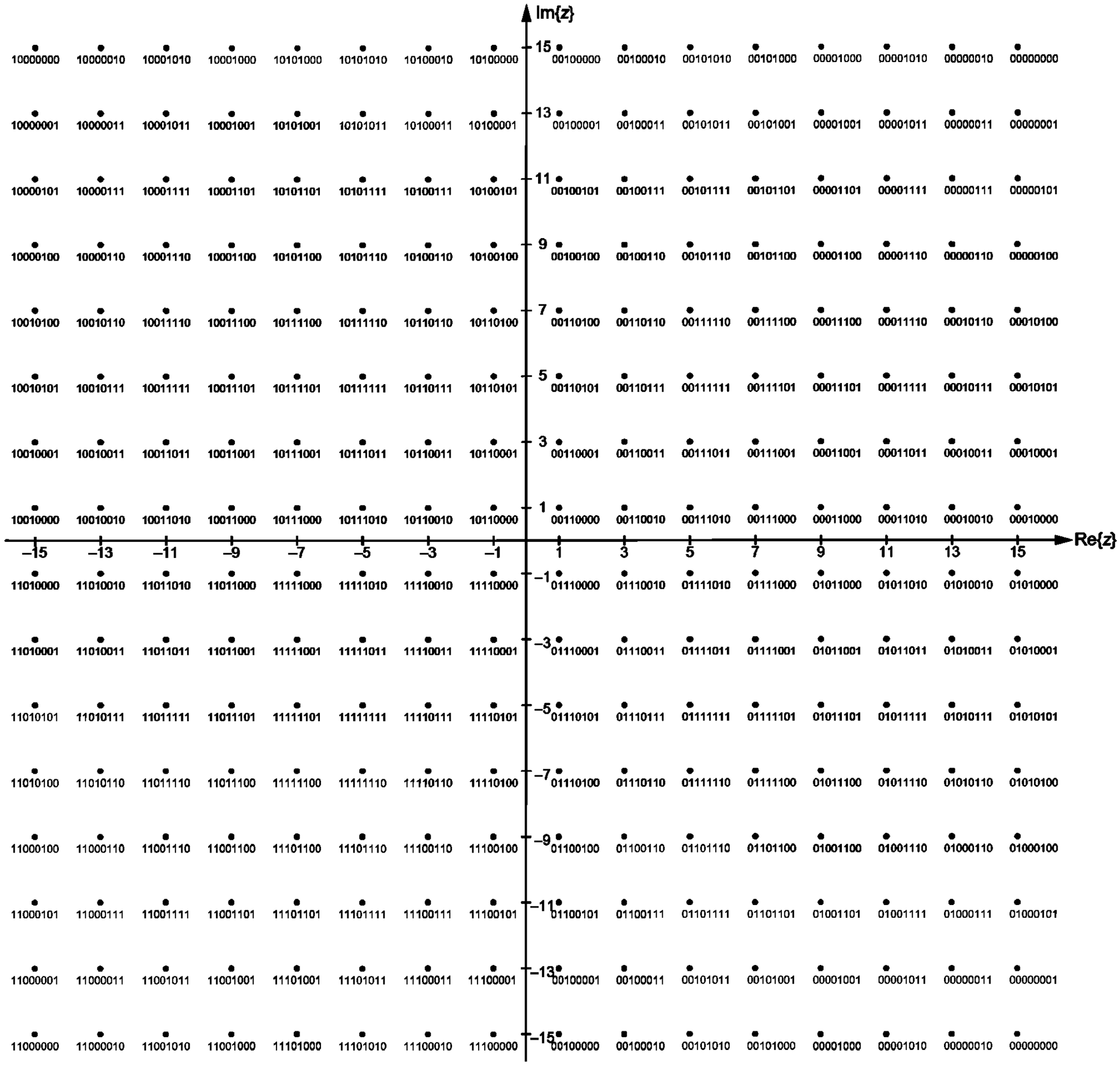


Рисунок 13 — Сигнальное созвездие при модуляции 256-QAM

7.3.3.3 Точки сигнального созвездия z_q для каждого вида модуляции должны быть нормализованы согласно коэффициентам, приведенным в таблице 23, для получения корректного значения комплексной ячейки f_q.

Таблица 23 — Коэффициенты нормализации для разных видов модуляции

Модуляция	Коэффициент нормализации
BPSK	$f_q = z_q$
QPSK	$f_q = \frac{z_q}{\sqrt{2}}$

Окончание таблицы 23

Модуляция	Коэффициент нормализации
16-QAM	$f_q = \frac{z_q}{\sqrt{10}}$
64-QAM	$f_q = \frac{z_q}{\sqrt{42}}$
256-QAM	$f_q = \frac{z_q}{\sqrt{170}}$

7.4 Поворот сигнального созвездия OFDM

7.4.1 В системе DVB-T2 для повышения помехоустойчивости допускается применять новую технологию, связанную с поворотом сигнального созвездия и задержкой компонентов ячейки с координатами, относящимися к мнимой квадратурной оси «Q». После формирования созвездия оно поворачивается в комплексной плоскости «I—Q» на некоторый угол, исключающий совпадение координат точек созвездия отдельно по осям «I» и «Q» (см. рисунок 14). Это обеспечивает достаточность информации для принятия решения об отправленных точках при стирании на приеме их координат по одной из осей. В одночастотных сетях и каналах со стираниями выигрыш в помехоустойчивости при повороте созвездия может достигать 7,6 дБ (см. [5]).

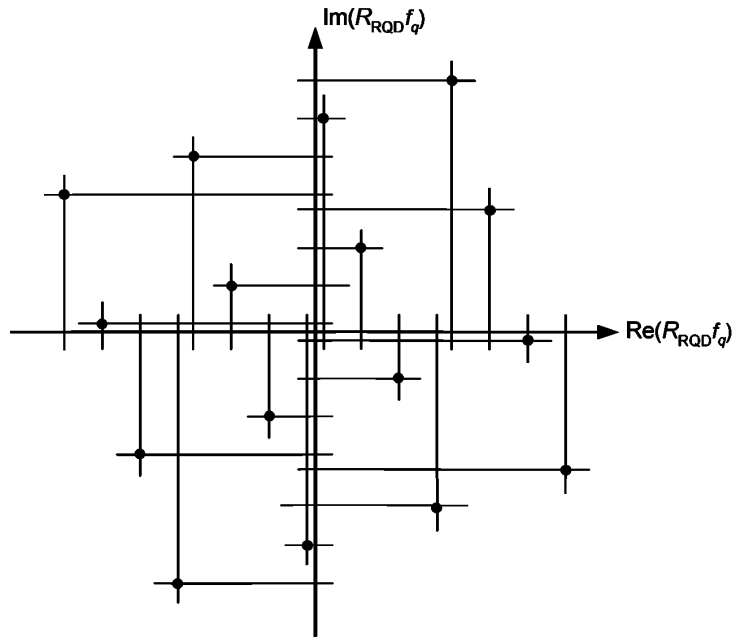


Рисунок 14 — Повернутое созвездие при модуляции 16-QAM

7.4.2 Когда используется поворот сигнального созвездия, нормализованные значения ячеек каждого FEC-блока $F = (f_0, f_1, ..., f_{N_{cells}-1})$, поступающие от формирователя созвездия, поворачиваются в комплексной плоскости, а их мнимая часть «Q-координаты» циклически задерживается на одну ячейку в пределах FEC-блока.

Выходные ячейки $G = (g_0, g_1, ..., g_{N_{cells}-1})$ определяются как:

$$g_0 = \mathrm{Re}(R_{RQD} \cdot f_0) + j\mathrm{Im}(R_{RQD} \cdot f_{N_{cells}-1}), \quad (9)$$

$$g_q = \mathrm{Re}(R_{\mathrm{RQD}} \cdot f_q) + j\,\mathrm{Im}(R_{\mathrm{RQD}} \cdot f_{q-1}), \quad q = 1, 2, ..., N_{\mathrm{cells}} - 1, \tag{10}$$

где N_{cells} — это число ячеек на FEC-блок, которое приведено в таблице 25,

$R_{\mathrm{RQD}} = e^{j\frac{2\pi\Phi}{360}}$ — фазовый вектор, характеризующий поворот созвездия,

где Φ— угол поворота сигнального созвездия, зависящий от вида модуляции, значения которого приведены в таблице 24.

Таблица 24 — Угол поворота сигнального созвездия Φ для разных видов модуляции

Модуляция	QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
Φ, град	29,0	16,8	8,6	arctg(1/16)

7.4.3 Поворот созвездия должен использоваться только для общих PLP и PLP с данными и никогда — для ячеек L1-сигнализации. Если поворот созвездия не используется (значение синтаксической конструкции PLP_ROTATION = '0', см. 8.2.4.2), то ячейки передаются на перемежитель ячеек без изменений, т. е. $g_q = f_q$.

7.4.4 Поворот созвездия не должен использоваться в профиле T2-Lite при модуляции 256-QAM.

7.5 Перемежитель ячеек OFDM

7.5.1 Псевдослучайный перемежитель ячеек (CI) должен равномерно распределять ячейки в пределах кодового слова, чтобы обеспечить в приемнике некоррелированное распределение по длине кодовых слов ячеек с ошибками из-за искажений и помех в канале. С этой целью перемежающая последовательность для каждого из FEC-блоков, относящихся к одному блоку перемежителя по времени, также должна видоизменяться (см. 7.6).

7.5.2 Входным сигналом перемежителя ячеек $G(r) = (g_{r,0}, g_{r,1}, g_{r,2}, ..., g_{r,N_{\mathrm{cells}}-1})$ должны быть ячейки данных $(g_0, g_1, g_2, ..., g_{N_{\mathrm{cells}}-1})$ блока FEC с индексом r, произведенные схемой поворота созвездия и циклической Q-задержки (см. 7.4), где r представляет собой возрастающий индекс FEC-блока в составе TI-блока, и он должен сбрасываться в нуль в начале каждого TI-блока. Когда перемежение по времени не используется, значение r должно быть равно 0 для каждого FEC-блока. Выходным сигналом перемежителя ячеек должен быть вектор $D(r) = (d_{r,0}, d_{r,1}, d_{r,2}, ..., d_{r,N_{\mathrm{cells}}-1})$, определяемый как:

$$d_{r,L_r(q)} = g_{r,q} \text{ для каждого } q = 0, 1, ..., N_{\mathrm{cells}}-1, \tag{11}$$

где N_{cells} — число ячеек выходных данных на FEC-блок, как определено в таблице 25, а $L_r(q)$ — функция перестановки, применяемая к FEC-блоку r TI-блока.

7.6 Перемежитель по времени

7.6.1 Общие требования

7.6.1.1 Перемежитель по времени (TI) должен работать на уровне PLP. Параметры временного перемежения могут быть разными для разных PLP.

Для каждого PLP FEC-блоки с выхода перемежителя ячеек должны быть сгруппированы в кадры перемежения, которые отображаются на один или несколько T2-кадров. Каждый кадр перемежения должен содержать динамически переменное целое число FEC-блоков. Число FEC-блоков в кадре перемежения с индексом n обозначается как $N_{\mathrm{BLOCKS_IF}}(n)$ и сигнализируется с помощью синтаксической конструкции PLP_NUM_BLOCKS в динамической L1-сигнализации.

7.6.1.2 Число N_{BLOCKS} может варьироваться от минимального значения 0 до максимального значения $N_{\mathrm{BLOCKS_IF_MAX}}$. Значение $N_{\mathrm{BLOCKS_IF_MAX}}$ сигнализируется с помощью синтаксической конструкции PLP_NUM_BLOCKS_MAX в конфигурируемой L1-сигнализации. Наибольшее значение, которое может принять PLP_NUM_BLOCKS_MAX, составляет 1023.

7.6.1.3 Каждый кадр перемежения либо отображается непосредственно на один T2-кадр, либо распределяется по нескольким T2-кадрам (см. 7.6.2). Каждый кадр перемежения делится также на один или более (N_{TI}) TI-блоков, где TI-блок соответствует одному использованию памяти временного перемежителя (см. 7.6.3). В кадре перемежения TI-блоки могут содержать немного другое число FEC-блоков. Если кадр перемежения делится на несколько TI-блоков, он должен отображаться только на один T2-кадр.

Для каждого PLP могут иметь место три варианта перемежения по времени:

- каждый кадр перемежения содержит один TI-блок и отображается непосредственно на один T2-кадр, как показано на рисунке 15. Эта опция должна сигнализироваться в L1-сигнализации с помощью синтаксических конструкций TIME_IL_TYPE = '0' и TIME_IL_LENGTH = '1';
- каждый кадр перемежения содержит один TI-блок и отображается на более чем один T2-кадр. На рисунке 16 показан пример отображения одного кадра перемежения на два T2-кадра при значении синтаксической конструкции FRAME_INTERVAL(I_{JUMP}) = '2' (см. 9.2.1.5). Это дает большее разнесение по времени для услуг с низкой скоростью передачи данных. Эта опция сигнализируется в L1-сигнализации посредством синтаксической конструкции TIME_IL_TYPE = '1';
- каждый кадр перемежения отображается непосредственно на один T2-кадр, а кадр перемежения включает в себя несколько TI-блоков, как показано на рисунке 17. Каждый из TI-блоков может использовать память перемежителя TI до ее полной емкости, тем самым увеличивая максимальную скорость передачи битов PLP. Эта опция сигнализируется в L1-сигнализации посредством синтаксической конструкции TIME_IL_TYPE = '0'.

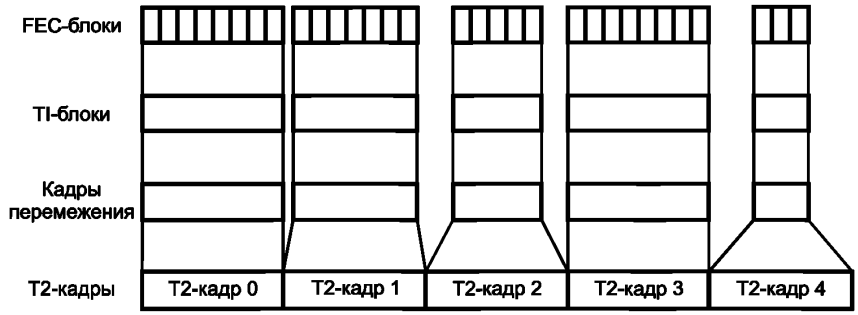


Рисунок 15 — Перемежение по времени для P_I = 1, I_{JUMP} = 1, N_{TI} = 1

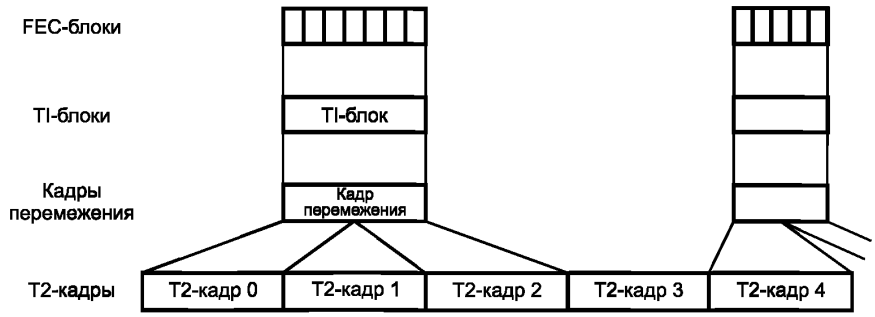


Рисунок 16 — Перемежение по времени для P_I = 2, I_{JUMP} = 2, N_{TI} = 1

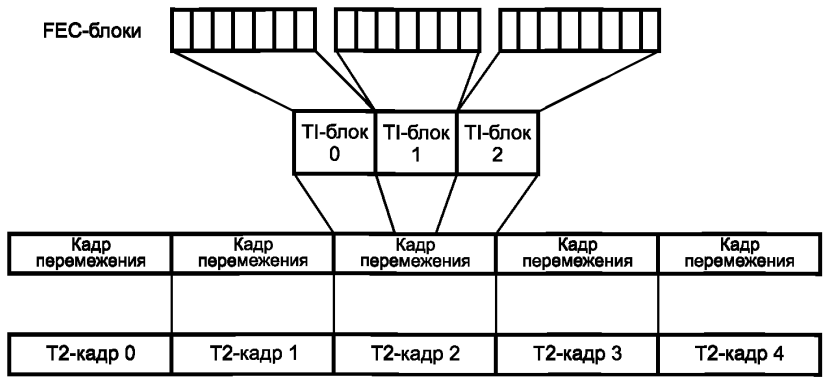


Рисунок 17 — Перемежение по времени для P_I = 1, I_{JUMP} = 1, N_{TI} = 3

7.6.2 Отображение кадров перемежения на один или несколько T2-кадров

7.6.2.1 Кадр перемежения может быть сопоставлен точно одному T2-кадру или может быть распределен по нескольким T2-кадрам. Он может содержать один или несколько TI-блоков. Число T2-кадров в одном кадре перемежения P_I сигнализируется с помощью конфигурируемой L1-сигнализации посредством синтаксической конструкции TIME_IL_LENGTH в сочетании с TIME_IL_TYPE (см. [1]).

7.6.2.2 Продолжительность периода перемежения по времени T_P не должна превышать длительности одного суперкадра. Период перемежения по времени рассчитывается как

$$T_P = T_F \cdot P_I(i) \cdot I_{JUMP}(i), \tag{12}$$

где T_F — длина T2-кадра во времени (см. 9.2.2.2);

$I_{JUMP}(i)$ — интервал T2-кадров для PLP i, например, если PLP встречается в каждом третьем T2-кадре, то $I_{JUMP}(i) = 3$ (см. 9.2.1.5);

$P_I(i)$ является значением кадра перемежения P_I для PLP i.

Примечание — В кадре перемежения должно быть целое число блоков FEC, но число блоков FEC, приходящихся на T2-кадр, не обязательно должно быть целым числом, если кадр перемежения распространяется на несколько T2-кадров.

7.6.2.3 В суперкадре должно быть целое число кадров перемежения, чтобы выполнялось следующее условие (см. [1]):

$$N_{T2}/(P_I \cdot I_{JUMP}) = \text{целое число кадров перемежения в суперкадре,}$$

где N_{T2} — число T2-кадров в суперкадре.

Пример — Длина суперкадра системы DVB-T2 составляет $N_{T2} = 20$. В системе переносятся, помимо прочего, следующие каналы PLP: PLP1 с длиной перемежения $P_I(1) = 1$ кадр, размещенный в каждом T2-кадре, для которого $I_{JUMP}(1) = 1$; PLP2 с длиной перемежения $P_I(2) = 2$ кадра в каждом втором T2-кадре, для которого $I_{JUMP}(2) = 2$; PLP3 с длиной перемежения $P_I(3) = 4$ кадра в каждом пятом T2-кадре, для которого $I_{JUMP}(3) = 5$. Число кадров перемежения на суперкадр равно $20/(1 \cdot 1) = 20$ кадров перемежения для PLP1, $20/(2 \cdot 2) = 5$ кадров перемежения для PLP2 и $20/(4 - 5) = 1$ кадр перемежения для PLP3.

7.6.3 Разделение кадров перемежения на блоки временного перемежения

7.6.3.1 Перемежитель по времени должен перемежать ячейки в пределах одного TI-блока, который содержит динамически переменное целое число FEC-блоков.

Число TI-блоков в кадре перемежения N_{TI} должно быть целым числом, которое должно сигнализироваться с помощью конфигурируемой L1-сигнализации посредством синтаксической конструкции TIME_IL_LENGTH в сочетании с TIME_IL_TYPE.

Примечание — Если кадр перемежения распространяется на несколько T2-кадров, то N_{TI} должно быть равным 1, т. е. один кадр перемежения должен содержать ровно один TI-блок.

7.6.3.2 Число FEC-блоков в TI-блоке с индексом s в кадре перемежения n обозначается как $N_{FEC_TI}(n, s)$, где $0 \le s < N_{TI}$.

Если $N_{TI} = 1$, то в каждом кадре перемежения будет только один TI-блок с индексом $s = 0$, а число $N_{FEC_TI}(n, s)$ должно быть равно числу FEC-блоков в кадре перемежения $N_{BLOCKS_IF}(n)$.

Если $N_{TI} > 1$, то значение $N_{FEC_TI}(n, s)$ для каждого TI-блока с индексом s в кадре перемежения с индексом n вычисляют следующим образом:

$$N_{FEC_TI}(n,s) = \begin{cases} \left\lfloor \dfrac{N_{BLOCKS_IF}(n)}{N_{TI}} \right\rfloor & \text{при} \quad s < N_{TI} - \left[N_{BLOCKS_IF}(n) \bmod N_{TI} \right] \\ \left\lfloor \dfrac{N_{BLOCKS_IF}(n)}{N_{TI}} \right\rfloor + 1 & \text{при} \quad s \ge N_{TI} - \left[N_{BLOCKS_IF}(n) \bmod N_{TI} \right] \end{cases}. \tag{13}$$

Это гарантирует, что значения $N_{FEC_TI}(n, s)$ для TI-блоков в кадре перемежения отличаются не более чем на один FEC-блок и что меньшие TI-блоки будут следовать первыми.

Число $N_{FEC_TI}(n, s)$ может изменяться во времени от минимального значения 0 до максимального значения $N_{FEC_TI_MAX}$. Значение $N_{FEC_TI_MAX}$ может быть определено из значения $N_{BLOCKS_IF_MAX}$ (см. 7.6) по формуле

$$N_{FEC_TI_MAX} = \left\lceil \frac{N_{BLOCKS_IF_MAX}}{N_{TI}} \right\rceil. \quad (14)$$

7.6.3.3 Максимальное количество ячеек TI-памяти на один PLP должно составлять $M_{TI} = 2^{19} + 2^{15}$, но TI-память должна быть разделена между PLP с данными и связанным с ним общим PLP (если таковой имеется). Следовательно, для PLP без связанного с ним общего PLP числа $N_{BLOCKS_IF_MAX}$ и N_{TI} должны выбираться так, чтобы

$$N_{FEC_TI_MAX} \cdot N_{cells} \le M_{TI}, \quad (15)$$

где N_{cells} — число ячеек на FEC-блок, приведенное в таблице 25 для различных созвездий и длин FEC.

Примечание — В системе T2-Lite значение M_{TI} снижено до 2^{18}.

Для PLP, имеющих связанный с ними общий PLP, TI-ячейки M_{TI} должны быть статически разделены между PLP с данными и общим PLP таким образом, чтобы для любого одного PLP с данными из группы со связанным общим PLP выполнялось условие:

$$N_{FEC_TI_MAX}(\text{data PLP}) \cdot N_{cells}(\text{data PLP}) + \\ + N_{FEC_TI_MAX}(\text{common PLP}) \cdot N_{cells}(\text{common PLP}) \le M_{TI}. \quad (16)$$

FEC-блоки на входе должны быть сопоставлены TI-блокам в порядке возрастания индекса s. Каждый TI-блок должен быть перемежен (см. 7.6.4), а затем ячейки каждого перемеженного TI-блока должны связываться вместе для формирования выходного перемеженного TI-кадра.

7.6.4 Перемежение каждого TI-блока

7.6.4.1 Перемежитель по времени TI должен хранить в своей памяти (по одной TI-памяти на PLP) ячейки FEC-блоков, поступающие с выхода перемежителя ячеек CI.

Как правило, перемежитель по времени выполняет также функции буфера для данных PLP, предваряя процесс формирования кадра (см. раздел 9). Это обеспечивается с помощью двух банков памяти для каждого PLP. Первый TI-блок записывается в первый банк. Второй TI-блок записывается во второй банк, пока читается первый банк, и т. д. (см. рисунок 18).

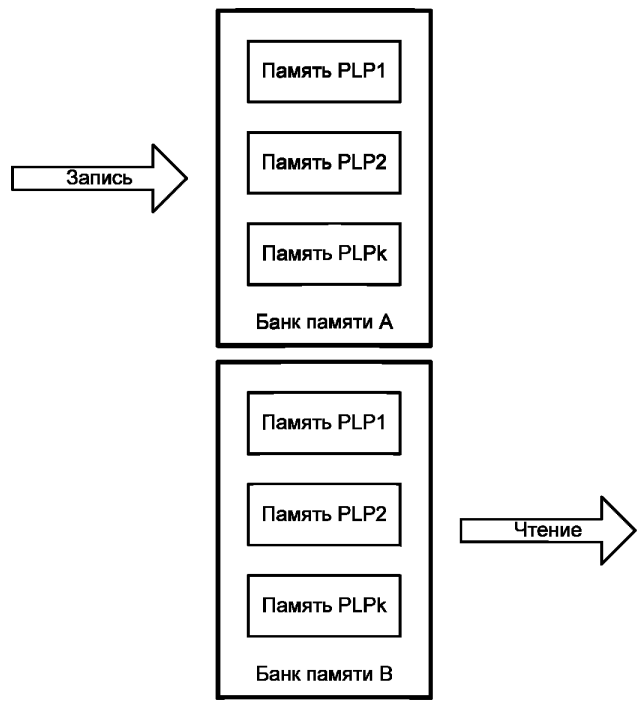


Рисунок 18 — Структура перемежителя по времени

7.6.4.2 Перемежитель по времени должен иметь структуру блокового перемежителя типа строка-столбец: число строк N_r в перемежителе равно числу ячеек в блоке FEC N_{cells}, деленному на 5, а число столбцов $N_c = 5 \cdot N_{FEC}(n, s)$, где $N_{FEC}(n, s)$ — число блоков FEC в TI-блоке с индексом s для кадра перемежения n. Следовательно, количество заполненных столбцов будет варьироваться от TI-блока к TI-блоку в зависимости от скорости его передачи. Параметры перемежителя определены в таблице 25.

Таблица 25 — Параметры перемежителя по времени

Длина блока LDPC N_{ldpc}	Вид модуляции	Число ячеек в блоке LDPC N_{cells}	Число рядов N_r
64 800	256-QAM	8100	1620
	64-QAM	10 800	2160
	16-QAM	16 200	3240
	QPSK	32 400	6480
16 200	256-QAM	2025	405
	64-QAM	2700	540
	16-QAM	4050	810
	QPSK	8100	1620

Во время работы перемежителя по времени первый блок FEC записывается по столбцам в первые пять столбцов банка памяти, второй блок FEC записывается по столбцам в следующие пять столбцов и т. д. Ячейки считываются построчно.

8 Генерация, кодирование и модуляция данных сигнализации уровня L1

8.1 Введение

Сигнализация уровня L1 предоставляет приемнику средства для доступа к каналам физического уровня, переносимым в T2-кадрах. На рисунке 19 показана структура L1-сигнализации, которая разделена на три основные части: P1-сигнализация, предварительная L1-сигнализация и завершающая L1-сигнализация. Назначение P1-сигнализации, которая переносится символом P1, состоит в указании типа передачи и основных параметров передачи. Остальные фрагменты сигнализации переносятся символом(ами) P2, который(ые) также может (могут) переносить данные. Предварительная L1-сигнализация обеспечивает прием и декодирование завершающей L1-сигнализация, которая, в свою очередь, передает параметры, необходимые приемнику для доступа к каналам физического уровня. Завершающая L1-сигнализация далее разделена на две основные части: конфигурируемую и динамическую, и за ними может следовать необязательное поле расширения. Завершающая L1-сигнализация заканчивается полем проверки CRC и при необходимости байтами заполнения.

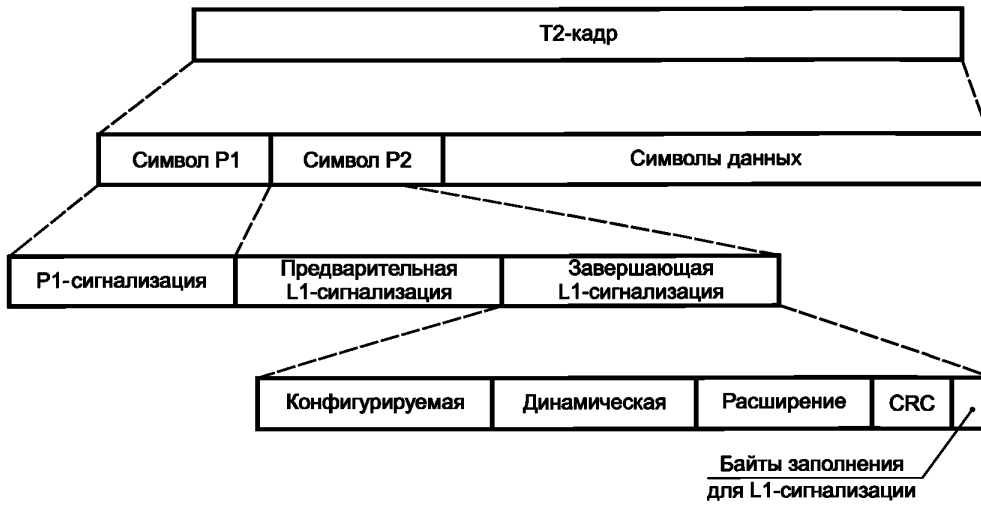


Рисунок 19 — Структура L1-сигнализации

8.2 Данные L1-сигнализации

8.2.1 Общие требования

Все данные L1-сигнализации, за исключением динамической завершающей L1-сигнализации, должны оставаться неизменными на протяжении всей продолжительности одного суперкадра. Следовательно, любые изменения, внесенные в текущую конфигурацию (т. е. содержимое предварительной L1-сигнализации или конфигурируемой части завершающей L1-сигнализации), всегда должны выполняться только в пределах границы двух суперкадров. Если не указано иное, все требования к сигнализации относятся как к профилю T2-Base, так и к профилю T2-Lite.

8.2.2 Данные P1-сигнализации

8.2.2.1 Символ P1 обеспечивает передачу семи битов для сигнализации. Поскольку преамбула (оба символа P1 и P2) может иметь разные форматы, основное назначение P1-сигнализации состоит в идентификации самой преамбулы. Переносимая в ней информация делится на две группы: первая группа (биты поля S1 в символе P1) необходима для идентификации формата символа P2 преамбулы и, следовательно, типа кадра; вторая группа сообщает приемнику основные параметры текущего режима вещания.

8.2.2.2 Параметры сигнализации с использованием поля S1 в символе P1 приведены в таблице 26.

Таблица 26 — Параметры сигнализации с использованием поля S1 в символе P1

Биты в поле S1	Формат символа P2	Описание
000	T2_SISO	Преамбула для профиля T2-Base, а часть преамбулы (символ P2) передается в формате SISO
001	T2_MISO	Преамбула для профиля T2-Base, а часть преамбулы (символ P2) передается в формате MISO
010	Non-T2	См. таблицу 28
011	T2_LITE_SISO	Преамбула для профиля T2-Lite, а часть преамбулы (символ P2) передается в формате SISO
100	T2_LITE_MISO	Преамбула для профиля T2-Lite, а часть преамбулы (символ P2) передается в формате MISO
101 110 111	Зарезервировано для использования в будущем	Эти комбинации могут использоваться в будущих системах, включая систему, содержащую как T2-кадры, так и фрагменты FEF, а также будущие системы, не определенные с учетом [1]

8.2.2.3 Поле S2.1: дополнительная информация

Первые три бита поля S2 называются полем S2.1. Когда формат преамбулы имеет тип T2_SISO, T2_MISO, T2-LITE_SISO или T2-LITE_MISO, поле S2.1 указывает размер БПФ и дает частичную информацию о защитном интервале для оставшихся символов в Т2-кадре, как описано в таблице 27. Когда формат преамбулы имеет тип Non-T2, поле S2.1 переносит сведения, указанные в таблице 28. Когда поле S1 равно одному из значений, зарезервированных для использования в будущем, значение поля S2.1 также должно быть зарезервировано для использования в будущем.

Таблица 27 — Варианты сигнализации с использованием поля S2.1 в зависимости от кодов поля S1 для преамбул профилей T2-Base и T2-Lite

Поле S2.1	Поле S2.2	Размеры БПФ и GIF для профиля T2-Base	Размеры БПФ и GIF для профиля T2-Lite	Описание
000	X	Размер БПФ = 2K; любой допустимый GIF	Размер БПФ = 2K; любой допустимый GIF	Указывает размер БПФ и относительный защитный интервал GIF символов в Т2-кадре
001	X	Размер БПФ = 8K; GIF = 1/32, 1/16, 1/8, 1/4	Размер БПФ = 8K; GIF = 1/32, 1/16, 1/8, 1/4	
010	X	Размер БПФ = 4K; любой допустимый GIF	Размер БПФ = 4K; любой допустимый GIF	
011	X	Размер БПФ = 1K; любой допустимый GIF	Размер БПФ = 16K; GIF = 1/128, 19/256, 19/128	
100	X	Размер БПФ = 16K; любой допустимый GIF	Размер БПФ = 16K; GIF = 1/32, 1/16, 1/8, 1/4	
101	X	Размер БПФ = 32K; GIF = 1/32, 1/16, 1/8	Зарезервировано для использования в будущем	
110	X	Размер БПФ = 8K; GIF = 1/128, 19/256, 19/128	Размер БПФ = 8K; GIF = 1/128, 19/256, 19/128	
111	X	Размер БПФ = 32K; GIF = 1/128, 19/256, 19/128	Зарезервировано для использования в будущем	

Таблица 28 — Варианты сигнализации с использованием поля S2.1 для преамбул типа Non-T2

Поле S2.1	Поле S2.2	Смысловое значение	Описание
000	X	Неопределенная часть фрагмента FEF	Преамбула является преамбулой фрагмента FEF, но содержание остальной части фрагмента FEF не определено в [1], поэтому преамбула может использоваться любым образом для профессиональных применений, но она не предназначена для потребительских приемников
001—111	X	Зарезервировано для использования в будущем	—

Примечание к таблицам 27, 28 — Символом «X» обозначено любое значение «смешанного» бита в поле S2.2. Этот бит указывает, относятся ли все преамбулы к одному типу или нет. Бит действителен для всех значений полей S1 и S2.1. Смысловое значение этого бита приведено в таблице 29.

Таблица 29 — Смысловые значения «смешанного» бита в полях S1 и S2.1

Поле S1	Поле S2.1	Поле S2.1	Смысловое значение	Описание
XXX	XXX	0	Отсутствие смешивания	Все преамбулы в текущей передаче имеют тот же тип, что и данная преамбула
XXX	XXX	1	Наличие смешивания	Передаются преамбулы разных типов

8.2.3 Данные предварительной L1-сигнализации

Поля данных сигнализации, входящие в состав предварительной L1-сигнализации, с указанием длительности каждого поля показаны на рисунке 20.

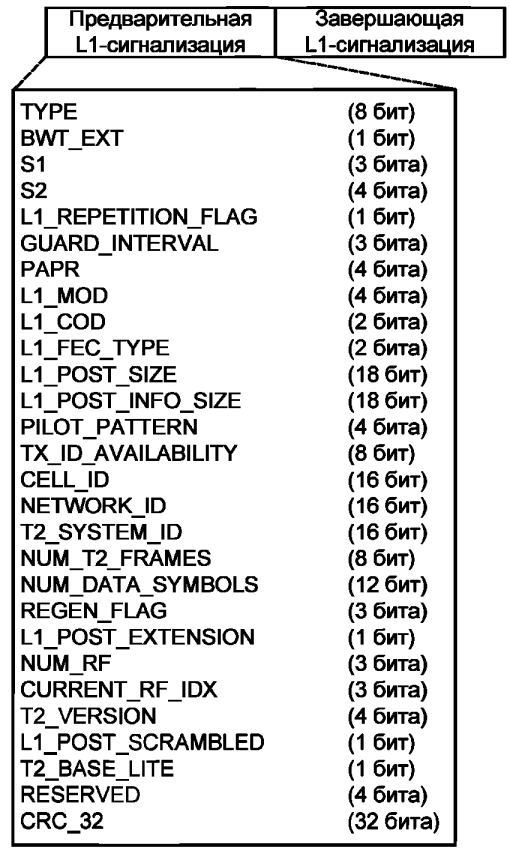


Рисунок 20 — Поля данных предварительной L1-сигнализации

Семантические определения полей данных предварительной L1-сигнализации должны соответствовать требованиям стандарта на систему DVB-T2 (см. [1]).

8.2.4 Данные завершающей L1-сигнализации

8.2.4.1 Общие требования

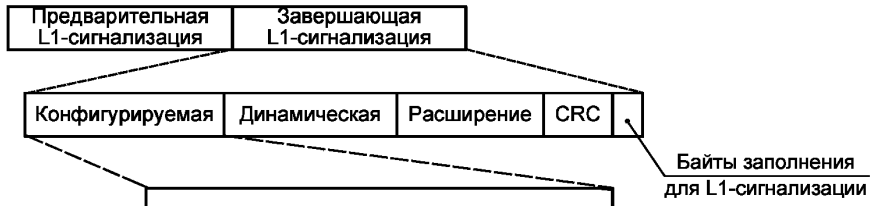
Завершающая L1-сигнализация содержит параметры, которые предоставляют для приемника достаточную информацию, чтобы декодировать заданные каналы физического уровня.

Данные завершающей L1-сигнализации должны переноситься в двух полях, первое из которых содержит конфигурируемые параметры, а второе — динамические. В состав завершающей L1-сигнализации входят также необязательное поле расширения, поле циклического контроля по избыточности CRC-32 и поле данных заполнения фиктивными битами. Конфигурируемые параметры должны всегда оставаться одинаковыми в течение одного суперкадра, в то время как динамические параметры предоставляют информацию, специфичную для текущего T2-кадра. Значения динамических параметров могут изменяться в течение одного суперкадра, тогда как размер каждого поля должен оставаться неизменным.

8.2.4.2 Поля данных конфигурируемой завершающей L1-сигнализации

Поля данных сигнализации, входящие в состав конфигурируемой завершающей L1-сигнализации, с указанием длительности каждого поля показаны на рисунке 21.

Семантические определения полей данных конфигурируемой завершающей L1-сигнализации должны соответствовать требованиям стандарта на систему DVB-T2 (см. [1]).



SUB_SLICES_PER_FRAME	(15 бит)
NUM_PLP	(8 бит)
NUM_AUX	(4 бита)
AUX_CONFIG_RFU	(8 бит)
for i=0..NUM_RF-1 {	
RF_IDX	(3 бита)
FREQUENCY	(32 бита)
}	
IF S2 =='xxx1' {	
FEF_TYPE	(4 бита)
FEF_LENGTH	(22 бита)
FEF_INTERVAL	(8 бит)
}	
for i = 0..NUM_PLP-1 {	
PLP_ID	(8 бит)
PLP_TYPE	(3 бита)
PLP_PAYLOAD_TYPE	(5 бит)
FF_FLAG	(1 бит)
FIRST_RF_IDX	(3 бита)
FIRST_FRAME_IDX	(8 бит)
PLP_GROUP_ID	(8 бит)
PLP_COD	(3 бита)
PLP_MOD	(3 бита)
PLP_ROTATION	(1 бит)
PLP_FEC_TYPE	(2 бита)
PLP_NUM_BLOCKS_MAX	(10 бит)
FRAME_INTERVAL	(8 бит)
TIME_IL_LENGTH	(8 бит)
TIME_IL_TYPE	(1 бит)
IN_BAND_A_FLAG	(1 бит)
IN_BAND_B_FLAG	(1 бит)
RESERVED_1	(11 бит)
PLP_MODE	(2 бита)
STATIC_FLAG	(1 бит)
STATIC_PADDING_FLAG	(1 бит)
}	
FEF_LENGTH_MSB	(2 бита)
RESERVED_2	(30 бит)
for i=0..NUM_AUX-1 {	
AUX_STREAM_TYPE	(4 бита)
AUX_PRIVATE_CONF	(28 бит)
}	

Рисунок 21 — Поля данных конфигурируемой завершающей L1-сигнализации

8.2.4.3 Поля данных динамической завершающей L1-сигнализации

Поля данных сигнализации, входящие в состав динамической завершающей L1-сигнализации, с указанием длительности каждого поля показаны на рисунке 22.

Семантические определения полей данных динамической завершающей L1-сигнализации должны соответствовать требованиям стандарта на систему DVB-T2 (см. [1]).

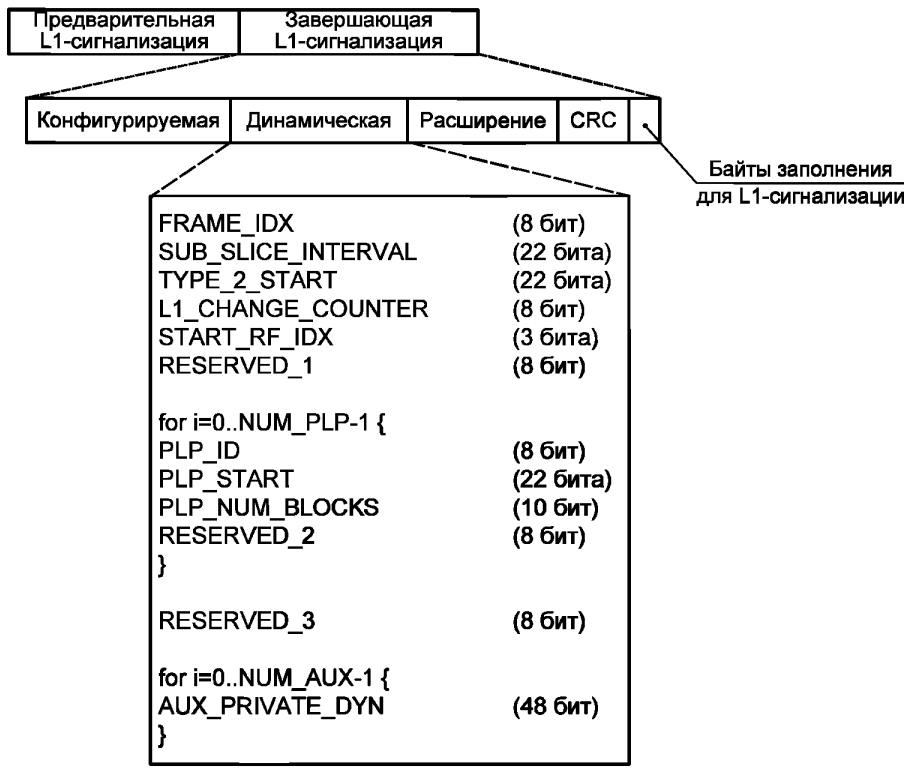


Рисунок 22 — Поля данных динамической завершающей L1-сигнализации

8.2.4.4 Повторение данных динамической завершающей L1-сигнализации

Чтобы получить повышенную надежность данных динамической части завершающей L1-сигнализации, информация может повторяться в преамбулах двух последовательных T2-кадров. Использование такого повторения должно сигнализироваться синтаксическим элементом L1_REPETITION_FLAG в предварительной L1-сигнализации.

Если флаг L1_REPETITION_FLAG установлен в '1', то в символе (символах) P2 присутствуют данные динамической завершающей L1-сигнализации для текущего и последующего T2-кадров. Таким образом, если используется повторение динамических данных, то динамическая завершающая L1-сигнализация состоит из одной конфигурируемой и двух динамических частей, как показано на рисунке 23.

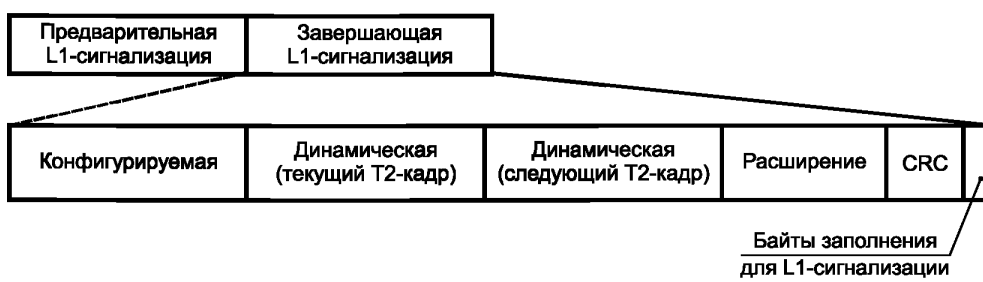


Рисунок 23 — Повторение информации динамической завершающей L1-сигнализации

Когда используется частотно-временное деление на слоты TFS, эти две части должны содержать данные динамической завершающей L1-сигнализации для следующего T2-кадра и следующего через один T2-кадра соответственно.

Завершающая L1-сигнализация не должна изменять интервал между кадрами одного суперкадра. Если должно произойти изменение конфигурации в начале суперкадра *j*, то циклы обеих частей динамической информации последнего T2-кадра в суперкадре *j* – 1 должны содержать только PLP и синтаксические конструкции AUXILIARY_STREAM, присутствующие в суперкадре *j* – 1. Если PLP или синтаксическая конструкция AUXILIARY_STREAM не присутствуют в суперкадре *j*, то поля соответствующего цикла в суперкадре *j* – 1 должны быть установлены в '0'.

8.2.4.5 Поле расширения завершающей L1-сигнализации

Поле расширения завершающей L1-сигнализации обеспечивает возможность будущего расширения L1-сигнализации. Его наличие указывается в поле L1_POST_EXTENSION предварительной L1-сигнализации.

Поле расширения завершающей L1-сигнализации (если оно присутствует) должно содержать один или несколько блоков расширения завершающей L1-сигнализации. Синтаксис каждого блока расширения должен быть таким, как показано в таблице 30.

Если присутствует более одного блока расширения, каждый блок должен идти последовательно после предыдущего блока. Блок(и) должен (должны) точно заполнять поле расширения завершающей L1-сигнализации.

Таблица 30 — Синтаксис блока расширения завершающей L1-сигнализации

Поле	Длина, бит	Описание
L1_ EXT_ BLOCK_TYPE	8	Указывает тип блока расширения завершающей L1-сигнализации (см. таблицу 38)
L1_EXT_DATA_LEN	16	Указывает длину поля L1_EXT_BLOCK_DATA в битах
L1_EXT_BLOCK_DATA	Переменная	Содержит данные, специфичные для типа блока расширения завершающей L1-сигнализации

Значения синтаксической конструкции L1_EXT_BLOCK_TYPE определены в таблице 31.

Таблица 31 — Значения синтаксической конструкции L1_EXT_BLOCK_TYPE

Значение L1_EXT_BLOCK_TYPE	Описание
00000000—11111110	Зарезервировано для использования в будущем
11111111	Дополнение L1-post блок расширения

Приемники, не обладающие возможностью определить значение конкретного блока расширения завершающей L1-сигнализации, должны игнорировать его содержимое, но должны использовать поле L1_EXT_DATA_LEN, чтобы найти следующий блок расширения завершающей L1-сигнализации, если таковой имеется.

8.2.4.6 Циклический контроль по избыточности завершающей L1-сигнализации

Циклический контроль по избыточности с помощью 32-битного кода CRC-32, обнаруживающего ошибки, должен применяться ко всей завершающей L1-сигнализации, включая ее конфигурируемую часть, динамическую часть для текущего T2-кадра, динамическую часть для следующего T2-кадра, если таковая имеется, и поле расширения, если таковое имеется. Расположение поля циклического контроля по избыточности CRC может быть найдено, исходя из длины завершающей L1-сигнализации, которая сигнализируется с помощью синтаксической конструкции L1_POST_INFO_SIZE.

8.2.4.7 Заполнение фиктивными битами при L1-сигнализации

Поле заполнения фиктивными битами может иметь переменную длину и должно вставляться после поля циклического контроля по избыточности CRC завершающей L1-сигнализации, чтобы гарантировать, что несколько блоков LDPC завершающей L1-сигнализации имеют одинаковый информационный размер, когда байты завершающей L1-сигнализации сегментируются в несколько блоков, и эти блоки кодируются отдельно. Детали того, как определить длину этого поля, описаны в 8.3.1.2. Значения битов заполнения L1-сигнализации, если таковые имеются, должны быть установлены в '0'.

8.2.4.8 Биты компенсации смещения L1-сигнализации

Биты компенсации смещения L1-сигнализации используются для уменьшения разбаланса нулей и единиц в данных L1-сигнализации. Некоторые зарезервированные поля и часть поля расширения L1-сигнализации, если таковое имеется, могут использоваться для компенсации смещения и могут быть установлены в соответствии с алгоритмом, описанным в данном подпункте. Другие алгоритмы также могут использоваться для установки этих битов.

Смещение измеряется для каждого T2-кадра (до установки значений битов компенсации смещения) путем вычисления значения N_{bias} ($N_{bias} = N_{b0} - N_{b1}$) для текущего T2-кадра, где N_{b0} — это число нулей, а N_{b1} — это число единиц в тех частях L1-сигнализации, которые подвергаются проверке. Части L1-сигнализации, подлежащие проверке, должны включать в себя все биты предварительной и завершающей L1-сигнализации, кроме следующих полей:

- поля CRC;
- поля заполнения фиктивными битами L1-сигнализации;
- зарезервированных полей предварительной и завершающей L1-сигнализации, используемых для компенсации смещения;
- поля L1_EXT_BLOCK_DATA для любого блока расширения завершающей L1-сигнализации, для которого значение L1_EXT_BLOCK_TYPE = '11111111'.

Алгоритм компенсации смещения состоит в следующем.

N_{res} — число битов, используемых для компенсации смещения (т. е. общее число битов в зарезервированных полях и соответствующей части поля расширения L1-сигнализации, если таковое имеется). Первые N_1 из общего числа битов N_{res} в порядке их появления должны быть установлены в значение '1', а остальные, если они присутствуют, должны быть установлены в значение '0', где

$$N_1 = \begin{cases} 0 & \text{при} \quad N_{bias} < -N_{res} \\ \left\lfloor \dfrac{N_{bias} + N_{res}}{2} \right\rfloor & \text{при} \quad |N_{bias}| \le N_{res} \\ N_{res} & \text{при} \quad N_{bias} > N_{res} \end{cases}. \qquad (17)$$

Примечание — Если требуется, чтобы несколько модуляторов выдавали идентичный выходной сигнал при одинаковом входном сигнале, например при работе в одночастотной сети, то необходимо, чтобы биты компенсации смещения вместе с другими составляющими сигнала были установлены в одном центральном месте системы, таком как T2-шлюз.

8.3 Модуляция и кодирование с исправлением ошибок для данных L1-сигнализации

8.3.1 Общие требования

8.3.1.1 Кодирование с исправлением ошибок и модуляция для предварительной L1-сигнализации

Данные предварительной L1-сигнализации защищены с помощью каскадного кода, состоящего из внешнего кода БЧХ и внутреннего кода LDPC. Последовательности битов предварительной L1-сигнализации имеют фиксированную длину, и они должны сначала кодироваться кодом БЧХ, в результате чего биты проверки четности кода БЧХ должны добавляться к битам предварительной L1-сигнализации. Получаемые объединенные последовательности битов предварительной L1-сигнализации и контроля четности БЧХ затем кодируются укороченным выколотым кодом 16K LDPC с кодовой скоростью 1/4 (N_{ldpc} = 16 200). Следует отметить, что эффективная кодовая скорость кода 16K LDPC с кодовой скоростью 1/4 равна 1/5 (эффективная кодовая скорость определяется как длина информационной последовательности, отнесенная к полной длине последовательности на выходе кодера).

При проведении операции укорочения используется входной параметр K_{sig}, который должен быть равен 200, что эквивалентно длине битовой группы информации предварительной L1-сигнализации K_{pre}.

Входной параметр N_{punc}, используемый при проведении операции выкалывания, соответствует числу проверочных битов кода LDPC, которые должны быть выколоты, вычисляют по формуле

$$N_{punc} = \left(K_{bch} - K_{sig}\right) \cdot \left(\frac{1}{R_{eff}} - 1\right) = 11488, \qquad (18)$$

где K_{bch} — количество информационных битов кода БЧХ, равное 3072;

R_{eff} — эффективная кодовая скорость LDPC, равная 1/5 для предварительной L1-сигнализации.

После операций укорочения и выкалывания кодированные биты предварительной L1-сигнализации должны отображаться в $(K_{sig} + N_{bch_parity})/R_{eff} = 1840$ символов модуляции BPSK, где N_{bch_parity} — число проверочных битов кода БЧХ, равное 168 для кодов 16K LDPC.

8.3.1.2 Кодирование с исправлением ошибок и модуляция для завершающей L1-сигнализации

Число битов завершающей L1-сигнализации является переменным, и эти биты должны передаваться как один или нескольким блоков кода 16K LDPC в зависимости от числа битов завершающей L1-сигнализации. Число блоков LDPC для завершающей L1-сигнализации $N_{post_FEC_Block}$ должно быть определено следующим образом:

$$N_{post_FEC_Block} = \left\lceil \frac{K_{post_ex_pad}}{K_{bch}} \right\rceil. \quad (19)$$

Для кода 16K LDPC с кодовой скоростью 1/2 (эффективная кодовая скорость 4/9) число информационных битов кода БЧХ $K_{bch} = 7032$, а число информационных битов завершающей L1-сигнализации, исключая поле заполнения L1_PADDING (см. 8.2.4.7), $K_{post_ex_pad}$ может быть найдено путем добавления числа 32 к значению параметра L1_POST_INFO_SIZE.

Длину $K_{L1_PADDING}$ поля заполнения L1_PADDING вычисляют по формуле

$$K_{L1_PADDING} = \left\lceil \frac{K_{post_ex_pad}}{N_{post_FEC_Block}} \right\rceil \cdot N_{post_FEC_Block} - K_{post_ex_pad}. \quad (20)$$

Конечную длину последовательности битов K_{post} всей завершающей L1-сигнализации, включая поле заполнения, вычисляют по формуле

$$K_{post} = K_{post_ex_pad} + K_{L1_PADDING}. \quad (21)$$

8.3.2 Скремблирование и кодирование с исправлением ошибок

8.3.2.1 Скремблирование информационных битов завершающей L1-сигнализации

В том случае, когда бит L1_POST_SCRAMBLED установлен в значение '1', все биты каждого блока завершающей L1-сигнализации с информационной длиной K_{sig} должны скремблироваться.

Каждый из блоков $N_{post_FEC_Block}$ завершающей L1-сигнализации должен быть скремблирован. Последовательность скремблирования должна быть синхронной с блоком завершающей L1-сигнализации, начиная с наибольшего значащего бита и заканчивая прохождением всех битов K_{sig}.

Скремблирующая псевдослучайная последовательность должна быть одинаковой для блоков завершающей L1-сигнализации и для потоковых кадров BBFRAMES. Она должна быть произведена регистром сдвига с логической обратной связью. Полином генератора псевдослучайной двоичной последовательности (PRBS) должен быть следующего вида:

$$g_{scr}(x) = 1 + x^{14} + x^{15}. \quad (22)$$

Процесс скремблирования должен предваряться загрузкой последовательности инициализации (100101010000000) в регистр генератора в начале каждого блока завершающей L1-сигнализации.

8.3.2.2 Заполнение нулями информационных битов кода БЧХ

Биты K_{sig}, определенные в 8.3.1.1 и 8.3.1.2 и при необходимости скремблированные в соответствии с 8.3.2.1, после кодирования кодом БЧХ должны быть закодированы в кодовое слово 16K LDPC ($N_{ldpc} = 16\,200$).

Если K_{sig} менее, чем число информационных битов кода БЧХ K_{bch} для данной кодовой скорости, то код БЧХ будет укорочен. Часть укороченных позиций кода БЧХ, являющихся информационными битами кода 16K LDPC, должна быть дополнена нулями, чтобы заполнить недостающие информационные биты K_{bch}. Биты заполнения не должны передаваться.

Параметры информационных групп битов K_{bch} и K_{ldpc} для кодов БЧХ и LDPC приведены в таблице 32 для предварительной и завершающей L1-сигнализации.

Таблица 32 — Параметры групп битов K_{bch} и K_{ldpc} для предварительной и завершающей L1-сигнализации

L1-сигнализация	K_{bch}	K_{ldpc}
Предварительная	3072	3240
Завершающая	7032	7200

Из таблицы 32 следует, что $K_{ldpc} - K_{bch} = 168$ бит. Каждая группа битов X_j с индексом $0 \le j \le N_{group}-2$ имеет длину 360 битов. Длина последней группы битов равна $X_{N_{group}-1} = 360 - (K_{ldpc} - K_{bch}) = 192$ бита.

Соотношения между входными информационными и выходными кодированными группами битов для кодов БЧХ и LDPC показаны на рисунке 24.

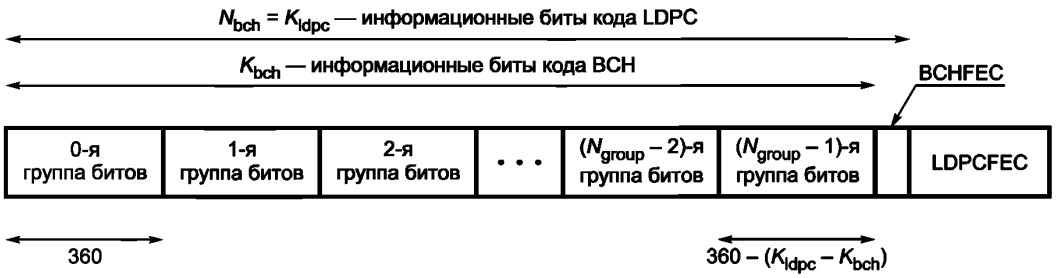


Рисунок 24 — Формат групп битов после LDPC-кодирования данных L1-сигнализации

8.3.2.3 Кодирование кодом БЧХ

Информационные биты K_{bch} (включая $K_{bch} - K_{sig}$ битов заполнения нулями) должны сначала кодироваться кодом БЧХ (см. 7.2.2), чтобы произвести $N_{bch} = K_{ldpc}$ выходных (кодированных) битов БЧХ, т. е. входных (информационных) битов LDPC $K_{ldpc} = \left(i_0 \ldots i_{N_{bch}-1}\right)$.

8.3.2.4 Кодирование кодом LDPC

Выходные биты $N_{bch} = K_{ldpc} = \left(i_0 \ldots i_{N_{bch}-1}\right)$ от кодера БЧХ, включая биты заполнения нулями ($K_{bch} - K_{sig}$) и биты четности БЧХ ($K_{ldpc} - K_{bch}$), формируют информационные биты K_{ldpc} для кодера LDPC $I = \left(i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1}\right)$. Кодер LDPC должен систематически кодировать информационные биты K_{ldpc} в кодовое слово Λ размера N_{ldpc} (см. 7.2.3.1):

$$\Lambda = \left(i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \ldots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1}\right). \quad (23)$$

8.3.2.5 Выкалывание проверочных битов кода LDPC

В ходе операции укорочения при кодировании битов сигнализации некоторые проверочные биты кода LDPC должны быть выколоты после кодирования LDPC. Эти выколотые биты не должны передаваться.

Все проверочные биты $N_{ldpc} - K_{ldpc}$ кода LDPC, обозначенные $\left\{p_0, p_1, \ldots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1}\right\}$, делятся на группы проверочных битов длиной Q_{ldpc}, где каждая группа проверочных битов формируется из подмножества проверочных битов кода LDPC $N_{ldpc} - K_{ldpc}$ следующим образом:

$$P_j = \left\{ p_k \,\middle|\, k \bmod Q_{ldpc} = j, 0 \le k < N_{ldpc} - K_{ldpc} \right\} \quad \text{для} \quad 0 \le j < Q_{ldpc}, \quad (24)$$

где P_j представляет j-ю проверочную группу, а Q_{ldpc} приведен в таблице 9. Каждая группа состоит из $(N_{ldpc} - K_{ldpc})/Q_{ldpc} = 360$ битов, как показано на рисунке 25.

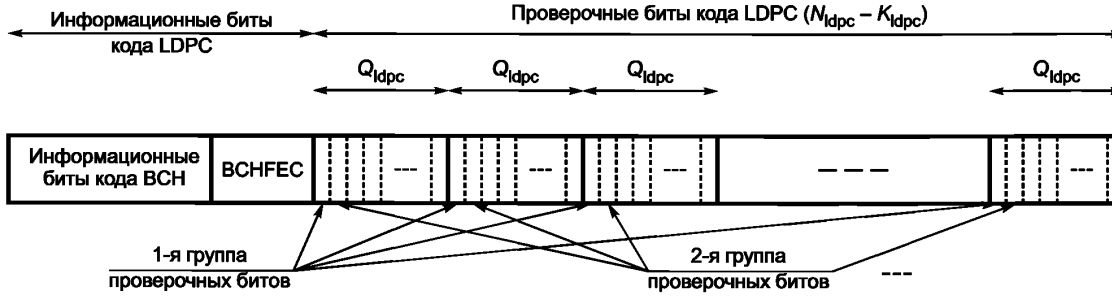


Рисунок 25 — Группы проверочных битов в FEC-блоке

Для заданного числа проверочных битов, подлежащих выкалыванию, N_{punc}, приведеного в 8.3.1.1 и 8.3.1.2, на первом шаге следует вычислить число групп, в которых должны быть выколоты все биты четности N_{punc_groups}:

$$N_{punc_groups} = \left\lfloor \frac{N_{punc}}{360} \right\rfloor \text{ для } 0 \le N_{punc} < N_{ldpc} - K_{ldpc}. \quad (25)$$

Затем в соответствии с алгоритмом работы блока выкалывания (см. [1]) следует вычислить операторы перестановки и определить последовательность перестановки групп проверочных битов, которые подлежат выкалыванию для предварительной и завершающей L1-сигнализации.

8.3.2.6 Удаление битов заполнения нулями

Биты заполнения нулями $K_{bch} - K_{sig}$ должны быть удалены и не должны передаваться. При этом остающееся слово состоит из K_{sig} информационных битов, за которыми следуют 168 проверочных битов кода БЧХ и $N_{ldpc} - K_{ldpc} - N_{punc}$ проверочных битов кода LDPC.

8.3.2.7 Перемежение битов завершающей L1-сигнализации

Когда для завершающей L1-сигнализации используется модуляция 16-QAM или 64-QAM, кодовое слово кода LDPC длиной N_{post}, состоящее из информационных битов K_{sig}, 168 проверочных битов кода БЧХ и 9000 – N_{punc} проверочных битов кода LDPC, должно быть подвергнуто перемежению по битам с использованием блокового перемежителя. Основные параметры перемежителя по битам для каждого вида модуляции приведены в таблице 33.

Кодовое слово LDPC последовательно записывается в перемежитель по столбцам и последовательно считывается построчно (наибольший значащий бит сигнала завершающей L1-сигнализации считывается первым), как показано на рисунке 26.

Таблица 33 — Структура перемежителя по битам

Модуляция	Кодовая скорость	Число рядов N_r	Число столбцов N_c
16-QAM	1/2	$N_{post}/8$	8
64-QAM	1/2	$N_{post}/12$	12

Когда используется модуляция BPSK или QPSK, перемежение по битам не должно применяться.

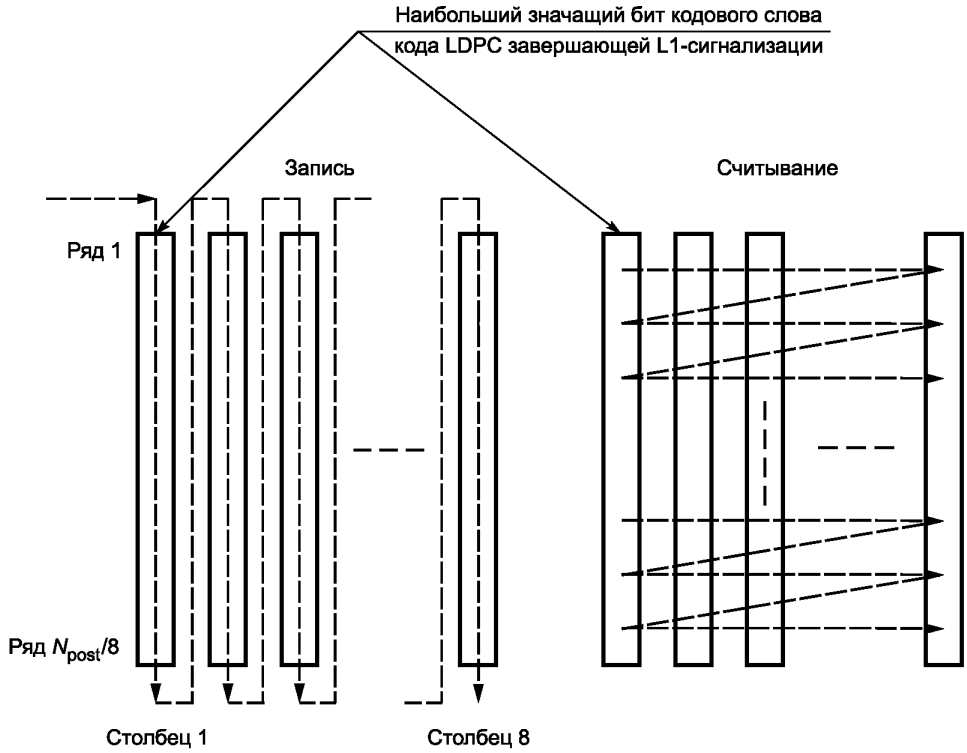


Рисунок 26 — Схема перемежения по битам сигнала завершающей L1-сигнализации при модуляции 16-QAM

8.3.3 Отображение битов на сигнальные созвездия

8.3.3.1 Общие требования

Каждое перемеженное по битам кодовое слово LDPC должно отображаться на сигнальные созвездия. Каждый бит предварительной L1-сигнализации отображается непосредственно в сигнальное созвездие модуляции BPSK в соответствии с 8.3.3.3, тогда как завершающая L1-сигнализация сначала демультиплексируется в слова-ячейки в соответствии с 8.3.3.2, а затем слова-ячейки отображаются в созвездия согласно 8.3.3.3. Созвездия предварительной и завершающей L1-сигнализации затем преобразуются в соответствии с алгоритмом L1-ACE, определенным в 8.3.3.4.

8.3.3.2 Демультиплексирование завершающей L1-сигнализации

Каждое перемеженное по битам выколотое и укороченное кодовое слово кода LDPC, т. е. последовательность битов N_{post} вида $V = \left(v_0, ..., v_{N_{post}-1}\right)$, где $N_{post} = K_{sig} + 168 + 9000 - N_{punc}$, должно отображаться на сигнальные созвездия посредством демультиплексирования входных битов в параллельные слова-ячейки, с последующим отображением этих слов из ячеек в значения точек сигнальных созвездий. Число выходных ячеек с данными и эффективное число бит на ячейку η_{MOD} определены в таблице 34.

Таблица 34 — Параметры отображения на сигнальные созвездия

Вид модуляции	Эффективное число бит на ячейку η_{MOD}	Число выходных ячеек с данными на кодовое слово	Число подпотоков $N_{substreams}$
BPSK	1	N_{post}	1
QPSK	2	$N_{post}/2$	2
16-QAM	4	$N_{post}/4$	8
64-QAM	6	$N_{post}/6$	12

Входной поток битов v_{di} должен быть демультиплексирован в несколько подпотоков общим числом $N_{substreams}$. Значение $N_{substreams}$ определено в таблице 34. Для модуляции QPSK, 16-QAM и 64-QAM параметры демультиплексирования должны соответствовать указанным в 7.3.2. Для модуляции BPSK входной и выходной номера битов равны 0, и в этом случае демультиплексирование не осуществляется.

Для модуляции 16-QAM и 64-QAM выходные слова демультиплексора шириной $N_{substreams}$ $[b_{0,do} \dots b_{N_{substreams}-1,do}]$ разделяются на два слова шириной $\eta_{MOD} = N_{substreams}/2$ $[y_{0,\ 2do} \cdots y_{\eta_{mod}-1,\ 2do}]$ и $[y_{0,\ 2do+1} \cdots y_{\eta_{mod}-1,\ 2do+1}]$ (см. 7.3.2). Для модуляции BPSK и QPSK выходные слова передаются непосредственно в устройство формирования созвездия, поэтому $[y_{0,\ 2do} \cdots y_{\eta_{mod}-1,\ 2do}] = [b_{0,do} \dots b_{N_{substreams}-1,do}]$.

8.3.3.3 Отображение на квадратурные оси I/Q сигнальных созвездий

Согласно 7.3.3 биты предварительной L1-сигнализации $y_{0,q}$ и слова-ячейки завершающей L1-сигнализации $[y_{0,q} \dots y_{\eta_{mod}-1,q}]$ отображаются на созвездия f_pre_q и f_post_q соответственно, где q является индексом ячеек в каждом кодовом слове LDPC с перемежением битов. Для предварительной L1-сигнализации $0 \le q < 1840$, а для завершающей L1-сигнализации $0 \le q < N_{MOD_per_Block}$. Кодированные и модулированные ячейки завершающей L1-сигнализации, соответствующие каждому кодовому слову T2-кадра с номером m, затем объединяются для формирования единого блока ячеек $f_post_{m,i}$, где i — индекс ячеек в одном блоке $0 \le i < N_{MOD_Total}$. Кодированные и модулированные ячейки предварительной L1-сигнализации для T2-кадра с номером m формируют единый блок ячеек $f_pre_{m,i}$, где i — индекс ячеек в пределах одного блока $0 \le i < 1840$.

8.3.3.4 Модификация сигнальных созвездий L1-сигнализации по алгоритму L1-ACE

Если в поле T2_VERSION (см. 8.2.3) установлено значение более чем '0000', то для дальнейшего уменьшения смещения в L1-сигнализации должна применяться небольшая модификация модулированных ячеек L1-сигнализации. Модифицирующий алгоритм L1-ACE, который должен применяться ко всем ячейкам с модуляцией BPSK предварительной L1-сигнализации и ко всем ячейкам завершающей L1-сигнализации, независимо от того, какой тип сигнального созвездия используется для ячеек завершающей L1-сигнализации (см. [1, подпункт 8.3.3.4]).

9 Кадровая структура сигнала системы DVB-T2

9.1 Общие положения

9.1.1 С точки зрения формирования кадровых структур сигнала есть основное разделение на структуру физического кадра (суперкадры, T2-кадры и символы OFDM) и на структуру логического кадра (потоковые кадры BBFRAMEs, перемеженные кадры и TI-блоки). Структура физического кадра распространяется на всю систему, в то время как структура логического кадра является концепцией, специфичной для PLP, и может иметь различные параметры для каждого PLP.

9.1.2 Общим элементом для физической и логической кадровых структур является ячейка OFDM. Ячейка OFDM — это часть сигнала OFDM, соответствующая одной несущей в одном символе OFDM, которая может быть модулирована данными, порождающими одну точку сигнального созвездия, пилот-сигналом или зарезервированной несущей подсистемы компенсации пиков сигнала OFDM. Термин «ячейка OFDM» также используется для обозначения значения модуляции для ячейки, так как многие операции выполняются с этими объектами, прежде чем они окончательно будут сопоставлены конкретному символу и несущей.

9.2 Кадровая структура на физическом уровне

9.2.1 Структура суперкадра

9.2.1.1 Информация, передаваемая в системе DVB-T2 на физическом уровне, должна иметь регулярную структуру и быть организована в суперкадры, T2-кадры и символы OFDM. Каждый символ OFDM структурно разделен на ячейки, соответствующие отдельно взятой модулированной несущей в пределах одного символа. Ячейка является общим элементом для физической и логической кадровых структур. Кадровая структура системы DVB-T2 на физическом уровне показана на рисунке 27.

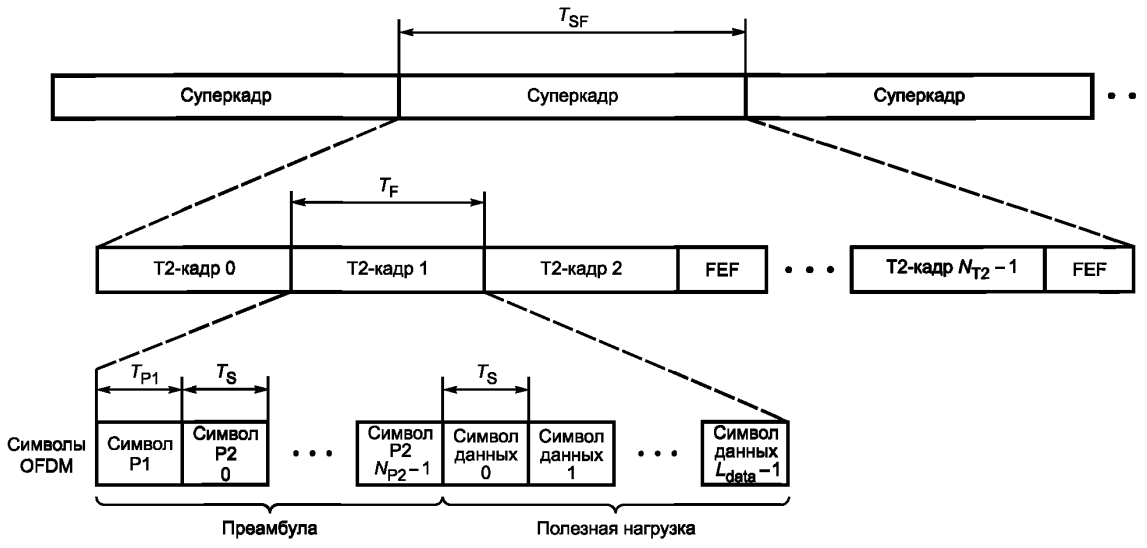


Рисунок 27 — Структура кадров системы DVB-T2 на физическом уровне

9.2.1.2 Наибольшим структурным элементом системы DVB-T2 является суперкадр. Каждый суперкадр имеет длительность T_{SF}, и он может включать в себя Т2-кадры и фрагменты FEF, как показано на рисунке 28.

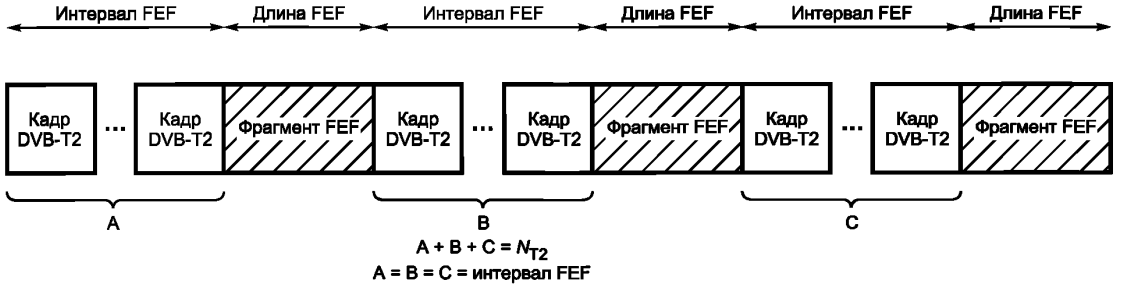


Рисунок 28 — Суперкадр, включающий Т2-кадры и фрагменты FEF

9.2.1.3 Число N_{T2} Т2-кадров в одном суперкадре является настраиваемым параметром, сигнализируемым с помощью синтаксического элемента NUM_T2_FRAMES в предварительной L1-сигнализации: число N_{T2} = NUM_T2_FRAMES. Кадры Т2 должны иметь нумерацию от 0 до N_{T2}–1. Текущий Т2-кадр сигнализируется с помощью синтаксического элемента FRAME_IDX в динамической завершающей L1-сигнализации.

9.2.1.4 Фрагмент FEF может быть вставлен между Т2-кадрами. В суперкадре может быть несколько фрагментов FEF, но фрагмент FEF не должен быть смежным с другим фрагментом FEF. Расположение во времени частей FEF сигнализируется с использованием структуры суперкадра. Длительность суперкадра T_{SF} вычисляют по формуле

$$T_{SF} = N_{T2} \cdot T_F + N_{FEF} \cdot T_{FEF}, \quad (26)$$

где N_{FEF} — число фрагментов FEF в суперкадре;

T_{FEF} — продолжительность фрагмента FEF, которая сигнализируется с помощью синтаксической конструкции FEF_LENGTH. Число N_{FEF} может быть рассчитано по формуле

$$N_{FEF} = N_{T2}/\text{FEF_interval}. \quad (27)$$

Максимальное число Т2-кадров в суперкадре равно 255. Максимальная длина Т2-кадра составляет 250 мс, а максимальная длина фрагмента FEF составляет 250 мс. Кадры Т2 могут иметь длину, отличную от фрагментов FEF. Однако все Т2-кадры в суперкадре должны иметь одинаковую длину.

Фрагмент FEF может быть введен после каждого Т2-кадра, поэтому число фрагментов FEF в суперкадре может составлять от 0 до 255. Если используются FEF-кадры, то число Т2-кадров между двумя фрагментами FEF должно быть сообщено по каналу сигнализации. Если используются фрагменты FEF, суперкадр должен заканчиваться фрагментом FEF.

Максимальная длина суперкадра без использования фрагментов FEF составляет 255 · 250 мс = 63,75 с, при использовании фрагментов FEF максимальная длина суперкадра равна 255 · 2 · 250 мс = 127,5 с.

Предварительная L1-сигнализация и конфигурируемая часть завершающей L1-сигнализации могут быть изменены только на границе двух суперкадров.

9.2.1.5 Канал PLP с данными не обязательно должен вводиться в каждый Т2-кадр в суперкадре. Он может пропускать несколько Т2-кадров. Этот интервал пропуска кадров I_{JUMP} должен задаваться с помощью значения 8-битового поля синтаксической конструкции FRAME_INTERVAL в конфигурируемой завершающей L1-сигнализации. Для PLP, которые не размещаются в каждом кадре суперкадра, значение поля FRAME_INTERVAL должно равняться интервалу между последовательными кадрами. Например, если PLP присутствует в кадрах 1, 4, 7 и т. д., то значение этого поля должно быть установлено в '3'. Для PLP, которые появляются в каждом Т2-кадре, значение этого поля должно быть установлено в '1'.

Первый кадр, в котором появляется PLP с данными, должен сигнализироваться с помощью синтаксической конструкции FIRST_FRAME_IDX. Синтаксические конструкции FRAME_INTERVAL и FIRST_FRAME_IDX должны размещаться в конфигурируемой завершающей L1-сигнализации (см. 8.2.4.2).

Чтобы иметь уникальное отображение PLP с данными между суперкадрами, число Т2-кадров в одном суперкадре N_{T2} должно делиться на значение FRAME_INTERVAL для каждого PLP с данными. Число N_{T2} должно быть выбрано так, чтобы для каждого PLP с данными имело место целое число кадров перемежения на суперкадр.

9.2.2 Структура Т2-кадра

9.2.2.1 Назначение Т2-кадров состоит в переносе каналов PLPs и информации L1-сигнализации. Таким образом, Т2-кадр переносит службы DVB-T2 и соответствующую сигнализацию. Фрагменты FEF предназначены для обеспечения возможности гибкого смешивания служб, определенных в текущей версии стандарта на систему DVB-T2, и служб, которые предположительно будут определены в версиях стандарта [2]. Фрагменты FEF могут быть пустыми, т. е. не содержать никаких данных. Приемник, разработанный для приема сигналов DVB-T2, должен быть в состоянии обнаруживать и правильно обрабатывать фрагменты FEF, чтобы исключить нарушение приема Т2-кадров.

9.2.2.2 Каждый Т2-кадр имеет длительность T_F и состоит из L_F символов OFDM. Символы в кадре OFDM (за исключением символа P1) должны иметь номера от 0 до L_F–1. Все символы содержат данные и опорную информацию.

Кадр DVB-T2 должен состоять:

- из символа P1, который используется для идентификации преамбулы и для синхронизации;
- одного и более символов P2, которые передают параметры L1-сигнализации о конфигурации физического уровня;
- символов регулярных данных, которые содержат все данные, передаваемые в PLP;
- символа закрытия кадра (для некоторых параметров).

Символы P1 отличаются от обычных символов OFDM и вставляются позже.

9.2.2.3 Каждый Т2-кадр состоит из символов OFDM и начинается с символа P1. Аналогично, каждая часть FEF-кадра начинается с символа P1. Наибольший интервал времени между двумя последовательными символами P1 не должен превосходить 250 мс.

Число символов P2 N_{P2} зависит от размера БПФ и определено в таблице 35 (см. также [5]).

Таблица 35 — Число символов P2 N_{P2} для каждого размера БПФ

Размер БПФ	N_{P2}
1K	16
2K	8

Окончание таблицы 35

Размер БПФ	N_{P2}
4K	4
8K	2
16K	1
32K	1

9.2.2.4 Продолжительность T2-кадра определяется размером БПФ, защитным интервалом и числом используемых символов OFDM. Максимально допустимая длина T2-кадра составляет 250 мс, что накладывает ограничение на максимальное число символов OFDM L_F для разных размеров БПФ и защитных интервалов, как показано в таблице 36 (см. также [5]).

Таблица 36 — Максимальная длительность кадра L_F, выраженная в символах OFDM, включая символы P2 и данных, для различных размеров БПФ и относительных защитных интервалов в каналах с шириной полосы 8 МГц

Размер БПФ	T_U, мс	Число символов OFDM в кадре длиной L_F в зависимости от размера БПФ и относительного защитного интервала						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	3,584	68	66	64	64	60	60	—
16K	1,792	138	135	131	129	123	121	111
8K	0,896	276	270	262	259	247	242	223
4K	0,448	—	540	524	519	495	485	446
2K	0,224	—	1081	1049	1038	991	970	892
1K	0,112	—	—	2098	2076	1982	1941	1784

Длину T2-кадра T_F вычисляют по формуле

$$T_F = L_F \cdot T_S + T_{P1}, \quad (28)$$

где T_S — общая продолжительность символа OFDM, вычисляемая по формуле

$$T_S = T_U + T_G = T_U \cdot (1+ \text{GIF}), \quad (29)$$

где GIF — относительный защитный интервал, а продолжительность символа P1 составляет 0,224 мс.

Число символов OFDM L_F включает в себя все символы P2 и символы данных L_{data}, в результате чего $L_F = N_{P2} + L_{data}$.

9.2.2.5 Символы P2 и символы данных переносят L1-сигнализацию, каналы PLP и вспомогательные потоки. L1-сигнализация всегда должна передаваться в символах P2, но не в символах данных. Каналы PLP и вспомогательные потоки могут переноситься в символах P2 или в символах данных. Структура T2-кадра изображена на рисунке 29 (см. также [5]). Пример подробной структуры T2-кадра с отображением L1-сигнализации, каналов PLP и вспомогательных потоков на символы OFDM показан на рисунке 30.

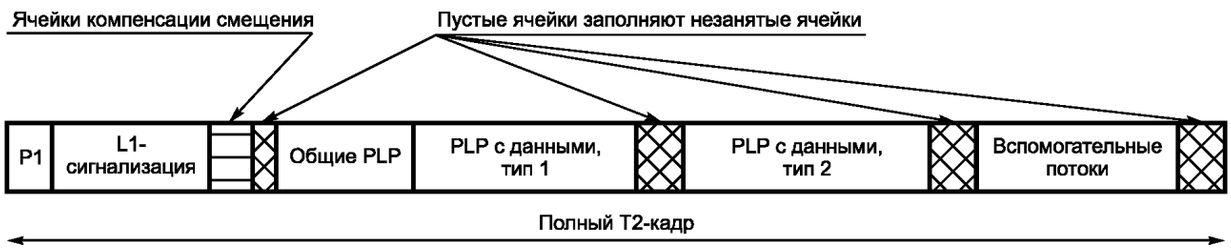


Рисунок 29 — Структура T2-кадра

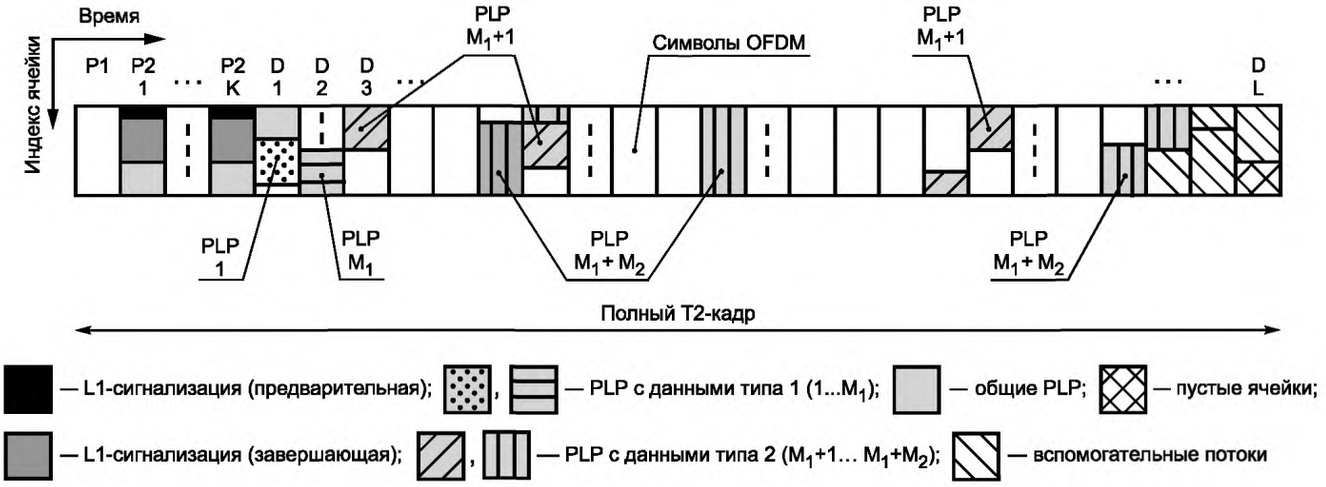


Рисунок 30 — Подробная структура Т2-кадра с отображением L1-сигнализации, каналов PLP и вспомогательных потоков на символы OFDM Т2-кадра

9.2.3 Структура и защитные интервалы символа OFDM

9.2.3.1 Каждый символ OFDM состоит из набора K_{total} несущих OFDM, передаваемых в течение времени символа OFDM T_S. Каждая ячейка помечается своим номером $c_{m,l,k}$, где m — номер кадра в суперкадре, l — номер символа в кадре, k — номер несущей в символе. Номер несущей в символе должен выбираться из интервала $k \in [K_{min}; K_{max}]$.

9.2.3.2 Каждый символ OFDM должен иметь длительность T_S и состоять из двух частей: полезной части с длительностью T_U и защитного интервала с длительностью T_G. Защитный интервал предшествует полезной части символа и является повторением последней части символа, частью которого он является. В каждом из возможных режимов вещания (размеров БПФ) системы DVB-T2 могут быть использованы семь значений относительного защитного интервала T_G/T_U.

9.2.3.3 Абсолютные значения длительности защитного интервала T_G при различных значениях размера БПФ и соответствующих им полезной части символа с длительностью T_U для канала с шириной полосы частот 8 МГц представлены в таблице 37 (см. также [5]).

Таблица 37 — Длительность защитного интервала в мкс для каналов 8 МГц

Размер БПФ	T_U, мс	Длительность защитного интервала T_G, мкс, в зависимости от размера БПФ для данного относительного защитного интервала T_G/T_U						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	3,584	28	112	224	266	448	532	—
16K	1,792	14	56	112	133	224	266	448
8K	0,896	7	28	56	66,5	112	133	224
4K	0,448	—	14	28	n/a	56	—	112
2K	0,224	—	7	14	n/a	28	—	56
1K	0,112	—	—	7	n/a	14	—	28

9.3 Кадровая структура на логическом уровне

9.3.1 Пакеты

Каналы PLP могут переносить пакеты, включая пакеты транспортного потока MPEG-2 или пакеты других типов, используемые общими потоками GS. Они также могут переносить непрерывные непакетированные потоки. Заголовок BBFRAME предоставляет механизм для восстановления пакетов в приемнике, но кадрирование самого сигнала DVB-T2 обычно не зависит от какой-либо структуры пакета, которую могут иметь входные потоки.

9.3.2 Логические объекты BBFRAMEs, FECFrames и FEC-блоки

9.3.2.1 Потоковые кадры BBFRAMEs

Потоковые кадры BBFRAME являются основной единицей в структуре логического кадрирования DVB-T2: распределение и планирование передачи кадров выполняются для целых чисел BBFRAME. Когда переносятся пакетированные потоки, пакеты могут сопоставляться кадрам BBFRAME либо синхронно, либо асинхронно, при этом каждый BBFRAME может содержать целое число пакетов, или пакеты могут быть фрагментированы по двум BBFRAME. Потоковые кадры BBFRAME содержат заголовок, включающий длину пакета и положение первого пакета, что позволяет восстановить исходные пакеты в приемнике. Потоковые кадры BBFRAME могут содержать байты заполнения, если данных недостаточно для всего BBFRAME или желательно не фрагментировать пакеты. Поле заполнения также может использоваться для внутриполосной L1-сигнализации. Общий размер каждого кадра BBFRAME, включая любые заполнения и/или внутриполосную сигнализацию, является постоянным для данного канала PLP и зависит от кодовой скорости LDPC и от того, используются короткие или длинные блоки кодозащиты FEC (см. 7.2.1).

9.3.2.2 Кадры кодозащиты FECFRAMES

Потоковый кадр, дополненный заголовком, обрабатывается как информационное слово, подлежащее кодированию кодами БЧХ и LDPC. Результирующее кодовое слово, называемое FECFRAME, всегда должно содержать 64 800 или 16 200 битов. Две разные длины FECFRAME соответствуют выбору длинных или коротких блоков кодозащиты FEC соответственно. Короткие блоки FEC обеспечивают более высокую степень детализации битовой скорости, но требуют большей служебной нагрузки, что немного ухудшает производительность по сравнению с длинными блоками. В профиле T2-lite системы используются только короткие FEC-блоки, что снижает сложность декодера (см. [5]).

9.3.2.3 Блоки кодозащиты FEC Blocks

Биты блоков FECFRAME подвергаются перемежению с объединением в слова, которые затем отображаются на точки сигнального созвездия или ячейки OFDM. Набор точек созвездия, соответствующих одному блоку FECFRAME, называется FEC-блок. Поэтому количество ячеек в FEC-блоке зависит как от вида модуляции QAM, так и от выбора длинных или коротких FEC-блоков для конкретного канала PLP.

9.3.2.4 Кадры перемежения Interleaving Frames

Кадры перемежения находят применение при планировании передачи пакетов и кадров, определении полей L1-сигнализации, вставке внутриполосной L1-сигнализации и построении кадра системы; они также участвуют в определении интерфейса T2-MI (см. [5]).

Кадр перемежения является структурой кадрирования, в рамках которой выполняется выделение пропускной способности для конкретного PLP (см. [5]).

9.3.2.5 Блоки с перемежением по времени TI-blocks

Блоки с перемежением по времени — это набор ячеек OFDM, для которых выполняется перемежение по времени; перемежение между TI-блоками не проводится. Перемежитель по времени перемежает ячейки в одном TI-блоке, который содержит динамически переменное целое число блоков FEC. Кадр перемежения, в свою очередь, содержит целое число TI-блоков, причем это число статически настраивается. Общее число потоковых кадров BBFRAME и, следовательно, блоков FEC, выделенных кадру перемежения, не должно быть кратным числу TI-блоков. Как результат, TI-блоки в кадре перемежения могут содержать несколько иное число блоков FEC. Число блоков FEC в каждом TI-блоке кадра перемежения будет отличаться только на единицу, при этом меньшее число блоков FEC встречается в первых TI-блоках кадра перемежения (см. [5]).

10 Образование сигнала OFDM

10.1 Общие положения

Функцией модуля формирования сигнала по схеме модуляции OFDM является преобразование ячеек, созданных модулем формирования кадров в виде коэффициентов в частотной области, в сигнал во временной области для передачи его по каналу. В ходе этого процесса осуществляется также ввод соответствующей эталонной информации, известной как пилот-сигналы, которые позволяют приемнику компенсировать искажения, вносимые каналом передачи. На завершающем этапе получения T2-сигнала проводится вставка защитных интервалов и, если необходимо, понижение отношения пиковой мощности к средней мощности (PAPR).

На необязательном начальном этапе может проводится обработка MISO, в ходе которой исходные коэффициенты в частотной области обрабатываются по алгоритму модифицированного кодирования Аламути, которое позволяет разделять T2-сигнал между двумя группами передатчиков, работающих на одной частоте, таким образом, чтобы обе группы не мешали друг другу.

10.2 Обработка MISO

10.2.1 Все символы сигнала DVB-T2, за исключением случаев, связанных с передачей вспомогательных потоков в одночастотных сетях, на уровне ячеек могут быть обработаны для вещания в режиме MISO. При этом предполагается, что все приемники DVB-T2 должны обладать возможностью принимать сигналы с применением обработки MISO. Обработка MISO состоит в преобразовании входных ячеек с данными в два похожих набора выходных ячеек с данными, каждый из которых будет направлен к своей группе из двух групп передатчиков. Модифицированное кодирование Аламути используется для создания двух наборов ячеек с данными, за исключением того, что кодирование никогда не должно применяться к символу P1 преамбулы, и пилот-сигналы должны быть модифицированы при обработке (см. [1]).

10.2.2 Процесс кодирования выполняется для пар ячеек полезной нагрузки OFDM со смежными индексами ($a_{m,l,p}$; $a_{m,l,p+1}$), поступающих с выхода перемежителя по частоте. Число ячеек с данными в символе OFDM (включая любые немодулированные ячейки с данными в символе закрытия кадра) N_{data} всегда должно быть четным числом, даже в символе закрытия кадра (даже если число активных ячеек в одном символе закрытия кадра C_{FC} не является четным). Допускается, что после ввода пилот-сигналов ячейки из одной пары могут не оказаться на соседних несущих.

При обработке MISO выходные ячейки для группы 1 передатчиков MISO $e_{m,l,p}$(Tx1) являются копией входных ячеек $a_{m,l,p}$, т. е. они должны оставаться неизменными:

$$e_{m,l,p}(\text{Tx1}) = a_{m,l,p};\ e_{m,l,p+1}(\text{Tx1}) = a_{m,l,p+1};\ p \in \{0, 2, 4, 6, ..., N_{data}-2\}. \quad (30)$$

Выходные ячейки для группы 2 передатчиков MISO $e_{m,l,p}$ (Tx2) должны генерироваться из входных ячеек следующим образом:

$$e_{m,l,p}\ (\text{Tx2}) = -a^{*}_{m,l,p+1};\ e_{m,l,p+1}(\text{Tx2}) = -a^{*}_{m,l,p};\ p \in \{0, 2, 4, 6, ..., N_{data}-2\}, \quad (31)$$

где «*» — операция комплексного сопряжения;

N_{data} — количество ячеек на выходе частотного перемежителя для текущего символа l.

10.3 Ввод пилот-сигналов

10.3.1 Общие требования

10.3.1.1 Различные служебные ячейки в составе кадра OFDM должны модулироваться эталонной информацией, передаваемое значение которой известно приемнику. Ячейки, содержащие эталонную информацию, должны передаваться с повышенным уровнем мощности. Информация, передаваемая в этих ячейках, выполняет функции различных пилот-сигналов: рассредоточенных, непрерывных, краевых, для символов P2 или символов закрытия кадра.

10.3.1.2 Пилот-сигналы могут быть использованы для синхронизации кадров, синхронизации по частоте, синхронизации по времени, оценки канала, идентификации режима передачи, а также могут быть использованы для отслеживания фазового шума (см. [5]):

- для оценки канала и выравнивания (рассредоточенные пилот-сигналы, пилот-сигналы для символов P2 и пилот-сигналы для символов закрытия кадра);
- коррекции синфазных ошибок (непрерывные пилот-сигналы, пилот-сигналы для символов P2 и пилот-сигналы для символов закрытия кадра);
- синхронизации (потенциально — все виды пилот-сигналов);
- «заполнения» незначащей информацией (непрерывные пилот-сигналы, пилот-сигналы для символов P2 и пилот-сигналы для символов закрытия кадра).

В таблице 38 приведен перечень различных типов пилот-сигналов и символов, в которых они могут появляться.

Таблица 38 — Типы пилот-сигналов

Символ	Тип пилот-сигнала				
	рассредоточенный	непрерывный	краевой	P2	закрытия кадра
P1					
P2				X	
Обычный	X	X	X		
Закрытия кадра			X		X
Примечание — «X» — наличие пилот-сигнала.					

10.3.2 Требования к эталонной последовательности

10.3.2.1 Пилот-сигналы должны быть модулированы в соответствии с эталонной последовательностью $r_{l,k}$, где l и k — индексы символа и несущей соответственно. Эта эталонная последовательность является модулирующим сигналом для всех пилот-сигналов (рассредоточенных, непрерывных, краевых, P2 и закрытия кадра) каждого символа T2-кадра, включая символы P2 и закрытия кадра.

Эталонная последовательность должна быть сформирована как сумма по модулю 2 псевдослучайной двоичной последовательности PRBS уровня символов w_k и псевдошумовой последовательности PN уровня кадра pn_l:

$$r_{l,k} = \begin{cases} w_{k+\mathrm{Kext}} \oplus pn_l & \text{обычные режимы вещания,} \\ w_k \oplus pn_l & \text{расширенные режимы вещания,} \end{cases} \quad (32)$$

где K ext — число дополнительных несущих, приведенное в таблице 2.

В соответствии с алгоритмом формирования эталонной последовательности выходные биты последовательности уровня символов w_k инвертируются или не инвертируются согласно значениям последовательности уровня кадра pn_l.

10.3.2.2 Формирование псевдослучайной двоичной последовательности PRBS должно соответствовать порождающему многочлену:

$$g_{\mathrm{PRBS}}(x) = x^{11} + x^2 + 1. \quad (33)$$

Эта последовательность должна использоваться независимо от размера БПФ, обеспечивая уникальную отличительную характеристику во временной области для каждого размера БПФ, а также для каждого шаблона пилот-сигналов.

Начало генерирования последовательности PRBS должно предваряться инициализацией регистра сдвига генератора в состояние «все 1», так что начальные биты последовательности w_0, w_1, w_2... будут иметь следующие значения w_k = 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0...

10.3.2.3 Каждое значение псевдошумовой последовательности PN уровня кадра должно применяться к одному символу OFDM T2-кадра. Следовательно, длина PN-последовательности N_{PN} должна быть равна длине T2-кадра L_{F} (см. 9.2.2.2), т. е. числу символов в T2-кадре, исключая символ P1. В таблице 39 показана максимальная длина PN-последовательности для разных режимов БПФ в каналах с шириной полосы 8 МГц.

Последовательность $\left(pn_0, pn_1, ..., pn_{N_{\mathrm{PN}}-1}\right)$ длиной $N_{\mathrm{PN}} = L_{\mathrm{F}}$ должна формироваться путем взятия первых N_{PN} бит из полной PN-последовательности. Полная PN-последовательность должна иметь следующую структуру (в шестнадцатеричном коде):

4DC2AF7BD8C3C9A1E76C9A090AF1C3114F07FCA2808E9462E9AD7B712D6F4AC8A59BB069CC50B
F1149927E6BB1C9FC8C18BB949B30CD09DDD749E704F57B41DEC7E7B176E12C5657432B51B0B812DF0
E14887E24D80C97F09374AD76270E58FE1774B2781D8D3821E393F2EA0FFD4D24DE20C05D0BA1703D10
E52D61E013D837AA62D007CC2FD76D23A3E125BDE8A9A7C02A98B70251C556F6341EBDECB801AAD5D
9FB8CBEA80BB619096527A8C475B3D8DB28AF8543A00EC3480DFF1E2CDA9F985B523B879007AA5D0CE
58D21B18631006617F6F769EB947F924EA5161EC2C0488B63ED7993BA8EF4E552FA32FC3F1BDB1992390
2BCBBE5DDABB824126E08459CA6CFA0267E5294A98C632569791E60EF659AEE9518CDF08D87833690C1
B79183ED127E53360CD86514859A28B5494F51AA4882419A25A2D01A5F47AA27301E79A5370CCB3E197F,

где каждая шестнадцатеричная цифра определяет каждые четыре двоичных разряда всей PN-последовательности, в которой старший значащий бит следует первым. Соответственно, начало двоичной PN-последовательности имеет структуру:

PN_I = 010011011100..... (4DC2... в шестнадцатеричном коде).

Таблица 39 — Максимальные длины PN-последовательностей для разных режимов БПФ (канал 8 МГц)

Размер БПФ (режим вещания)	Максимальная длина последовательности N_{PN}
1K	2098
2K	1081
4K	540
8K	276
16K	138
32K	69

10.3.3 Ввод рассредоточенных пилот-сигналов

10.3.3.1 Эталонная информация, содержащаяся в эталонной последовательности, должна передаваться в ячейках рассредоточенных пилот-сигналов в каждом символе Т2-кадра, кроме символов Р1, Р2 и символа закрытия кадра (если он применяется). Пространственное положение рассредоточенных пилот-сигналов в Т2-кадре определено в таблице 40 (где D_X — наибольшее расстояние между ячейками с пилот-сигналами по частоте; D_Y — число символов, образующих одну последовательность рассредоточенных пилот-сигналов, т. е. наибольшее расстояние между ячейками с пилот-сигналами по времени).

Таблица 40 — Параметры шаблонов рассредоточенных пилот-сигналов

Шаблон пилот-сигналов	Разделение ячеек пилот-сигналов D_X	Разделение ячеек пилот-сигналов D_Y
PP1	3	4
PP2	6	2
PP3	6	4
PP4	12	2
PP5	12	4
PP6	24	2
PP7	24	4
PP8	6	16

10.3.3.2 Амплитуды рассредоточенных пилот-сигналов должны устанавливаться в зависимости от их шаблонов, как показано в таблице 41.

Таблица 41 — Амплитуды рассредоточенных пилот-сигналов

Шаблоны пилот-сигналов	Амплитуда A_{SP}	Эквивалентное превышение среднего уровня, дБ
PP1, PP2	4/3	2,5
PP3, PP4	7/4	4,9
PP5, PP6, PP7, PP8	7/3	7,4

10.3.4 Ввод непрерывных пилот-сигналов

10.3.4.1 В дополнение к рассредоточенным пилот-сигналам в каждый символ кадра, за исключением символов P1 и P2 и символа закрытия кадра (если он применяется), должен вводиться ряд непрерывных пилот-сигналов.

Местоположения непрерывных пилот-сигналов (CP) должны выбираться из одной или нескольких «CP-групп» в зависимости от режима БПФ. В таблице 42 показано, какие CP-группы используются в каждом режиме БПФ. Местоположения пилот-сигналов, принадлежащих каждой CP-группе, зависят от используемого шаблона рассредоточенного пилот-сигнала. В таблице 42 приведены также значения параметра K_{mod}, определяющего значение модуля, используемого для расчета местоположения непрерывного пилот-сигнала (см. [1]).

Таблица 42 — Группы непрерывных пилот-сигналов, используемые с каждым размером БПФ

Размер БПФ	Используемые CP-группы	Параметр K_{mod}
1K	CP_1	1632
2K	CP_1, CP_2	1632
4K	CP_1, CP_2, CP_3	3264
8K	CP_1, CP_2, CP_3, CP_4	6528
16K	CP_1, CP_2, CP_3, CP_4, CP_5	13 056
32K	CP_1, CP_2, CP_3, CP_4, CP_5, CP_6	Отсутствует

10.3.4.2 Непрерывные пилот-сигналы должны передаваться с повышенными уровнями мощности, значения которых зависят от размера БПФ. В таблице 43 приведены значения амплитуды модуляции A_{CP} для каждого размера БПФ.

Таблица 43 — Превышение амплитуды для непрерывных пилот-сигналов

Размер БПФ	1K	2K	4K	8K	16K	32K
A_{CP}	4/3	4/3	$(4\sqrt{2})/3$	8/3	8/3	8/3

Когда местоположение несущих одинаково как для непрерывного, так и для рассредоточенного пилот-сигнала, то должно использоваться значение повышенной амплитуды модуляции, принятое для шаблона рассредоточенного пилот-сигнала A_{SP}.

11 Свойства спектра OFDM

11.1 Спектральная плотность мощности

11.1.1 Символы OFDM являются совокупностью равномерно-распределенных ортогональных несущих, амплитуды и фазы которых для каждой ячейки изменяются от символа к символу, в зависимости от передаваемой с их помощью информации.

Спектральную плотность мощности каждой из модулированных первичных несущих $P_{k'}(f)$ вычисляют по формуле

$$P_{k'}(f) = \left[\frac{\sin(\pi(f - f_{k'})T_S)}{\pi(f - f_{k'})T_S}\right]^2, \quad (34)$$

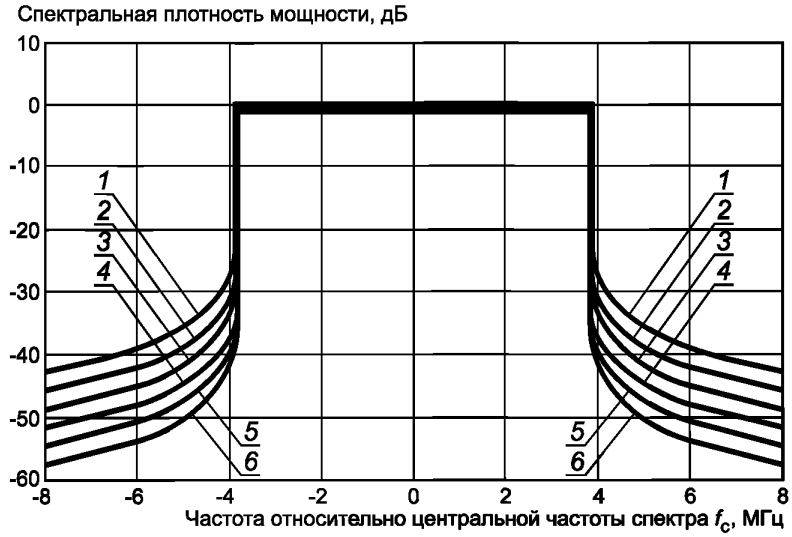
где $f_{k'}$ — номинальное значение частоты каждой несущей, вычисляемое по формуле

$$f_{k'} = f_c + \frac{k'}{T_U} \text{ при } \left(-\frac{K_{total} - 1}{2} \le k' \le \frac{K_{total} - 1}{2}\right), \quad (35)$$

где f_c — центральная частота спектра OFDM.

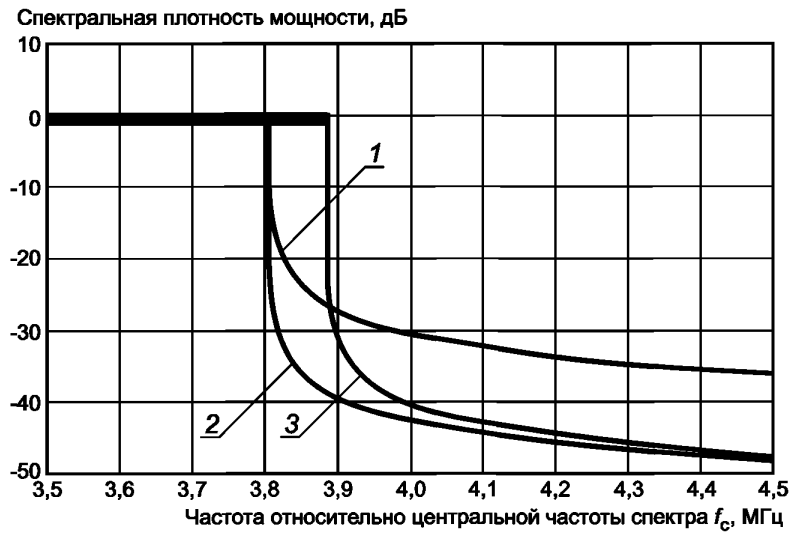
11.1.2 Полная спектральная плотность мощности всех модулированных несущих OFDM является суммой спектральных плотностей мощности каждой из несущих символа OFDM. Теоретический спектр сигнала OFDM с относительным защитным интервалом, равным 1/8, для канала с полосой 8 МГц показан на рисунке 31. Более детальный фрагмент теоретического спектра сигнала OFDM вблизи его верхней границы показан на рисунке 32.

Поскольку длительность символа OFDM превышает значение величины, обратной разносу соседних несущих, то основной лепесток спектральной плотности мощности каждой несущей является более узким, чем удвоенное значение разноса несущих. Это приводит к тому, что спектральная плотность не остается постоянной в пределах своей номинальной полосы частот.



1 — 1К; *2* — 2К; *3* — 4К; *4* — 8К; *5* — 16К; *6* — 32К

Рисунок 31 — Теоретический спектр сигнала OFDM



1 — 2К; *2* — 32К; *3* — 32К ext (расширенный режим)

Рисунок 32 — Фрагмент теоретического спектра сигнала OFDM вблизи его верхней границы

11.2 Спектральные маски

11.2.1 В диапазонах ОВЧ/УВЧ уровень спектральных составляющих сигнала OFDM, выходящих за пределы номинальной ширины полосы частот рабочего канала, может быть ослаблен за счет

дополнительной фильтрации. Для этого следует использовать фильтры, удовлетворяющие спектральным маскам для критичного и некритичного случаев (см. [10]). Для каналов вещания с шириной полосы частот 8 МГц спектральные составляющие не должны выходить за пределы границ, определяемых спектральными масками, показанными на рисунке 33.

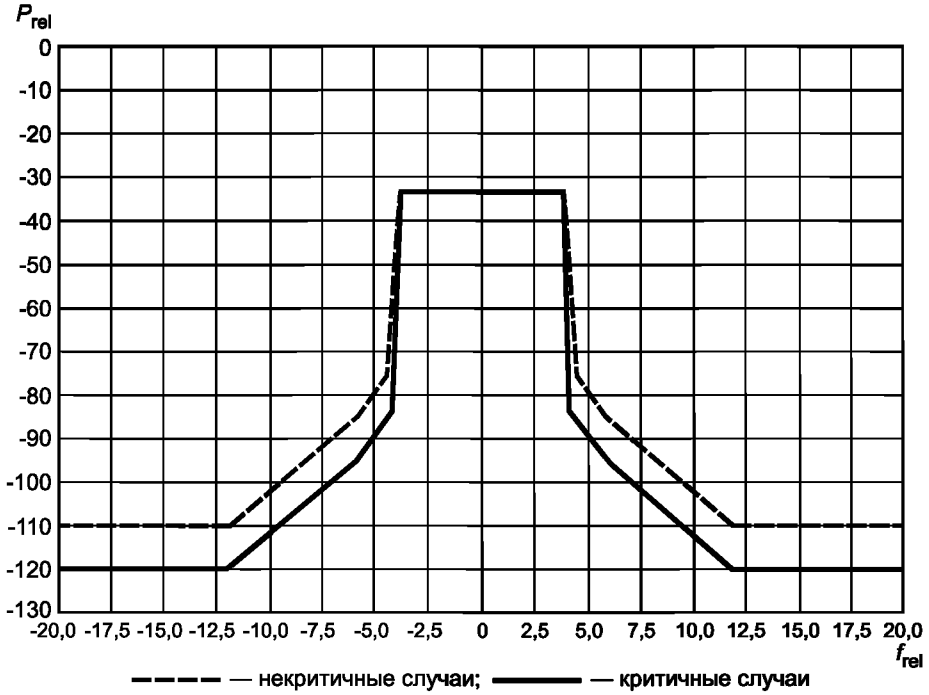


Рисунок 33 — Спектральные маски для каналов с шириной полосы частот 8 МГц

11.2.2 Точки перегиба спектральных масок для критичного и некритичного случаев для каналов с шириной полосы частот 8 МГц должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 44.

Таблица 44 — Точки перегиба спектральных масок для каналов с шириной полосы частот 8 МГц

Частота относительно центральной частоты канала f_{rel}, МГц	Относительный уровень P_{rel} в измеряемой полосе частот шириной 4 кГц, дБ	
	Маска при некритичном излучении	Маска при критичном излучении
–20	–110	–120
–12	–110	–120
–6	–85	–95
–4,2	–73	–83
–3,9	–32,8	–32,8
+3,9	–32,8	–32,8
+4,2	–73	–83
+6	–85	–95
+12	–110	–120
+20	–110	–120

11.2.3 Номинальное значение центральной частоты спектра радиочастотного сигнала OFDM для каналов с шириной полосы частот 8 МГц в диапазоне УВЧ вычисляют по ГОСТ Р 55694 по формуле

$$f_c = 470 \text{ МГц} + 4 \text{ МГц} + (i_1 \cdot 8 \text{ МГц}), \text{ где } i_1 = 1, 2, 3... \quad (36)$$

Реальное значение центральной частоты спектра f_c допускается смещать относительно номинального значения для улучшения электромагнитной совместимости.

12 Сквозные параметры функционирования сети телерадиовещания

12.1 Общие положения

12.1.1 Структурная схема цифрового наземного телевизионного вещания

Сети наземного эфирного цифрового телевизионного вещания (СНЦТВ) создаются, развертываются и эксплуатируются операторами связи. Оператор СНЦТВ имеет структуру, технические средства и оборудование для доставки и распространения сигналов телеканалов, позволяющие эффективно осуществлять техническую эксплуатацию средств цифрового телевизионного вещания. Типовая структурная схема телевизионного вещания представлена на рисунке 34.

Центр формирования федеральных мультиплексов (ФЦМ) предназначен для формирования транспортных потоков для каждой из существующих зон вещания. В состав ФЦМ входят следующие системы:

- система коммутации;
- система кодирования;
- система мультиплексирования;
- система скремблирования каналов;
- подсистема адаптации для одночастотной сети (шлюз T2-MI);
- система управления и мониторинга.

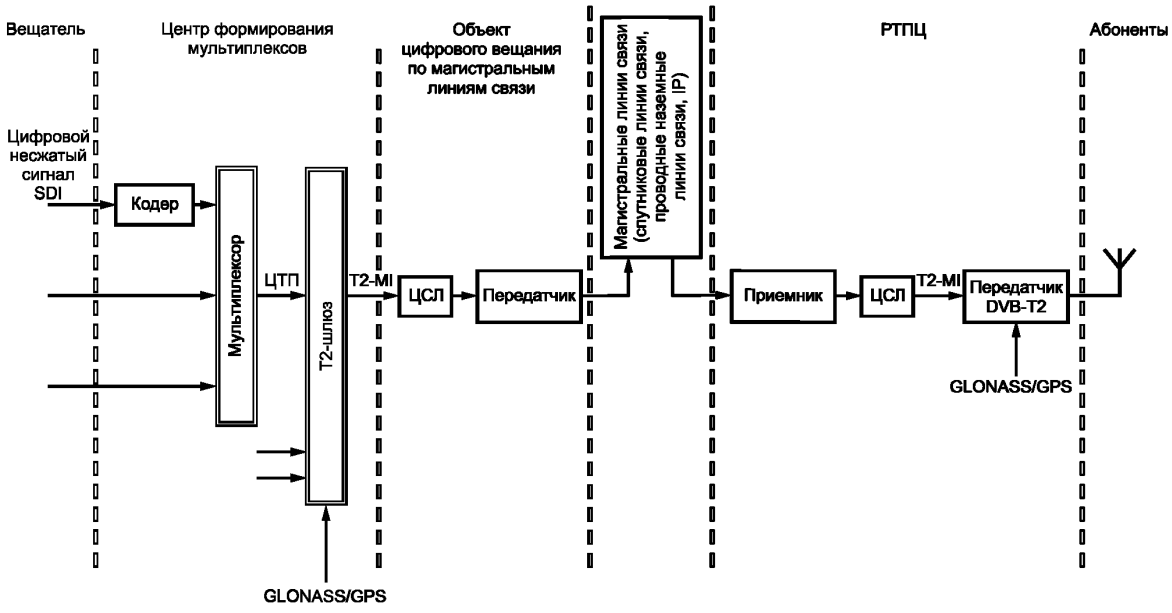


Рисунок 34 — Типовая структурная схема телевизионного вещания

Центр формирования региональных мультиплексов (РЦМ) предназначен для работы в составе регионального комплекса цифрового вещания. В его состав входят системы, подобные системам федерального центра, а также система программного замещения федеральных каналов. В отдельных случаях формирование регионального мультиплекса может осуществляться непосредственно на радиотелевизионных передающих станциях (РТПС).

Телевизионный сигнал, передаваемый от технических средств формирования сигнала оператора эфирного вещания до точки приема сигнала на объектах цифрового вещания, передается по магистральным линиям связи, включая спутниковые линии связи, проводные наземные линии связи по технологии STM, «публичные» общедоступные сети по технологии IP (Интернет). Наземные магистральные линии связи и транспортные сети включают в себя цифровые радиорелейные линии (ЦРРЛ) и волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

В сетях передачи цифрового ТВ-вещания телевизионный сигнал из АСК ТВ-компаний в формате SDI передается в центр формирования мультиплексов, где подвергается сжатию и формированию транспортного потока, а затем передается по транспортным сетям ЦРРЛ, ВОЛС.

12.1.2 Метрологическое обеспечение технической эксплуатации СНЦТВ

Важнейшее значение для надежной и эффективной работы оператора СНЦТВ имеет метрологическое обеспечение технической эксплуатации средств цифрового телевизионного вещания по стандарту DVB-T2.

В центрах формирования мультиплексов контролируются параметры интерфейсов. Параметры интерфейсов проверяются на входе и выходе оборудования ЦТВ-вещания. В оборудовании центров формирования мультиплексов может использоваться один из следующих интерфейсов или их комбинация: последовательный интерфейс (SDI), асинхронный последовательный интерфейс (ASI), Ethernet.

К параметрам, контролируемым непрерывно в процессе эксплуатации, относятся параметры транспортного потока MPEG-2 TS, которые можно разделить на две части:

- параметры, относящиеся к структуре и синтаксису транспортного потока;
- параметры, относящиеся к физическим характеристикам транспортного потока.

Контроль работоспособности ЦРРЛ в процессе передачи информации обеспечивается посредством постоянного контроля: уровней выходных мощностей передатчиков; уровней сигналов на входе приемников; параметров работоспособности линии связи (ES, SES, BER или IPER); напряжения источников электропитания (первичных и вторичных).

При передаче транспортных потоков на входах и выходах каналов передачи телевизионных сигналов используется цифровой интерфейс ASI (асинхронный последовательный интерфейс). Параметры и методы измерения интерфейса ASI см. в [11]. Требования к параметрам интерфейсов SDH и PDH, основанные на ряде стандартов, см. в [11].

Спутниковый тракт передачи федеральных и региональных мультиплексов включает в себя приемо-передающие станции, бортовой ретранслятор искусственного спутника Земли, земные приемо-передающие, осуществляющие прием федеральных мультиплексов и передачу на спутниковый ретранслятор модифицированных федеральных мультиплексов с региональными вставками, а также сеть региональных земных приемо-передающих станций для приема как федеральных, так и модифицированных мультиплексов с целью их дальнейшей ретрансляции через сеть эфирных ТВ-передатчиков и сети кабельного телевидения. Все земные станции работают в стандарте DVB-S/DVB-S2.

Контроль параметров сквозного тракта (вход передающей станции — выход приемной) при использовании цифровых систем связи сводится к отслеживанию пороговых значений сигнала и коэффициента ошибок в принимаемом сигнале. Нормы на параметры отдельных составных частей приемных и приемо-передающих станций, ссылки на методики измерений и периодичность измерений см. в [11].

12.1.3 Метрологическое обеспечение технической эксплуатации радиопередающих телевизионных станций и ретрансляторов

Метрологическое обеспечение технической эксплуатации радиопередающих телевизионных станций и ретрансляторов проводится путем контроля ряда параметров: выходная мощность, отклонение центральной частоты в спектре выходного сигнала от средней частоты используемого канала, соответствие спектра выходного сигнала передатчика требованиям ограничительной маски спектра, коэффициент битовых ошибок BER на выходе декодера, максимальная скорость транспортного потока при заданном режиме модулятора передатчика и другие, с учетом требований, приведенных в [11]. В качестве интегральной оценки используется видео- и аудиоконтроль передаваемой информации.

Необходимым элементом является контроль и мониторинг параметров телевизионного сигнала на входе и выходе оборудования сети цифрового телевизионного вещания (СЦТВ) и на границах подсистем системы цифрового телевизионного вещания, а также и в других интерфейсных точках, характеризующих качественные показатели всего тракта.

В соответствии с временными правилами технической эксплуатации средств цифрового телевизионного вещания в стандарте DVB-T2 (см. [11]) нарушение нормальной работы СЦТВ — это отклонение контролируемых параметров СЦТВ от нормируемых значений, появление искажений, вызывающих уменьшение субъективной оценки качества изображения или звукового сопровождения ниже 4,5 балла, или пропадание сигналов изображения и/или сигналов звукового сопровождения в одном или нескольких каналах в составе мультиплекса при отсутствии соответствующих нарушений нормальной работы на входе СЦТВ:

- технический брак — нарушение нормальной работы продолжительностью от 10 до 15 с;

- техническая остановка — нарушение нормальной работы СЦТВ продолжительностью от 15 с до 10 мин;

- авария — нарушение нормальной работы СЦТВ продолжительностью свыше 10 мин.

12.1.4 Качество обслуживания и качество впечатления/восприятия в телевизионных системах

Оценку качественных показателей телевизионных систем целесообразно рассматривать в контексте структуры информационной экосистемы. Существующие сетевые медиатехнологии, предлагающие огромное количество разнообразных услуг, наглядно демонстрируют, что восприятие и оценка пользователя более значимы, чем любые технические механизмы, используемые внутри сети, и технические характеристики.

Понятие качества обслуживания традиционно применялось исключительно в техническом контексте при оценке сетей передачи данных. Ограничение в использовании понятия качества обслуживания технической сферой привело к появлению другого понятия, которое описывает и управляет взаимодействием между пользователями и приложениями и описывает степень удовлетворенности пользователя. Понятие степени удовлетворенности пользователя в технических средствах можно трактовать как воспринимаемое качество обслуживания. Оценка воспринимаемого качества обслуживания для аудиовизуального контента будет предоставлять пользователю целый ряд потенциальных вариантов, охватывающих возможность низкого, среднего или высокого уровней качества.

Качество впечатления или качество восприятия QoE (Quality of Experience) — это субъективная оценка, характеризующая степень удовлетворенности пользователя аудиовизуальными услугами. Оценка QoE зависит от ряда факторов: целей, преследуемых пользователем при просмотре; ожиданий пользователя, основанных на предыдущем опыте, полученном от аналогичных услуг; сетевых параметров, таких как полоса пропускания канала связи, задержка, джиттер и потеря пакетов; типа используемого для просмотра устройства и, наконец, типа контента (новости, клипы, спорт и др.) и разворачивающегося сценария.

При эксплуатационной оценке качества аудиовизуальных услуг, производимой в обычных условиях эксплуатации или во время специальных работ, целесообразно использовать шкалу ухудшений с одиннадцатью категориями, для которых установлено соответствие с баллами пятибалльной шкалы с промежуточными значениями оценки качества (см. [12]). Соответствие между категориями шкалы ухудшений и баллами шкалы качества QoE показано в таблице 45.

Таблица 45 — Категории шкалы искажений и баллы качества QoE

Категория	Искажения	Оценка QoE
C1	Искажения незаметны	5,0
C2	Искажения практически незаметны	4,5
C3	Искажения немного заметны, но не мешают	4,0
C4	Искажения заметны, но почти не мешают	3,5
C5	Искажения слегка мешают	3,0
C6	Искажения заметно мешают	2,5
C7	Искажения мешают и раздражают	2,0
C8	Искажения довольно сильно раздражают	1,5
C9	Искажения очень сильно раздражают	1,0
C10	Искажения исключительно сильно раздражают	0,5
C11	Искажения предельно раздражают	0

12.1.5 Многоуровневый и распределенный мониторинг

Реализация функций управления и мониторинга цифровой системы телевизионного вещания требует наличия измерительных устройств для каждого уровня каждого элемента системы. Применение уровневой модели приводит к выводу, что мониторинг должен быть многоуровневым и распределенным.

Многоуровневый мониторинг подразумевает оценку и контроль качества на разных уровнях — от физического уровня, т. е. уровня сигналов, до уровня восприятия качества, эмоций и впечатлений. На уровне видеосигналов определяются, например, такие параметры, как яркость, контраст, частота кадров, разрешение, соотношение сторон, структура дискретизации компонентов цветного изображения, появление замороженных или черных кадров, интервалы исчезновения данных видео и др. На уровне аудиосигналов мониторингу могут подвергаться уровень громкости, наличие тестовых сигналов, интервалы выключения звука и др. Видеосигналы и аудиосигналы могут подвергаться компрессии и упаковываться в разнообразные контейнеры — пакеты данных и файлы. На уровне контейнеров может проверяться, например, число потоков изображения и звука в аудиовизуальном ряде, метаданные и параметры других дополнительных данных, например телетекста или субтитров, размеры файлов и пакетов и другие показатели.

Распределенный мониторинг означает оценку, измерение и контроль в разных точках тракта создания и доставки аудиовизуального ряда (в процессе студийного производства телевизионных программ, в каналах трактов коммутации и распределения цифровых потоков).

Эксплуатационный мониторинг — это контроль рабочего состояния системы и объективное наблюдение за работой без участия оператора. Эксплуатационный мониторинг подразделяется на две категории:

- мониторинг качества аудиовизуального контента;
- мониторинг состояния физических уровней сигналов.

Мониторинг качества — это контроль за соответствием качества контента определенным стандартам. Мониторинг состояния — это контроль за соответствием сигналов определенным стандартам, что подразумевает наблюдение за физическим состоянием оборудования и каналов передач.

Существует три вида сигналов, подвергаемых мониторингу:

- немодулированный сигнал (SDI, ASI и др.);
- кодированный сигнал (программные, транспортные потоки MPEG-2 TS и другие сигналы);
- модулированный сигнал.

Применение того или иного вида мониторинга к данным сигналам и оборудованию зависит от поставленных задач и необходимых результатов. Область применения мониторинга состояния включает в себя контроль на стадии передачи данных по информационным сетям, сбора новостей, прямого эфира, производства и постпроизводства на телестудии, первичного или вторично распространения, выпуска.

С помощью мониторинга качества допускается осуществлять контроль соответствия представляемого аудиовизуального контента тому уровню качества, который изначально подразумевал производитель.

12.2 Исходные параметры цифрового телевизионного сигнала

12.2.1 Уровни качества передачи телевизионного сигнала

Исходные параметры цифрового телевизионного сигнала используются при оценке качества сквозной передачи телевизионного сигнала через тракт формирования эфирного цифрового вещания. Параметры характеризуют качество сквозной передачи телевизионного сигнала на двух уровнях:

- на уровне качества восприятия изображения и звука QoE;
- на уровне качества обслуживания QoS.

12.2.2 Измеряемые параметры

Оценка качества сквозной передачи телевизионного сигнала на уровне качества восприятия изображения и звука (QoE) требует проведения измерений следующих параметров:

- параметры, характеризующие основные искажения и артефакты изображения, которые негативно воздействуют на восприятие телевизионной программы телезрителем:
  - пропадание видеосигнала;
  - черный кадр;
  - «заморозка» изображения;
  - блочность;
- параметры, характеризующие основные искажения и артефакты звука, которые негативно воздействуют на восприятие телевизионной программы телезрителем:
  - пропадание аудиосигнала;
  - недопустимо низкая громкость;
  - недопустимо высокая громкость.

12.2.3 Методика измерения исходных параметров цифрового телевизионного сигнала

Измерение параметров проводят с помощью анализатора телевизионных сигналов.

12.2.3.1 Общие технические требования к анализатору телевизионных сигналов

Анализатор телевизионных сигналов должен обеспечивать:

- анализ параметров телевизионного сигнала и качества цифровых ТВ-программ с обнаружением в них искажений изображения и звукового сопровождения, влияющих на восприятие ТВ-программы телезрителем (QoE), в реальном масштабе времени;
- визуализацию текущей информации о телевизионном сигнале и об измеряемых параметрах.

Основным интерфейсом анализатора телевизионных сигналов должен быть интерфейс SDI (см. [13]).

Меню анализатора телевизионных сигналов должно быть на русском языке.

Анализатор должен быть отечественного производства и соответствовать требованиям [14].

Рекомендуемое средство измерений для использования при измерениях по 12.2.3 — анализатор телевизионных сигналов АТС-3.

Примечание — Зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ № 61543-15.

12.2.3.2 Схема проведения измерений исходных параметров цифрового телевизионного сигнала представлена на рисунке 35.

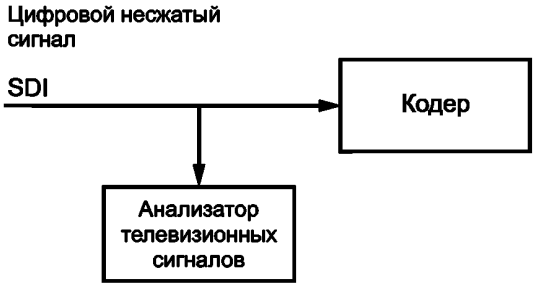


Рисунок 35 — Схема проведения измерений исходных параметров цифрового телевизионного сигнала

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы.

Включают анализатор телевизионных сигналов в сеть 220 В. Прогревают прибор в течение 10 мин.

В соответствии с руководством по эксплуатации на анализатор телевизионных сигналов осуществляют настройку анализатора.

На входной интерфейс SDI анализатора телевизионных сигналов подают цифровой несжатый сигнал от технических средств вещателя.

С помощью анализатора телевизионных сигналов проводят измерения искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале. Измерения проводят в соответствии с руководством по эксплуатации анализатора телевизионных сигналов.

Искажения, характеризующие качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале, и значения параметров приведены в таблице 46.

Таблица 46 — Параметры качества восприятия изображения и звука

Параметр	«Мгновенный» триггер* включения сигнала об искажениях телевизионного сигнала и браке (срабатывает, если условие выполнено в течение одного кадра)	«Длительный» триггер* включения сигнала об искажениях телевизионного сигнала и браке (срабатывает, если условие выполнено в течение заданного интервала времени)
Пропадание видео	Не применимо	Нет видеосигнала в течение 2 с**
Пропадание аудио	Не применимо	Нет сэмплов аудио в течение 2 с**
«Черный» кадр [пиксель кадра считается «черным», если его яркость	Доля «черных» пикселей в кадре равна или более 100 %**	Доля «черных» пикселей в кадре равна или более 90 % в течение 2 с**

Окончание таблицы 46

Параметр	«Мгновенный» триггер* включения сигнала об искажениях телевизионного сигнала и браке (срабатывает, если условие выполнено в течение одного кадра)	«Длительный» триггер* включения сигнала об искажениях телевизионного сигнала и браке (срабатывает, если условие выполнено в течение заданного интервала времени)
не превышает 16 в диапазоне уровней квантования от 0 до 255 (величина «черного» пикселя может задаваться пользователем)]		
«Заморозка» видео [два пикселя, находящиеся в одних и тех же точках двух соседних кадров, считаются идентичными, если разность их яркостей и цветностей равна 0 (величина разности может задаваться пользователем)]	Доля идентичных пикселей двух соседних кадров равна или более 100 %**	Доля идентичных пикселей двух соседних кадров равна или более 90 % в течение 2 с**
Блочность, оцениваемая как доля блоков 8×8 пикселей с заметными контурами или заметных блоков в общем числе блоков кадра	Доля заметных блоков 8×8 пикселей равна или более 7 %**	Доля заметных блоков 8×8 пикселей равна или более 3 % в течение 3 с**
«Перегрузка» звука	Уровень громкости*** равен или более минус 15 LUFS**	Уровень громкости*** равен или более минус 22 LUFS в течение 2 с**
Низкий уровень звука	Не применимо	Уровень громкости*** равен или менее минус 35 LUFS в течение 10 с**

* Пользователь может включать/выключать как «мгновенный», так и «длительный» триггер для любой ошибки, кроме пропадание видео/аудио.

** Приведенные значения не являются нормативными, они являются информативными, указаны в качестве примерных величин и могут устанавливаться пользователем.

*** Здесь и далее подразумевается громкость short-term (см. [15]).

Для исходного цифрового телевизионного сигнала искажения изображения и звукового сопровождения, влияющие на восприятие ТВ-программы телезрителем и представленные в таблице 46, должны отсутствовать. В этом случае качество восприятия будет соответствовать категории шкалы ухудшений «Искажения незаметны» и уровню качества QoE, равному 5,0 балла.

В случае присутствия искажений изображения и звукового сопровождения уровень качества восприятия QoE при известных значениях параметров, описывающих искажения, указывается в таблице 47.

Таблица 47 — Уровень качества восприятия изображения и звука QoE при разных длительностях искажений

Параметр	Длительность искажения			
	1 кадр	1 с	2 с	4 с
Пропадание видеосигнала	5,0	4,0	2,5	1,5
«Черный» кадр	5,0	4,0	2,5	1,5
«Заморозка» видео	5,0	4,0	3,5	2,0
Блочность (5 % заметных блоков)	5,0	4,5	4,0	3,5
Блочность (15 % заметных блоков)	5,0	4,5	3,5	2,5
Блочность (50 % заметных блоков)	4,5	3,0	2,5	2,0

Окончание таблицы 47

Параметр	Длительность искажения			
	1 кадр	1 с	2 с	4 с
Пропадание аудио	5,0	4,5	3,0	2,0
Низкий уровень звука	5,0	4,5	4,0	3,5
«Перегрузка» звука	5,0	4,0	3,0	2,0

Каждая строка таблицы 47 определяет частный уровень качества, т. е. уровень качества восприятия QoE при наличии одного искажения разной длительности. В случает одновременного присутствия нескольких искажений взаимосвязь между значениями параметров искажений и уровнем качества восприятия носит более сложный характер, связанный с возможностью проявления обменных соотношений между уровнями восприятия различных искажений. Однако для практически важного в телевизионном вещании диапазона высокого качества, соответствующего категориям шкалы ухудшений «Искажения незаметны», «Искажения практически незаметны» и «Искажения немного заметны, но не мешают», интегральная оценка качества восприятия определяется минимальным частным уровнем качества, т. е. уровнем качества восприятия для наиболее сильного искажения. Именно таким образом находится оценка качества восприятия в анализаторе телевизионных сигналов АТС-3 для диапазона высокого качества восприятия.

12.3 Параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания

12.3.1 Уровни качества передачи телевизионного сигнала

Параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания используются для оценки искажений телевизионного сигнала, передаваемого от технических средств вещателей до точки передачи сигнала на технические средства магистрального оператора связи для доставки до передатчиков или до точки присоединения операторов обязательных общедоступных телеканалов и радиоканалов. Параметры характеризуют качество сквозной передачи телевизионного сигнала на двух уровнях:

- на уровне качества восприятия изображения и звука QoE;
- на уровне качества обслуживания QoS.

12.3.2 Измеряемые параметры:

- оценка качества сквозной передачи телевизионного сигнала на уровне качества восприятия изображения и звука (QoE), требующая проведения измерений параметров, которые приведены в 12.2.2;
- параметры транспортных потоков (ТП) MPEG-2, принятых по интерфейсам ASI или TSoIP, в соответствии с ГОСТ Р 52592 и с учетом требований [16], приведенные в таблице 48;
- параметры эталонных программных меток телевизионных транспортных потоков, приведенные в таблице 49;
- параметры транспортных потоков, содержащих пакеты T2-MI, принятых по интерфейсам ASI или TSoIP, в соответствии с ГОСТ Р 52592 и с учетом требований [16], приведенные в таблице 50;
- параметры пакетов T2-MI, приведенные в таблице 51.

Таблица 48 — Параметры транспортных потоков (ТП) MPEG-2, принятых по интерфейсам ASI или TSoIP

Индикатор параметра	Примечание
Параметры первой группы по приоритетности	
TS sync loss	Потеря синхронизации транспортного потока
Sync byte error	Ошибка приема байта синхронизации
PAT error	Ошибка таблицы соединения программ
Continuity count error	Ошибка непрерывности счета
PMT error	Ошибка таблицы структуры программы
PID error	Ошибка в определении идентификации пакета

Окончание таблицы 48

Индикатор параметра	Примечание
Параметры второй группы по приоритетности	
Transport error	Ошибка в транспортном пакете
CRC error	Ошибка циклического контроля всех таблиц
PCR error	Ошибка в передаче опорных меток времени
PCR accuracy error	Ошибка точности опорных меток времени
PTS error	Ошибка меток времени представления кадра
CAT error	Ошибка таблицы условного доступа
Параметры третьей группы по приоритетности	
NIT_error	Ошибка в таблице сетевой информации
SI_repetition_error	Ошибка периодичности следования системной информации
Unreferenced_PID	Ошибка не привязанного к программам пакета
SDT_error	Ошибка в таблице дескрипторов сервиса
EIT_error	Ошибка в таблице информации о состоянии
RST_error	Ошибка в таблице статуса запуска
TDT_error	Ошибка в таблице времени и даты

Таблица 49 — Параметры эталонных программных меток телевизионных транспортных потоков

Индикатор параметра	Примечание
PCR FO	Отклонение частоты эталонных программных меток транспортного потока
PCR DR	Дрейф эталонных программных меток транспортного потока
PCR AC	Точность эталонных программных меток транспортного потока
Нет	Период следования эталонных программных меток транспортного потока
PCR OJ	Общий джиттер эталонных программных меток транспортного потока

Таблица 50 — Параметры транспортных потоков, содержащих пакеты T2-MI, принятых по интерфейсам ASI или TSoIP

Индикатор параметра	Примечание
Параметры первой группы по приоритетности	
TS sync loss	Потеря синхронизации транспортного потока
Sync byte error	Ошибка приема байта синхронизации
PAT error	Ошибка таблицы соединения программ
Continuity count error	Ошибка непрерывности счета
PMT error	Ошибка таблицы структуры программы
PID error	Ошибка в определении идентификации пакета
Параметры второй группы по приоритетности	
Transport error	Ошибка в транспортном пакете

Окончание таблицы 50

Индикатор параметра	Примечание
PCR error	Ошибка в передаче опорных меток времени
PCR accuracy error	Ошибка точности опорных меток времени
Параметры третьей группы по приоритетности	
Unreferenced_PID	Ошибка не привязанного к программам пакета

Таблица 51 — Параметры пакетов T2-MI

Индикатор параметра	Примечание
T2MI_packet_type_error_1	Отсутствие в T2-кадре пакетов с типом 10_{16} (L1-current), 20_{16} (метка времени DVB-T2) и пакета с типом 11_{16} (L1-future), когда его присутствие необходимо
T2MI_packet_type_error_2	Ошибка несоответствия количества пакетов с типом 00_{16} (BB-кадр) в T2-кадре со значением PLP_NUM_BLOCKS, указанным в поле dynamic пакетов L1-current (10_{16}) и L-future (11_{16}) (когда он присутствует); ошибка несоответствия значений frame_idx и superframe_idx в заголовках пакетов T2-MI типа 00_{16} (BB-кадр) с текущими параметрами временного перемежения, указанными в поле configurable пакета L1-current (10_{16})
T2MI_packet_count_error	Ошибка непрерывности счета пакетов T2-MI
T2MI_CRC_error	Ошибка несоответствия переданной контрольной суммы CRC32 с ее рассчитанным значением (обозначает повреждение содержимого пакета T2-MI)
T2MI_payload_error	Ошибка несоответствия декодированного значения PLP_ID со списком значений PLP_ID, переданным в поле configurable пакетов L1-current (10_{16}) или L1-future (11_{16})
T2MI_plp_num_blocks_error	Ошибка несоответствия числа переданных пакетов T2-MI с типом 00_{16} (BB-кадр) со значением числа FEC-блоков в кадре перемежения для данного PLP в переданным в поле dynamic пакетов T2-MI L1-current (10_{16}) или L1-future (11_{16})
T2MI_transmission_order_error	Ошибка очередности передачи пакетов T2-MI
T2MI_DVB-T2_Timestamp_error	Ошибка несоответствия меток времени, относящихся к одному суперкадру
T2MI_DVB-T2_Timestamp_discontinuity	Ошибка приращения значений меток времени DVB-T2
T2MI_T2_frame_lenght_error	Ошибка превышения максимальной длительности T2-кадра

12.3.3 Методика измерения параметров сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания

Измерение параметров проводят с помощью анализатора телевизионных сигналов.

12.3.3.1 Общие технические требования к анализатору телевизионных сигналов

Анализатор телевизионных сигналов должен обеспечивать:

- анализ параметров телевизионного сигнала и качества цифровых ТВ-программ с обнаружением в них искажений изображения и звукового сопровождения, влияющих на восприятие ТВ-программы телезрителем (QoE), в реальном масштабе времени;
- анализ параметров цифровых транспортных потоков (ЦТП) в реальном масштабе времени;
- анализ пакетов ЦТП разной длины (188/204) байта;
- измерение фактической скорости мультиплексированного ЦТП;
- определение эффективной скорости каждой программы мультиплексированного ЦТП и каждого типа пакета (PID) в отдельности;

- определение ошибок ЦТП в соответствии с группами приоритета (см. [16]), настройку параметров анализа;
- анализ структуры ЦТП MPEG-2 TS, таблиц сервисной информации SI/PSI ЦТП (см. [3]); интерфейса T2-MI;
- просмотр состава программ внутри транспортного потока;
- измерение фазового дрожания программных тактов PCR по любому выбранному типу пакетов (PID), содержащему данные PCR;
- визуализацию текущей информации о телевизионном сигнале и об измеряемых параметрах.

Пределы допускаемой погрешности измерения скорости ЦТП должны быть ± 100 бит/с.

Диапазон измерения фазового дрожания программных тактов должен быть ± 1000 нс.

Разрешающая способность измерения фазового дрожания программных тактов должна быть равна одному периоду тактовой частоты PCR.

Основными интерфейсами анализатора телевизионных сигналов должны быть интерфейсы DVB ASI, TSoIP.

Меню прибора должно быть на русском языке.

Анализатор телевизионных сигналов должен быть отечественного производства, соответствовать требованиям [14].

Рекомендуемое средство измерений для использования при измерениях по 12.3.3 — анализатор телевизионных сигналов АТС-3.

Примечание — Зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ № 61543-15.

12.3.3.2 Схема проведения измерений параметров сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания представлена на рисунке 36.

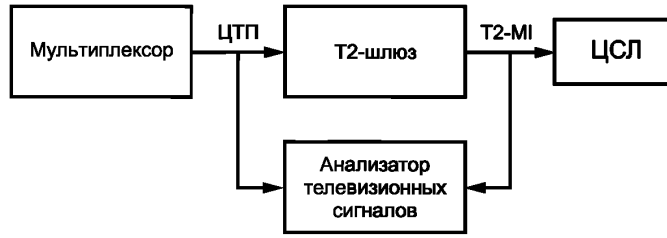


Рисунок 36 — Схема проведения измерений параметров сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы.

Включают анализатор телевизионных сигналов в сеть 220 В. Прогревают прибор в течение 10 мин.

В соответствии с руководством по эксплуатации на анализатор телевизионных сигналов осуществляют настройку анализатора.

Измерения параметров сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала по наземной сети эфирного цифрового телевизионного вещания проводят на входе и выходе Т2-шлюза.

На интерфейс DVB ASI или TSoIP анализатора телевизионных сигналов от технических средств формирования сигнала оператора эфирного вещания (с выхода мультиплексора) подают цифровой транспортный поток MPEG-2 TS.

С помощью анализатора телевизионных сигналов проводят измерения скорости передачи цифрового транспортного потока, параметров структуры и синтаксиса цифрового транспортного потока, джиттера. Измерения проводят в соответствии с руководством по эксплуатации анализатора телевизионных сигналов.

С помощью анализатора телевизионных сигналов проводят измерения искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале. Искажения, характеризующие качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале, приведены в таблицах 46 и 47.

Результаты измерений искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука, считаются удовлетворительными, если в телевизионном сигнале отсутствуют искажения изображения и звукового сопровождения, влияющие на восприятие ТВ-программы телезрителем. Уровень качества

восприятия QoE должен иметь значение не ниже 5,0 (категория шкалы ухудшений «Искажения незаметны») (см. [12]).

На интерфейс DVB ASI или TSoIP анализатора телевизионных сигналов от технических средств формирования сигнала оператора эфирного вещания (с выхода Т2-шлюза) подают транспортный поток, переносящий пакеты T2-MI.

Проводят измерение параметров потоков T2-MI в соответствии с руководством по эксплуатации используемого анализатора телевизионных сигналов.

Проводят измерение скорости передачи цифрового транспортного потока, параметров структуры и синтаксиса цифрового транспортного потока, джиттера. Измерения проводят в соответствии с руководством по эксплуатации используемого анализатора телевизионных сигналов.

С помощью анализатора телевизионных сигналов проводят измерения искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале. Искажения, характеризующие качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале, приведены в таблицах 46 и 47.

Результаты измерений искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука, считаются удовлетворительными, если уровень качества восприятия QoE имеет значение не ниже 5,0 (категория шкалы ухудшений «Искажения незаметны») (см. [12]).

12.4 Параметры сквозной доставки цифрового телевизионного сигнала по магистральным линиям связи

12.4.1 Уровни качества передачи телевизионного сигнала

Параметры сквозной доставки цифрового телевизионного сигнала по магистральным линиям связи используются для оценки искажений телевизионного сигнала, передаваемого от технических средств формирования сигнала оператора эфирного вещания до точки приема сигнала на объектах цифрового вещания по магистральным линиям связи, включая спутниковые линии связи, проводные наземные линии связи по технологии STM, «публичные» общедоступные сети по технологии IP (Интернет). Параметры характеризуют качество сквозной передачи телевизионного сигнала на двух уровнях:

- на уровне качества восприятия изображения и звука QoE;
- на уровне качества обслуживания QoS.

12.4.2 Измеряемые параметры:

- оценка качества сквозной передачи телевизионного сигнала на уровне качества восприятия изображения и звука (QoE), требующая проведения измерений параметров, которые приведены в 12.2.2;
- оценка качества сквозной передачи телевизионного сигнала на уровне качества обслуживания (QoS), требующая проведения измерений следующих параметров:
  - параметры транспортных потоков MPEG-2 TS, принятых по интерфейсам ASI или TSoIP, в соответствии с ГОСТ Р 52592 и с учетом требований [16], приведенные в таблице 48;
  - параметры эталонных программных меток телевизионных транспортных потоков, приведенные в таблице 49;
  - параметры транспортных потоков, содержащих пакеты T2-MI (интерфейс модулятора системы наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2), принятых по интерфейсам ASI или TSoIP, в соответствии с ГОСТ Р 52592 и с учетом требований [15], приведенные в таблице 50;
  - параметры пакетов T2-MI (интерфейс модулятора системы наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2), приведенные в таблице 51.

12.4.3 Методика измерения параметров сквозной доставки цифрового телевизионного сигнала по магистральным линиям связи

Измерение параметров проводят с помощью анализатора телевизионных сигналов.

12.4.3.1 Общие технические требования к анализатору телевизионных сигналов приведены в 12.3.3.1.

Рекомендуемое средство измерений для использования при измерениях — анализатор телевизионных сигналов АТС-3.

Примечание — Зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ № 61543-15.

12.4.3.2 Схема проведения измерений параметров сквозной доставки цифрового телевизионного сигнала по магистральным линиям связи представлена на рисунке 37.

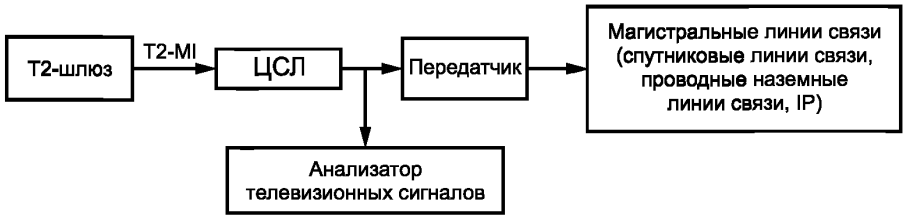


Рисунок 37 — Схема проведения измерений параметров сквозной доставки цифрового телевизионного сигнала по магистральным линиям связи

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы.

Включают анализатор телевизионных сигналов в сеть 220 В. Прогревают прибор в течение 10 мин.

В соответствии с руководством по эксплуатации на анализатор телевизионных сигналов осуществляют настройку анализатора.

На интерфейс DVB ASI или TSoIP анализатора телевизионных сигналов в точке приема сигнала на объекте цифрового вещания по магистральным линиям связи [включая спутниковые линии связи, проводные наземные линии связи по технологии STM, «публичные» общедоступные сети по технологии IP (Интернет)] подают транспортный поток, переносящий пакеты T2-MI.

Проводят измерение параметров потоков T2-MI в соответствии с руководством по эксплуатации используемого анализатора телевизионных сигналов.

Проводят измерение скорости передачи цифрового транспортного потока, параметров структуры и синтаксиса цифрового транспортного потока, джиттера. Измерения проводят в соответствии с руководством по эксплуатации используемого анализатора телевизионных сигналов.

С помощью анализатора телевизионных сигналов проводят измерения искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале. Искажения, характеризующие качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале, приведены в таблицах 46 и 47.

Результаты измерений искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука, считаются удовлетворительными, если уровень качества восприятия QoE имеет значение не ниже 4,5 (категория шкалы ухудшений «Искажения практически незаметны») (см. [12]).

12.5 Параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала на объекте вещания

12.5.1 Уровни качества передачи телевизионного сигнала

Параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала на объекте вещания используются для оценки искажений телевизионного сигнала, передаваемого от точки приема сигнала на объектах цифрового вещания до выхода на передатчики наземного эфирного цифрового телевизионного вещания. Параметры характеризуют качество сквозной передачи телевизионного сигнала на двух уровнях:

- на уровне качества восприятия изображения и звука QoE;
- на уровне качества обслуживания QoS.

12.5.2 Измеряемые параметры:

- оценка качества сквозной передачи телевизионного сигнала на уровне качества восприятия изображения и звука (QoE), требующая проведения измерений параметров, которые приведены в 12.2.2;
- параметры транспортных потоков MPEG-2 TS, принятых по интерфейсам ASI, TSoIP или полученных после демодуляции радиочастотного сигнала DVB-T2, в соответствии с ГОСТ Р 52592 и с учетом требований [16], приведенные в таблице 48;
- параметры эталонных программных меток телевизионных транспортных потоков, приведенные в таблице 49;
- параметры транспортных потоков, содержащих пакеты T2-MI, принятых по интерфейсам ASI, TSoIP или полученных после демодуляции радиочастотного сигнала DVB-T2, в соответствии с ГОСТ Р 52592 и с учетом требований [15], приведенные в таблице 50;
- параметры пакетов T2-MI, приведенные в таблице 51.

12.5.3 Методика измерения параметров сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала на объекте вещания

Измерение параметров проводят с помощью анализатора телевизионных сигналов.

12.5.3.1 Общие технические требования к анализатору телевизионных сигналов приведены в 12.3.3.1.

Рекомендуемое средство измерений для использования при измерениях — анализатор телевизионных сигналов АТС-3.

Примечание — Зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ № 61543-15.

12.5.3.2 Схема проведения измерений параметров сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала на объекте вещания представлена на рисунке 38.

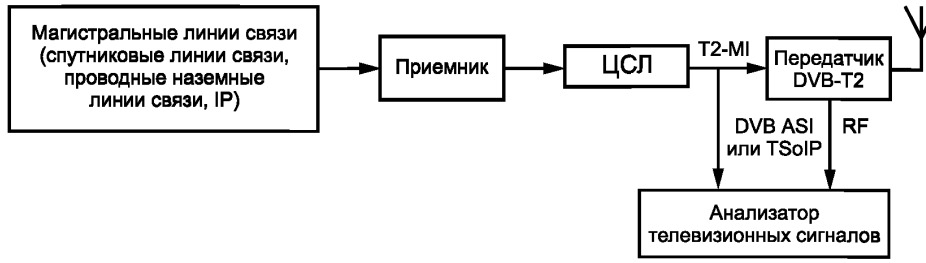


Рисунок 38 — Схема проведения измерений параметров сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала на объекте вещания

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы.

Включают анализатор телевизионных сигналов в сеть 220 В. Прогревают прибор в течение 10 мин.

В соответствии с руководством по эксплуатации на анализатор телевизионных сигналов осуществляют настройку анализатора.

На интерфейс DVB ASI или TSoIP анализатора телевизионных сигналов подают транспортный поток, переносящий пакеты T2-MI, поступающий от точки приема сигнала на объекте цифрового вещания.

Проводят измерение параметров потоков T2-MI в соответствии с руководством по эксплуатации используемого анализатора телевизионных сигналов.

Проводят измерение скорости передачи цифрового транспортного потока, параметров структуры и синтаксиса цифрового транспортного потока, джиттера. Измерения проводят в соответствии с руководством по эксплуатации используемого анализатора телевизионных сигналов.

С помощью анализатора телевизионных сигналов проводят измерения искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале. Искажения, характеризующие качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале, приведены в таблицах 46 и 47.

Результаты измерений искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука, считаются удовлетворительными, если в телевизионном сигнале отсутствуют искажения изображения и звукового сопровождения, влияющие на восприятие ТВ-программы телезрителем.

На интерфейс RF анализатора телевизионных сигналов подают демодулированный радиочастотный сигнал DVB-T2.

Проводят измерение скорости передачи цифрового транспортного потока, параметров структуры и синтаксиса цифрового транспортного потока, джиттера. Измерения проводят в соответствии с руководством по эксплуатации используемого анализатора телевизионных сигналов.

С помощью анализатора телевизионных сигналов проводят измерения искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале. Искажения, характеризующие качество восприятия изображения и звука в телевизионном сигнале, приведены в таблицах 46 и 47.

Результаты измерений искажений, характеризующих качество восприятия изображения и звука, считаются удовлетворительными, если уровень качества восприятия QoE имеет значение не ниже 4,0 (категория шкалы ухудшений «Искажения немного заметны, но не мешают») (см. [12]).

Библиография

[1]	Европейский стандарт ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04)	Цифровое телевизионное вещание (DVB). Структура кадра, канальное кодирование и модуляция для системы наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2) [Digital Video Broadcasting (DVB) — Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)]
[2]	Рекомендация МСЭ-Т H.222.0 (08/2018) | Международный стандарт ИСО/МЭК 13818-1:2018	Информационные технологии. Основополагающее кодирование подвижных изображений и сопутствующей звуковой информации. Системы [Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems]
[3]	Европейский стандарт ETSI EN 300 468 V1.16.1 (2019-08)	Цифровое телевизионное вещание (DVB). Спецификация для сервисной информации (SI) в системах DVB [Digital Video Broadcasting (DVB) — Specification for Service Information (SI) in DVB systems]
[4]	Технические требования ETSI TS 102 606-1 V1.2.1 (2014-07)	Цифровое телевизионное вещание (DVB). Инкапсулированные потоки общего назначения (GSE). Часть 1. Протокол [Digital Video Broadcasting (DVB) — Generic Stream Encapsulation (GSE) — Part 1: Protocol]
[5]	Технические требования ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08)	Цифровое телевизионное вещание (DVB). Руководящие указания по внедрению системы наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2) [Digital Video Broadcasting (DVB) — Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)]
[6]	Рекомендация МСЭ-R BT.1877-1 (08/2012)	Методы исправления ошибок, формирования кадров данных, модуляции и передачи для систем цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения (Error-correction, data framing, modulation and emission methods for second generation of digital terrestrial television broadcasting systems)
[7]	DVB Document A160, November 2012	Цифровое телевизионное вещание (DVB). Система вещания последующего поколения для портативных устройств, спецификация физического уровня (DVB-NGH) [Digital Video Broadcasting (DVB) — Next Generation broadcasting system to Handheld, physical layer specification (DVB-NGH)]
[8]	Рекомендация МСЭ-R F.592-4 (09/2007)	Словарь терминов для фиксированной службы (Vocabulary of terms for the fixed service)
[9]	Internet Engineering Task Force (IETF). Request for Comments: 6363, October 2011	Концепция коррекции ошибок (FEC) [Forward Error Correction (FEC) Framework]
[10]	Рекомендация МСЭ-R BT.1206-3 (04/2016)	Маски спектральных пределов для цифрового наземного телевизионного радиовещания (Spectrum limit masks for digital terrestrial television broadcasting)
[11]	ПТЭ СЦТВ DVB-T2	Временные правила технической эксплуатации средств цифрового телевизионного вещания в стандарте DVB-T2
[12]	Рекомендация МСЭ-R BT.500-14 (10/2019)	Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений (Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures)
[13]	Стандарт SMPTE для телевидения ST 259:2008	Цифровой сигнал/данные в телевидении стандартной четкости. Последовательный цифровой интерфейс (SDTV Digital Signal/Data — Serial Digital Interface)
[14]	Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»	

[15]	Рекомендация Европейского вещательного союза R 128, Geneva August 2011	Нормализация громкости и допустимый максимальный уровень звуковых сигналов (Loudness normalisation and permitted maximum level of audio signals)
[16]	Технический отчет ETSI TR 101 290 V1.3.1 (2014-07)	Цифровое телевизионное вещание (DVB). Руководство по измерениям для систем DVB [Digital Video Broadcasting (DVB) — Measurement guidelines for DVB systems]

УДК 621.397.132.129:397.743:006.354 ОКС 33.170

Ключевые слова: цифровое телевизионное вещание, система цифрового эфирного телевизионного вещания второго поколения, DVB-T2, структура системы, сеть телерадиовещания, кодирование для исправления ошибок, перемежение, кадр, модуляция, измерения

БЗ 8—2020/27

Редактор *Н.В. Таланова*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 13.07.2020. Подписано в печать 03.08.2020. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,84. Уч.-изд. л. 8,56.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru