

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)**

Кафедра телевидения и управления (ТУ)

**ТЕХНОЛОГИИ  
ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ  
В СТАНДАРТАХ DVB**

**Учебно-методическое (справочное) пособие**

РАЗРАБОТАЛ

\_\_\_\_\_ А.Г. Ильин  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Формирование цифрового телевизионного сигнала.....	4
2. Транспортные потоки.....	6
2.1. Сжатие видео- и аудиоданных.....	6
2.2. Формирование транспортного потока .....	7
3. Системы DVB-S2/T2.....	8
3.1. Архитектура системы DVB-S2.....	8
3.2. Структура передающей части системы DVB-T2 .....	10
3.3. ВВ-кадры и FEC-кадры DVB-S2/T2.....	12
3.4. Отображение бит в созвездия (mapping). .....	15
3.5. Модуляция в системе DVB-T2.....	16
3.6. Символы и защитный интервал DVB-T2.....	18
3.7. Метод MISO. ....	19
3.8. Пилоты DVB-T2.....	20
4. Особенности модулированных сигналов в системе DVB-T2 .....	21
4.1. Аналитическое выражение.....	21
4.2. Пик-фактор .....	24
4.3. Поворот созвездий. ....	25
5. Кадровая структура сигнала DVB-T2.....	26
5.1. Физическая кадровая структура.....	26
5.2. Логическая кадровая структура .....	29
6. Скорость передачи данных в системах DVB-T и DVB-T2/S2 .....	34
7. Сигнализация L1.....	37
7.1. Структура сигнализации L1.....	38
7.2. Сигнализация L1 –“данные”.....	39
7.3. Модуляция и помехоустойчивое кодирование данных L1 .....	45
7.4. Вставка символа P1 .....	46
8. Структура сети передатчиков и требования к памяти приёмника DVB-T2.....	49
9. Интерфейс модулятора T2-MI.....	51
9.1. Обзор.....	51
9.2. Статистическое мультиплексирование и расщепление сервисов. ....	51
9.3 Шлюз T2-G и интерфейс модулятора T2-MI.....	52
9.4 Распределение пакетов T2-MI на передатчики .....	53
9.5. Сигнатуры передатчиков.....	53
10. Профиль T2-LITE.....	55
10.1. Обзор.....	55
10.2. Кодирование FEC и модуляция в профиле T2-Lite .....	58
10.3. Режимы T2-Lite.....	60
10.4. Структура сигнала T2-Lite.....	61
10.5. Скорость передачи данных T2-Lite.....	62
10.6. Планирование.....	63
11. Сценарии развёртывания DVB-T2.....	66
11.1. Основные параметры передатчиков DVB-T2 для планирования.....	67
11.2. Спектральные характеристики .....	68
11.3. Выбор модели пилотов.....	70
Приложения.....	73
Список литературы.....	111
Определения, символы и аббревиатура .....	112
Перспективы.....	118

## ВВЕДЕНИЕ

Пособие предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по специальности «Цифровое телерадиовещание». Рассмотрены методы передачи сигналов цифрового телевидения в системах второго поколения DVB-S2/T2 – спутникового и наземного телевизионного вещания. Приведены краткие сведения о формировании транспортных потоков при передаче телевизионных сигналов изображения и сигналов звукового сопровождения, рассмотрены методы помехоустойчивого кодирования и модуляции. Приводится расчёт скорости передачи данных в системах DVB-T и DVB-T2/S2.

Подробно рассмотрены – системы наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T2, профиль T2-LITE, особенности одночастотных сетей, структуры пакетов транспортного потока T2-MI, шлюз T2-G и интерфейс модулятора T2-MI. Большое внимание уделяется структуре данных сигнализации L1, которая используется для передачи служебной информации.

Непрерывное развитие систем цифрового видеовещания сопровождается появлением новых версий документов DVB – стандартов, технических отчётов и других англоязычных публикаций. Предлагаемое пособие сформировано на основе переводов материалов сайта [DVB.org](http://DVB.org) по состоянию на начало 2016 года. Определённую проблему при переводе представляет терминология, принятая в зарубежной литературе зачастую как «жаргон», и отсутствие соответствующих аналогов в отечественных публикациях. Пример – постоянно используется аббревиатура PLP – Каналы Физического Уровня. Другой пример – так называемые *ВВ-фреймы* (Кадры в Основной Полосе). Попытка введения соответствующих русскоязычных аналогов приводит к усложнению терминологии и дополнительной путанице с учётом огромного количества новых параметров и терминов.

При составлении пособия использованы следующие источники:

1. ETSI EN 302 755: «Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)».
2. ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08). «Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)».
3. EN 302 307 «Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications»
4. TR 102 376 «User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications».
5. ETSI TS 102 773 V1.3.1 (2012-01): «Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) ».
6. ETSI TS 102 992: «Digital Video Broadcasting (DVB); Structure and modulation of optional transmitter signatures (T2-TX-SIG) for use with the DVB-T2 second generation digital terrestrial television broadcasting system».
7. EBU Tech 3348 Frequency & Network Planning Aspects of DVB-T2.

Краткие сведения о системе кабельного видеовещания DVB-C2 приведены в приложении 8.

## 1. ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА.

**Сигнал изображения.** Для передачи телевизионных изображений используются яркостный  $Y$  и два цветоразностных сигнала  $R-Y$  и  $B-Y$ . Некомпрессированный цифровой сигнал иногда используется в телевизионных студиях. Его получают следующим образом – рис. 1. Аналоговые сигналы  $R, G, B$  преобразуются в яркостный  $Y=0,30R+0,59G+0,11B$  и два цветоразностных сигнала  $C_R=0,71(R-Y), C_B=0,56(B-Y)$ .

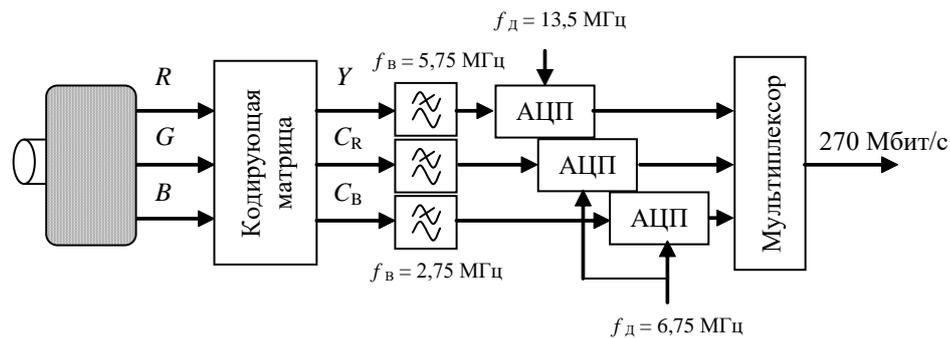


Рис. 1. Преобразование аналоговых телевизионных сигналов в цифровые

Полоса частот яркостного сигнала ограничена величиной  $f_B=5,75$  МГц, полоса каждого из цветоразностных сигналов  $f_B=2,75$  МГц. После фильтров нижних частот сигналы подаются на аналого-цифровые преобразователи АЦП. Частота выборок яркостного сигнала 13,5 МГц, каждого из цветоразностных сигналов 6,75 МГц. Каждый из трёх АЦП имеет разрешение 8 или 10 бит. При 10 битах скорость полного цифрового потока равна 270 Мбит/с.

Выборки всех трёх преобразователей мультиплексируются в следующем порядке:  $Y, C_R, Y, C_B, Y, C_R, \dots$ . Такая последовательность соответствует формату 4:2:2. Этот цифровой сигнал может быть представлен параллельно на 25-контактном разъёме либо последовательно на разъёме BNC 75 Ом. Последовательный интерфейс обозначается SDI.

В пределах потока данных начало и конец активной части строки обозначают специальными кодовыми словами SAV и EAV. В интервале гашения строки может быть передана дополнительная информация, например, звук или информация для коррекции ошибок в цифровом сигнале. Каждое из кодовых слов SAV и EAV состоит из четырёх 8- или 10-битовых слов. Эти четыре слова используются для обнаружения начала кадра, поля или активной части изображения в вертикальном направлении.

Частота дискретизации  $f_d = 13,5$  МГц обеспечивает ортогональную структуру раstra в обоих стандартах 625/50 и 525/6. При таких частотах дискретизации можно практически без искажений преобразовать в цифровую форму сигнал яркости в полосе до 5,75 МГц а

цветоразностные сигналы в полосе до 2,75 МГц. Диапазоны цветоразностных сигналов необходимо привести к единице (т. е. к диапазону сигнала  $Y$ ), поэтому их подвергают компрессии.

Длина кодового слова 10 бит, что соответствует 1024 уровням квантования. Однако числа 0...3 и 1020...1023 резервируются для цифровых синхронизирующих сигналов. Для квантования яркостного сигнала выделяется 877 уровней, значение черного в видеосигнале соответствует уровню квантования 64, а номинальное значение белого – уровню 940. Для квантования цветоразностных сигналов выделяется 897 уровней, причем нулевому значению аналогового сигнала соответствует уровень квантования 512 (рис. 2).

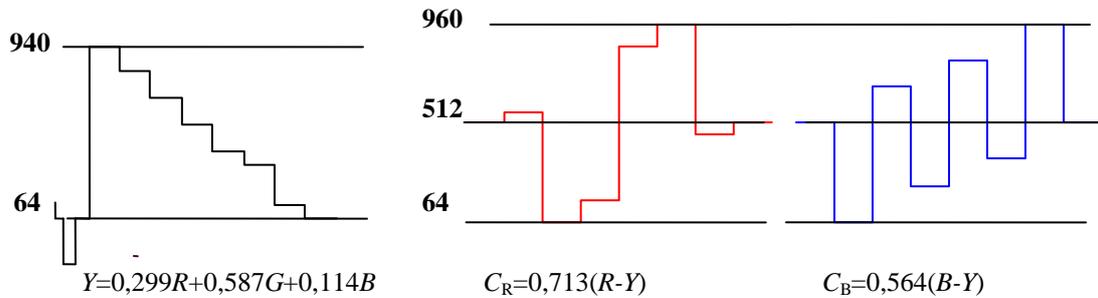


Рис. 2. Уровни квантования яркостного и цветоразностных сигналов

Полная скорость передачи компонентного видеосигнала стандартной чёткости 625/50 (формат 4:2:2) при 10 битах АЦП составляет  $v = 10 \cdot 13,5 + 10 \cdot 6,75 + 10 \cdot 6,75 = 270$  Мбит/с. Для телевидения высокой чёткости скорости значительно выше. Для формата  $1080 \times 1920$  скорость равна 1485 Мбит/с, в формате 4К с разрешением  $2160 \times 3840$  скорость цифрового потока возрастает ещё в четыре раза, то есть  $v \approx 6$  Гбит/с.

Такие скорости для передачи по радиоканалу неприемлемы, поэтому вначале некомпьютеризованные цифровые потоки поступают в *кодер источника*. Задачей его является сокращение избыточности для уменьшения скорости и объёма передаваемой информации (видеокодирование).

**Сигнал звукового сопровождения.** Структура преобразователя аналоговых звуковых сигналов в цифровые приведена на рис. 3. При частоте дискретизации сигнала звукового сопровождения  $f_d = 48$  кГц и при 16-ти битовом квантовании скорость цифрового потока на выходе каждого канала  $v = 48 \cdot 16 = 768$  кбит/с, суммарный цифровой поток 1536 Мбит/с. Пропускная способность канала связи при передаче звукового сигнала форматов 5.1 (Dolby Digital) или 3/2 плюс канал сверхнизких частот (Dolby Surround, Dolby-Pro-Logic, Dolby THX) превышает 3,840 Мбит/с. Для уменьшения скорости цифровых потоков также используют эффективные алгоритмы кодирования звука.

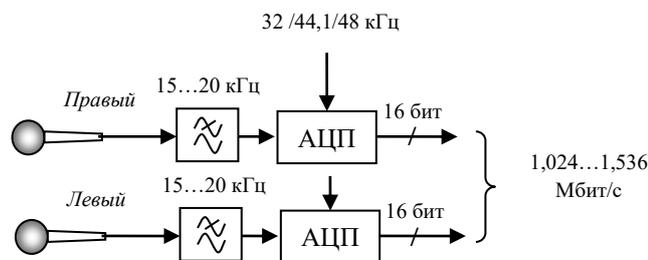


Рис. 3. Преобразование аналоговых звуковых сигналов в цифровые

## 2. ТРАНСПОРТНЫЕ ПОТОКИ

### 2.1. Сжатие видео- и аудиоданных

**Кодирование видео.** В 1991 году специальной рабочей “группе экспертов по движущимся изображениям” MPEG (Moving Picture Experts Group), созданной Международным Союзом Телекоммуникаций (ITU) для разработки алгоритмов кодирования видеосигналов, удалось найти очень удачный и эффективный алгоритм MPEG-1. Первоначально он предназначался только для записи подвижного видеоизображения на компьютерные CD-ROM, но затем область применения стандарта была значительно расширена.

В 1993 году разрабатывается более совершенный алгоритм цифровой компрессии видеосигнала, известный как MPEG-2. Этот стандарт, опубликованный в 1994 году, дает возможность более эффективно “упаковывать” высококачественное цветное изображение вещательного качества в цифровой поток со средней скоростью 3 Мбит/с. В принципе, MPEG-2 позволяет передавать телевизионные сигналы изображения как с большими (до 15 Мбит/с), так и с меньшими скоростями (начиная с 1,5 Мбит/с) цифрового потока, при этом качество изображения напрямую связано с величиной скорости передачи данных.

Более совершенные методы сжатия видео – MPEG-4, часть 10 (AVC H.264). Хотя основной принцип видео-кодирования не изменился, имеется множество различий. По сравнению с MPEG-2 видеокодеки H.264 позволяют уменьшить скорость передачи данных на 30 ... 50 %. Это означает, что сигнал SDTV может быть сжат приблизительно до 1,5...3 Мбит/с (по сравнению со скоростью 2...7 Мбит/с) при первоначальной скорости передачи данных 270 Мбит/с. При использовании MPEG-4 сигнал HDTV может быть сжат приблизительно до 10 Мбит/с (при его первоначальных 1,5 Гбит/с). MPEG-2 требовал бы для этого приблизительно 20 Мбит/с. Другие методы сжатия – в [1 ... 6].

Высокоэффективное видеокодирование H.265 для телевидения стандартной чёткости позволяет снизить скорость компрессированного потока (по сравнению с H.264) в два раза при сохранении того же качества изображения. Для HD и Ultra HD экономия полосы составляет 62% [4]. Перспективы использования HEVC приведены в «DVB SCENE», сентябрь 2016, стр. 4.

**Кодирование звука.** В стандартах MPEG предусмотрено несколько уровней (слоев) компрессии цифровых данных. Уровень *Layer 1* рекомендуется для применения в профессиональной области, в системах записи-перезаписи с высоким студийным качеством с достаточной емкостью памяти; скорость цифрового потока 192...256 кбит/с. *Layer 2* – потребительская область применения, высококачественное радиовещание; рекомендуемая скорость цифрового потока 128 кбит/с. *Layer 3* – в профессиональной области со средним качеством, скорость цифрового потока 64 кбит/с.

## 2.2. Формирование транспортного потока

Пакетированные элементарные потоки кодированных видео, аудио сигналов и сигналов дополнительных данных объединяются в программный поток PES.

Несколько программных потоков затем мультиплексируют в транспортный поток TS. После помехоустойчивого кодирования в *кодере канала* сигнал поступает далее на модулятор передатчика.

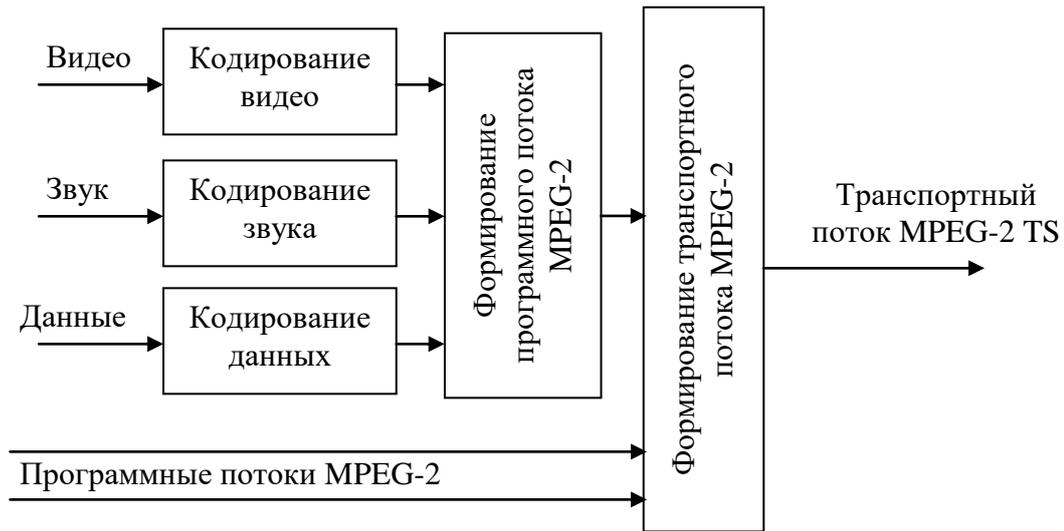


Рис. 4. Структурная схема формирования транспортного потока MPEG-2 TS

Программные потоки от различных телевизионных программ с помощью мультиплексора уплотняются в транспортный поток ТП, состоящий из одинаковых по структуре транспортных пакетов. Пакеты транспортного потока MPEG-2 TS имеют одинаковый размер – 188 байт, включая заголовок (4 байта). Заголовок содержит синхробайт, идентификатор пакета (PID) – 13 бит, бит наличия ошибки, бит начала полезной нагрузки в пакете программного потока, 2 бита управления скремблером и ряд других данных. Подробное описание пакета приведено в [6].

Транспортный поток поступает на вход канального кодера. Канальное кодирование обеспечивает защиту от помех и коррекцию ошибок передачи. Его называют также помехоустойчивым кодированием или упреждающей коррекцией ошибок (FEC). Подробнее об этом далее в п. 3.3.

### 3. СИСТЕМЫ DVB-S2/T2

#### 3.1. Архитектура системы DVB-S2

Структура системы DVB-S2 показана на рис. 5. **Адаптация режима** обеспечивает синхронизацию входного потока, вычёркивание нуль-пакетов, смешивание входных потоков, кодирование CRC для обнаружения ошибок на пакетном уровне и разделение на ПОЛЯ ДАННЫХ. Группы битов низкочастотных потоков принято называть *кадрами Base Band* (далее ВВ-кадры), их формат приведен в п. 3.3.

Для постоянного кодирования и модуляции (CCM) и единственного транспортного потока блок адаптации содержит интерфейс и кодер CRC-8. ВВ-заголовок присоединяется перед полем данных, он сообщает приёмнику формат входного потока и тип адаптации режима. Необходимо отметить, что транспортные пакеты MPEG могут быть отображены в ВВ-кадры асинхронно. Можно также использовать изменяемое кодирование и модуляцию (VCM).

Адаптивное кодирование и модуляция (АСМ) позволяет изменять параметры передатчика в зависимости от условий пути доставки индивидуально для каждого пользователя. Суть режима АСМ сводится к тому, что в зависимости от условий приема сигнала (например, наличия дождя) меняется режим работы модулятора DVB-S2, т.е. изменяются скорость кодирования и формат модуляции. Вследствие этого меняется и требуемое отношение  $C/N_{\text{треб}}$  у абонента. Порог  $C/N$  устанавливается на приемной стороне потребителем данной услуги и посылается на наземную передающую станцию по реверсному каналу. При этом параметры кодирования и модуляции могут изменяться от кадра к кадру.

**Адаптация Потока** завершает формирование ВВ-кадров, обеспечивает *набивку* и *скремблирование*.

**Помехоустойчивое кодирование FEC** в S2 выполняется каскадированием внешнего BCH и внутреннего LDPC кодов (скорости 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). В зависимости от области применения кодированный FEC-блок имеет размер  $N_{\text{ldpc}} = 64800$  бит или 16200 бит. При использовании VCM и АСМ кодирование FEC и модуляция могут изменяться в разных кадрах, но остаются постоянными в пределах одного кадра. Перемежение применяется к кодированным битам для 8PSK, 16APSK и 32APSK.

**Формирование кадров на физическом уровне** выполняется синхронно с FEC-кадрами и обеспечивает вставку “фиктивных” кадров, PL-сигнализации, пилотных символов. Используется скремблирование для рассеивания энергии. Фиктивные кадры передаются при отсутствии полезных данных.

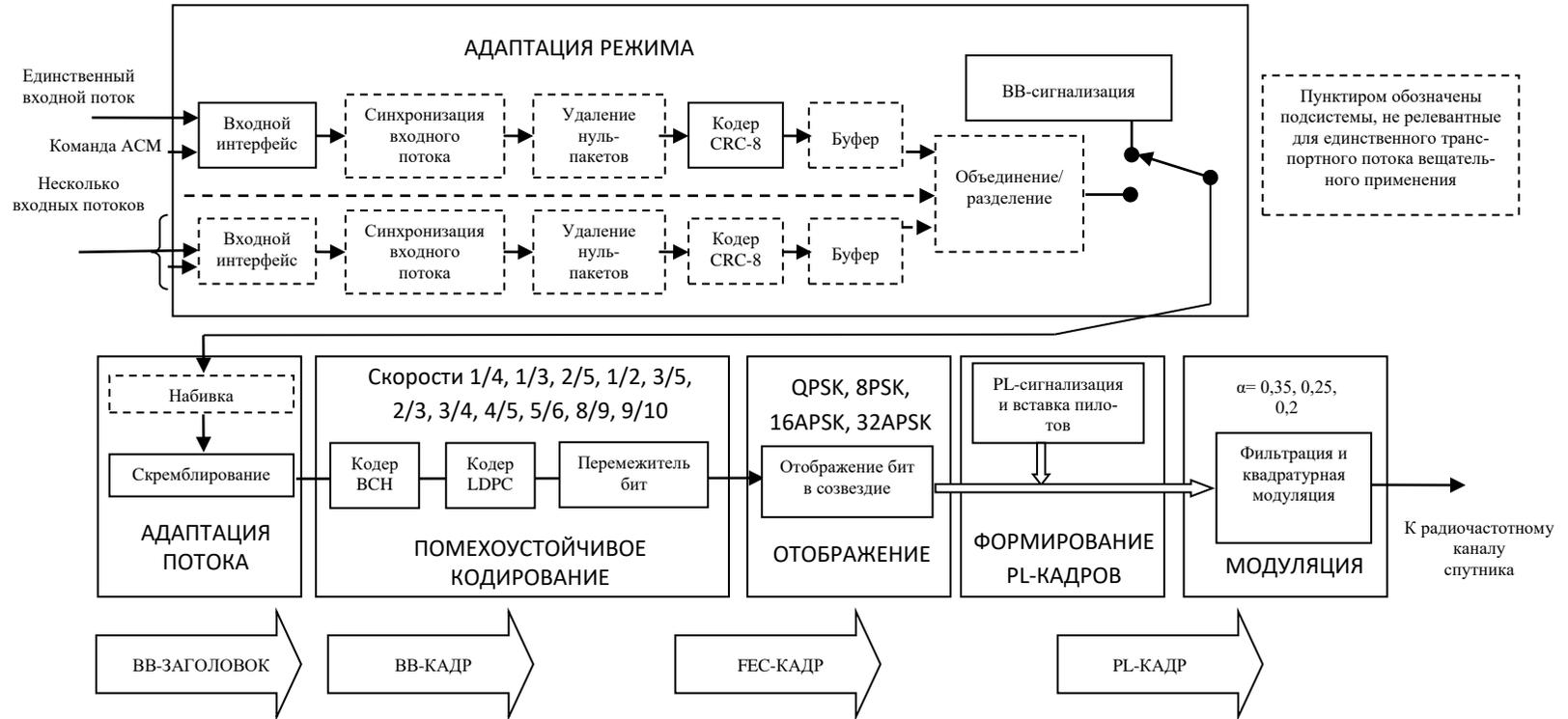


Рис. 5. Функциональная схема системы DVB-S2

Кадры физического уровня (**PL-кадры**) разделены на слоты размером  $M = 90$  символов в каждом слоте (рисунок в приложении 2). При этом обеспечивается необходимая синхронизация приёмника в структуре FEC-блока. Этот механизм подходит также для установки демодулятора в VCM и ACM.

Восстановление несущих в приёмнике обеспечивается введением регулярного раstra по 36 пилотных символов на каждые 16 слотов полезной нагрузки, перегрузка пилотами составляет  $36/(36+16 \cdot 90)=2,4\%$ .

**Фильтрация в основной полосе** применяется для формирования спектра сигнала (корень квадратный из приподнятого косинуса с коэффициентом скругления 0,35, 0,25 или 0,2).

**Квадратурная модуляция DVB-S2.** Имеется четыре режима, два из которых – QPSK и 8PSK – предназначены для вещательного применения в нелинейных спутниковых транспондерах, возбуждаемых до уровня, близкого к насыщению. Два других режима – 16APSK и 32APSK, требующие более высокого отношения несущая/шум  $C/N$ , предназначены для профессионального применения, например, для сборки новостей или интерактивного обслуживания.

### 3.2. СТРУКТУРА ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ DVB-T2

Второе поколение системы наземного цифрового видеовещания DVB-T2 использует технологии, апробированные в спутниковой системе DVB-S2, в частности, пакетирование данных в «**ВВ-кадры**». Обобщённая структура передающей части показана на рис. 6.



Рис. 6. Структура передающей части DVB-T2

На входе кроме потока MPEG-2 TS могут быть Поток Общего Назначения Generic Stream (GS). Входной предпроцессор включает формирователь ВВ-кадров и разделитель сервисов (*Service splitter*) на отдельные **Каналы Физического Уровня – PLP**.

**РАЗДЕЛЕНИЕ НА КАНАЛЫ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ (PLP)** – существенная особенность системы DVB-T2. В каждом из этих каналов отдельно вводится синхронизация, выполняется удаление нуль-пакетов, помехоустойчивое кодирование LDPC/VCH-FEC, перемежение бит (*bit-interleaving*) и отображение в коды созвездий (*constellation-mapping*). Определены два метода ввода информации: метод А для единственного канала PLP, и метод В для множества PLP.

**Метод ввода информации А** – наиболее простой метод. Он может рассматриваться как простое расширение DVB-T, использующее новые технологии, кроме подразделения на множество каналов PLP. Здесь используется только один канал PLP, переносящий один транспортный поток. Поэтому ко всему контенту применима та же помехоустойчивость, что и в DVB-T.

**Метод ввода информации В.** Этот более передовой метод использует концепцию множества PLP. Кроме преимуществ в надёжности сервисов этот метод предлагает потенциально более глубокое временное перемешивание и экономит потребляемую энергию в приёмнике. Следовательно, даже в случае идентичных физических параметров может стать полезным применение этого метода, особенно если целью является приём на портативные и/или мобильные устройства.

Если имеется единственный PLP, в эфире будет один непрерывный канал данных. Если имеется несколько PLP, данные в физических каналах могут быть разделены во времени слоями (*time-sliced*). При этом обеспечивается ряд альтернатив, позволяющих обмен параметров временного многообразия и экономии потребляемой энергии в приёмнике. Использование множества каналов PLP и временного разделения, осуществляемое в T2, позволяет применить к различным PLP разные уровни кодирования, модуляции и временного перемежения для обеспечения варьируемой помехоустойчивости сервисов. Приёмник может сконцентрировать ресурсы на одном PLP, содержащем требуемые данные.

При фиксированной величине памяти в приёмнике, предназначенной для временного деперемежения, можно использовать большую глубину перемешивания по сравнению с единственным PLP. При единственном PLP глубина временного перемешивания около 70 мс, в то время как с множеством PLP она может быть увеличена до полной длительности кадра (150-250 мс), или для сервисов с меньшей скоростью данных – до нескольких кадров.

### 3.3. ВВ-кадры и FEC-кадры DVB-S2/T2.

На входе системы могут быть низкочастотные цифровые сигналы транспортных потоков MPEG или обобщённых потоков (Generic Stream). Поток битов часто называют видеосигналом или низкочастотным сигналом (*baseband signal*), это подразумевает, что его спектральные составляющие размещены от постоянной составляющей до некоторого конечного значения, обычно не превышающего нескольких мегагерц. Встречается и другое определение – *сигнал в основной полосе частот*. В соответствии с этим определением группы битов низкочастотных потоков принято называть *кадрами Base Band* (ВВ-кадры). Их формат показан на рис. 7.



DFL Data Field Length – Размер Поля Данных

Рис. 7. Формат ВВ-кадра

Используемые в системе методы помехоустойчивого кодирования обеспечивают Квазибезошибочный Приём QEF (Quasi-Error-Free). QEF – это приём, допускающий менее одной некорректированной ошибки за каждый час передачи при скорости 5 мегабит в секунду в одном декодированном ТВ-сервисе. Это приблизительно соответствует уровню пакетной ошибки транспортного потока (MPEG TS) Packet Error Rate PER  $< 10^{-7}$  перед демультимплексором.

#### Помехоустойчивое кодирование DVB-S2/T2

ВВ-кадры поступают в подсистему помехоустойчивого кодирования, на выходе которой формируются FEC-кадры. Для защиты от помех в стандартах DVB-S2/T2 используется перемежение данных и двухуровневый корректирующий код FEC. В качестве внешней кодозащиты используется код Боуза-Чоудхури-Хоквингема (BCH), а в качестве внутренней – код с низкой плотностью проверок на четность (Low Density Parity Check Codes – LDPC). В большинстве режимов код позволяет исправлять до 12 ошибок.

**FEC-кадры в системах DVB-S2/T2.** Каждый ВВ-кадр ( $K_{bch}$  бит) должен обрабатываться подсистемой помехоустойчивого кодирования, производящей FEC-кадр ( $N_{ldpc}$  бит).

Кодирование выполняется в два этапа. Вначале проверочные биты BCH-FEC систематического внешнего кода BCH присоединяются к ВВ-кадру, формируя блок объёмом  $N_{bch}$ . Затем к полученному блоку величиной  $K_{ldpc} = N_{bch}$  добавляют проверочные биты LDPC-FEC внутреннего кода LDPC – после поля BCH-FEC, как показано на рис. 8. Аналогичные обозначения используются и в системе DVB-T2.

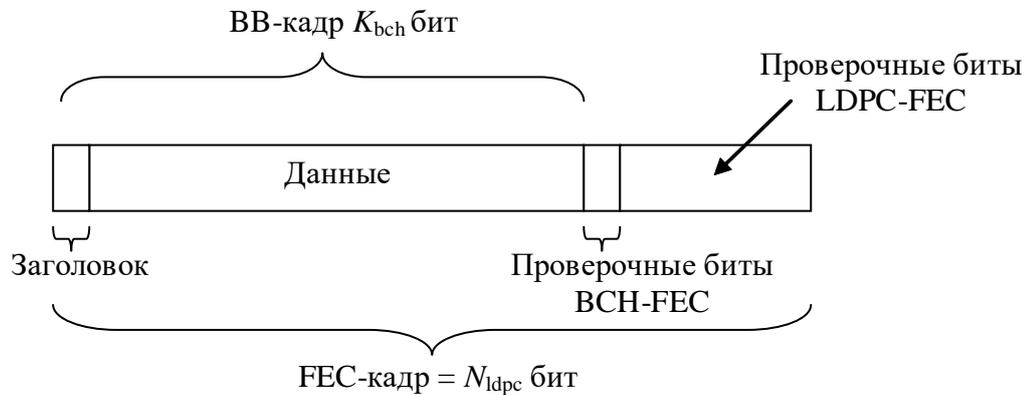


Рис. 8. Структура FEC-кадра

В таблице 1 приведены параметры кодирования для стандартного FEC-кадра ( $N_{ldpc} = 64\ 800$  бит) и в таблице 2 – для короткого кадра FEC-кадра ( $N_{ldpc} = 16\ 200$  бит).

Таблица 1. Параметры FEC-кодирования для стандартного кадра ( $N_{ldpc} = 64\ 800$  бит)

Скорость кода LDPC	Некодированный BCH блок $K_{bch}$	Кодированный BCH блок $N_{bch}$ Некодированный LDPC блок $K_{ldpc}$	BCH коррекция $t$ -ошибок	Кодированный блок $N_{ldpc}$
1/4	16 008	16 200	12	64 800
1/3	21 408	21 600	12	64 800
2/5	25 728	25 920	12	64 800
<b>1/2</b>	<b>32 208</b>	<b>32 400</b>	<b>12</b>	<b>64 800</b>
<b>3/5</b>	<b>38 688</b>	<b>38 880</b>	<b>12</b>	<b>64 800</b>
2/3	43 040	43 200	10	64 800
3/4	48 408	48 600	12	64 800
4/5	51 648	51 840	12	64 800
5/6	53 840	54 000	10	64 800
8/9	57 472	57 600	8	64 800
9/10	58 192	58 320	8	64 800

Таблица 2. Параметры FEC-кодирования для короткого кадра ( $N_{ldpc} = 16\ 200$  бит)

Скорость кода LDPC	Некодированный VCH блок $K_{bch}$	Кодированный VCH блок $M_{bch}$ Некодированный LDPC блок $K_{ldpc}$	VCH коррекция $t$ -ошибок	Эффективная скорость LDPC $K_{ldpc}/16200$	Кодированный блок $N_{ldpc}$
1/4	3 072	3 240	12	1/5	16200
1/3	5 232	5 400	12	1/3	16200
2/5	6 312	6 480	12	2/5	16200
<b>1/2</b>	<b>7 032</b>	<b>7 200</b>	<b>12</b>	<b>4/9</b>	<b>16200</b>
<b>3/5</b>	<b>9 552</b>	<b>9 720</b>	<b>12</b>	<b>3/5</b>	<b>16200</b>
<b>2/3</b>	<b>10 632</b>	<b>10 800</b>	<b>12</b>	<b>2/3</b>	<b>16200</b>
<b>3/4</b>	<b>11 712</b>	<b>11 880</b>	<b>12</b>	<b>11/15</b>	<b>16200</b>
<b>4/5</b>	<b>12 432</b>	<b>12 600</b>	<b>12</b>	<b>7/9</b>	<b>16200</b>
<b>5/6</b>	<b>13 152</b>	<b>13 320</b>	<b>12</b>	<b>37/45</b>	<b>16200</b>
8/9	14 232	14 400	12	8/9	16200
9/10	NA	NA	NA	NA	16200

ПРИМЕЧАНИЕ. Жирным шрифтом выделены параметры кодирования DVB-T2.

Скорость внешнего кода VCH

$$C_{outer} = K_{bch} / N_{bch} \approx 1.$$

Скорость внутреннего кода LDPC

$$C_{inner} = K_{ldpc} / N_{ldpc}.$$

Полная скорость кодирования

$$C = C_{outer} C_{inner} \approx C_{inner}.$$

**Кодирование DVB-T2.** Помехоустойчивое кодирование LDPC/VCH аналогично системе DVB-S2. Параметры кодирования приведены в таблицах 1 и 2 жирным шрифтом. В процессе кодирования формируются FEC-кадры.

### 3.4. Отображение бит в созвездия (mapping).

*Операция отображения служит для преобразования потока битов в поток символов, используемых для формирования звёздной диаграммы.*

По определению [2], **МАППЕР** – блок отображения вектора выходных символов кодера в модуляционные символы пространства сигналов. Выходной набор маппера – набор *модуляционных символов*, количество которых (для одного FEC-кадра) равно  $N_{\text{dpc}}/\eta_{\text{MOD}}$ , т.е.  $64\,800/\eta_{\text{MOD}}$  или  $16\,200/\eta_{\text{MOD}}$ . Здесь  $\eta_{\text{MOD}}$  – целое число, определяющее эффективность модуляции. Модуляционные символы ещё называют символами созвездия.

Каждый модуляционный символ соответствует одной точке созвездия. Это комплексный вектор в формате  $(I, Q)$  или в эквивалентном формате  $\rho \exp(j\phi)$ , где  $\rho$  – модуль вектора,  $\phi$  – его фаза.

Работа маппера поясняется следующим образом. Каждый FEC-кадр, содержащий 64 800 бит при нормальном кадре или 16 200 бит при коротком кадре, поступает в последовательно-параллельный преобразователь (демультиплексор). Демультиплексирование определяется как преобразование входных бит  $v_{di}$  в выходные  $b_{e,do}$  [8], где

$$do = di \operatorname{div} N_{\text{substreams}},$$

$e$  – номер потока демультиплексированных бит ( $0 \leq e < N_{\text{substreams}}$ ), который зависит от  $di$ ,

$v_{di}$  – вход демультиплексора,

$di$  – номер входного бита,

$b_{e,do}$  – выход демультиплексора,

$do$  – номер бита в данном потоке на выходе демультиплексора.

**DVB-S2.** Количество бит на символ созвездия обозначено как  $\eta_{\text{MOD}}$  и является мерой эффективности цифровой модуляции символов. Параметр  $\eta_{\text{MOD}}$  равен 2 для QPSK, 3 для 8PSK, 4 для 16APSK, 5 для 32APSK. Количество символов, соответствующее одному FEC-кадру (FECFRAME), равно  $N_{\text{dpc}}/\eta_{\text{MOD}}$ , – зависит от выбранного значения эффективности модуляции  $\eta_{\text{MOD}}$ , то есть от числа передаваемых бит в символе созвездия.

**DVB-T2.** Необходимо отметить существенное различие понятий «символ» в системах S2 и T2. В системе DVB-T2 «символ OFDM» содержит множество несущих, каждая из которых модулирована одним из следующих способов: QPSK ( $\eta_{\text{MOD}}=2$  бита на одну несущую символа OFDM), 16-QAM (4 бита), 64-QAM (6 бит), 256-QAM – (8 бит). Набор данных, переносимый каждой несущей, называют *модуляционным символом*. Таким образом, «символ OFDM» содержит информацию, соответствующую  $N$  модуляционным символам, т. е. размеру ОБПФ (1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k).

### 3.5. Модуляция в системе DVB-T2

Существенное отличие DVB-T2 от S2 – использование **многочастотной модуляции** COFDM. Выполняется с помощью Обратного Быстрого Преобразования Фурье ОБПФ.

Расшифровка:

- Frequency Division Multiplexing – частотное уплотнение. Данные передаются с использованием большого числа несущих.
- Orthogonal – несущие взаимно ортогональны, так как их частоты кратны основной частоте.
- Coded – кодирование канала, включает внешнее и внутреннее кодирование и перемежение для коррекции ошибок, возникающих в канале при передаче данных. Это помехоустойчивое кодирование обозначается ещё как FEC. В системе DVB-T2 используется каскадное кодирование – LDPC + BCH.

**Процесс модуляции** происходит следующим образом. Поток данных с защитой от ошибок разделяется случайным образом на множество (до нескольких тысяч) подпотоков, процесс называется мультиплексированием и перемешиванием. Каждый подпоток поступает в формирователь *модуляционных символов* (маппер), который генерирует данные, разделённые на действительную  $Re(f)$  и мнимую  $Im(f)$  части. Производятся две таблицы данных – действительных и мнимых частей. В результате переходят из временной области в частотную. Для каждой несущей формируется *модуляционный символ* в форме двух составляющих – действительной (косинусоидальная) и мнимой (синусоидальная). Эти символы хранятся в отдельных ячейках (cells).

Две таблицы, реальная и мнимая, являются входными сигналами для следующего сигнального процессора – блока обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). На его выходе формируются *символы во временной области*. Форма сигнала имеет вид случайного процесса. Модулятор (рис. 9) состоит из блока ОБПФ и комплексного смесителя (квадратурный модулятор  $I/Q$ ). Размерность векторов, обозначенных жирным шрифтом, соответствует размеру ОБПФ, т.е. количеству несущих в символе OFDM (1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k).

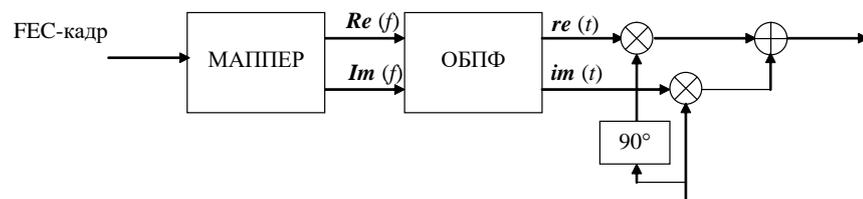


Рис. 9. Практическая реализация модулятора

Полностью структура генератора OFDM показана на рис. 10.

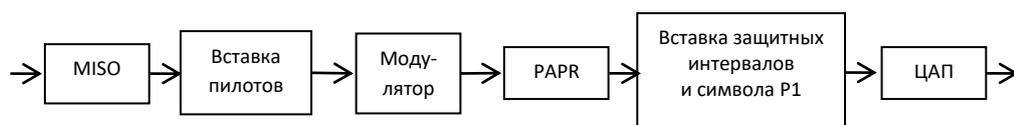


Рис. 10. Генератор OFDM

**Несущие.** В системе DVB-T2 количество несущих  $N$  в одном символе соответствует размеру ОБПФ (1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k). Каждая из множества  $N$  несущих может быть промодулирована одним из следующих способов: QPSK (эффективность  $\eta_{\text{MOD}}=2$  бит на одну несущую символа), 16-QAM – 4 бит, 64-QAM – 6 бит, 256-QAM – 8 бит, причём в DVB-T2 параметр  $\eta_{\text{MOD}}$  определяет количество бит, переносимых *одной несущей* за время символа. Таким образом, если все несущие промодулированы одинаково, ёмкость одного символа равна  $N\eta_{\text{MOD}}$ .

ПРИМЕР 1. В режиме 2k длительность полезной части символа  $T_U=224$  мкс, количество несущих =1705 (таблица 5). При  $\eta_{\text{MOD}}=6$  бит скорость передачи (без учёта защитных интервалов  $C=N\eta_{\text{MOD}}/T_U=1705*6/224=45,6696$  Мбит/с. При использовании защитных интервалов скорость уменьшается. Если доля защитного интервала  $G_{\text{IF}}=1/4$  (длительность защитного интервала  $T_G=G_{\text{IF}}T_U=0,25*224=56$  мкс), скорость уменьшается до 36,5357 Мбит/с. *Реально скорость передачи полезных данных ещё меньше за счёт того, что некоторые несущие («пилоты») используются для передачи служебной информации.* Отметим, что понятия «СИМВОЛ» в системах S2 и T2 существенно отличаются. Подробнее об этом ниже – в разделе 3.6.

***Скорость передачи данных  $C$  не зависит от размера ОБПФ, так как при увеличении количества несущих возрастает длительность символа.***

ПРИМЕР 2. В режиме 32k длительность полезной части символа равна 3584 мкс, количество несущих в обычном режиме равно 27265, при  $\eta_{\text{MOD}}=6$  скорость передачи данных равна 45,6445 Мбит/с. При относительной длительности защитного интервала  $G_{\text{IF}}=1/4$  длительность символа  $T_S=3584*1,25=4480$  и скорость  $C=36,5156$  Мбит/с. По сравнению с режимом 2k скорость передачи данных практически не изменилась.

***Увеличение количества несущих частот позволяет увеличить скорость передачи данных только при сохранении абсолютной величины длительности защитного интервала  $T_G$ .*** Например, если при переходе от 2k к 32k оставить длительность защитного интервала  $T_G=56$  мкс, скорость от 36,5357 Мбит/с возрастёт до 46,369 Мбит/с, то есть на 27 %. Аналогичный результат даёт следующий пример.

ПРИМЕР 3. Длительность защитного интервала одинакова  $T_G=28$  микросекунд в режиме 1k при  $G_{\text{IF}}=1/4$  и в режиме 32k при  $G_{\text{IF}}=1/128$ . Соответствующие значения длительности символов  $T_S$  равны 140 и 3612 микросекунд. В этом случае при переходе от режима 1k к 32k скорость передачи данных увеличивается с 36,5571 до 45,2907 Мбит/с, то есть почти на 24 процента.

### 3.6. Символы и защитный интервал DVB-T2

Сигнал DVB-T2 представляет собой последовательность символов OFDM. Символ включает множество модулированных несущих частот. Поэтому считают, что символ OFDM разделён на **ячейки** (*cells*), каждая из которых соответствует модуляции, выполненной на одной несущей частоте в течение одного символа (рис. 11). Содержимое данной ячейки  $c_{m,l,k}$  – это комплексное число  $I+jQ$ . Здесь  $m$  – номер кадра,  $l$  – номер символа,  $k$  – номер ячейки.

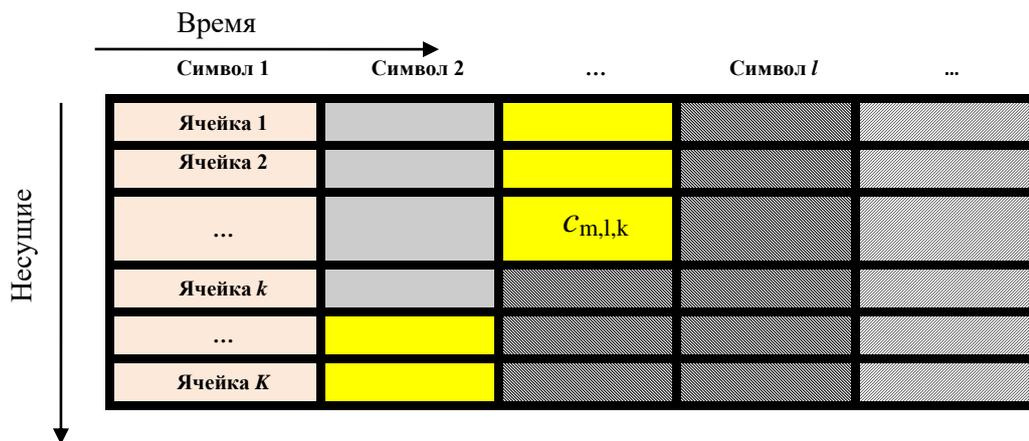


Рис.11. Кадр номер  $m$  содержит пять PLP

Символ содержит полезную часть  $T_U$  и защитный интервал  $T_G$  – рис. 12. Длительность защитного интервала равна  $T_G = G_{IF} T_U$ .  $G_{IF}$  – доля защитного интервала от длительности полезной части символа  $T_U$  ( $G_{IF} = 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128$  и  $1/4$ ).



Рис. 12. Полная длительность символа  $T_S$  больше его полезной части  $T_U$  на величину защитного интервала  $T_G = G_{IF} T_U$

В таблице 3 приведены длительности полезной части символа и защитных интервалов для разных режимов ОБПФ [7].

Таблица 3. Длительность защитного интервала  $T_G$  для канала 8 МГц

ОБПФ	$T_U$ мс	$G_{IF}$						
		1/128	1/32	1/16	9/256	1/8	19/128	1/4
		$T_G$ , мкс						
32k	3,584	28	112	224	266	448	532	n/a
16k	1,792	14	56	112	133	224	266	448
8k	0,896	7	28	56	66,5	112	133	224
4k	0,448	n/a	14	28	n/a	56	n/a	112
2k	0,224	n/a	7	14	n/a	28	n/a	56
1k	0,112	n/a	n/a	7	n/a	14	n/a	28

Обычно группа сервисов содержит общие элементы – например, таблицы PSI/SI. Для того, чтобы в каждом канале PLP не повторять эту информацию, стандарт DVB-T2 включает концепцию «общего PLP», выделяемого группой каналов PLP. Следовательно, при приёме одного сервиса приёмники должны декодировать два канала PLP одновременно: канал *PLP-данных* и ассоциированный с ним *общий PLP*.

### 3.7. Метод MISO.

Опционально может быть сформировано второе направление, передаваемое через вторую антенну, это называется режимом передачи MISO – Multiple Input, Single Output – означает несколько передающих антенн и одну приёмную.

Хотя DVB-T поддерживает одночастотные сети Single-Frequency Networks (SFN), наличие сигналов с одинаковой мощностью от двух передатчиков в сети вызывает значительную потерю запаса (margin), приводящие к тому, что результирующий канал может иметь глубокие «провалы». При этом может пострадать портативный приём, и для компенсации потребуется увеличить мощность передатчика. DVB-T2 включает возможность использования способа Аламоути с парой передатчиков. Этот способ является примером системы MISO, в которой каждая точка созвездия передаётся каждым передатчиком, но второй передатчик передаёт слегка модифицированную версию каждой пары созвездия и в обратном порядке по частоте.

Способ даёт возможность приёма оптимальной комбинации двух сигналов; результирующее отношение сигнал/шум такое, что как бы мощности двух сигналов комбинируются в эфире. Усложнение в приёмнике включает несколько дополнительных элементов для обработки Аламоути, необходимо также удвоение некоторой части оценки канала. Имеется значительное увеличение перегрузки – плотность рассеянных пилотов должна быть удвоена при заданной доле защитного интервала.

### 3.8. Пилоты DVB-T2

Некоторые ячейки в кадре OFDM модулируются справочной информацией, которая передается в приемник. Это пилоты – Рассеянные, Постоянные, Крайние, P2 и Символы Закрытия Кадров (*Scattered, Continual, Edge, P2 u Frame Closing*). Пилот-сигналы используются в приёмниках для синхронизации кадров, синхронизации частоты, синхронизации по времени, для оценки канала, идентификации режима передачи, а также могут быть использованы для отслеживания фазового шума. Эти ячейки передаются в "усиленном" уровне мощности.

Имеется восемь шаблонов рассеянных пилотов PP1...PP8. Рассеянные пилоты с предварительно определённой амплитудой вставляются в сигнал через регулярные интервалы в частотном  $D_x$  и временном  $D_y$  направлениях (рис. 13). Значения этих интервалов приведены в таблице 4. Рассеянные пилоты используются в приёмнике для оценки изменений характеристик канала как по времени, так и по частоте. Несущая  $k$  данного символа  $l$  будет рассеянным пилотом, если удовлетворено уравнение:

$$k \bmod(D_x, D_y) = D_x(l \bmod D_y) \quad \text{обычные режимы несущих,}$$

$$(k - K_{\text{ext}}) \bmod(D_x, D_y) = D_x(l \bmod D_y) \quad \text{расширенные режимы несущих.}$$

Пример шаблона рассеянных пилотов PP1 приведён на рис. 13.

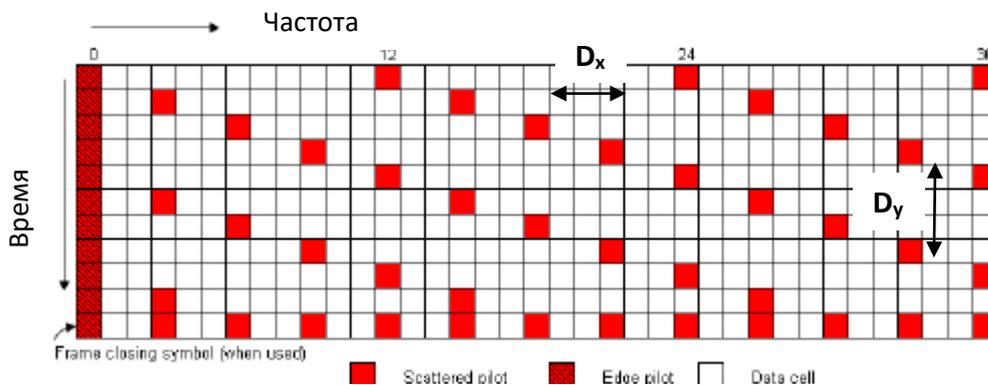


Рисунок 13. Пример шаблона рассеянных пилотов PP1

Таблица 4: Параметры рассеянных пилотов

Пилоты	Повторение пилотов (рис. 13)	
	по оси частот ( $D_x$ )	по оси времени ( $D_y$ )
PP1	3	4
PP2	6	2
PP3	6	4
PP4	12	2
PP5	12	4
PP6	24	2
PP7	24	4
PP8	6	16

**Модуляция рассеянных пилотов** определяется по формуле:

$$\operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2A_{SP}(1/2 - r_{l,k}), \operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0,$$

где величина  $A_{SP}$  определена в таблице 5,  $r_{l,k}$  – в [7], раздел 9.2.2,  $m$  – индекс T2-кадра,  $k$  – частотный индекс несущих и  $l$  – временной индекс символов.

Таблица 5. Амплитуды рассеянных пилотов

Шаблон пилотов	Амплитуда ( $A_{SP}$ )	Увеличение, дБ
PP1, PP2	4/3	2,5
PP3, PP4	7/4	4,9
PP5, PP6, PP7, PP8	7/3	7,4

**Непрерывные пилоты.** В дополнение к рассеянным пилотам, описанным выше, имеется ряд непрерывных пилот-сигналов *CP (Continual Pilots)*, которые вставляются в каждом символе кадра для P1 и P2, кроме символа закрытия кадров. Количество и расположение непрерывных пилот-сигналов зависит как от размера ОБПФ, так и от шаблона рассеянных пилотов PP1 – PP8.

**Краевые пилоты.** Крайние несущие  $k = K_{\min}$  и  $k = K_{\max}$  являются краевыми пилотами в каждом символе, кроме P1 и P2. Они вставляются в целях обеспечения частотной интерполяции у края спектра. Модуляция этих ячеек точно такая же, как и для рассеянных пилотов.

## 4. ОСОБЕННОСТИ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ DVB-T2

**4.1. Аналитическое выражение.** Передаваемый сигнал организован в кадры. Длительность каждого кадра равна  $T_F$ . Кадр состоит из  $L_F$  символов.  $N_{T2}$  кадров образуют суперкадр. Каждый символ длительностью  $T_S$  содержит набор  $K_{\text{total}}$  несущих. Символ состоит из двух частей – полезной части с длительностью  $T_U$  и защитного интервала с длительностью  $T_G = G_{IF}T_U$ . Защитный интервал является циклическим продолжением полезной части и вставляется перед ней. Символы в OFDM-кадре (кроме символа P1) пронумерованы от 0 до  $L_F - 1$ . Все символы содержат данные и опорную информацию.

Так как OFDM-сигнал содержит много отдельно модулированных несущих, каждый символ можно рассматривать как разделённый на ячейки, каждая из которых соответствует одной модулированной несущей в течение одного символа. Несущие имеют индекс  $k$ . Разнос между соседними несущими  $\Delta f$  равен  $1/T_U$ , разнос между крайними несущими  $K_{\min}$  и  $K_{\max}$  равен  $(K_{\text{total}} - 1)/T_U$ .

Излучаемый сигнал, если не используются FEF и PAPR, описывается следующим выражением:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ p_1(t - mT_F) + \frac{5}{\sqrt{27 \times K_{total}}} \sum_{l=0}^{L_F-1} \sum_{k=K_{min}}^{K_{max}} c_{m,l,k} \times \psi_{m,l,k}(t) \right] \right\},$$

где  $\psi_{m,l,k}(t) = e^{j2\pi \frac{k}{T_U}(t - T_G - T_{P1} - lT_S - mT_F)}$  при  $mT_F + T_{P1} + lT_S \leq t \leq mT_F + T_{P1} + (l+1)T_S$ ,  
 $\psi_{m,l,k}(t) = 0$  в остальных случаях,

$k$  – номер несущей,  $l$  – номер символа начиная от 0 до первого P1-символа кадра,  $m$  – номер T2-кадра,

$K_{total}$  – число передаваемых несущих (см. далее в таблице 6),

$L_F$  – число OFDM-символов в кадре,

$T_S$  – длительность символа (для всех символов, кроме P1),  $T_S = T_U + T_G$ ;

$T_U$  – длительность активной части символа, определяется в таблице 3,

$T_G = T_U G_{IF}$  – длительность защитного интервала,

$f_c$  – центральная частота RF-сигнала, разнос несущих  $\Delta f = 1/T_U$ ,

$k'$  – индекс несущей относительно центральной частоты,  $k' = k - (K_{max} + K_{min})/2$ ;

$c_{m,l,k}$  – комплексная модуляционная величина для  $k$ -той несущей символа с номером  $l$  в T2-кадре номер  $m$ ,

$T_{P1}$  – длительность P1-символа,  $T_{P1} = 2048T$ , и величина  $T$  определена ниже,

$T_F$  – длительность кадра,  $T_F = L_F T_S + T_{P1}$ ,  $p_1(t)$  – форма сигнала P1.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** Мощность символа P1 определяется по существу аналогично остальной части кадра, но т. к. остальная часть кадра нормализована на основе числа передаваемых несущих, относительные амплитуды несущих в символе P1 по сравнению с несущими обычных символов будут изменяться в зависимости от того, используется или нет режим расширения несущих.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2.** Нормализующий коэффициент  $5/(27)^{1/2}$  в приведённом выше выражении приблизительно верен для среднего увеличения пилотов и гарантирует мощность символа P1 фактически такой же, как и мощность остальных символов

**Параметры OFDM** приведены в таблице 6. Для режимов 8k, 16k и 32k приведены также параметры для варианта расширенных несущих (*extended carrier mode*). Величины для различных временных параметров даны кратными элементарному периоду  $T$  и в микросекундах. Для канала 8 МГц элементарный период  $T = 7/64$  мкс, что составляет примерно 0,11 мкс.

Таблица 6. Параметры OFDM DVB-T2

Параметр	Режим	1k	2k	4k	8k	16k	32k
Полное число несущих $K_{total}$	обычный	853	1705	3409	6817	13633	27265
	расширенный	NA	NA	NA	6913	13921	27841
Минимальный номер $K_{min}$	обычный	0	0	0	0	0	0
	расширенный	NA	NA	NA	0	0	0
Максимальный номер $K_{max}$	обычный	852	1704	3408	6816	13632	27264
	расширенный	NA	NA	NA	6912	13920	27840
Число несущих, добавляемое с каждой стороны в расширенном режиме $K_{ext}$ <sup>2)</sup>		0	0	0	48	144	288
Длительность $T_U$		$1024T$	$2048T$	$4096T$	$8192T$	$15384T$	$32768T$
Длительность $T_U$ , мкс		112	224	448	896	1792	3584
Разнос несущих $\Delta f=1/T_U$ , Гц		8929	4464	2232	1116	558	279
Разнос между $K_{min}$ и $K_{max}$ <sup>1,3)</sup>	обычный	7,61 МГц					
	расширенный	NA	NA	NA	7,71 МГц		
<p><sup>1)</sup> Курсивом приведены приближённые численные значения</p> <p><sup>2)</sup> Эти величины используются в определении последовательности пилотов в обычном и расширенном режимах</p> <p><sup>3)</sup> Для канала 8 МГц элементарный период <math>T=7/64</math> мкс <math>\approx 0,11</math> мкс.</p>							

## 4.2. Пик-фактор

Пик-фактор обычно определяется как  $20\log(U_{\text{peak}}/U_{\text{rms}})$ , где  $U_{\text{peak}}$  и  $U_{\text{rms}}$  – максимальное и среднее значения напряжения соответственно. Измерители мощности и спектроанализаторы иногда калиброваны по следующему определению:  $20\log(P_{\text{пик}}/P_{\text{ср}})$ , где  $P_{\text{пик}}$  – пиковая мощность  $U^2/2Z_0$  и средняя  $P_{\text{ср}} = U_{\text{rms}}^2/Z_0$ . Два определения пик-фактора отличаются на 2 децибела. Пример расчёта пик-фактора приведён в [3].

Пик OFDM-сигнала рассчитывают следующим образом:  $U_{\text{peak}} = NU_{\text{peak0}}$ , где  $U_{\text{peak0}}$  – пиковая амплитуда одиночной несущей,  $N$  – число используемых несущих OFDM.

Среднеквадратичная величина OFDM-сигнала:

$$U_{\text{rms}} = (NU_{\text{rms0}}^2)^{1/2}, \text{ где } U_{\text{rms0}} = U_{\text{peak0}}/\sqrt{2}.$$

Тогда среднеквадратичное значение OFDM-сигнала  $U_{\text{rms}} = (NU_{\text{peak0}}^2/2)^{1/2}$ .

Пик-фактор OFDM-сигнала:

$$cf_{\text{OFDM}} = 20\log(U_{\text{peak}}/U_{\text{rms}}) = 20\log((NU_{\text{peak0}})/(NU_{\text{peak0}}^2/2)^{1/2}).$$

Это выражение можно упростить следующим образом:

$$cf_{\text{OFDM}} = 20\log(2N)^{1/2} = 10\log(2N).$$

Следовательно, теоретический пик-фактор в DVB-T равен  $cf_{\text{DVB-T2k}} = 35\text{дБ}$  при 1705 несущих и  $cf_{\text{DVB-T8k}} = 41\text{дБ}$  при 6817 несущих.

Необходимо отметить, что на практике такие значения не встречаются вследствие ограничения и конечного разрешения сигнальных процессоров. Практические значения составляют от 12 дБ (усилитель мощности DVB-T) до 16дБ (с модулятором без клиппирования).

**Методы уменьшения пик-фактора (PAPR).** Высокий пик-фактор в системах OFDM может уменьшить эффективность усилителя мощности в передатчике, т. е. отношение мощности радиочастотного сигнала к потребляемой мощности. В DVB-T2 поддерживаются два способа – Active Constellation Extension (ACE) и Tone Reservation (TR). Оба приводят к существенному снижению PAPR за счёт небольшого увеличения потребляемой мощности и/или резервирования 1% поднесущих. Практические реализации показали уменьшение PAPR на 2 дБ (при MER=36 дБ).

Способ ACE уменьшает PAPR путём расширения внешних точек созвездия в частотной области, в то время как TR уменьшает PAPR прямым вычёркиванием пиков сигнала во временной области, используя набор импульсов, сформированных с помощью резервных несущих. Оба способа дополняют друг друга, ACE превосходит при модуляции низкого порядка, TR превосходит ACE при модуляции высокого порядка. Два способа взаимно не исключают друг друга, может быть использована их комбинация. Но ACE не может использоваться при повороте созвездий.

### 4.3. Поворот созвездий.

После формирования сигнала OFDM производится вращение созвездия в комплексной плоскости. Канальный символ состоит из синфазной  $I$  и квадратурной  $Q$  компонент, представленных в созвездии. Символ (в каждой ячейке, то есть на каждой несущей) несет  $m$  бит в соответствии с выбором  $2m$ -арной характеристики созвездия. В QPSK символ несет два бита, в 16-QAM он несет 4 бита, в 64-QAM он несет 6 бит, и т.д. Существуют различные способы отнесения битов в символы. Лучшие результаты достигаются, если только один бит изменяется при переходе от одного символа до ближайшего символа. Это кодирование называется отображением Грея. Отображение Грея подразумевает независимость компонент  $I$  и  $Q$ . Один из способов избежать этой независимости является поворот созвездия. При этом в каждой отдельной  $m$ -битной ячейке имеется информация о индивидуальных  $I$  и  $Q$  компонентах. Угол поворота выбирают так, чтобы проекции точек созвездия на одной оси имели равные расстояния. Это условие выполняется с углами поворота, приведенными в таблице 7.

Таблица 7. Значения угла поворота

Созвездие	Угол поворота (в градусах)
QPSK	29,0
16-QAM	16,8
64-QAM	8,6
256-QAM	3,6

**Временная задержка между  $I$  и  $Q$ .** Поворот созвездий не дает, однако, значительного улучшения, если  $I$  и  $Q$  страдают от идентичных потерь при замираниях в канале. Чтобы преодолеть эту трудность, вводится так называемая  $Q$ -задержка. При этом значение  $Q$  не передается в той же ячейке, что и значение  $I$ . Значение  $Q$  сдвинуто (с задержкой) в другую ячейку. Схемы частотного и временного перемежения, которые следуют *после модулятора*, гарантируют, что соответствующие значения  $I$  и  $Q$  хорошо разделены по времени и частоте. В результате ячейка отображается в более позднюю несущую.

В противоположность DVB-T отображение производится после защиты от ошибок и после битового перемежителя (bit interleaver – **BI**), но до частотного и временного перемежения. **BI** сопровождается перемежителем ячеек, временным перемежителем и частотным перемежителем.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Пока результаты отображения не размещаются на несущих, вводится термин «ячейка» (“cell”). Ячейка содержит комплексное число, состоящее из реальной  $I$  и мнимой  $Q$  частей.

## 5. КАДРОВАЯ СТРУКТУРА СИГНАЛА DVB-T2

Система DVB-T2 представляет сложную комбинацию структур данных. Полная таблица этих структур приведена в приложении 1. Здесь рассмотрены её отдельные элементы.

Имеется основное деление на *физические* структуры – суперкадры, T2-кадры и символы, и *логические* структуры: ВВ-кадры, Кадры Перемежения (Interleaving Frames – IF) и ТИ-блоки. Физические структуры применяются ко всей T2-системе, в то время как логические структуры могут иметь различные параметры для каждого PLP.

Общим объектом как для физических, так и для логических структур является *ячейка OFDM*, – это часть сигнала, соответствующего одной несущей в одном символе OFDM. Она может рассматриваться как точка созвездия, пилот или резервный тон. Термин "OFDM cell" используется также для обозначения модуляционной величины в ячейке, так как многие операции формируются с этим объектом перед его окончательным преобразованием в конкретный символ и несущую.

### 5.1. Физическая кадровая структура

**Суперкадр.** Наибольшим объектом в системе DVB-T2 является Суперкадр. Суперкадр состоит из T2-кадров и может содержать FEF (Future-Extension Frame) – Будущее Расширение Кадра, как показано на рис. 14. FEF-части предусмотрены для дальнейшего развития DVB-T2. Единственным атрибутом FEF-частей, которые вставляются между T2-кадрами, – это P1-символы. Положение FEF-частей в суперкадре и их длительность указаны в L1-сигнализации (в T2-кадрах). Приёмники могут игнорировать FEF.



Рис. 14. Совмещение T2-кадров с кадрами будущего расширения FEF

Структура суперкадра приведена на рис.15. Максимальное число T2-кадров в суперкадре равно 255. Максимальная длительность T2-кадра равна 250 мс. Максимальная длительность FEF-части 250 мс. T2-кадры могут отличаться по длительности от FEF-частей, но все T2-кадры в пределах одного суперкадра должны иметь одинаковую длительность. То же самое относится и к FEF-части. FEF-часть может быть вставлена после каждого T2-кадра. Поэтому число FEF-частей в суперкадре – от 0 до 255. Если используются FEF-части, суперкадр всегда заканчивается FEF-частью. Число T2-кадров между двумя FEF-частями сигнализируется. Максимальная длительность суперкадра равна  $255 \times 250$  мс = 63,75 с, если не используется FEF, и  $255 \times 2 \times 250$  мс = 127,5 с, если используется FEF

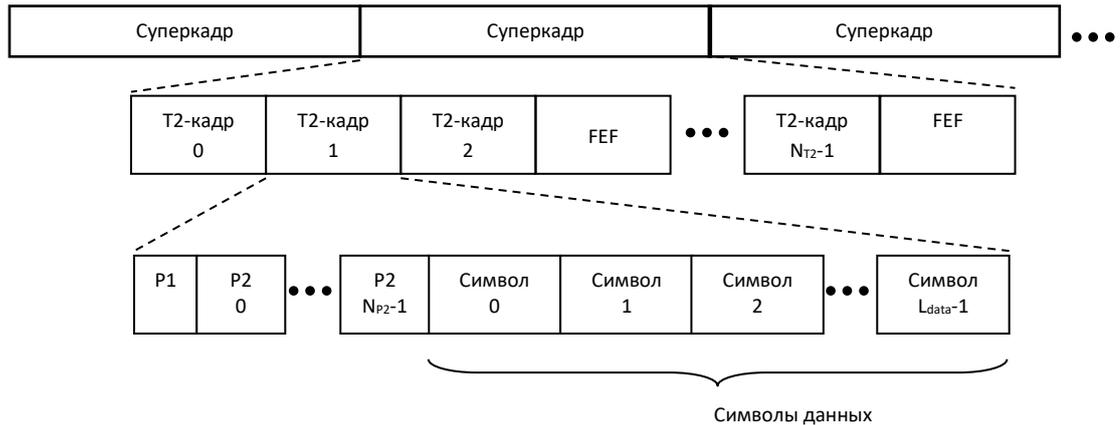


Рис. 15. Символы, кадры и суперкадры

T2-кадр разделяется на OFDM-символы. Каждый T2-кадр начинается с символа P1. Каждая FEF-часть также начинается с символа P1. Таким образом, интервал между двумя P1-символами не превышает 250 мс.

ПРИМЕР. Суперкадр состоит из 20 кадров. Если включать одну FEF-часть в каждый суперкадр, **FEF\_interval**=20, и в суперкадре FEF-часть расположена после последнего T2-кадра. Если две FEF-части в каждом суперкадре, то **FEF\_interval**=10, и FEF-части вставляются после десятого и двадцатого T2-кадров.

Задачей T2-кадра является перенос PLP и L1-сигнализации. T2-кадры переносят сервисы DVB-T2 и связанную с ними сигнализацию. Целью Будущего Расширения Кадров является возможность гибкого смешивания сервисов, определяемых как настоящим стандартом, так и будущими версиями стандартов. FEF-части могут быть пустыми или не содержать данных. Приёмник DVB-T2 способен обнаруживать и контролировать FEF-части, приём не будет нарушен. Структура T2-кадра приведена на рисунке 16.



Рис. 16. Структура T2-кадра

T2-кадр состоит из символа P1,  $N_{P2}$  символов P2 и конфигурируемого числа символов данных, последний из которых может быть специальным Символом Закрытия Кадра для тех же комбинаций параметров. Число символов P2 зависит от размера БПФ и приведено в таблице 8.

Таблица 8. Число символов P2  $N_{P2}$  для каждого размера БПФ

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

Длительность T2-кадра определяется размером БПФ, защитным интервалом и числом используемых символов OFDM. Максимально возможная длительность кадров равна 250 мс. Это накладывает ограничение на максимальное число символов OFDM  $L_F$  для различных размеров БПФ и защитных интервалов, как представлено в таблице 9. Длительность T2-кадра рассчитывается следующим образом:

$$T_F = L_F T_S + T_{P1},$$

где  $L_F$  – количество символов OFDM в T2-кадре,

$T_S$  – длительность символа OFDM вместе с защитным интервалом:

$$T_S = T_U + T_G = T_U (1 + G_{IF});$$

$T_{P1} = 0,224$  мс – длительность P1-символа.  $L_F$  включает все символы P2 и символы данных, так что  $L_F = N_{P2} + L_{data}$ .  $G_{IF}$  – доля защитного интервала. Численные значения  $T_U$  и  $T_G$  приведены в таблице 3

ПРИМЕР. Максимальная длительность кадра для БПФ 8k и  $G_{IF}=1/8$  равна:

$$247 \times (0,896 \text{ мс} \times (1+1/8)) + 0,224 \text{ мс} = 249,200 \text{ мс}.$$

Таблица 9. Максимальный размер T2-кадра  $L_F$  для различных размеров БПФ и защитного интервала (полоса 8 МГц)

Размер БПФ	$T_u$ , мс	Защитный интервал						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	3,584	68	66	64	64	60	60	NA
16k	1,792	138	135	131	129	123	121	111
8k	0,896	276	270	262	259	247	242	223
4k	0,448	NA	540	524	NA	495	NA	446
2k	0,224	NA	1081	1 049	NA	991	NA	892
1k	0,112	NA	NA	2 098	NA	1 982	NA	1 784

Символы P2 и символы данных переносят L1-сигнализацию, PLP и дополнительные потоки. L1-сигнализация всегда переносится в P2-символах и никогда – в символах данных. PLP и дополнительные потоки могут переноситься как в P2-символах, так и в символах данных.

**Преамбулы (P1 и P2).** Начальные символы в кадре физического уровня DVB-T2 – это преамбулы, переносящие данные сигнализации. Кадр начинается символом P1 с дифференциальной модуляцией BPSK и защитным интервалом с двух сторон. P1 переносит 7 бит информации (включая размер БПФ символов полезной нагрузки). Последующие символы P2, число которых фиксировано для данного размера БПФ, обеспечивает все виды сигнализации – статические, динамические и конфигурируемые – уровня-1 (layer-1) (динамическая часть может также передаваться как "in-band signaling" внутри PLP). Первые несколько бит сигнализации (L1-pre) имеют фиксированное кодирование и модуляцию; для остальных (L1-post) кодовая скорость фиксирована и равна 1/2, но модуляция может быть выбрана как опция: QPSK, 16-QAM и 64-QAM. Символ P2 будет также содержать данные для общего PLP и/или PLP-данных, которые остаются в других символах P2-кадра.

## 5.2 Логическая кадровая структура

**Перемежение.** В спецификации DVB-T2 имеется четыре вида перемежения, встречающихся в следующем порядке:

- 1) перемежение бит,
- 2) перемежение ячеек,
- 3) временное перемежение,
- 4) частотное перемежение.

*Перемежение бит* в пределах кодового слова LDPC используется для устранения нежелательных взаимодействий между битами в одной и той же ячейке и в структуре кода LDPC.

*Перемежение ячеек* применяется в виде псевдослучайной перестановки в ячейках внутри FEC-блока, причём перестановка изменяется от одного блока к другому. Это разрушает структурный характер сигнала Временного Перемежителя и предотвращает взаимодействие со структурой кода LDPC. Например, внезапное стирание в канале проявится в случайных позициях в кодовом слове вместо регулярного положения, которое может взаимодействовать с регулярной структурой кода. Перемежение ячеек также полезно, когда используют поворот созвездия для увеличения расстояния между ячейками.

*Временное перемежение* распространяет ячейки каждого FEC-блока через много символов (потенциально через несколько T2-кадров). Это обеспечивает защиту против импульсных помех и вариаций каналов во времени.

*Частотное перемежение* символов OFDM: 1) смешивает ячейки от различных PLP, переносимых в одном и том же символе, тогда как другие перемежения функционируют внутри PLP; 2) разрушает структурный характер выходного сигнала Временного Перемежителя; 3) обеспечивает выбор между двумя разными перемешиваниями, что помогает увеличивать число несущих OFDM, в которые отображается каждый PLP.

**Пакеты, ВВ-кадры, FEC-кадры и FEC-блоки.** На входе системы T2 могут быть как пакетированные, так и непрерывные непaketированные потоки. Примером пакетированного потока является Транспортный Поток MPEG-2 TS. Могут быть и другие типы пакетов Обобщённых Поточков (Generic Streams). В общем случае структура кадров сигнала DVB-T2 не зависит от структуры пакетов входных потоков.

*ВВ-Кадры* являются базовой единицей в логической кадровой структуре DVB-T2: размещение и планирование формирует целое число ВВ-кадров. Там, где переносят пакетированные потоки, пакеты могут отображаться в ВВ-кадры синхронно или асинхронно, т. е. каждый ВВ-кадр может содержать целое число пакетов, или пакеты могут быть фрагментированы в два ВВ-кадра. ВВ-кадры содержат заголовок, включающий длину пакета и положение первого пакета. Заголовок позволяет восстановить исходные пакеты в приёмнике. Если в ВВ-кадре недостаточно данных, его дополняют *набивкой* объёмом  $K_{VCH-DFL}-80$  нулевых бит. Поле набивки может быть использовано и для передачи L1-сигнализации in-band в первом ВВ-кадре Кадра Перемежения. Полный размер каждого ВВ-кадра, включая набивку и L1-сигнализацию, постоянен для данного PLP. Размер зависит от кодовой скорости LDPC, от использования длинных или коротких FEC-блоков.

Структура ВВ-кадра приведена на рис. 7.

ВВ-кадр совместно с заголовком рассматривается как информационное слово, к которому применяется кодирование BCH и LDPC. Результирующее кодовое слово содержит 64800 или 16200 бит и известно как *FEC-кадр*, его структура показана на рис. 8.

Биты FEC-кадра перемешиваются и организуются в слова, которые затем отображаются в точки созвездия, или ячейки OFDM. **Набор ячеек, соответствующий одному FEC-кадру, известен как FEC-блок.** Число ячеек FEC-блока зависит как от модуляции, так и выбора длинных или коротких блоков для отдельного PLP. Короткие FEC-блоки позволяют тоньше гранулировать бит-рейт, но подвергаются большим перегрузкам и имеют несколько худшие характеристики, чем длинные блоки.

**Кадры Перемежения.** *Кадр Перемежения (IF) является структурой, в пределах которой формируется размещение отдельного PLP.* Планировщик размещает динамически изменяющееся целое число ВВ-кадров в каждом Кадре Перемежения. IF можно представить себе как интервал времени, равный целому числу T2-кадров. В суперкадре – целое число Кадров Перемежения.

Причины, по которым Кадры Перемежения отличаются от T2-кадров:

1) PLP может использовать временное перемежение через несколько T2-кадров. Поэтому некорректно говорить о ВВ-кадре, размещённом в отдельном T2-кадре, так как каждый ВВ-кадр должен распространяться через все  $P_1$  T2-кадров в периоде перемежения. К тому же число ячеек, принадлежащих данному PLP в данном T2-кадре, зависит от полного числа ВВ-кадров, размещённых в Кадре Перемежения.

2) Отдельный PLP необязательно отображается в каждом T2-кадре суперкадра, но вместо этого может появляться в одном T2-кадре каждого  $I_{\text{JUMP}}$  T2-кадра. Длительность IF в этом случае соответствует  $P_1$  T2-кадров, в которые отображается PLP, плюс  $P_1(I_{\text{JUMP}}-1)$  кадров, которые пропущены: полное число T2-кадров равно  $P_1 I_{\text{JUMP}}$ .

Можно использовать несколько TI-блоков в PLP для увеличения скорости данных. В этом случае размещение сделано через период T2-кадра, и, следовательно, один IF отображается непосредственно в один T2-кадр. Так как ВВ-кадры размещаются в IF, динамическая сигнализация L1 появляется только раз в каждом IF, в первом ВВ-кадре Кадра Перемежения.

**Блоки временного перемежения (TI-блоки).** *TI-блок – это набор OFDM-ячеек, в пределах которого формируется Временное Перемежение.* Между TI-блоками перемежение отсутствует. Каждый TI-блок содержит динамически изменяющееся число FEC-блоков. Кадр Перемежения, в свою очередь, содержит целое число TI-блоков, это число статически конфигурируемо.

Полное число ВВ-кадров, и, следовательно, FEC-блоков, размещённых в Кадре Перемежения, не обязательно кратно числу TI-блоков. В результате TI-блоки в Кадре Перемежения могут содержать разное число FEC-блоков. Число FEC-блоков в каждом TI-блоке Кадра Перемежения будет отличаться только на один с меньшим числом в первом TI-блоке Кадра Перемежения.

ПРИМЕР. Если в Кадре Перемежения имеется три TI-блока и 202 FEC-блока, TI-блоки будут содержать 67, 67 и 68 FEC-блоков соответственно.

TI-блоки используются также Перемежителем Ячеек. Величина сдвига  $L(r)$ , применяемая к базовой функции перестановки, изменяется от одного FEC-блока к другому, но индекс FEC-блока  $r$  восстанавливается в ноль с началом каждого TI-блока.

**Временной перемежитель (TI)** работает на уровне PLP. Параметры временного перемежения могут быть различными для разных PLP. FEC-блоки от перемежителя ячеек для каждого PLP должны группироваться в Кадры Перемежения (IF), которые отображаются в один или несколько T2-кадров. Каждый IF содержит динамически изменяющееся количество FEC-блоков. Число FEC-блоков в Кадре Перемежения с номером  $n$  обозначается  $N_{BLOCKS\_IF}(n)$  и сигнализируется в динамической L1-сигнализации как  $PLP\_NUM\_BLOCKS$ .  $N_{BLOCKS}$  может изменяться от минимальной величины 0 до максимального значения  $N_{BLOCKS\_IF\_MAX}$ . Эта величина сигнализируется в конфигурируемой L1-сигнализации как  $PLP\_NUM\_BLOCKS\_MAX$ . Наибольшая величина  $N_{BLOCKS\_IF\_MAX}$  равна 1023.

Каждый IF отображается в один или в несколько T2-кадров. Каждый IF также распределяется в один или несколько блоков временного перемежения (TI-блоков). TI-блок соответствует памяти одного пользователя. TI-блоки внутри IF могут содержать различное число FEC-блоков. Если IF содержит несколько TI-блоков, он должен отображаться только в один T2-кадр.

Для каждого PLP имеется три опции временного перемежителя.

1) Каждый IF содержит один TI-блок и отображается в один T2-кадр. Эта опция сигнализируется как  $TIME\_IL\_TYPE='0'$  и  $TIME\_IL\_LENGTH='1'$ .

2) Каждый IF содержит один TI-блок и отображается в несколько T2-кадров. Это даёт большее временное разнообразие для низкоскоростных сервисов. Эта опция сигнализируется в L1-сигнализации как  $TIME\_IL\_TYPE='1'$

3) Каждый IF отображается в один T2-кадр, IF содержит несколько TI-блоков. Каждый TI-блок может использовать полную TI-память, увеличивая таким способом максимальный бит-рейт для PLP. Эта опция сигнализируется в L1-сигнализации как  $TIME\_IL\_TYPE='0'$ .

### Отображение логических кадров в физические T2-кадры.

Каждый IF отображается в один или несколько ( $P_1$ ) T2-кадров. После временного перемежения каждый Кадр Перемежения состоит из группы OFDM-ячеек. Эти группы разделены на равные части (*слайсы*) для переноса в T2-кадрах. Ячейки, размещённые в T2-кадре, называют *слайсами*. Для PLP типа 2 каждый слайс разделён на субслайсы одинакового размера. Число субслайсов одно и то же для всех PLP второго типа.

**Выбор числа субслайсов.** Увеличение числа субслайсов увеличивает временное разнесение каждого PLP. Большое число субслайсов приводит также к более равномерной доставке данных в пределах T2-кадра, облегчая ПРИЁМНИКУ менеджмент буфера деджиттера и памяти деперемежителя. Число субслайсов должно быть по возможности большим, если экономия мощности в приёмнике не является проблемой, рекомендуемые величины даны в таблице 10.

Таблица 10. Рекомендуемое число субслайсов

Размер БПФ	Число субслайсов для разных видов модуляции			
	QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
1k ...16k	1296	648	432	324
32k	432	216	144	108

## 6. СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ DVB

а) Скорость передачи данных в DVB-T рассчитывают по формуле:

$$R_U = R_S \eta_{\text{MOD}} R_C R_{RS} (T_U / T_S),$$

где  $R_U$  – полезная скорость передачи данных, Мбит/с,

$R_S = 6,75$  Мегасимволов в секунду – символьная скорость (см. примечание 1),

$\eta_{\text{MOD}}$  – число бит на ячейку символа, 2 для QPSK, 4 для 16-QAM, 6 для 64-QAM, (п. 3.4),

$R_C$  – относительная скорость свёрточного кодирования (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8),

$R_{RS} = 188/204$  – скорость кодирования Рида-Соломона,

$T_U$  – длительность полезной части символа,

$T_S = T_U + T_G$  – длительность символа вместе с защитным интервалом  $T_G = G_{\text{IF}} T_U$ ,

$G_{\text{IF}}$  – относительная длительность защитного интервала (1/4, 1/8, 1/16, 1/32),

$T_U / T_S = 4/5, 8/9, 16/17$  или  $32/33$  в зависимости от длительности защитного интервала.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Поскольку сигнал OFDM включает множество отдельно модулированных несущих, можно рассматривать каждый символ разделенным на ячейки (*cells*), каждая из которых соответствует модуляции, выполненной на одной несущей в течение одного символа. Символьная скорость (в данном случае) определяется как отношение числа несущих, переносящих полезную нагрузку, к длительности полезной части символа:  $R_S = 1512 / (224 \text{ мкс}) = 6048 / (896 \text{ мкс}) = 6,75 \text{ МГц} = 6,75 \text{ мегасимволов в секунду}$ . Эта величина одинакова в режимах 2к, 4к и 8к. Фактически это скорость передачи ячеек при отсутствии кодирования и защитных интервалов.

б) Скорость передачи данных в DVB-T2

Когда в PLP-данных переносится Транспортный Поток совместно с общим PLP, максимальная полезная битовая скорость (в предположении, что FEC не используются) определяется по формуле [7]:

$$R_{\text{NO\_FEFs}} = \frac{1}{T_F} \left( \frac{188}{188 + B_{\text{MA\_data}}} \times \frac{N_{\text{B\_max\_data}} \times (K_{\text{bch\_data}} - 80) - N_{\text{IB\_data}}}{P_{\text{I\_data}} \times I_{\text{jump\_data}}} + \frac{188}{188 + B_{\text{MA\_cplp}}} \times \frac{N_{\text{B\_max\_cplp}} \times (K_{\text{bch\_cplp}} - 80)}{P_{\text{I\_cplp}} \times I_{\text{jump\_cplp}}} \right)$$

где  $R_{\text{NO\_FEFs}}$  – полезная выходная битовая скорость;

$N_{\text{B\_max\_data}}, N_{\text{B\_max\_cplp}}$  – величины PLP\_NUM\_BLOCKS\_MAX для декодирования PLP данных и их ассоциированного общего PLP соответственно;

$K_{\text{bch\_data}}, K_{\text{bch\_cplp}}$  – величины  $K_{\text{VCH}}$ ;

$N_{IB\_data}$  – число бит для сигнализации in-band;

$P_{I\_data}$ ,  $P_{I\_cplp}$  – число T2-кадров, в которые отображается каждый Кадр Перемежения;

$I_{jump\_data}$ ,  $I_{jump\_cplp}$  – величины параметра FRAME\_INTERVAL;

$T_F$  – длительность T2-кадра;

$B_{MA\_data}$ ,  $B_{MA\_cplp}$  – величины, зависящие от режима адаптации.

Допустимая величина  $B_{MA}$  зависит от числа байт, вставленных или удалённых во время Адаптации Режим – таблица 11. В НЕМ эта величина равна нулю, если используется DNP, или -1, если DNP не используется. Для NM максимальное значение = 4. Если ISSY (Short) используется с DNP,  $B_{MA}=3$ . Если ISSY и DNP не используются,  $B_{MA}=0$ .

Таблица 11. Число байтов, вставляемых во время Адаптации NM

Опция	Инкремент для получения $B_{MA}$
ISSY (короткий)	+2
ISSY (длинный)	+3
DNP	+1

ISSY – Input Stream Synchronizer – *синхронизатор входного потока*

DNP – Deleted Null Packets – *удаление нуль-пакетов*

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Расчёт предполагает, что  $N_{B\_max\_data}$  FEC-блоков может быть размещено в PLP-данных в том же Кадре Перемежения, как  $N_{B\_max\_cplp}$  FEC-блоков размещено в общем PLP.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Если общий PLP не используется, в формуле должно быть  $N_{B\_max\_cplp}=0$ .

ПРИМЕЧАНИЕ 3. Для входного режима А  $N_{B\_max\_data} = N_{B\_max}$ , если отсутствуют дополнительные потоки и число фиктивных ячеек минимально.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. Для входного режима В, если все PLP используют одинаковую модуляцию и кодовую скорость, расчёт, основанный на прежней величине  $N_{B\_max}$ , даст полную скорость для всех PLP. Отметим, что  $N_{B\_max}$  может быть меньше из-за того, что здесь больше бит для сигнализации L1 при множестве PLP.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. Если используются FEFs, рассчитанная выше битовая скорость должна быть скорректирована умножением на коэффициент  $(N_{T2} \times T_F) / T_{SF}$ , где  $N_{T2}$  – число T2-кадров в одном суперкадре,  $T_{SF}$  – длительность суперкадра:

$$R_{FEFs} = R_{NO\_FEFs} (N_{T2} \times T_F) / T_{SF}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 6. Формула даёт полезную битовую скорость, которая не может превышать 72 Мбит/с.

Формула существенно упрощается при отсутствии общего PLP ( $N_{B\_max\_cplp}=0$ ) и  $B_{MA}=0$ . Для профиля T2-Lite формула расчёта скорости приведена в п. 10.5.

**ПРИМЕР.** Длительность кадра данных  $T_F = 250$  миллисекунд, максимальное количество блоков в кадре данных  $N_{Bmax\_data}=100$ ,  $B_{MA}=0$ ,  $K_{BCH}=32208$  (для скорости кодирования LDPC=1/2, таблица 1). Пусть в кадре перемежения содержится ровно один T2-кадр, тогда  $P_{L\_data} I_{jump\_data} = 1$ . Если in-band не используется, то  $N_{IB\_data}=0$ . Тогда

$$R_{NO\_FEFs} = (1/250 \cdot 10^{-3}) 100 \cdot (32208 - 80) = 12,8 \text{ Мбит/с.}$$

Если длительность кадра данных уменьшить до 100 миллисекунд, то при тех же условиях получим 32,208 Мегабит в секунду.

Если при этом увеличить скорость кодирования до 5/6, то получим

$$R_{NO\_FEFs} = 32,208 \cdot 2(5/6) = 53,68 \text{ Мбит/с.}$$

**Пример бит-скоростей DVB-T2** в канале 8 МГц при 32k,  $G_T=1/128$ , в режиме расширенных несущих и при отсутствии резервных тонов, шаблон пилотов PP7.



Рис. 17. Максимальная скорость передачи данных в системе DVB-T2 для некоторых конфигураций [A133]

в) **Расчёт скорости передачи данных для DVB-S** можно произвести следующим образом. Скорость символов  $R_S=27,5$  мегасимволов в секунду. QPSK позволяет передавать  $\eta_{MOD}=2$  бита на символ. Следовательно, скорость данных (без коррекции ошибок) при QPSK равна  $R_S \eta_{MOD} = 55$  Мбит/с. В системе DVB-S используется два вида защиты от ошибок – код Рида Соломона с коэффициентом  $C_{RS}=188/204$  и свёрточный код с дополнительным уменьшением скорости передачи в отношении  $C_R=1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$ . Тогда чистая скорость передачи данных  $R_U$  для QPSK и  $C_R=2/3$  получится равной  $55 \cdot (188/204) \cdot 2/3 = 33,8$  Мбит/с. Для расчёта можно использовать формулу:

$$R_U = R_S \eta_{MOD} C_R C_{RS}.$$

## 7. СИГНАЛИЗАЦИЯ L1

**Введение.** В составе сигналов, передаваемых в системе эфирного ТВ-вещания DVB-T2, кроме полезных данных содержится большое количество служебной информации, необходимой в приёмнике для декодирования сигналов изображения и звука, выделения нужной программы, исправления ошибок и т. д. Эта служебная информация обозначена как сигнализация параметров передачи, она разделяется на два уровня: «Уровень 1» и «Уровень 2».

**Уровень 1 (L1)** содержит параметры, необходимые на первоначальном этапе выделения сигналов из общего потока данных и их демодуляции. Например – количество каналов PLP, режим модуляции, количество несущих, длительность защитных интервалов и др.

**Второй уровень (L2)** относится к декодированию изображения и звука в каждом из конкретных каналов передачи («сервисов»), содержащем определённые программы ТВ-вещания, сжатые, например, по стандарту MPEG-2. Таблицы параметров второго уровня подробно описаны в [5]. В данном разделе приведены структура и основные особенности сигнализации L1, краткое содержание некоторых полей этой сигнализации. Более полная информация содержится в разделе 7 стандарта [8].

### 7.1. Структура сигнализации L1

Сигнализация L1 обеспечивает приёмнику доступ к PLP внутри T2-кадров. Структура сигнализации L1 разделена на три основных части: сигнализацию P1, L1-pre и L1-post (рисунок 18). Отметим, что на этом рисунке «символ P1», передаваемый в начале каждого T2-кадра, содержит «сигнализацию P1». Это означает, что в данном символе не передаётся никакой другой информации, кроме данной преамбулы. Цель сигнализации P1 – указать тип передачи и её основные параметры.

В отличие от символа P1, в символах P2 кроме служебной информации (L1-pre и L1-post) могут передаваться и полезные данные. L1-pre позволяет принимать и декодировать сообщение L1-post, которое необходимо приемникам для доступа к PLP. L1-post дополнительно разделена на две основные части: конфигурируемую и динамическую, затем следует (необязательно) поле расширения. Сигнализация L1 заканчивается циклической проверкой избыточности (CRC) и, при необходимости, дополнением (padding – набивка).

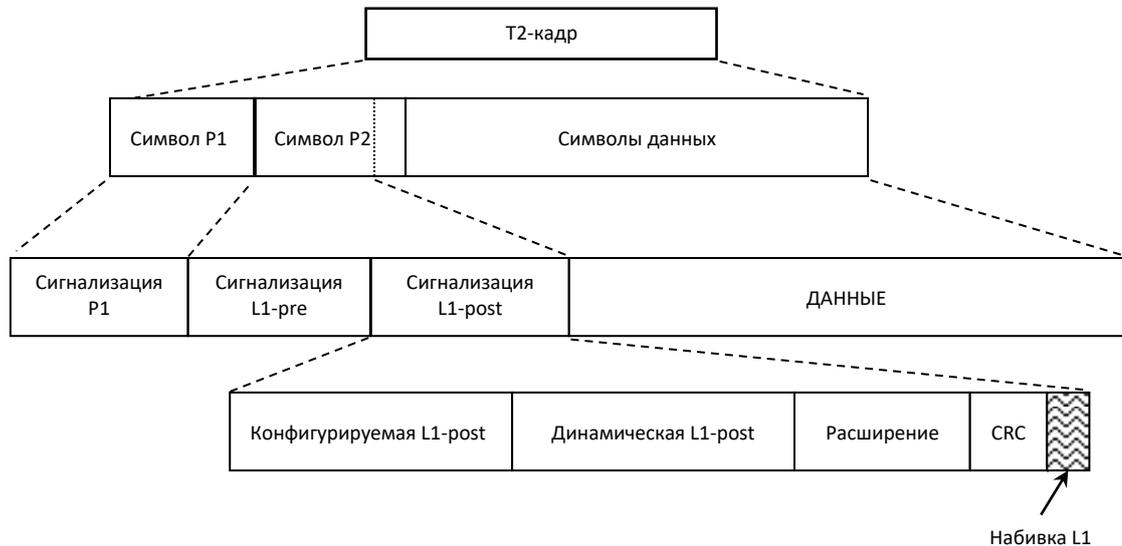


Рис. 18. Структура сигнализации L1

Некоторые из сигнальных полей или их частей обозначены как "зарезервировано для будущего использования" – смысл таких полей не определяется, и они должны игнорироваться приёмниками. Если значения такого поля или его части не определены, то они должны быть установлены в '0'. Некоторые зарезервированные поля и часть поля расширения L1 обозначаются как "иногда используется для балансировки смещения".

## 7.2. Сигнализация L1 – “данные”

Все параметры L1-сигнализации, кроме динамической L1-post, остаются неизменными на протяжении одного суперкадра. Следовательно, любые изменения, вводимые в текущую конфигурацию (т.е. содержания сигнализации L1-pre или конфигурируемой части L1-post), всегда будут выполняться на границе двух суперкадров.

**7.2.1. Символы P1** предназначены для передачи «Сигнализации P1». Она обеспечивает 1) быстрое обнаружение сигнала и 2) передачу параметров данного T2-кадра. Дополнительно она сигнализирует о наличии FEF-части внутри T2-кадра. Символ P1 имеет возможность передать 7 бит, которые разделены на два поля – S1 и S2. Поскольку преамбулы P1 и P2 имеют разные форматы, основное использование сигнализации P1 является идентификация самой преамбулы. Информация бывает двух типов: первый тип (связанный с S1-битами преамбулы P1) – необходимо различать формат преамбулы (и, следовательно, тип кадра); второй тип помогает приемнику быстро определить основные параметры передатчика.

Символ P1 содержит две части (два поля: 3 бита – поле S1 и 4 бита – поле S2).

Поле S1 (три бита) определяет формат преамбулы (символа P2):

- профиль – базовый или T2-Lite,
- формат – T2\_SISO/T2\_MISO или T2\_LITE\_SISO/T2\_LITE\_MISO.

Поле S2 (четыре бита) определяет размер ОБПФ и относительную длительность защитного интервала  $G_{IF}$  символов T2-кадра.

### Поле S1: Формат Преамбулы

Формат Преамбулы задан в области S1 символа P1. Он определяет и формат символов P2.

Таблица 18: Поле S1

S1	Формат преамбулы/ тип P2	Описание
000	T2_SISO	Преамбула T2-base. P2 передаётся в формате SISO
001	T2_MISO	Преамбула T2-base. P2 передаётся в формате MISO
010	Non-T2	См. таблицу 18(b)
011	T2_LITE_SISO	Преамбула сигнала T2-Lite (см. приложение I). P2 передаётся в формате SISO
100	T2_LITE_MISO	Преамбула сигнала T2-Lite (см. приложение I). P2 передаётся в формате MISO
101–111	Зарезервировано для будущего использования	Эти комбинации могут быть использованы для будущих систем, включая системы, содержащие как T2-кадры, так и FEF части, а также будущие системы, не определенные в настоящем документе

### Поле S2, часть 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 показывает размер FFT и дает частичную информацию о защитном интервале для оставшихся символов в T2-кадре, как описано в таблице 19(а). Когда преамбула имеет тип "Non-T2", поле S2-1 описывается в Таблице 19(б). Когда поле S1 равно одному из значений, зарезервированных для будущего использования, значения поля S2-1 также должны быть зарезервированы для будущего использования.

Таблица 19(а): Поле S2, часть 1 (для преамбулы типа T2, S1=00X)

S1	S2	FFT - GI size
00X	000X	2k - любой защитный интервал
00X	001X	8k - 1/32; 1/16; 1/8; 1/4
00X	010X	4k - любой защитный интервал
00X	011X	1k - любой защитный интервал
00X	100X	16k - любой защитный интервал
00X	101X	32k - 1/32; 1/16; 1/8 или 1/4
00X	110X	8k - 1/128; 19/256 или 19/128
00X	111X	32k - 1/128; 19/256 или 19/128

Таблица 19(б): Поле S2, часть 1 (для преамбулы типа «Non-T2», S1=010)

S1	S2-1	S2-2	Значение	Описание
010	000	x	Неопределённая FEF-часть	Не является преамбулой FEF-части, содержание остальной FEF-части не определено в настоящем документе – оно может быть использовано любым способом для профессиональных применений и не предназначено для бытовых приёмников
010	001 – 111	x	Зарезервировано для будущего использования	

**Поле S2, часть 2** – данный бит указывает, все ли преамбулы имеют один и тот же тип, или нет. Этот бит действителен для всех значений полей S1 и S2-1. Смысл его приведён в таблице 20.

Таблица 20: Поле S2, часть 2

S1	S2-1	S2-2	Значение	Описание
XXX	XXX	0	Not mixed	Все преамбулы в текущей передаче имеют такой же тип, как и эта преамбула
XXX	XXX	1	Mixed	Передаются преамбулы различных типов

Модуляция и структура символа P1 описаны в разделе 7.4.

### 7.2.2. Символы P2 содержат сигнализации «L1-pre» и «L1-post».

Поле	Ёмкость, бит
1. <b>TYPE</b>	8
2. <b>BWT_EXT</b>	1
3. <b>S1</b>	3
4. <b>S2</b>	4
5. <b>L1_REPETITION_FLAG</b>	1
6. <b>PAPR</b>	4
7. <b>GUARD_INTERVAL</b>	3
8. <b>L1_MOD</b>	4
9. <b>L1_COD</b>	2
10. <b>L1_FEC_TYPE</b>	2
11. <b>L1_POST_SIZE</b>	18
12. <b>L1_POST_INFO_SIZE</b>	18
13. <b>PILOT_PATTERN</b>	4
14. <b>TX_ID_AVAILABILITY</b>	8
15. <b>CELL_ID</b>	16
16. <b>NETWORK_ID</b>	16
17. <b>T2_SYSTEM_ID</b>	16
18. <b>NUM_T2_FRAMES</b>	8
19. <b>NUM_DATA_SYMBOLS</b>	12
20. <b>REGEN_FLAG</b>	3
21. <b>L1_POST_EXTENSION</b>	1
22. <b>NUM_RF</b>	3
23. <b>T2_VERSION</b>	4
24. <b>CURRENT_RF_IDX</b>	3
25. <b>L1_POST_SCRAMBLED</b>	1
26. <b>T2_BASE_LITE</b>	1
27. <b>CRC-32</b>	32
28. <b>RESERVED</b>	4

#### Сигнализация L1-pre

Сигнализация **L1-pre**, кроме разрешения приёма и декодирования L1-post, обеспечивает также информацию о текущем суперкадре, относящуюся к топологии сети, конфигурации и протоколам передачи внутри суперкадра. Например:

**TYPE** – типы входных потоков в текущем суперкадре TS и/или GS;

**GUARD\_INTERVAL** – защитный интервал в текущем суперкадре;

**PAPR** – какие способы уменьшения пик-фактора используются;

**L1\_MOD, L1\_COD, L1\_FEC\_TYPE, L1\_POST\_SIZE, L1\_POST\_INFO\_SIZE** – параметры блока данных сигнализации L1-post;

**PILOT\_PATTERN** – шаблон рассеянных пилот-сигналов.

Сигнализация **L1-post** содержит основную информацию, необходимую для извлечения и декодирования PLP из T2-кадров. Сигнализация L1-post содержит параметры, которые обеспечивают достаточную информацию для приёмника, чтобы декодировать желаемый PLP. Сигнализация L1-post дополнительно состоит из двух типов параметров, *конфигурируемых и динамических*, плюс необязательное поле расширения.

**Конфигурируемые** параметры сигнализации L1-post остаются одинаковыми в течение одного суперкадра.

Поле	Ёмкость, бит
1. <b>SUB_SLICES_PER_FRAME</b>	15
2. <b>NUM_PLP</b>	8
3. <b>NUM_AUX</b>	4
4. <b>AUX_CONFIG_RFU</b>	8
<b>for i=0...NUM_RF-1{</b>	
5. <b>RF_IDX</b>	3
6. <b>FREQUENCY</b>	32
<b>}</b>	
<b>If S2 = '='xxx1' {</b>	
7. <b>FEF_TYPE</b>	4
8. <b>FEF_LENGTH</b>	22
9. <b>FEF_INTERVAL</b>	8
<b>}</b>	
<b>for i=0...NUM_PLP-1 {</b>	
10. <b>PLP_ID</b>	8
11. <b>PLP_TYPE</b>	3
12. <b>PLP_PAYLOAD_TYPE</b>	5
13. <b>FF_FLAG</b>	1
14. <b>FIRST_RF_IDX</b>	3
15. <b>FIRST_FRAME_IDX</b>	8
16. <b>PLP_GROUP_ID</b>	8
17. <b>PLP_COD</b>	3
18. <b>PLP_MOD</b>	3
19. <b>PLP_ROTATION</b>	1
20. <b>PLP_FEC_TYPE</b>	2
21. <b>PLP_NUM_BLOCKS_MAX</b>	10
22. <b>FRAME_INTERVAL</b>	8
23. <b>TIME_IL_LENGTH</b>	8
24. <b>TIME_IL_TYPE</b>	1
25. <b>IN-BAND_A_FLAG</b>	1
26. <b>IN-BAND_B_FLAG</b>	1
27. <b>RESERVED_1</b>	11
28. <b>PLP_MODE</b>	2
29. <b>STATIC_FLAG</b>	1
30. <b>STATIC_PADDING_FLAG</b>	1
<b>}</b>	
31. <b>FEF_LENGTH_MSB</b>	2
32. <b>RESERVED_2</b>	30
<b>for i=0...NUM_AUX-1 {</b>	
33. <b>AUX_STREAM_TYPE</b>	4
34. <b>AUX_PRIVATE_CONF</b>	28
<b>}</b>	

Конфигурируемая сигнализация L1-post

**ПРИМЕРЫ:**

**SUB\_SLICES\_PER\_FRAME** – общее количество суб-слайсов для PLP-данных второго типа во всех радиочастотных каналах в одном T2-кадре;

**NUM\_PLP** – количество PLP в текущем суперкадре;

**NUM\_AUX** – количество вспомогательных потоков;

**RF\_IDX** – индекс каждой из частот, перечисленных в этом цикле;

**FREQUENCY** – центральная частота (Гц) радиочастотного канала с индексом **RF\_IDX**;

**FEF\_TYPE** – тип ассоциированной FEF-части;

**FEF\_LENGTH** – указывает длину ассоциированной FEF-части;

**PLP\_ID** – идентифицирует PLP в системе T2;

**PLP\_TYPE** – тип ассоциированного PLP;

**PLP\_PAYLOAD\_TYPE** – тип полезных данных, переносимых соответствующим PLP;

**PLP\_COD** – указывает на кодировочную скорость соответствующего PLP;

**PLP\_MOD** – указывает модуляцию, используемую соответствующим PLP;

**PLP\_ROTATION** – 1-битовый флаг указывает, используется или нет поворот со звезды соответствующего PLP;

**PLP\_FEC\_TYPE** – тип FEC данного PLP (16k LDPC или 64k LDPC).

**Динамические** параметры **L1-post** обеспечивают информацию, которая является конкретной для текущего T2-кадра. Значения динамических параметров могут меняться в течение одного суперкадра.

ПРИМЕРЫ:

**FRAME\_IDX** – индекс текущего T2-кадра в пределах суперкадра;

**SUB\_SLICE\_INTERVAL** – количество OFDM-ячеек от начала одного субслайса до начала следующего субслайса одного и того же PLP;

**TYPE\_2\_START** – начальное положение первого PLP типа 2;

**L1\_CHANGE\_COUNTER** – количество последующих суперкадров, где изменится конфигурация (то есть содержимое полей в сигнализации L1-pre или настраиваемой части сигнализации L1-Post);

**PLP\_ID** – идентифицирует PLP в системе T2;

**PLP\_START** – начальное положение соответствующего PLP в текущем T2-кадре;

**PLP\_NUM\_BLOCKS** – количество FEC-блоков, содержащихся в текущем Кадре Перемежения.

**Повторение динамических данных L1-post.** Чтобы получить повышенную устойчивость динамической части сигнализации L1-post, информация может быть повторена в преамбулах двух последовательных T2-кадров. Использование таких повторов сигнализируется в L1-pre параметром **L1\_REPETITION\_FLAG**. Если флаг установлен в '1', динамические сигнализации L1-post присутствуют в символе P2 для *текущего и следующего* T2-кадров, как показано на рисунке 19. Таким образом, если используется повторение динамических данных L1-post, сигнализация L1-post состоит из одной конфигурируемой и

двух динамических частей. Когда используется TFS, эти две части должны сигнализировать информацию для следующего T2-кадра и через один T2-кадр соответственно.

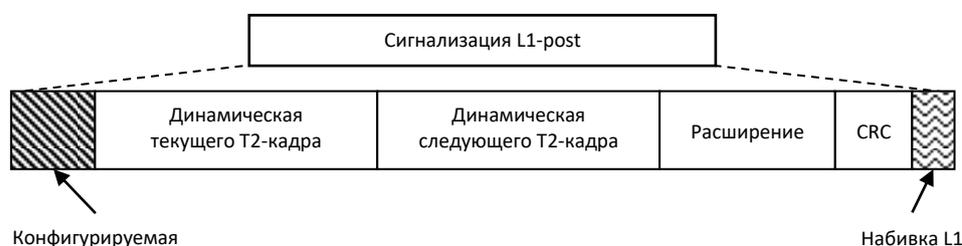


Рис. 19. Повторение динамической сигнализации L1-post в символе P2

**Поле расширения L1-post.** Поле расширения L1-post допускает возможность для будущего расширения сигнализации L1. Его присутствие обозначено сигнализацией L1-pre в поле L1\_POST\_EXTENSION. Расширение L1-post может содержать один или несколько блоков.

**Набивка блоков расширения L1-post.** Блоки расширения L1-post типа '11111111' должны содержать дополнение (набивку). Они могут быть любой желаемой длины с учётом ёмкости P2-символов. Содержание области L1\_EXT\_BLOCK\_DATA иногда используется для балансировки смещения.

**CRC для сигнализации L1-post.** Код обнаружения 32-битовых ошибок применяется ко всей сигнализации L1-post, в том числе конфигурируемой, динамической для текущего T2-кадра, динамической для следующего T2-кадра и области расширения L1-post.

**Набивка L1.** Это поле переменной длины вставляется в L1-post после поля CRC, чтобы гарантировать, что несколько блоков LDPC сигнализации L1-post имеют одинаковый размер информации, когда сигнализация L1-post сегментирована на несколько блоков и эти блоки отдельно кодируются.

**Биты балансировки смещения L1.** Некоторые зарезервированные поля и части поля расширения L1 иногда используются для балансировки смещения. Балансировочные биты L1 используются для уменьшения дисбаланса в количестве единиц и нулей в L1-сигнализации.

### 7.3. Модуляция и помехоустойчивое кодирование данных L1

**Сигнализация L1-pre** защищена каскадированием внешнего кода BCH и внутреннего кода LDPC, использует модуляцию BPSK и скорость кодирования 1/2. Число сигнальных бит L1-pre постоянно. Сигнализация L1-pre имеют фиксированную длину – занимает 1840 ячеек. Контрольные биты четности BCH должны быть присоединены к сигнализации L1-pre первыми. Дополнительно L1-pre защищена укороченным и проколотым 1/4-кодом 16k LDPC ( $N_{ldpc} = 16\ 200$ ).

После сокращения и прокалывания закодированные биты сигнализации L1-pre отображаются в символы BPSK, количество которых равно:

$$(K_{sig} + N_{bch\_parity}) / R_{eff} = 1840,$$

где  $N_{bch\_parity}$  обозначает количество бит четности BCH, равное 168 для кода 16k LDPC. Наконец, символы BPSK преобразуются в ячейки OFDM.

**Сигнализация L1-post.** Число сигнальных бит L1-post зависит от числа каналов PLP, числа дополнительных потоков, использования FEF, и возможного будущего использования TFS. Число ячеек, занимаемых L1-post, зависит от числа сигнальных бит и используемой модуляции. Она может использовать BPSK, QPSK, 16-QAM или 64-QAM. Скорость помехоустойчивого кодирования FEC всегда 1/2.

Число PLP, которое может переноситься системой T2, ограничено модуляцией, используемой для L1-post и числом бит сигнализации. Максимальное число PLP, которое может быть перенесено T2-системой при условии, что не используются FEF и дополнительные потоки, дано в таблице 12.

Таблица 12. Максимальное количество PLP

		BPSK	QPSK	16-QAM	64-QAM
Повторение не используется	32 к	61	127	255	255
	другие	19	43	87	132
Повторение используется	32 к	45	94	190	255
	другие	14	31	64	97

Биты должны быть переданы в течение одного или нескольких блоков 16k LDPC в зависимости от длины сигнализации L1-post. Количество блоков LDPC для L1-post ( $N_{post\_FEC\_Block}$ ) определяется следующим образом:

$$N_{post\_FEC\_Block} = \lceil K_{post\_ex\_pad} / K_{bch} \rceil,$$

где  $\lceil x \rceil$  означает наименьшее целое, которое больше или равно  $x$ .  $K_{bch} = 7\ 032$  для кода 16k LDPC с кодовой скоростью 1/2 (эффективная скорость кода 4/9).

Величину  $K_{\text{post\_ex\_pad}}$  можно найти, добавив 32 к параметру  $L1\_POST\_INFO\_SIZE$ , который обозначает число информационных бит сигнализации L1-post без учета области набивки  $L1\_PADDING$ . Затем рассчитывается размер области набивки  $L1\_PADDING$ :

$$K_{L1\_PADDING} = \lceil K_{\text{post\_ex\_pad}} / N_{\text{post\_FEC\_Block}} \rceil \times N_{\text{post\_FEC\_Block}} - K_{\text{post\_ex\_pad}}$$

ПРИМЕЧАНИЕ. Для профиля T2-Lite число блоков LDPC  $N_{\text{post\_FEC\_Block}}$  сигнализации L1-post равно 1.

Окончательно величина  $K_{\text{post}}$  всей сигнализации L1-post, включая область набивки, должна быть равна:

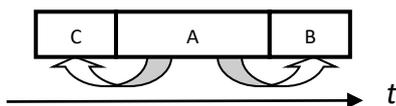
$$K_{\text{post}} = K_{\text{post\_ex\_pad}} + K_{L1\_PADDING}$$

**Скремблирование информационных бит сигнализации L1-post.** Когда биты  $L1\_POST\_SCRAMBLED$  установлены в '1', все биты каждого блока L1-post с размером информации  $K_{\text{sig}}$  должны быть подвергнуты скремблированию с использованием той же последовательности скремблирования, как и для BBFRAMES.

**Модуляция** выбирается так, что L1-сигнализация всегда более надёжная, чем любой PLP.

#### 7.4. Вставка символа P1

P1 является символом 1k OFDM с двумя половинными защитными интервалами. Полная длительность символа равна 224 мкс. Символ состоит из полезной части A (112 мкс) и двух дополнительных частей B (59 мкс, 542 выборки) и C (53 мкс, 482 выборки), см. рис. 20. Защитные интервалы C и B заполнены фрагментами основной части A.



По оси времени символ P1 состоит из трёх частей

Рис. 20. Структура символа P1

Из 853 полезных несущих частот символа 1k используются только 384, остальные установлены в ноль. Используемые частоты занимают полосу 6,83 МГц с центром номинальной полосы 7,61 МГц. Структура символа такова, что даже при сдвиге частоты в 500 кГц большинство используемых несущих в символе P1 остаются в пределах номинальной полосы частот 7,61 МГц и он может быть восстановлен. Первая активная частота равна 44, последняя 809 (см. рис. 21).

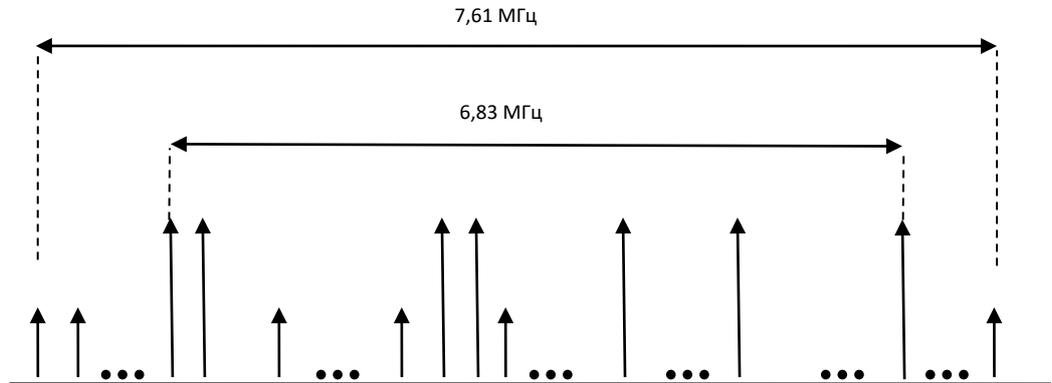


Рис. 21. Активные несущие символа P1

На рис. 22 показана схема формирования символа P1.

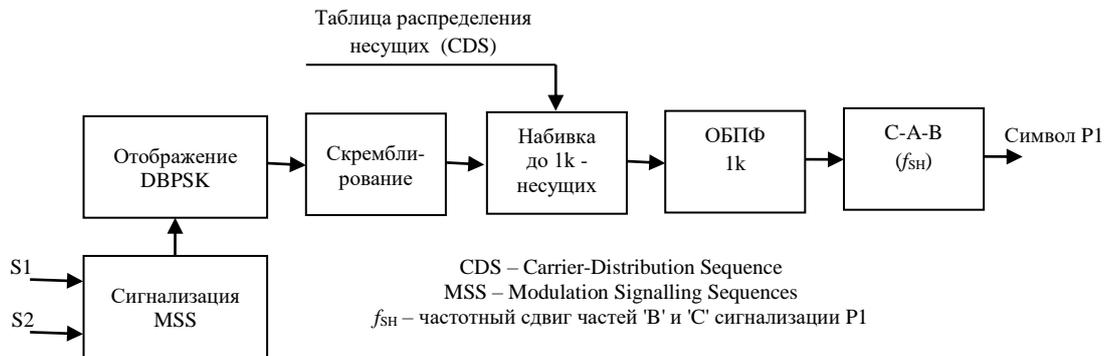


Рис. 22. Схема формирования символа P1

Активные несущие распределены в соответствии со следующим алгоритмом: из 766 несущих только 384 являются пилотами. Для идентификации активных несущих объединяются три дополнительных последовательности: длина двух последовательностей на концах 128 и средняя 512 чипов. Последние два бита третьей дополнительной последовательности – нулевые, в результате из 766 несущих 384 являются активными.

Для модуляции активных несущих используется DBPSK в соответствии с описанными позже кодограммами. Кодировать два поля сигнализации: S1 и S2. В каждом поле могут сигнализированы 8 или 16 значений (три или четыре бита соответственно). Кодограммы S1 основаны на ортогональных наборах восьми комплементарных последовательностей длины 8 (полная длина каждого шаблона S1 равна 64). Кодограммы для кодирования S2 основаны на ортогональных наборах 16 комплементарных последовательностей длины 16 (полная длина каждой кодограммы S2 равна 256).

Эти наборы имеют следующие два главных свойства:

а) сумма автокорреляций (SoAC) всех наборов равны дельта-импульсу Кронекера, умноженному на коэффициент  $KN$ , где  $K$  – число последовательностей каждого набора,  $N$  – длина каждой последовательности. Для S1  $K=N=8$ , для S2  $K=N=16$ .

б) наборы взаимно некоррелированы.

**Повышение напряжения активных несущих.** Принимая во внимание, что в символе 1к используется только 853 несущие, а в P1 имеется только 384 активных несущих, к активным несущим применяется увеличение напряжения на  $(853/384)^{1/2}$  или 3,47 дБ относительно средней величины  $K_{total}$  несущих, используемых в обычном символе 1к.

**Генерация сигнала P1 во временной области.** Полезная часть «А» сигнала P1 генерируется путём модуляции несущих в соответствии с выражением:

$$p_{1A}(t) = 384^{-0,5} \sum MSS\_SCR_i \exp\{j2\pi(k_{p1}(i) - 426)/1024T\},$$

где  $k_{p1}(i)$  для  $i = 0, 1, \dots, 383$  – индексы 384 активных несущих в порядке возрастания,  $MSS\_SCR_i$  для  $i = 0, 1, \dots, 383$  – модуляционные величины для активных несущих,  $T$  – элементарный период.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Это выражение включает в себя эффект *повышения амплитуды сигнала*, который обеспечивает такую же мощность символа P1, как и остальных символов.

**Сдвинутое по частоте повторение в защитном интервале.** Для улучшения надёжности P1 определены два защитных интервала с обеих сторон полезной части символа. Вместо циклического продолжения (как в обычном символе OFDM) используется частотный сдвиг символа.

Таким образом, P1[C] – первый защитный интервал, P1[A] – главная часть символа, P1[B] – второй защитный интервал. P1[C] переносит сдвинутую по частоте версию первых  $542T$  периодов символа P1[A], P1[B] переносит сдвинутую по частоте версию остальных  $482T$  периодов символа P1[A]. Частотный сдвиг  $f_{sh}$  равен  $f_{sh} = 1/(1024T)$ .

Во временной области символ P1 определяется следующим образом:

$$p_1(t) = \begin{cases} p_{1,A}(t)e^{j2\pi t/1024T} & \text{при } 0 \leq t < 542T, \\ p_{1,A}(t-542T)e^{j2\pi t/1024T} & \text{при } 542T \leq t < 1566T, \\ p_{1,A}(t-1024T)e^{j2\pi t/1024T} & \text{при } 1566T \leq t < 2048T. \end{cases}$$

## 8. СТРУКТУРА СЕТИ ПЕРЕДАТЧИКОВ И ТРЕБОВАНИЯ К ПАМЯТИ ПРИЁМНИКА DVB-T2

Основы построения сетей цифрового телевидения подробно рассмотрены в [5]. В данном разделе кратко изложены особенности сетей DVB-T2 и специализированного узла системы – «Шлюза T2-gateway». Европейская организация ETSI опубликовала техническую спецификацию «Интерфейс модулятора T2-MI» [9]. Некоторые подробности рассмотрены в приложениях: структура пакетов T2-MI – в приложении 7, обработка этих пакетов – в приложении 8.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Сетевой шлюз (англ. gateway) — сетевое устройство или программное средство для сопряжения разнородных сетей.

Спецификация DVB-T2 [8] использует выражение "T2 System" в разных значениях. В некоторых местах оно используется для ссылки на стандарт DVB-T2 и его различные элементы. Однако "T2-System" используется также в специфических случаях для ссылки на отдельное понятие layer-1 (уровень-1), которое является обобщением понятия *мультиплекса* в DVB-T и других стандартах DVB. В этом специфическом значении «T2-system» есть набор передач с кадровой структурой, синхронизованной во времени, использующий одни и те же физические параметры (полоса частот, размер FFT), переносящих одно и то же число и типы PLP и использующего одинаковые физические параметры для каждого из PLP. L1-сигнализация будет поэтому идентична для всех передач в T2-системе, кроме **cell\_id**, который может быть разным. Однако DVB-T2 позволяет вставлять региональный контент, так что одна и та же T2-система может переносить разные наборы транспортных потоков и использовать разные частоты передачи в различных географических областях. Все передачи, комплектуемые в T2-системе, возникают в одном узле – «Шлюзе T2-gateway», порождающем **поток T2-MI**, так что кадровая структура и расписание определяются в одном месте и являются общими для всех передач. Поток T2-MI будет распространяться через сеть распределения, в которой некоторая часть контента может быть заменена. В принципе может быть заменён весь контент PLP ко времени передачи сигнала, хотя на практике может быть часть контента, которая одинакова для всех передач. На рис. 23 приведён пример сети распределения.

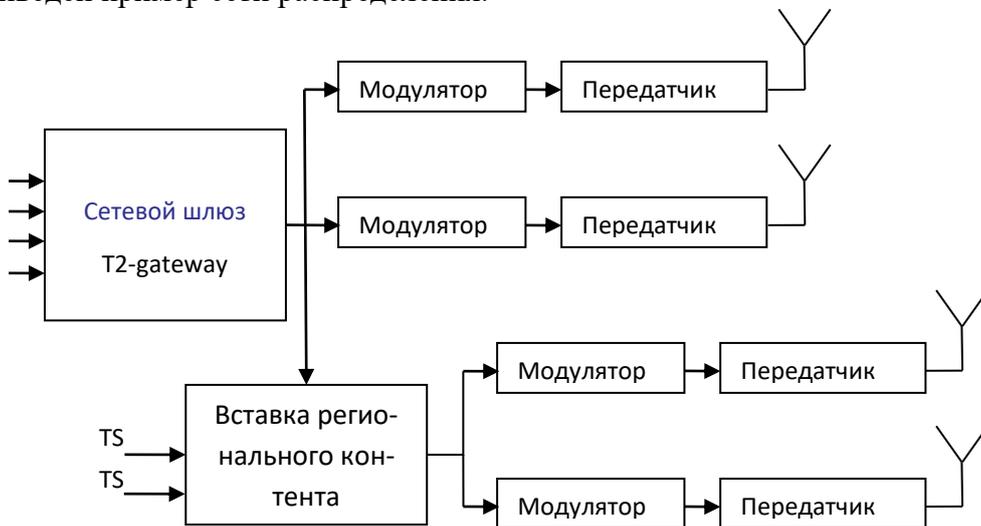


Рис. 23. Передатчики в системе DVB-T2

Все передатчики в сети связаны с одним и тем же узлом – «шлюз T2-gateway», поэтому термин "T2-system" может быть применён к оборудованию и сети распределения от входа T2-gateway до выхода передатчиков.

**ТРЕБУЕМАЯ В ПРИЁМНИКЕ ПАМЯТЬ.** Стандарт DVB-T2 обеспечивает компромисс между сложностью приёмника и характеристиками системы. Наибольшая память приёмника требуется во временном деперемежителе (TI) – около 500 000 ячеек. Полагая 10 бит для реальной и мнимой частей вместе с несколькими битами для информации о состоянии канала, размер памяти составляет около 12 Мбит. Вторая память, де-джиттера, равна 2 Мбит. Память для компенсации задержки в канале – около 1 Мбит. БПФ нуждается в памяти по крайней мере два блока по 32k символов.

Таким образом, продолжительность перемежения ограничена скоростью служебных данных и размером памяти временного деперемежителя, равным  $2^{19} + 2^{15}$  ячеек. Выбор такого размера памяти – компромисс между аппаратной сложностью и производительностью.

Величина памяти, необходимая для декодирования отдельных PLP, определяется сигнализацией L1. Поэтому возможно устройство простых приёмников с малой величиной памяти, которые могут принимать только определённые сервисы. Предполагается, что цифровые приёмники, соответствующие текущему стандарту, будут содержать достаточно памяти для декодирования любого PLP. Другие применения, например радиоприём, могут использовать приёмники малой сложности.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЛОЖНОСТЬ** в приёмниках DVB-T2 больше, чем в DVB-T не в последнюю очередь из-за кодирования LDPC. Разработан новый профиль **T2-LITE**, который предназначен для мобильных и портативных приемников с меньшей сложностью. В частности, исключаются БПФ размером 32k и длинные блоки LDPC, а размер памяти деперемежителя вдвое меньше. Подробнее о T2-LITE – дальше в разделе 10.

## 9. ИНТЕРФЕЙС МОДУЛЯТОРА T2-MI [9]

В DVB-T в одном радиоканале переносится единственный транспортный поток. DVB-T2 может передать несколько потоков в разных PLP. Для работы одночастотных сетей (SFN) решение о размещении и планировании принимается в T2-Gateway, результат распределяется в таком формате, что модуляторы в сети формируют в эфире идентичные сигналы. Этот формат известен как DVB-T2 Modulator-Interface Specification (T2-MI). Он позволяет создавать как одночастотные сети передатчиков SFN, так и многочастотные MFN.

### 9.1. Обзор

Предполагается, что сети, в особенности одночастотные, используют центральный узел T2G («Шлюз T2»), который принимает один или несколько транспортных потоков на входе (TS и/или потоки GSE) и *генерирует на их основе последовательность пакетов T2-MI* в интерфейс T2-MI. T2-G функционально содержит «Базовый T2-G» и может также включать некоторые каскады предварительной обработки.

На входе базовой подсистемы имеется один или несколько потоков. *«Базовый T2-G» составляет центральную часть модулятора.* Если на вход поступают транспортные потоки MPEG-2 TS, они имеют постоянную битовую скорость. Каждый поток соответствует индивидуальному PLP-данным. Одинаковые части нескольких Транспортных Потоков MPEG-2 могут быть переданы в общем PLP.

В общем случае каждый из потоков может быть либо MPEG-2 TS, либо GSE. Соответственно любой из них может быть на выходе демодулятора DVB-T2 в приёмнике (после объединения с общим PLP, если он использовался).

*Общий PLP обычно используется для сигнализации Уровня 2* (таблицы PSI/SI), но может также использоваться для передачи другой информации, или даже сервисов. Когда в сигнале DVB-T2 несколько групп PLP, каждая из них может иметь общий PLP. Отметим, что для MPEG-2 TS некоторые таблицы PSI/SI могут пересылаться через PLP-данных.

### 9.2. Статистическое мультиплексирование и расщепление сервисов

Рассмотрим случай, когда несколько видеосервисов мультиплексируются в пределах ограниченной постоянной ёмкости сигнала системы DVB-T2 или её подсистемы. В последнем случае оставшая часть ёмкости может использоваться для другой цели. В зависимости от способа статистического мультиплексирования может потребоваться расщепление большого транспортного потока на несколько малых синтаксически корректных

транспортных потоков, обычно с одним потоком в каждом сервисе. Это расщепление осуществляется перед системой DVB-T2 и не должно путаться с разделением входного потока на PLP-данных и общий PLP.

Статистическое мультиплексирование обычно выполняется в одной точке сети, в то же время модуляторы расположены в разных местах. При этом возникает проблема, как посылать генерируемые потоки на физические модуляторы, чтобы гарантировать генерацию идентичных радиосигналов синхронно в каждом передатчике. Это является фундаментальным требованием работы SFN. Предполагается, что для этого используется центральный T2-G, который генерирует **поток T2-MI** и распределяет его на все модуляторы передатчиков. *Сетевой шлюз связан с модуляторами через интерфейс T2-MI (рис 23)*. Поток T2-MI – это последовательность пакетов T2-MI, их структура приведена в приложении 7.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Термин «T2-MI», таким образом, обозначает как поток, так и интерфейс.

### **9.3. Шлюз T2-G и интерфейс модулятора T2-MI**

T2-G принимает один или несколько Транспортных Поточков TS (и/или GSE-потоки) на входе и формирует на их основе *последовательность пакетов T2-MI* на выходе. Любые требуемые расщепления, выделение PSI/SI (кроме использования общего PLP и восстановления PCR потока MPEG-2) выполняются перед входом в «Базовый T2-G». После этого «Базовый T2-G» разделяет приходящие транспортные потоки на «*PLP-данных*» и «*общий PLP*», выполняет предварительный анализ первой стадии процессов модуляции, позволяющий создать ВВ-кадры, сигнализацию и информацию для синхронизации SFN. Всё инкапсулируется в «пакеты T2-MI».

**Практические T2-G** кроме функций базового блока T2-G могут включать следующее.

1. Генерация транспортного потока для каждого PLP-данных. Если мультиплекс генерируется без уведомления статистического мультиплексора T2, он может быть разделён на *N* Транспортных Поточков блоком T2-G.

2. Генерация и вставка T2-MIP. Так как это даёт временную информацию для текущего суперкадра, могут возникнуть трудности для его генерации перед T2-G, так как кадровая информация может быть ещё не готова.

#### 9.4. Распределение пакетов T2-MI на передатчики

Поток пакетов T2-MI с выхода T2-G инкапсулируют в протоколы нижнего уровня. Спецификация [9] описывает передачу пакетов в транспортный поток MPEG, который в DVB-T может переноситься через цепь ASI. Спецификация обеспечивает также метод переноса транспортного потока MPEG по протоколу IP-TV. Это позволяет проводить распределение по сетям IP и корректировать такие дефекты, как потеря пакетов, вновь упорядочить пакеты. Можно расщепить высокий бит-стрим пакетов T2-MI на несколько потоков с меньшей скоростью, которые затем восстанавливают на месте нахождения передатчика. Это упрощает спутниковое распределение высокоскоростных потоков T2-MI. Способность коррекции и восстановления пакетов гарантирует, что входом всех модуляторов является одна и та же исходная последовательность кадров T2-MI. Основываясь на инструкциях внутри пакетов T2-MI, каждый модулятор способен сформировать идентичную последовательность физических кадров DVB-T2 и передать их синхронно в SFN. СТРУКТУРА ПАКЕТОВ T2-MI ПРИВЕДЕНА В ПРИЛОЖЕНИИ 7.

Вводится понятие множества потоков T2-MI для формирования передач T2, состоящих из нескольких профилей. Например, сигналы профиля T2-Lite распространяются в одном потоке T2-MI и передаются в FEF-части сигнала T2-Base, который распространяется во втором потоке T2-MI. Аналогично, сигнал профиля T2-Base может передаваться в FEF-части сигнала T2-Lite. Подробнее об этом далее в п. 10.4.

#### 9.5. Сигнатуры передатчиков [10]

В одночастотной сети (SFN) возможен приём нескольких версий одного и того же сигнала от нескольких передатчиков ('multipath') в отличие от обычного приёма нескольких эхо-сигналов от одного передатчика. В результате нелегко различить вклад разных передатчиков в такой SFN. Сетевым операторам может это потребоваться в следующих случаях:

- запуск новой сети;
- добавление передатчиков в существующую сеть;
- проверка покрытия;
- проверка сети.

Для идентификации передатчиков потребовалась разработка отдельного документа [10]. Предлагается два метода.

1) Сигнал DVB-T2 содержит отдельные части символов, в пределах которых несущая OFDM модулирована различными комплексными числами. Эта составляющая (одна несущая в одном символе) называется *ячейкой*. Модуляция, используемая в ячейке DVB-

T2, может быть точкой созвездия (ячейка данных), пилотом или *резервным тоном*. В последнем случае приёмник игнорирует содержание этой ячейки. Она может содержать разные комплексные числа для разных передатчиков в SFN. Этот принцип можно распространить на сигнатуры передатчиков: эти ячейки игнорируются потребительскими приёмниками. Метод описан в разделе 5 [10]. Ячейки резервных тонов могут использоваться для передачи дополнительных (вспомогательных – auxiliary streams) потоков.

2) Спецификация [8] включает концепцию FEF. Имеется определённая часть в полном сигнале, оставленная для использования в будущем. Сигнализация построена так, что приёмникам известны наличие, положение и длительность FEF-частей, и эти части игнорируются ими. Раздел 6 [10] описывает метод использования FEF-частей для сигнатур передатчика. Метод позволяет синхронизироваться с индивидуальными передатчиками, измерить импульсный отклик от каждого передатчика до приёмника, включая относительную мощность. Метод пригоден также для частотных измерений индивидуальных передатчиков. Оба метода могут использоваться для сигнатур либо в отдельности, либо в комбинации.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Операторы сети могут вводить сдвиг во времени излучения сигнала разными передатчиками для достижения лучшего покрытия.

## 10. ПРОФИЛЬ T2-LITE

### 10.1. Обзор

DVB-T2-Lite – это профиль, добавленный в ноябре 2011 года в версии 1.3.1 спецификации DVB-T2 [8]. Практически он предназначен для мобильного и ручного (*handheld*) приёма. В этом профиле сокращён набор опций, поэтому основной вариант DVB-T2 получил название «T2-Base». Но в T2-Lite добавлены некоторые новые опции. В общем T2-Lite упрощает приём соответствующих сервисов, уменьшает стоимость приёмников, предназначенных для мобильного и ручного приёма, и потребляемую ими мощность.

При введении профиля T2-Lite основному профилю присвоено расширение T2-base. Профиль T2-Lite предназначен для реализации простых приёмников малой ёмкости, например, для мобильного вещания, хотя сигнал может быть принят и стационарными приёмниками.

Сигнал T2-Lite идентифицируется кодом поля S1 в сигнализации P1, сигнал базового профиля T2-base сигнализируется битом **T2\_BASE\_LITE**: если установлено значение '1', это 1-битовое поле указывает, что текущий сигнал профиля T2-base совместим с профилем T2-Lite.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Один из возможных сценариев использования T2-Lite включает в себя одновременное вещание двух различных версий одного и того же сервиса с различными скоростями передачи и разными уровнями защиты (высокая скорость с меньшей защищённостью и низкая скорость с более высокой защитой). Это может использоваться для того, чтобы обеспечить запасной сигнал на границе зоны обслуживания или в критических местах, таких как внутри помещения или в затенённых областях. Не требуется, чтобы приёмник поддерживал возможность **бесшовной передачи обслуживания между двумя такими потоками**, так как для этого необходимо **одновременное декодирование двух PLP-данных**: приёмник T2-Lite декодирует только один PLP-данных и связанный с ним общий PLP. Данный сценарий облегчается соответствующей сигнализацией PSI/SI.

Сигнал T2-Lite может быть мультиплексирован с сигналом базового профиля T2-base, каждый из сигналов одного профиля передаётся в FEF-частях другого. Например,

РЧ-сигнал может быть сформирован комбинацией ОБПФ 32k T2-base, переносящего сервис HDTV для стационарных приёмников с использованием модуляции 256-QAM вместе с профилем T2-Lite, использующим ОБПФ 8k и модуляцию QPSK для мобильного приёма в той же сети.

**Элементы, исключённые из T2-Lite.** Элементы, которые разрешены в DVB-T2 и были исключены в T2-Lite, можно разделить на две категории: 1) те, которые применяются к выбору размера FFT, шаблона пилотов и защитного интервала, и 2) те, которые относятся к конфигурации MODCOD.

Размер БПФ 32k не входит в T2-Lite, в результате чего расстояние между поднесущими на частотах УВЧ не обеспечивает достаточную устойчивость к ICI для мобильных сценариев. Кроме того, исключен размер 1k, так как использование T2-Lite в L- или S-диапазонах не ожидается. Из остальных возможных конфигураций были удалены три комбинации размеров БПФ, шаблонов пилот-сигнала и защитного интервала (две в режиме SISO, и одна в режиме MISO), чтобы уменьшить количество разрешенных конфигураций и облегчить реализацию приемников.

Единственный шаблон пилот-сигнала, не включенный в T2-Lite, – это PP8. PP8 предназначен для использования в так называемой CD3-OFDM технике, где оценки в данных вычисляются после FEC-декодирования. Однако в T2-Lite этот вид оценки канала имеет низкую производительность.

DVB-T2 включает в себя передачу длинных и коротких FEC-кадров. Первый из них использует LDPC-коды 64k (по 64 800 бит в кодовом слове), в то время как последний использует 16k (по 16 200 бит в кодовом слове). Использование 64k обеспечивает преимущество в производительности порядка долей дБ за счет некоторой дополнительной задержки, хотя для вещания это можно считать незначительными. Для упрощения приемников длинный формат FEC-кадра был удален из профиля T2-Lite. Таким образом, в приемниках T2-Lite реализовано только менее сложное декодирование LDPC-кодов 16k.

Выбор кодовых скоростей также был уменьшен в T2-Lite. В частности, скорости кодирования 4/5 и 5/6 были удалены из-за того, что для мобильных сценариев предпочтительнее использование более высоких порядков созвездий и более надежных кодовых скоростей. С другой стороны, сочетание скоростей кода 2/3 и 3/4 с созвездием 256-QAM не обеспечивает достаточной надежности для портативного и мобильного приема и, следовательно, не поддерживается.

Использование поворота созвездий вместе с 256-QAM также не включено в профиль, так как преимущество повернутого созвездия в этом случае не компенсирует усложнения, которое необходимо для обратного преобразования из LLR. Вращающиеся созвездия могут повысить надежность передачи информации в каналах с замираниями. В обмен на это они требуют реализации двумерного обратного преобразования из LLR, которое является более сложным, чем в одномерном обратном преобразовании, выполненном для регулярных созвездий, особенно в случае больших созвездий. С другой стороны, преимущество повернутых созвездий уменьшается с повышением порядка созвездий и при более низких кодах, будучи практически не заметно при использовании 256-QAM.

**Элементы, добавленные в T2-Lite.** Новые элементы, добавленные в T2-Lite, относятся к FEC и конфигурации FEF-части. Для FEC добавлены две кодовых скорости (1/3 и 2/5) и соответствующие демультимплексоры бит/ячейка. Новые кодовые скорости унаследованы от DVB-S2, чтобы обеспечить возможность приёма при более низких порогах SNR. Таким образом, можно расширить охват услугами T2-Lite за счет уменьшения пропускной способности.

*Переमेжитель четности (Parity)*, который применяется в DVB-T2 для созвездий 16-QAM, 64-QAM и 256-QAM, также включен в T2-Lite для новых кодовых скоростей и для всех созвездий, в том числе QPSK. Перемежитель четности предназначен для того, чтобы улучшить производительность декодирования LDPC в условиях замирания канала за счет того, что биты, подключенные к одним и тем же проверочным узлам, в конечном итоге передаются в разных ячейках.

В противном случае стирание одной ячейки из-за замираний может привести к потере нескольких битов, подключенных к одним и тем же проверочным узлам, это является вредным для возможности исправления ошибок кода. Перемежитель четности также облегчает параллельную реализацию декодирования FEC в приемнике.

В дополнение к более устойчивым темпам кода и использованию перемежителя четности максимальная продолжительность FEF-части в T2-Lite была увеличена от 0,25 с до одной секунды. Это обеспечивает более высокую гибкость при мультиплексировании сигналов T2-Lite и T2 в тех частотных каналах, где сигналы T2 занимают большую часть времени передачи.

## 10.2. Кодирование FEC и модуляция в профиле T2-Lite

Набор кодов LDPC в T2-Lite приведён в таблице 13, причём используется только короткий кадр FECFRAME ( $N_{ldpc} = 16\,200$  бит). Никакие другие параметры не могут использоваться.

Таблица 13. Параметры кодирования T2-Lite

Код LDPC	Некодированный блок ВСН $K_{bch}$	Кодированный блок ВСН $N_{bch}$	Коррекция ВСН t-ошибок	$M_{bch} \cdot K_{bch}$	Эффективная скорость Кода LDPC $K_{ldpc}/16\,200$	Кодированный блок LDPC $N_{ldpc}$
1/4	3 072	3 240	12	168	1/5	16 200
1/3	5 232	5 400	12	168	1/3	16 200
2/5	6 312	6 480	12	168	2/5	16 200
1/2	7 032	7 200	12	168	4/9	16 200
3/5	9 552	9 720	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

ПРИМЕЧАНИЕ. Скорость 1/4 используется только для защиты сигнализации L1-pre, а не для передачи данных.

При модуляции QPSK с кодовой скоростью 1/3 или 2/5 применяется перемежитель «parity». Комбинации битового перемежения T2-Lite приведены в таблице 14.

Таблица 14. Использование битового перемежителя в T2-Lite

Идентификатор кода LDPC	Эффективная скорость LDPC $K_{ldpc}/16\,200$	Модуляция	
		QPSK	16-QAM, 64-QAM или 256-QAM
1/3	1/3	Parity	Parity & column twist
2/5	2/5		
1/2	4/9	None	
3/5	3/5		
2/3	2/3		
3/4	11/15		

При демультимплексировании бит в слова ячеек в T2-Lite используют параметры из таблиц 15(а) и 15(б).

Таблица 15(а). Параметры демультимплексирования бит в суб-поток для кодовой скорости 1/3.

Модуляция	QPSK											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1										
Количество выходных бит $e$	0	1										
Модуляция	16-QAM											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1	2	3	4	5	6	7				
Количество выходных бит $e$	6	0	3	4	5	2	1	7				
Модуляция	64-QAM											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество выходных бит $e$	4	2	0	5	6	1	3	7	8	9	10	11
Модуляция	256-QAM											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1	2	3	4	5	6	7				
Количество выходных бит $e$	4	0	1	2	5	3	6	7				

Таблица 15(б): Параметры демультимплексирования бит в суб-поток для кодовой скорости 2/5

Модуляция	QPSK											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1										
Количество выходных бит $e$	0	1										
Модуляция	16-QAM											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1	2	3	4	5	6	7				
Количество выходных бит $e$	7	5	4	0	3	1	2	6				
Модуляция	64-QAM											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество выходных бит $e$	4	0	1	6	2	3	5	8	7	10	9	11
Модуляция	256-QAM											
Количество входных бит $d_i \bmod N_{\text{substreams}}$	0	1	2	3	4	5	6	7				
Количество выходных бит $e$	4	0	5	1	2	3	6	7				

**Модуляция.** Для T2-Lite модуляция 256-QAM не должна использоваться с кодовыми скоростями 2/3 или 3/4. Поворот созвездия для T2-Lite никогда не будет использоваться с 256-QAM. Полный набор допустимых комбинаций модуляции, скорости кодирования и поворота созвездий, которые используются для передачи данных, приведён в таблице 16.

Таблица 16. Комбинации модуляции и кодовой скорости, для которых поворот созвездий может быть использован с профилем T2-Lite

Код LDPC	Эффективная скорость $K_{LDPC}/16200$	Модуляция			
		QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
1/3	1/3	√	√	√	‡
2/5	2/5	√	√	√	‡
1/2	4/9	√	√	√	‡
3/5	3/5	√	√	√	‡
2/3	2/3	√	√	√	NA
3/4	11/15	√	√	√	NA

ПРИМЕЧАНИЕ: знак √ означает, что эта комбинация может быть использована с или без вращения созвездия  
знак ‡ означает, что для этой комбинации вращение созвездия не должно использоваться  
NA означает, что эта комбинация не должна использоваться.

### 10.3. Режимы T2-Lite

В T2-Lite используется ограниченный набор режимов. Ограничения распространяются на размеры ОБПФ, шаблоны пилотов, разрешенные комбинации этих параметров и защитного интервала

В T2-Lite не используются размеры ОБПФ 1k и 32k, допустимый набор размеров ограничивается значениями 2k, 4k, 8k и 16k. Пилоты PP8 не используются в T2-Lite.

Полный набор разрешённых комбинаций параметров дается в таблицах 17 и 18.

Таблица 17. Пилоты T2-Lite в режиме SISO

Размер ОБПФ	Защитный интервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
16k	PP7	PP7 PP6	PP4 PP5	PP2 PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
8k	PP7	PP7 PP4	PP4 PP5	PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
4k, 2k	NA	PP7 PP4	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1

Таблица 18. Пилоты T2-Lite в режиме MISO

Размер ОБПФ	Защитный интервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
16k	PP4 PP5	PP4	PP3	PP3	PP1	PP1	NA
8k	PP4 PP5	PP4 PP5	PP3	PP3	PP1	PP1	NA
4k, 2k	NA	PP4 PP5	PP3	NA	PP1	NA	NA

#### 10.4. Структура сигнала T2-Lite

Сигнал T2-Lite может быть либо передан в качестве отдельного сигнала (т.е. без FEF-части), или в качестве сигнала T2-Lite с FEF. Например, если сигнал T2-base передается в FEF-части сигнала T2-Lite и имеется 3 кадра T2-base а затем 1 кадр T2-Lite, сигнал T2-base будет иметь  $FEF\_INTERVAL=3$ , тогда сигнал T2-Lite будет иметь  $FEF\_INTERVAL=1$ , как показано на рисунке 24.

T2-кадры сигнала базового профиля T2-base помечены как 'T2B' и T2-кадры профиля T2-Lite – как 'T2L'. Следует отметить, что в этом случае FEF-часть сигнала T2-Lite будет иметь три символа P1. Максимальная продолжительность FEF-части сигнала T2-Lite составляет 1 секунду. Отметим также, что суперкадр должен содержать не менее двух T2-кадров, минимальные длины суперкадров показаны в каждом конкретном случае. Суперкадры могут содержать несколько FEF-частей.

Длина суперкадра T2-Lite имеет те же ограничения, что и сигнала T2-base.

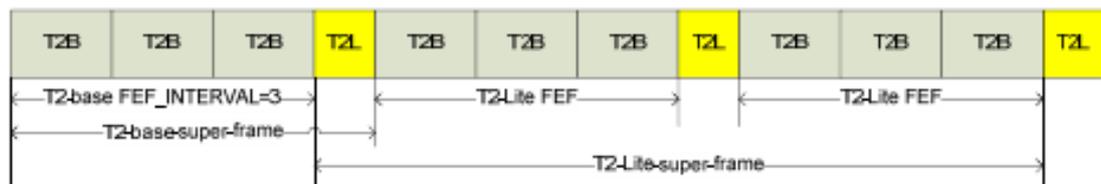


Рис. 24. Пример композитного сигнала T2-base и T2-Lite

Другой пример составной структуры кадра показан на рисунке 25. В этом случае зеленый кадр представляет собой либо T2-кадр неопределенного профиля ('T2X') или другой сигнал ('XXX'). Его FEF-часть равна двум кадрам T2L, давая равные размеры FEF-частей кадров T2B.

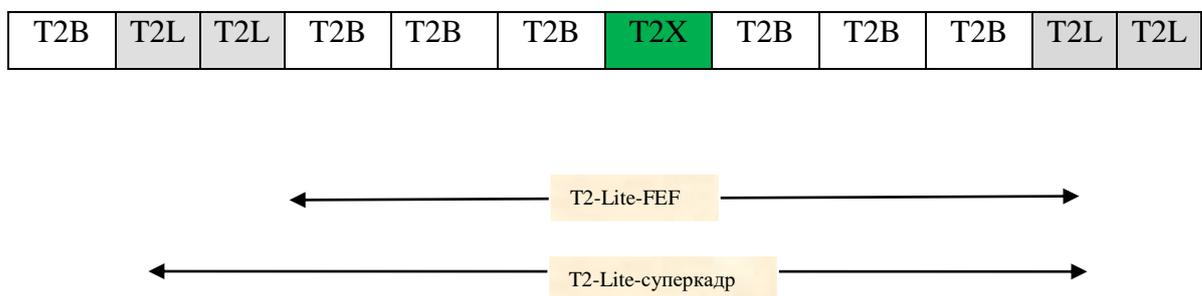


Рис. 25. Второй пример композитного сигнала T2-base и T2-Lite

### 10.5. Скорость передачи данных T2-Lite

Максимальная скорость передачи данных PLP определяется так:

$$R_{\max} = (K_{\text{VCH}} - 80) N_{\text{BLOCKS\_IF\_MAX}} (T_{\text{F}} + T_{\text{FEF}} / I_{\text{FEF}})^{-1} (P_{\text{I}} I_{\text{JUMP}})^{-1},$$

где  $K_{\text{VCH}}$  – количество битов в некодированном блоке VCH,

$N_{\text{BLOCKS\_IF\_MAX}}$  – максимальное количество FEC-блоков в Кадре Перемежения,

$T_{\text{F}}$  – длительность T2-кадра,

$T_{\text{FEF}}$  – длительность одной FEF-части,

$I_{\text{FEF}}$  – интервал FEF,

$P_{\text{I}}$  – количество T2-кадров, в которые отображается Кадр Перемежения,

$I_{\text{JUMP}}$  – кадровый интервал (разность индексов двух последовательных T2-кадров).

Для T2-Lite сумма максимальных скоростей передачи данных для любого PLP-данных и, если присутствует, его общего PLP, не должна превышать 4 Мбит/с.

#### Ограничения для буфера приёмника T2-Lite

Для T2-Lite память временного деперемежителя примерно вдвое меньше. Параметр  $M_{\text{TI}}$  для T2-Lite равен  $2^{18}$ .

Для упрощения реализации буфера приемника скорость обработки ячеек уменьшается. Значение скорости  $R_{\text{cell}}$  должно быть снижено до величины, указанной в таблице 19.

Таблица 19.  $R_{\text{cell}}$  для различных созвездий

Созвездие	$R_{\text{cell}}$ (cells/s)
QPSK	$7,6 \times 10^6$
16-QAM	$4,0 \times 10^6$
64-QAM	$2,7 \times 10^6$
256-QAM	$2,0 \times 10^6$

Аналогично для T2-Lite время для декодирования блока L1-pre или L1-post  $T_{\text{decode}}$  должно быть ограничено до 0,45 мс.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** Для ограничения времени декодирования и предотвращения возможности переполнения в частотном деперемежителе число LDPC-блоков сигнализации L1-post  $N_{\text{post\_FEC\_Block}} = 1$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ 2.** Приведенные значения  $R_{\text{cell}}$  для 16-QAM, 64-QAM и 256-QAM в T2-Lite показывают, что для большинства практических применений невозможно использовать перемежение кадров в нескольких блоках временного перемежения, т.е. в T2-Lite использование  $N_{\text{TI}} > 1$  для всех созвездий, кроме QPSK, может вызвать переполнение во временном деперемежителе.

## 10.6. Планирование использования профиля T2-Lite

Для планирования необходимо учитывать следующие отличия T2-Lite от T2-Base:

- добавлены более надёжные скорости кодов 1/3 и 2/5;
- опущены кодовые скорости 4/5 и 5/6;
- возможна модуляция 256-QAM, но без кодовых скоростей 2/3, 3/4 и без порога созвездий;
- максимальная скорость данных ограничена до 4 Мбит/с;
- опущены размеры FFT 1k и 32k;
- отсутствуют пилоты PP8;
- опущен большой размер FEC (64k);
- используется только уменьшенное время памяти при перемежении;
- ограничено количество комбинаций размеров БПФ, защитных интервалов  $G_1$  и пилотов PP;
- добавлена опция защиты от ошибок (скремблирование сигнализации L1-post);
- возможны большие размеры FEF-блоков (до 1000 мс).

В принципе, комбинация сервисов T2-Lite и T2-Base возможна посредством FEF или PLP. Профиль T2-Lite сигнализируется посредством L1-signalling.

Имеется несколько возможностей для передачи T2-Lite. В простейшем случае сигнал T2-Lite передаётся как единственный сигнал, то есть без использования комбинации с T2-Base. Для комбинирования T2-Lite (T2L) и T2-Base (T2B) возможны два варианта (они показаны выше на рисунках 24 и 25):

1) оба сигнала передаются в одном и том же PLP, при этом T2B передаётся в FEF-части T2L;

2) T2-Lite и T2-Base передаются в отдельных PLP, при этом механизм FEF не используется.

В приёмнике T2-Lite имеются ограничения памяти временного деперемежителя. Ограничена скорости данных и скорости FEC-обработки для уменьшения сложности реализации приёмников. Память временного деперемежителя уменьшена от  $2^{19}+2^{15}$  ячеек до  $2^{18}$ . Число ячеек одинаково для всех конфигураций MODCOD и должно быть распределено между PLP-данных и общим PLP. Полагая 10 бит на ячейку и несколько бит для CSI, объём памяти составляет около 6 Мегабит. Следует однако отметить, что квантование ячеек в T2-Lite должно быть с меньшим числом бит, так как использование

более надёжных конфигураций модуляции и кодирования (MODCOD) при работе с низкой спектральной эффективностью ослабляет вклад шумов квантования.

Например, квантование в 4 бит каждой действительной и мнимой частей, требующее памяти около 3 Мегабит, приведет к потере десятых долей дБ напряжённости при QPSK и 16-QAM.

Хотя ограничение памяти деперемежителя уменьшает максимальную продолжительность перемежения примерно вдвое, это приемлемо в T2-Lite, так как услуги мобильной связи обычно имеют гораздо меньшую скорость передачи данных.

Таблица 20 показывает максимальную продолжительность деперемежения для всех возможных конфигураций модуляции и кодирования при мобильной связи со скоростью 375 кбит/с (320 кбит видео H.264, 48 кбит/с HE-AAC v2 аудио и 7 кбит/с накладных расходов на сигнализацию). Как показано в таблице 20, продолжительность деперемежения для этого вида услуг составляет от 0,4 до 3,3 секунд.

Таблица 20. Максимальная продолжительность деперемежения (секунды) для скорости передачи данных 375 кбит/с

QPSK 1/3	0,4	16-QAM 1/3	0,9	64-QAM 1/3	1,3	256-QAM 1/3	1,8
QPSK 2/5	0,5	16-QAM 2/5	1,1	64-QAM 2/5	1,6	256-QAM 2/5	2,1
QPSK 1/2	0,6	16-QAM 1/2	1,2	64-QAM 1/2	1,8	256-QAM 1/2	2,4
QPSK 3/5	0,8	16-QAM 3/5	1,6	64-QAM 3/5	2,5	256-QAM 3/5	3,3
QPSK 2/3	0,9	16-QAM 2/3	1,8	64-QAM 2/3	2,7	256-QAM 2/3	NA
QPSK 3/4	1	16-QAM 3/4	2	64-QAM 3/4	3	256-QAM 3/4	NA

В T2-Lite скорость передачи данных любого PLP-данных и, если присутствует, то и общего PLP, ограничивается величиной 4 Мбит/с. Хотя этого достаточно, чтобы в одном PLP передать 10 услуг по 375 кбит/с, по разным причинам в T2-Lite предпочтительнее использовать несколько PLP, каждый из которых переносит один низкоскоростной сервис. С одной стороны, это обеспечивает большую экономию энергии, так как приемники могут быть включенными только в периоды времени, которые соответствуют одной услуге. С другой стороны, максимальная продолжительность перемежения больше, так как в памяти временного деперемежителя необходимо сохранять ячейки только одной услуги.

В дополнение к ограничениям скорости передачи данных, скорость, с которой FEC-цепь может обрабатывать ячейки в буфере приемника T2-Lite, была уменьшена от  $7,6 \times 10^6$  ячеек в секунду до более низкого значения, в зависимости от созвездия (кроме QPSK). Дополнительное ограничение состоит в том, что для сигнализации L1-post может быть использован только один FEC-блок. Это сделано для того, чтобы увеличить время для декодирования и, следовательно, уменьшить сложность приемника.

**Примеры возможного использования профиля T2-Lite.** Предоставление стационарных и мобильных услуг в одном и том же мультиплексе T2 ограничивается тем, что режим БПФ и шаблоны пилотов не могут быть скорректированы в течение того же сигнала T2. Стационарные услуги обычно передаются с большими БПФ и редкими пилотами, чтобы обеспечить высокую спектральную эффективность в стационарных каналах.

С другой стороны, прием в мобильных сценариях требует использования меньших БПФ и с более плотными структурами пилотов, чтобы отслеживать быстрые изменения во времени и в частотной области, и чтобы справиться с ИСІ, обусловленные эффектом Доплера. Чтобы решить эту проблему, сигналы T2-Lite могут быть переданы в FEF-части мультиплекса T2. Таким образом, сигналы T2-Lite могут быть оптимизированы с точки зрения режима БПФ и шаблонов пилотов для высокой надежности в мобильных сценариях (например, 8k БПФ и PP1), в то время как остальная часть мультиплексирования может быть сконфигурирована для высокой пропускной способности в стационарных каналах (например, 32k и PP7).

Например, можно было бы выделять 20% времени передачи для T2-Lite, чередуя кадры T2-Lite из 50 мс с кадрами T2 в 200 мс. Предполагая, что сигнал T2-Lite передаётся в режиме 8k БПФ (с режимом расширенных несущих), QPSK 1/2 и шаблона пилотов PP1, общей вместимостью услуг T2-Lite 1,5 Мбит/с на канал (ширина полосы 8 МГц). Это позволит передавать в сигнале T2-Lite до четырёх услуг по 375 кбит/с.

Следует отметить, что сигнал T2-Lite может быть передан также в качестве автономного сигнала, который занимает весь частотный канал. Для рассмотренного примера суммарная скорость T2-Lite 7,5 Мбит/с позволит передать до 20 услуг по 375 кбит/с в том же частотном канале. T2-Lite также очень хорошо подходит для предоставления услуг цифрового радио.

## 11. ПЛАНИРОВАНИЕ И СЦЕНАРИИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ DVB-T2

Сети DVB-T2, запланированные для стационарных приемников, нацелены на очень высокую пропускную способность с достаточной надежностью (например, в режиме 32k, 256-QAM и скорости кода 2/3). В то время как стационарный прием, как правило, осуществляется с антеннами на крыше в условиях прямой видимости, портативный и мобильный прием характеризуется использованием антенн с низким усилением и на уровне земли. Плата за счет потери высоты и использования портативных и мобильных антенн составляет более 20 дБ, если же вместо внешних используются интегрированные антенны, то более 27 дБ.

В результате услуги мобильного ТВ в этой сети не обеспечивают уровня покрытия сотовых сетей, особенно в закрытых сценариях. Хотя имеется возможность одновременных услуг мобильной связи с более надежной конфигурацией MODCOD посредством нескольких PLP, максимальная скорость по-прежнему ограничена режимом БПФ и шаблоном пилот-сигналов, выбранным для всего мультиплекса. В этом контексте введение T2-Lite может обеспечить автомобильный прием при более высоких скоростях с более надежными режимами БПФ и шаблонами пилотов, а также может расширить охват портативных приемников. Это приводит к сценарию развертывания, где T2-Lite обеспечивает услуги мобильной связи с низким качеством. С другой стороны, сети DVB-T2, которые планируются для портативного приема в помещении, не могут использовать T2-Lite для предоставления услуг мобильной связи. Эти сети уже обеспечивают уровни охвата, аналогичные сотовым сетям и, следовательно, мобильный прием при более высоких скоростях может достигаться за счет использования более устойчивых комбинаций режима БПФ и шаблонов пилот-сигналов для всего мультиплекса. Более подробно: в [11] таблицы 5.1 и 5.2 дают обзор сценариев. Аналогичные таблицы приведены в статье [12].

Для планирования важно правильно выбрать параметры передачи. Выбор параметров рассмотрен в [13]. Некоторые сведения из [11] приведены далее в разделе 11.1.

### 11.1. Основные параметры передатчиков DVB-T2 для планирования [11]

1. Режимы COFDM: 1k, 2k, 4k, 8k, 8k ext., 16k, 16k ext., 32k, 32k ext (ext – означает расширение несущих).
2. Эффективность модуляции несущих (бит/ на одну несущую символа): QPSK – 2 бита, 16-QAM – 4 бит, 64-QAM – 6 бит, 256-QAM – 8 бит.
3. Разнос несущих  $\Delta f = 1/T_U$ , где  $T_U$  – длительность полезной части символа.

Таблица 21. Длительность полезной части символа

Режим	1k	2k	4k	8k	16k	32k
$T_U$	1024T	2048T	4096T	8192T	15384T	32768T

Для канала 8 МГц элементарный период  $T = 7/64 \approx 0,11$  мкс.

4. Защитные интервалы. Относительные величины 1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128. Длительности защитных интервалов в микросекундах приведены в таблице 3, параграф 3.6.
5. Скорость кодирования: 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6.
6. Максимальная скорость передачи данных 50,34 Мбит/с.
7. Выходная мощность передатчика определяется *эффективным значением* мощности радиосигнала  $P_{ср}$ . Номинальное значение мощности должно быть указано в технических условиях на конкретный тип передатчика. Отклонение мощности от номинального значения должно быть в пределах  $\pm 10\%$ .
8. Пик-фактор сигнала – до 10 дБ.

ПРИМЕР. Средняя мощность цифрового ТВ-передатчика равна 100 Вт, пик-фактор сигнала 10 дБ. Определить максимальную мощность  $P_{пик}$  (Вт) и ток в антенне  $I_{пик}$  (А) в пике огибающей при  $r_A=10$  Ом. Ответ  $P_{пик}=1000$  Вт,  $I_{пик}=14,14$  А.

РАСЧЁТНЫЕ ФОРМУЛЫ. Мощность дана в ваттах или в децибелах относительно одного ватта

$$P_{пикВТ}=0,5r_A(I_{пик})^2, \text{ отсюда } I_{пик}=(2P_{пикВТ}/r_A)^{1/2}$$

$$P_{ср дБВТ} = 10\text{LOG}_{10}(P_{ср ВТ})$$

$$P_{пик дБВТ} = P_{ср дБВТ} + \text{ПИКФАКТОР}_{дБ}$$

$$P_{пик ВТ} = 10^{P_{пик дБВТ}/10}$$

9. Коэффициент битовых ошибок BER, измеренный перед декодером Витерби, должен быть не более  $10^{-9}$ .
10. Коэффициент модуляционной ошибки MER:

$$MER = 10\log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} \ddot{A} \ddot{A},$$

где  $I_j, Q_j$  – амплитуды,  $\delta I_j, \delta Q_j$  – приращения квадратурных составляющих сигнала на выходе передатчика. Среднеквадратическое значение MER должно быть не менее 35 дБ.

11. Отклонение центральной частоты в спектре выходного сигнала от средней частоты рабочего канала должно быть в пределах  $\pm 100$  Гц.
12. Коэффициент полезного действия – отношение полезной мощности к потребляемой.

## 11.2. Спектральные характеристики

Вначале рассмотрим для DVB-T. В режиме 8k имеется 6048 **полезных** несущих, в режиме 2k их 1512. В режиме 8k их в 4 раза больше, чем в режиме 2k. Но так как скорость символов в режиме 2k в 4 раза выше, оба режима при одинаковых условиях передачи всегда имеют одинаковую скорость передачи данных. На рис. 26 показан пример спектра канала DVB-T и приведены некоторые системные параметры. Особенно важны при проверке центральные несущие с номерами 3408 при 8k (и 852 при 2k). Некоторые эффекты, которые могут быть вызваны модулятором, могут наблюдаться только в этих точках. Крайние несущие на верхней и нижней границах канала всегда равны нулю, т.е. они неактивные.

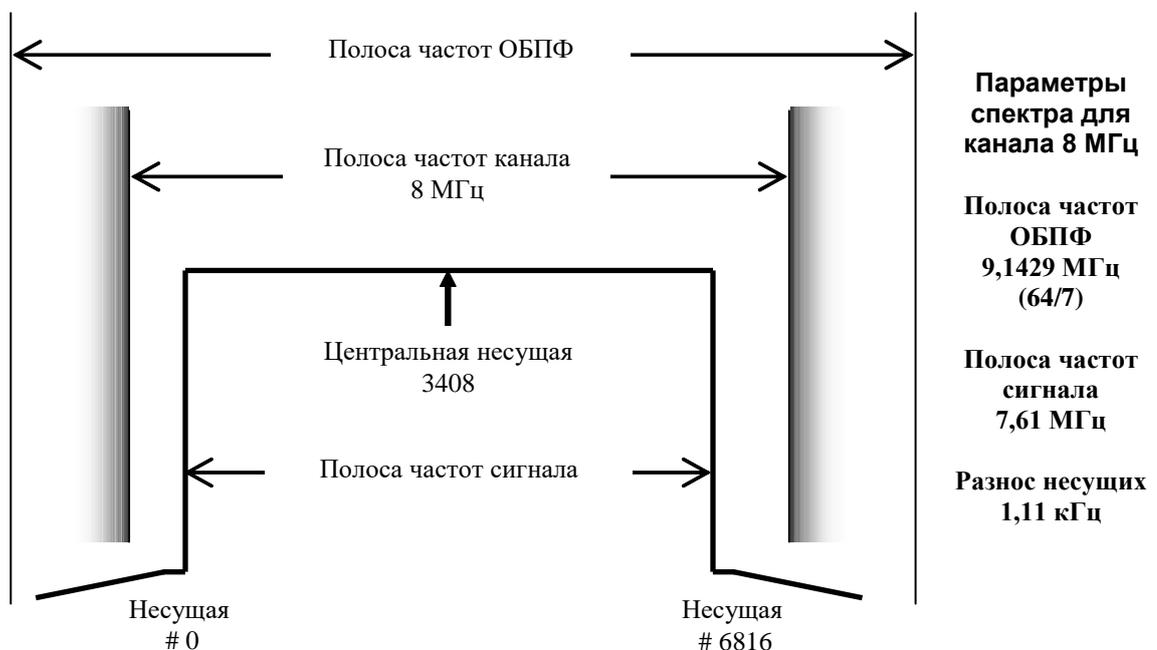


Рис. 26. Спектр сигнала DVB-T в режиме 8k

Не все несущие используются для передачи полезной нагрузки. Некоторые несущие выполняют служебные функции, их называют *пилотами*.

**Спектральная маска.** Уровень спектральной плотности мощности внеполосных составляющих спектра выходного сигнала передатчика, предназначенного для совместного использования радиочастот с аналоговыми передатчиками, в области отстроек  $\pm(3,9\dots 12)$  МГц от центральной частоты не должен превышать значений, указанных на рис. 27.

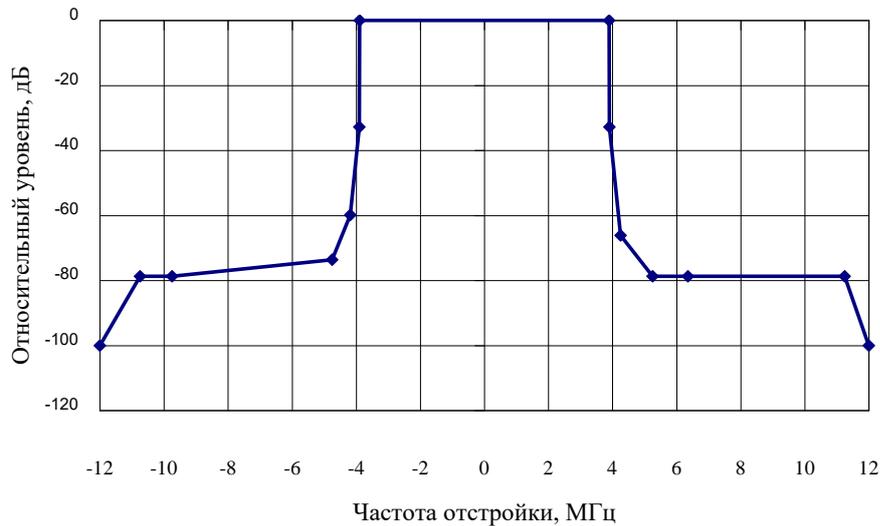


Рис. 27. Значения спектральной плотности мощности внеполосных составляющих спектра выходного сигнала передатчика DVB-T

Для критического случая относительный уровень спектральной плотности мощности внеполосных составляющих спектра выходного сигнала передатчика в области отстроек  $\pm(3,9\dots 12)$  МГц от центральной частоты не должен превышать значений, указанных на рис. 28. *Критическими* считаются случаи использования телевизионных каналов, смежных с другими службами (малой мощности или работающими только на прием), при этом может потребоваться спектральная маска с более высоким затуханием вне канала.

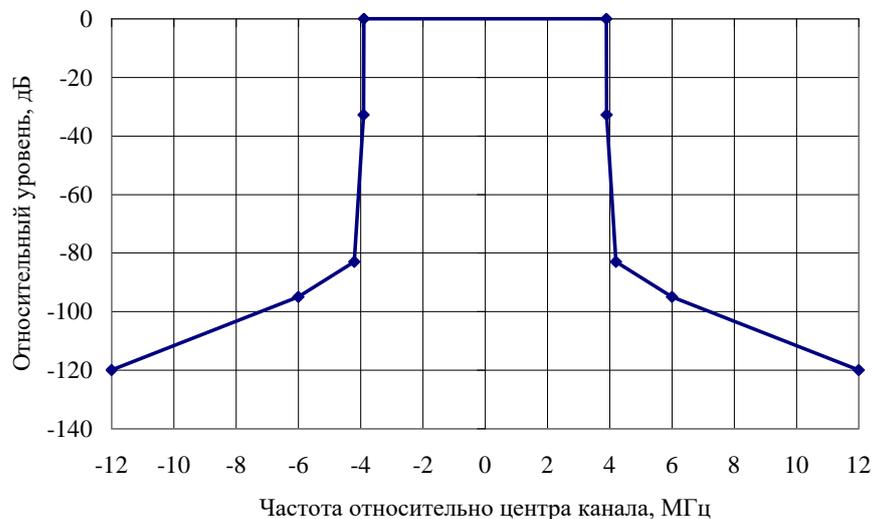


Рис. 28. Спектральная маска для критических случаев

### 11.3. Выбор модели пилотов

**Пилоты DVB-T/T2.** Непрерывные пилоты DVB-T расположены на реальной оси (синфазной оси  $I$ ) с фазой 0 или 180 градусов. Их амплитуда увеличена на 3 дБ (по сравнению со средней величиной сигнала) и используется в приёмнике в качестве опорной фазы для автоматической подстройки частоты, т.е. для синхронизации частоты приёмника с частотой передатчика.

**Рассеянные пилоты** распределены по всему спектру канала и виртуально составляют свип-сигнал для оценки канала. В DVB-T каждая 12-я несущая является рассеянным пилотом. Каждый рассеянный пилот сдвигается вперёд на три положения в следующем символе. Две промежуточных полезных несущих никогда не становятся рассеянными пилотами, в то время как в каждом третьем положении спектра полезные несущие иногда становятся рассеянными пилотами. Рассеянные пилоты имеют такую же амплитуду, что и непрерывные, и изменяются по фазе  $0^\circ/180^\circ$  по оси  $I$ .

В DVB-T2 количество несущих для каждого режима приведено в таблице 6, часть из них занята «пилотами». Имеется восемь вариантов шаблонов рассеянных пилотов PP1...PP8 (п. 3.8).

Рассеянные пилоты используются приёмниками DVB-T2 для измерения и оценки отклика канала для каждой ячейки OFDM, чтобы искажения принимаемого сигнала были по возможности скорректированы. Плотность пилотов должна быть достаточно высокой, чтобы они могли следовать за изменениями канала в зависимости от частоты и времени. Каждому каналу подходят определённые модели пилотов. Их диапазон даёт возможность сетевым операторам подобрать режим передачи и определённую модель в соответствии с назначением канала передачи и требованиями полезной нагрузки. Обзор моделей приведён в таблице 23.

При выборе модели должны учитываться следующие факторы:

- **Доплеровские характеристики.** Модели с быстрым циклом повторения во времени (т.е.  $D_y = 2$ , где пилоты повторяются в каждом втором символе OFDM) обеспечивают лучшие доплеровские характеристики. Для случаев, где эффект Доплера является доминирующим фактором, таких как мобильные и портативные приёмники, должны рассматриваться модели PP2, PP4 или PP6, так как они имеют наименьшее значение  $D_y$ .
- **Ёмкость.** Модель с наименьшей плотностью, то есть с наибольшим расстоянием между пилотами как по частоте  $D_x$ , так и по времени  $D_y$ , обеспечивает наибольшую полезную нагрузку, так как меньше несущих используется для пилотов и соответственно больше – для передачи данных. Последняя строка в таблице 23 представляет перегруз-

ку пилотами, которая может быть значительной. Хотя и заманчиво выбрать наименьшую плотность для максимизации полезной нагрузки, производительность будет компромиссом в других областях, например – с точки зрения оценки канала.

- **Размер БПФ и защитный интервал.** Только часть моделей пилотов разрешена для каждого размера БПФ и комбинации защитного интервала – они приведены в таблице 24
- **Отношение  $C/N$ .**  $C/N$  зависит от модели пилотов – более плотные модели требуют более высокого отношения  $C/N$ . Если  $C/N$  является доминирующим фактором, то используют модели низкой плотности, такие как PP6 и PP7. Небольшое расстояние по частоте ( $D_x$ ) между пилотами в PP1 показывает, что эта модель наиболее устойчива к межсимвольным искажениям, в то время как PP6 и PP7 являются наиболее уязвимыми к ним.

**PP8 и возможности приёмника.** Модель 8 предназначена для выравнивания канала. PP8 в корне отличается от других – оценка канала основана на данных, а не на пилотах. Известные приёмники не используют этот режим во многом из-за дополнительного усложнения. Имеются также некоторые другие ограничения на использование PP8 [7]. Таблица 23 показывает различные модели пилотов. В ней приведены параметры плотности во времени  $D_y$  и по частоте  $D_x$ , показаны накладные расходы для каждой модели. Таблица 24 показывает разрешённые модели

Таблица 23. Сравнение моделей рассредоточенных пилотов [7]

	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8	
$D_x$	3	6	6	12	12	24	24	6	Несущие
$D_y$	4	2	4	2	4	2	4	16	Символы
$1/D_x D_y$	8,33%	8,33%	4,17%	4,17%	2,08%	2,08%	1,04%	1,04%	Перегрузка

Таблица 24. Рассеянные пилоты в режиме SISO [8]

Размер БПФ	Защитный интервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	PP7	PP4 PP6	PP2, PP8 PP4	PP2, PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	NA
16k	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2, PP8 PP4 PP5	PP2, PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
8k	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
4k, 2k	NA	PP7 PP4	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1
1k	NA	NA	PP4, PP5	NA	PP2, PP3	NA	PP1

**Выбор модели пилотов.** Следующие модели пилотов рекомендованы ниже для распространённых сценариев.

- **Стационарный приём (антенна на крыше).** Стационарный приём с направленными антеннами обычно осуществляется при низких Доплеровских условиях и с некоторыми незначительными отражениями. Для максимизации ёмкости можно использовать модель с малыми перегрузками PP7, менее устойчивый к эффекту Доплера.
- **Мобильный приём.** При быстрых изменениях характеристик канала для оценки канала необходимо использовать больше пилотов. Кроме того, временное разрешение более критично, чем частотное. Поэтому рекомендуется PP2, как опции PP4 и PP6.
- **Портативный приём.** При портативном приеме, где характеристики канала не изменяются так быстро, как при мобильном, лучше иметь меньше пилотов (снижение накладных расходов), но с большим уровнем мощности – PP3 или PP4.
- **Большая территория SFN.** Необходим большой защитный интервал, например, 1/8, или, возможно, больше. В этих случаях приемлемы только PP1, PP2 или PP3 (таблица 24). Очевидно, что некоторый компромисс между Доплеровскими характеристиками и размером защитного интервала может лучше обеспечить модель PP2.

В Приложении 4 воспроизведены четыре диаграммы из приложения Annex K спецификации DVB-T2 [8]. Первые две диаграммы ясно показывают, что для PP1 и PP7 позиционирование рассеянных пилотов как по времени, так и по частоте соответствует традиционной сети SISO. Последние две диаграммы для сравнения показывают те же закономерности пилотов, как они будут осуществляться в сети MISO.

В режиме *расширения несущих* на каждом из краёв спектра к полосе 7,61 мегагерц добавляется примерно по 50 кГц в режиме 8k ext, по 80 кГц в режимах 16k ext и 32k ext. Это приводит к дополнительному увеличению количества несущих с каждой стороны спектра: 8k ext по 48 несущих, 16k ext по 144 несущих, 32k ext по 288 несущих. Расширение несущих увеличивает ёмкость данных от 1,4% при 8k ext до 2,1% в 32k ext.

## Приложение 1. Кадровая структура DVB-T2

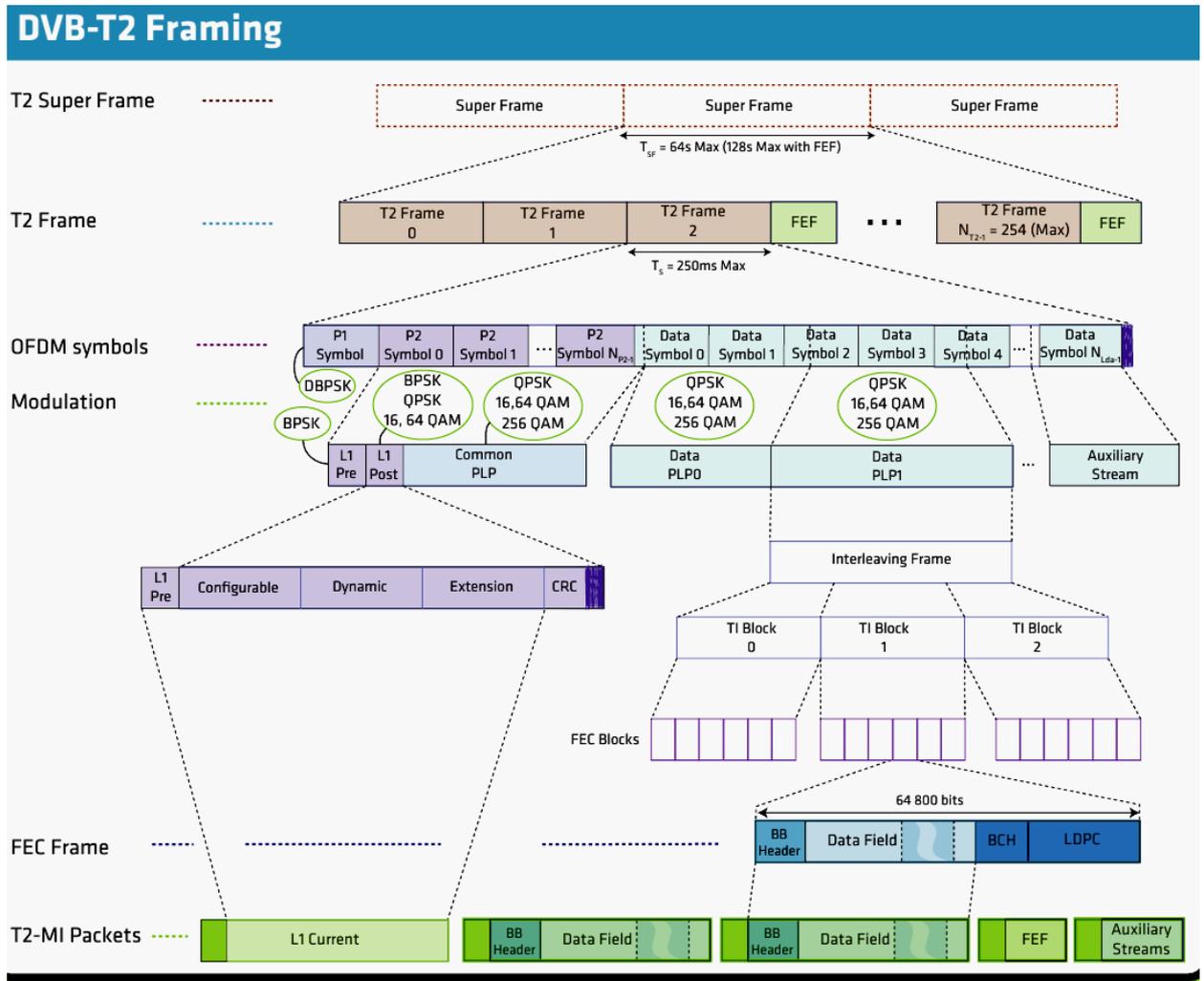


Рис. П1. Кадровая структура DVB-T2

## Приложение 2. Физический уровень DVB-S2: PL-кадры (Physical Level – PL).

Различают два уровня кадров – физический и логический. В приёмнике вначале декодируются кадры физического уровня – **PL-кадры**, затем логические – **ВВ-кадры**. PL-уровень представляет собой регулярную последовательность PL-кадров. В пределах кадра модуляция и кодирование не изменяются, но могут отличаться в соседних кадрах при использовании режима «Переменное Кодирование и Модуляция» (Variable Coding and Modulation – VCM).

Заголовок PL-кадра (90 символов) содержит синхронизирующую и сигнальную информацию: тип модуляции, скорость кодирования, размер кадра, наличие/отсутствие пилотных символов для облегчения синхронизации приёмников. Приёмники синхронизируются и определяют параметры кодирования и модуляции перед детектированием и декодированием FEC-кадров. Заголовок использует фиксированную двухбитовую модуляцию. Каждый PL-кадр содержит полезную нагрузку из 64 800 бит (обычный FEC-кадр) или 16 200 бит (короткий FEC-кадр), т.е. полезная нагрузка соответствует каскадно кодированному блоку LDPC/VCH FEC. Полезная нагрузка содержит целое число символов, кратное 90 (кроме пилотных символов). **Слот – набор из 90 символов**. Структура кадра показана на рис. П2.

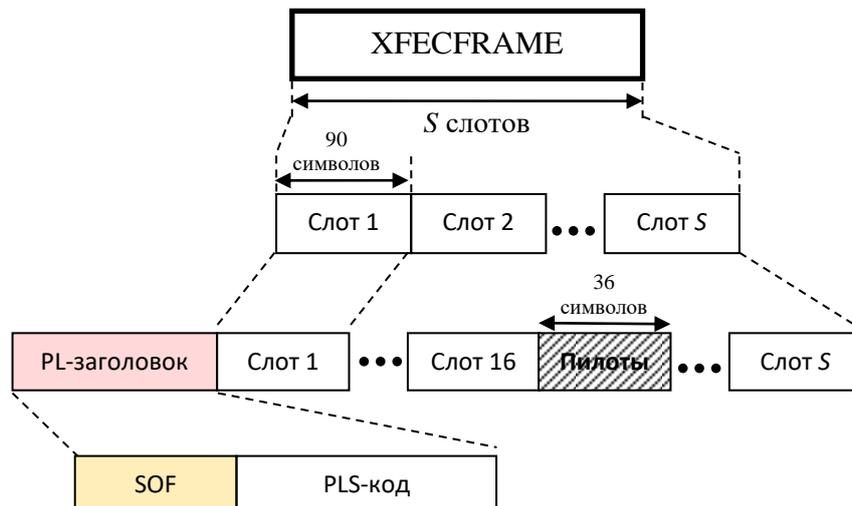


Рис. П2. Формат кадра физического уровня XFECCFRAME DVB-S2

Таблица 11.  $S$  – количество слотов ( $M = 90$  символов) в каждом кадре XFECCFRAME (FEC-кадр перед скремблированием  $90(S+1)+P \text{ int}\{(S-1)/16\}$  ( $P=36$  пилотов)

$\eta_{\text{MOD}}$ (бит/с/Гц)	$N_{\text{ldpc}} = 64\ 800$		$N_{\text{ldpc}} = 16\ 200$	
	$S$	Эффективность PL-кадра $\eta$	$S$	Эффективность PL-кадра $\eta$
2	360	99,72	90	98,90
3	240	99,59	60	98,36
4	180	99,45	45	97,83
5	144	99,31	36	97,30

ПРИМЕЧАНИЕ. Пилоты уменьшают эффективность передачи полезной информации.

Эффективность PL-кадра  $\eta = 90S/[90(S+1)+ P \text{ int}\{(S-1)/16\}]$ , где  $P = 36$ ,  $\text{int}\{.\}$  – целое.

### Приложение 3. Задачи

1. Известны: средняя мощность передатчика цифрового ТВ-передатчика  $P_{\text{ср}}$ , пик-фактор сигнала, сопротивление антенны  $r_A$ .

Определить максимальную мощность  $P_{\text{пик}}$  и ток в антенне в пике огибающей  $I_{\text{пик}}$ .

Вариант	$P_{\text{ср}}$ , Вт	$P_{\text{ср}}$ , дБВт	Пик-фактор, дБ	$P_{\text{пик}}$ , дБВт	$r_A$ , Ом	$P_{\text{пик}}$ , Вт	$I_{\text{пик}}$ , А
1.	100	20	10,0	30	10	1000	14,14
2.	200	23,0103	10,0	33,0103	10	2000	20,00
3.	200	23,01	8,0	31,01	10	1261,91	15,89
4.	1000	30,00	10,0	40,00	10	10000,00	44,72
5.	500	26,99	10,0	36,99	20	5000,00	22,36
6.	10000	40,00	9,0	49,00	50	79432,82	56,37
7.	50	16,99	10,0	26,99	20	500,00	7,07
8.	20	13,01	10,0	23,01	50	200,00	2,83
9.	40	16,02	10,0	26,02	5	400,00	12,65
10.	20	13,01	10,0	23,01	15	200,00	5,16
11.	400	26,02	10,0	36,02	25	4000,00	17,89

2. Определить скорость передачи данных в системе DVB-T при следующем сочетании параметров:

Вариант	Скорость кодирования	Защитный интервал	$T_U/T_S$	Вид модуляции	$\eta_{\text{МОД}}$	Ответ Мбит/с
1.	1/2	1/16	16/17	16-QAM	4	11,71
2.	2/3	1/4	4/5	QPSK	2	6,64
3.	3/4	1/8	8/9	64-QAM	6	24,88
4.	5/6	1/16	16/17	64-QAM	6	29,27
5.	7/8	1/32	32/33	64-QAM	6	31,67
6.	3/4	1/16	16/17	16-QAM	4	17,56
7.	2/3	1/8	8/9	QPSK	2	7,37
8.	1/2	1/8	8/9	64-QAM	6	16,59
9.	1/2	1/4	4/5	16-QAM	4	9,95
10.	5/6	1/4	4/5	64-QAM	6	24,88

3. **Базовая модуляция. Дано:** напряжение коллекторного питания  $E_k$ , коэффициент модуляции  $m$ , коэффициент использования коллекторного напряжения в максимальном режиме  $\xi_{\text{max}}$ , угол отсечки коллекторного тока в режиме молчания  $\theta_n$ , эквивалентное сопротивление коллекторной нагрузки  $R_{k \text{ экв}}$ . Считая статическую модуляционную характеристику линейной,

**определить:** а) в режиме молчания – полезную мощность  $P_{1n}$  и коэффициент полезного действия  $\eta_n$ ; б) в режиме максимальной мощности – минимальное и максимальное мгновенные значения напряжения на коллекторе  $e_{k \text{ max}}$  и  $e_{k \text{ min}}$

4. **Коллекторная модуляция.** Дано: полезная мощность в режиме молчания  $P_{1н}$ , напряжение коллекторного питания  $E_{кн}$ , коэффициент модуляции  $m$ , коэффициент использования коллекторного напряжения  $\xi$ , угол отсечки коллекторного тока  $\theta = 90^\circ$  ( $\alpha_0 = 0,318$ ,  $\alpha_1 = 0,5$ ).

Считая, что  $\xi$  и  $\theta$  не зависят от режима модуляции: 1) в режиме максимальной мощности определить электронный КПД  $\eta_э$ , амплитуду высокочастотного напряжения на коллекторе  $U_{мк\max}$ , минимальное  $e_{к\min}$  и максимальное  $e_{к\max}$  мгновенные значения напряжения на коллекторе;

2) в режиме максимальной мощности определить амплитуду первой гармоники коллекторного тока  $I_{к1\max}$  и максимальное значение модулирующего напряжения  $E_{к\max} = E_{кн}(1+m)$ , начертить статическую модуляционную характеристику СМХ;

3) определить мощность модулятора  $P_m$ , сопротивление нагрузки для модулятора  $R_m$ .

ВАР	$P_{1н}$ , Вт	$E_{кн}$ , В	$m$	$\xi$
1.	10	10	0,8	0,8
2.	20	20	0,7	0,8
3.	30	20	0,8	0,9
4.	40	10	0,8	0,8
5.	5	30	0,8	0,8
6.	4	25	0,6	0,7
7.	8	15	0,8	0,75
8.	5	20	0,8	0,8
9.	15	20	0,8	0,8
10.	14	10	0,8	0,8
11.	12	20	0,8	0,8
12.	17	20	0,8	0,86
13.	35	20	0,8	0,8
14.	25	21	0,8	0,8
15.	22	20	0,8	0,95
16.	37	23	0,8	0,6
17.	5	20	0,8	0,8
18.	7	20	0,8	0,8

## Приложение 4. Структуры рассредоточенных пилотов

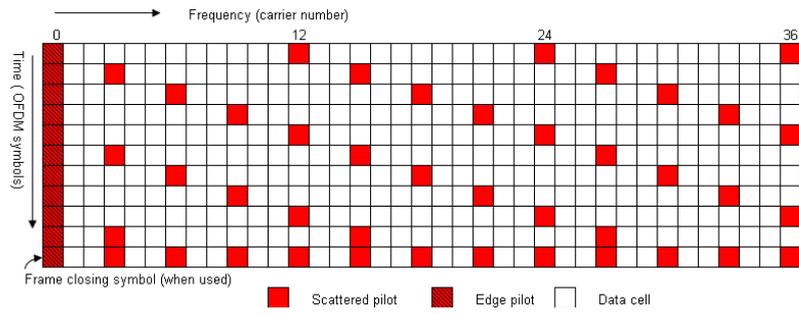


Рис. П4. PP1 (SISO)

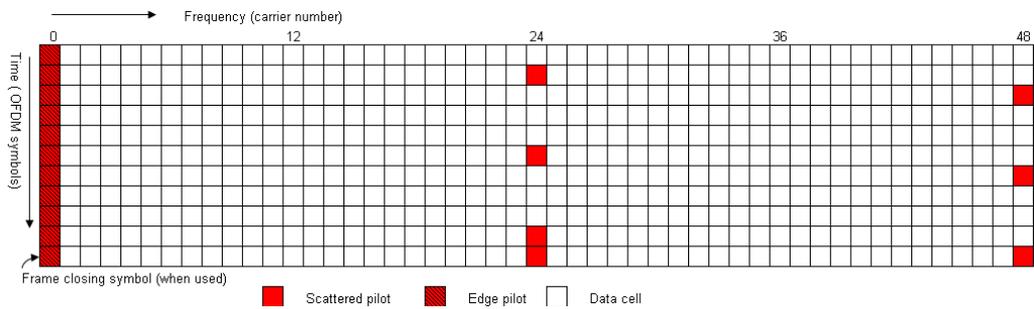


Рис. П5. PP7 (SISO).

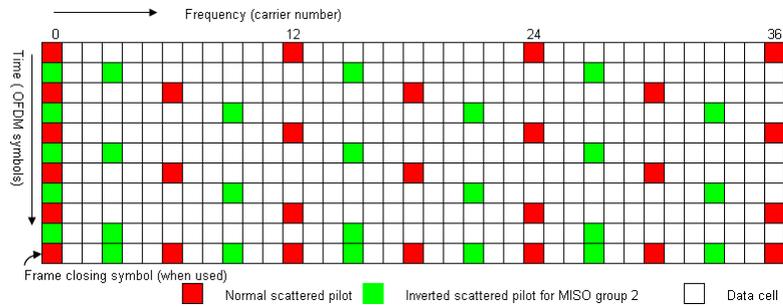


Рис. П6. PP1 (MISO)

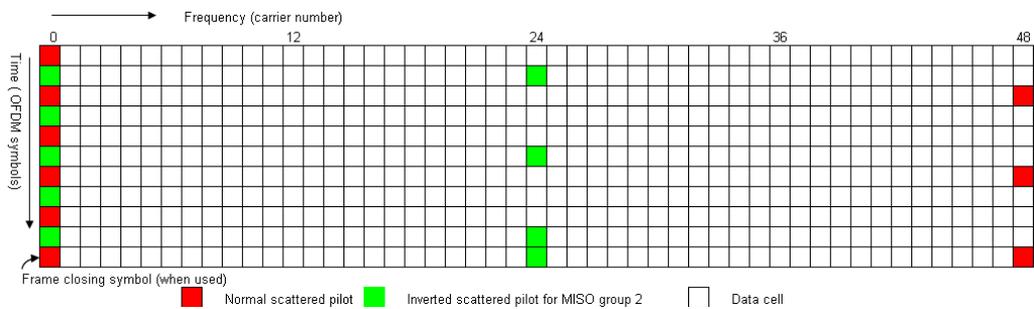


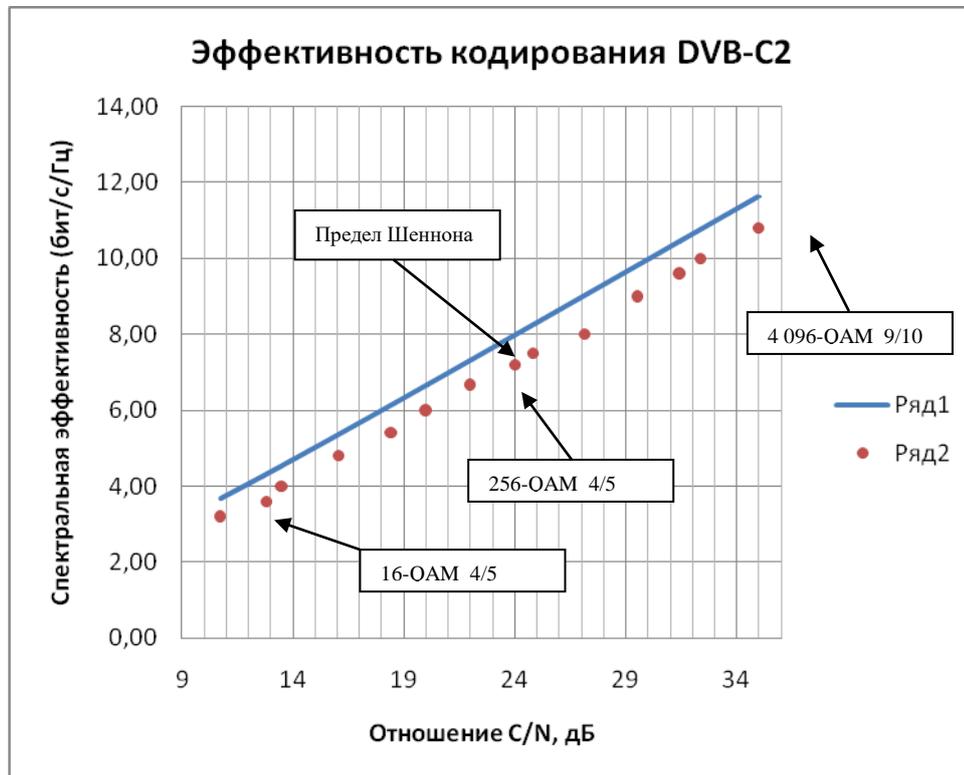
Рис. П7. PP7 (MISO)

### Приложение 5. Пример. Эффективность кодирования в системе кабельного телевидения второго поколения DVB-C2.

Таблица П5.1. Сочетания модуляции и скорости кода в DVB-C2 ( $N_{\text{дpc}} = 64\ 800$ )

Модуляция	Скорость FEC-кода	Спектральная эффективность (бит/с/Гц)	C/N (дБ) при битовых ошибках $10^{-6}$	$\Delta_{\text{SNR}}$ (дБ)
4 096-QAM	9/10	10,8	34,97	-
4 096-QAM	5/6	10,0	32,36	2,6
4 096-QAM	4/5	9,6	31,40	1,0
1 024-QAM	9/10	9,0	29,50	1,9
1 024-QAM	5/6	8,	27,15	2,3
1 024-QAM	3/4	7,5	24,81	2,3
256-QAM	9/10	7,2	24,02	0,8
256-QAM	5/6	6,67	21,96	2,0
256-QAM	3/4	6,0	19,97	2,0
64-QAM	9/10	5,4	18,40	1,5
64-QAM	4/5	4,8	16,05	2,4
64-QAM	2/3	4,0	13,47	2,6
16-QAM	9/10	3,6	12,80	0,7
16-QAM	4/5	3,2	10,72	2,1

Примечание:  $\Delta_{\text{SNR}}$  (дБ) – отличие SNR от более высокого уровня кодирования и модуляции.



Ряд 1 – предел Шеннона. Ряд 2 – данные таблицы П5.1.

Рис. П5.1. Модуляция, скорость кода и спектральная эффективность DVB-C2

Таблица П5.2. Сравнение эффективности кодирования С2 с пределом Шеннона. Первый столбец соответствует данным таблицы П5.1. Дельта – разность спектральной эффективности «Шеннон - Код С2».

С/Ν, дБ	Предел Шеннона	Код С2	Дельта	Отличие эффективности кодиро- вания С2 в % от предела Шеннона
34,97	11,61	10,80	0,81	7,01
32,36	10,75	10,00	0,75	6,96
31,4	10,43	9,60	0,83	7,95
29,5	9,80	9,00	0,80	8,15
27,15	9,02	8,00	1,02	11,30
24,81	8,24	7,50	0,74	9,03
24,02	7,98	7,20	0,78	9,81
21,96	7,30	6,67	0,63	8,66
19,97	6,65	6,00	0,65	9,73
18,4	6,13	5,40	0,73	11,93
16,05	5,37	4,80	0,57	10,54
13,47	4,54	4,00	0,54	11,83
12,8	4,32	3,60	0,72	16,76
10,72	3,68	3,20	0,48	12,98

## Приложение 6. МИНИМАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА ДЛЯ DVВ-T.

### Вывод формул

Поверхностная плотность мощности (ППМ)

$$P_{[Вт/м^2]} = \frac{P_{[Вт]}}{4\pi r^2} \quad (1)$$

$r$  – расстояние в метрах.

ППМ связана с напряжённостью поля:

$$P_{[Вт/м^2]} = \frac{E_{[В/м]}^2}{120\pi} \quad (2)$$

Приравнивая (1) и (2), получим

$$E_{[В/м]} = \frac{\sqrt{30 P_{[Вт]}}}{r_{[м]}}.$$

Отсюда, выражая расстояние в километрах и напряжённость поля в милливольтках на метр, получим:

$$E_{[мВ/м]} = \frac{173 \sqrt{PG_{[дБм]}}}{r_{[км]}},$$

$G$  – коэффициент усиления антенны в направлении пункта приёма относительно элементарного изотропного диполя.

Для амплитудного значения

$$E_{[мВ/м]} = \frac{245 \sqrt{PG_{[дБм]}}}{r_{[км]}}.$$

Для удобства расчетов напряженность поля выражается в децибелах по отношению к напряженности поля, равной 1 мкВ/м, и обозначается дБ/мкВ/м. В этом случае

$$E = 106.59 - 20 \lg r + 10 \lg P + 10 \lg G,$$

где  $r$  – в километрах,  $P$  – в киловаттах.

При этом часто в качестве исходной принимается напряженность поля, создаваемая полуволновым диполем мощностью 1 кВт. Тогда напряженность поля

$$E = 106.59 - 20 \lg r \text{ [дБ/мкВ/м]}.$$

### Формула Введенского.

Напряжённость поля в месте приёма, мВ/м

$$E = \frac{2,18 \sqrt{PG} Hh}{r^2 \lambda},$$

где  $P$  – мощность передатчика, кВт,  $H$  – высота передающей антенны, м,  $h$  – высота приёмной антенны, м,  $r$  – расстояние, км.

Напряжение сигнала на входе приёмника при согласованной нагрузке

$$U_{\text{с вх}} = E \frac{\lambda}{2\pi} \eta \sqrt{D},$$

где  $\frac{\lambda}{2\pi}$  – действующий размер антенны,  $E \frac{\lambda}{2\pi}$  – напряжение на выходе полуволнового согласованного диполя,  $\lambda$  – длина волны,  $\eta$  – КПД фидера,  $D$  – КНД приёмной антенны относительно изотропного излучателя, [Варбанский, с. 173, графики на с. 174].

Отсюда получим:

$$U_{\text{вх[дБмкВ/м]}} = 20 \lg U_{\text{с вх}} = 20 \lg E + 20 \lg \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right) + 20 \lg \eta + 10 \lg D.$$

Отсюда требуемое значение напряжённости поля равно:

$$E_{\text{[дБмкВ/м]}} = U_{\text{вх[дБмкВ/м]}} - G_{\text{а}} + \alpha_{\text{с}} - 20 \lg \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right),$$

или

$$E = F + \frac{C}{N} - G_{\text{а}} + \alpha_{\text{с}} - 20 \lg \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right).$$

Примеры [3, глава 20].

Для приёма, свободного от ошибок, требуется определить минимальный уровень сигнала на входе приёмника. Этот уровень зависит от ряда параметров:

- тип модуляции (QPSK, 16-QAM, 64-QAM);
- защита от ошибок (кодовая скорость CR=1/2, 2/3, 3/4, ..., 7/8);
- модель канала (Гаусса, Райса, Релея);
- полоса частот (8, 7, 6 МГц);
- температура окружающей среды;
- характеристик приёмника (коэффициент шума и т. д.);
- условия многолучевого приёма.

Требуется рассчитать минимальное отношение сигнал/шум  $S/N$ , которое зависит от перечисленных параметров. Теоретический предел указан в таблице 20.14 [3]. Для примера рассмотрим два следующих случая:

случай 1 – канал Райса с 16-QAM и кодовой скоростью 2/3 и

случай 2 – канал Райса с 64-QAM и кодовой скоростью 2/3.

Первый случай соответствует условиям портативного приёма в помещении, второй – на наружные антенны. В первом случае требуется  $S/N=11,6$  дБ, во втором  $S/N=17,1$  дБ. Уровень шума на входе приёмника получим из следующих физических условий:

$$N \text{ [дБВт]} = -228,6 + 10 \log(B) + 10 \log(T + 273) + F,$$

где

$B$  – полоса частот, Гц;

$T$  – температура, °С;

$F$  – коэффициент шума приёмника, дБ;

$-228,6$  дБВт /К/ Гц – постоянная Больцмана.

Предполагая, что окружающая температура  $T=20^\circ\text{C}$ , коэффициент шума приёмника 7 дБ, полоса частот 8 МГц, получим уровень шума на входе приёмника

$$N \text{ [дБВт]} = -228,6 + 10 \log(8000000) + 10 \log(20+273) + 7;$$

$$0 \text{ дБм @ } 50 \text{ Ом} = 107 \text{ дБмкВ};$$

$$0 \text{ дБм @ } 75 \text{ Ом} = 108,8 \text{ дБмкВ}.$$

$$N = -98,1 \text{ дБм} = -98,1 \text{ дБм} + 108,8 \text{ дБ} = 10,7 \text{ дБмкВ (при } 75 \text{ Ом)}.$$

Таким образом, при этих условиях уровень шума на входе приёмника равен 10,7 дБмкВ.

Тогда для первого случая (16QAM) минимальный уровень принимаемого сигнала равен

$$S = S/N \text{ [дБ]} + N \text{ [дБмкВ]} = (11,6+10,7) \text{ [дБмкВ]} = 22,3 \text{ дБмкВ}.$$

Для второго случая (64QAM) минимальный уровень сигнала на входе приёмника равен

$$S = S/N \text{ [дБ]} + N \text{ [дБмкВ]} = (17,1 + 10,7) \text{ [дБмкВ]} = 27,8 \text{ дБмкВ}.$$

На практике такие величины вполне приемлемы при приёме только одного сигнала. Но при наличии нескольких сигналов (многолучевой приём) требуемый уровень часто выше на 10...15 дБ и существенно меняется при различных условиях приёма. В действительности принимаемый уровень зависит от следующих факторов:

- напряжённость поля в месте приёма,
- усиление антенны,
- потери поляризации,
- потери в фидере от антенны к приёмнику.

Следующее выражение служит для преобразования напряжения на выходе антенны в напряжённость поля:

$$E \text{ [дБмкВ/м]} = U \text{ [дБмкВ]} + k \text{ [дБ]},$$

$$k \text{ [дБ]} = -29,8 + 20 \log(f) - g \text{ [дБ]},$$

где

$E$  – напряжённость электрического поля,

$U$  – уровень напряжения на выходе антенны,

$k$  –  $k$ -фактор антенны,

$f$  – частота приёма, МГц,

$g$  – усиление антенны.

При этом уровень сигнала на входе приёмника

$$S \text{ [дБмкВ]} = U \text{ [дБмкВ]} - \text{loss [дБ]},$$

где 'loss' означает потери при реализации (антенна, фидер и т. д.).

Рассмотрим теперь случаи 1 (16-QAM) и 2 (64-QAM) для трёх частот:

а)  $f = 200$  МГц,  $k = (-29,8 + 48)$  дБ = 16,2 дБ;

б)  $f = 500$  МГц,  $k = (-29,8 + 54)$  дБ = 24,2 дБ;

с)  $f = 800$  МГц,  $k = (-29,8 + 58,1)$  дБ = 28,3 дБ.

В каждом случае предполагается усиление антенны 0 дБ (ненаправленная штыревая антенна).

**Для случая 1** напряжённость поля  $E$  при 16-QAM, минимальный требуемый уровень

$$U = S - \text{loss} = 22,3 \text{ дБмкВ} - 0 \text{ дБ} = 22,3 \text{ дБмкВ}:$$

а)  $E = (22,3 + 16,2)$  дБмкВ/м = 38,5 дБмкВ/м;

б)  $E = (22,3 + 24,2)$  дБмкВ/м = 46,5 дБмкВ/м;

с)  $E = (22,3 + 28,3)$  дБмкВ/м = 50,6 дБмкВ/м.

Если используется направленная наружная антенна с усилением, то:

а)  $f = 200$  МГц ( $g = 6$  дБ),  $E = 32,5$  дБмкВ/м;

б)  $f = 500$  МГц ( $g = 10$  дБ),  $E = 36,5$  дБмкВ/м;

с)  $f = 800$  МГц ( $g = 10$  дБ),  $E = 40,6$  дБмкВ/м.

**Для случая 2** напряжённость поля  $E$  при 64-QAM, минимальный требуемый уровень

$$U = S - \text{loss} = 27,8 \text{ дБмкВ} - 0 \text{ дБ} = 27,8 \text{ дБмкВ}:$$

а)  $E = (27,8 + 16,2)$  дБмкВ/м = 44,0 дБмкВ/м;

б)  $E = (27,8 + 24,2)$  дБмкВ/м = 52,0 дБмкВ/м;

с)  $E = (27,8 + 28,3)$  дБмкВ/м = 56,1 дБмкВ/м.

Если используется направленная наружная антенна с усилением, то:

а)  $f = 200$  МГц ( $g = 6$  дБ),  $E = 38,0$  дБмкВ/м;

б)  $f = 500$  МГц ( $g = 10$  дБ),  $E = 42,0$  дБмкВ/м;

с)  $f = 800$  МГц ( $g = 10$  дБ),  $E = 46,1$  дБмкВ/м.

При распространении радиоволн **в свободном пространстве** напряжённость поля  $E$  в месте приёма можно рассчитать следующим образом:

$$E[\text{дБмкВ/м}] = 106,9 + 10 \lg(\text{ERP}[\text{кВт}]) - 20 \lg(d[\text{км}]);$$

где ERP – эффективная излучаемая мощность, т. е. мощность передатчика с учётом усиления антенны;

$d$  – расстояние между передатчиком и приёмником.

При этих условиях, однако, можно ожидать намного более низкие величины напряжённости поля, так как формула не учитывает затенение, многолучевой приём и т.д. Уменьшение зависит от топологических условий (холмы, горы, здания т. д.), может быть около 20-30 дБ и даже больше при полном затенении.

ПРИМЕР (с учётом ослабления порядка 20 дБ). **ERP = 50 кВт;**

$$d = 1 \text{ км}; E = (106,9 + 10 \lg(50) - 20 \lg(1)) \text{ дБмкВ/м} = 123,9 \text{ дБмкВ/м};$$

$$d = 10 \text{ км}; E = (106,9 + 10 \lg(50) - 20 \lg(10)) \text{ дБмкВ/м} = 103,9 \text{ дБмкВ/м};$$

$$d = 30 \text{ км}; E = 94,4 \text{ дБмкВ/м};$$

$$d = 50 \text{ км}; E = 89,9 \text{ дБмкВ/м};$$

$$d = 100 \text{ км}; E = 83,9 \text{ дБмкВ/м}.$$

Часто плоскость поляризации может быть изменена от горизонтальной на вертикальную при переходе на DVB-T. Это может привести к поляризационным потерям 10-20 дБ на приёмной антенне, если она изменена от горизонтальной на вертикальную. При приёме внутри зданий может быть дополнительное ослабление от 10 до 20 дБ.

При моделировании условий приёма предполагаются следующие предельные значения напряжённости поля [3]:

- приём на наружные **roof** антенны: примерно 55 дБмкВ/м,
- приём на наружные **outdoor** антенны: примерно 65 дБмкВ/м,
- приём на внутренние **indoor** антенны: примерно 75...85 дБмкВ/м.

## Приложение 7. ПАКЕТЫ T2-MI

Пакеты T2-MI позволяют передавать несколько различных типов данных.

Формат Пакетов T2-MI показан на рис. П7.3.



Рисунок П7.3. Формат пакетов T2-MI

Каждый пакет T2-MI состоит из заголовка 6 байт, за которым следует полезная нагрузка с переменной длиной плюс дополнения (набивка), когда требуется, и 32-битный CRC для обнаружения ошибок.

В состав пакета входят следующие поля:

**packet\_type** (8 бит) – тип пакета полезной нагрузки, переносимой пакетом T2-MI. Значения, определенные в настоящее время, приведены в таблице П7.1. Связанные с ними форматы определены в следующих пунктах. Все остальные значения зарезервированы для использования в будущем (RFU).

Таблица П7.1. Тип пакета полезной нагрузки

Тип пакета	Описание
00 <sub>16</sub>	ВВ-кадр
01 <sub>16</sub>	Дополнительные потоки, данные I/Q
02 <sub>16</sub>	Вставка произвольных ячеек
10 <sub>16</sub>	L1-current
11 <sub>16</sub>	L1-future
12 <sub>16</sub>	Ячейки баланса смещения P2
20 <sub>16</sub>	Метки времени DVB-T2
21 <sub>16</sub>	Индивидуальная адресация
30 <sub>16</sub>	FEF-часть: Нуль
31 <sub>16</sub>	FEF-часть: данные I/Q
32 <sub>16</sub>	FEF-часть: композит
33 <sub>16</sub>	FEF суб-часть
Все остальные значения	Резерв для будущего

**packet\_count** (8 бит) увеличивается на единицу для каждого отправленного пакета T2-MI, независимо от полезной нагрузки. Не должно быть особых требований для первого отправленного пакета, кроме определенного значения счетчика (от FF<sub>16</sub> до 00<sub>16</sub>).

**superframe\_idx** (4 бита) – индекс суперкадра, поле должно быть постоянным для всех пакетов T2-MI, которые несут данные, относящиеся к одному суперкадру. Следует увеличивать для каждого последующего суперкадра. Не требуется, чтобы это поле имело какое-либо конкретное значение.

**rfu** (9 бит) биты зарезервированы для будущего использования и должны быть установлены в 0<sub>2</sub>.

**t2mi\_stream\_id** (3 бита) имеет одинаковое значение для всех пакетов T2-MI, принадлежащих к определенному потоку T2-MI. Используется при передаче композитного сигнала. При использовании только одного потока поле должно быть установлено в  $000_2$ . Идентификатор потока T2-MI должен быть уникальным в пределах множества потоков T2-MI, представленных одним модулятором.

**payload\_len** (16 бит) – размер полезной нагрузки в битах.

**payload** (*payload\_len* бит) – пакеты полезной нагрузки T2-MI, которые будут варьироваться в зависимости от типа пакета T2-MI (пункт П7.2).

**pad** (*pad\_len* бит) – размер набивки между 0 и 7 бит, выбирается так, что размер пакета T2-MI всегда имеет целое число байтов, то есть размер *payload\_len* + *pad\_len* должен быть кратен 8. Каждый бит набивки должен иметь значение  $0_2$ .

**crc32** (32 бит) рассчитывается по всем битам в пакете (заголовок, полезная нагрузка плюс набивка).

### Полезная нагрузка T2-MI

#### ВВ-кадры (Baseband Frame)

Пакеты T2-MI с **packet\_type**  $00_{16}$  переносят ВВ-кадры. Пакет Полезной Нагрузки T2-MI показан на рисунке П7.4.

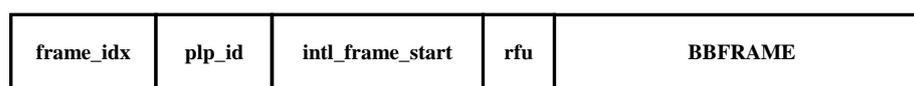


Рисунок П7.4. Пакет Полезной Нагрузки T2-MI типа  $00_{16}$

Поля имеют следующие значения:

**frame\_idx** (8 бит) указывает индекс первого кадра (FRAME\_IDX [8]), в который отображается Кадр Перемежения, содержащий данный ВВ-кадр.

**plp\_id** (8 бит) сигнализирует индекс того PLP (PLP\_ID [8]), в котором должен переноситься данный ВВ-кадр.

**intl\_frame\_start** (1 бит) установлен в  $1_2$  для пакетов, содержащих первый ВВ-кадр Кадра Перемежения определённого PLP, и в  $0_2$  для пакетов, переносящих остальные ВВ-кадры (если имеются).

**rfu** (7 бит) биты резервированы для использования в будущем и должны быть установлены в  $0_2$ .

**BBFRAME** ( $K_{\text{bch}}$  бит) переносят  $K_{\text{bch}}$  бит данного ВВ-кадра (до скремблирования), относящегося к определенному PLP (в том числе поле “набивка”, если используется). ВВ-кадр должен быть инкапсулирован точно в один пакет T2-MI без дополнительной начинки. Временной порядок битов ВВ-кадра должен быть сохранен. Если поле PADDING ВВ-кадра используется для внутренней сигнализации, соответствующие биты поля PADDING должны быть установлены в “0”. Они должны быть заменены сигнализацией in-band в модуляторе.

### Дополнительные потоки, данные $I/Q$

Пакеты T2-MI с **packet\_type** = 01<sub>16</sub> переносят дополнительные потоки. Структура пакета Полезной Нагрузки T2-MI показана на рисунке П7.5.

frame_idx	aux_id	rfu	aux_stream_data
-----------	--------	-----	-----------------

Рисунок П7.5. Пакет Полезной Нагрузки типа 01<sub>16</sub>

**frame\_idx** (8 бит) указывает FRAME\_IDX, индекс T2-кадра, который несет данные дополнительного потока.

**aux\_id** (4 бита) указывает на конкретный дополнительный поток, к которому принадлежат данные. Дополнительные потоки направляют в том же порядке, что и у передаваемого сигнала DVB-T2, начиная с **aux\_id** = 1<sub>16</sub> (первый дополнительный поток). Для каждого нового дополнительного потока **aux\_id** увеличивается на "1". Максимально возможная величина равна F<sub>16</sub>, что соответствует 15-му дополнительному потоку. Другие значения зарезервированы для использования в будущем.

**rfu** (12 бит) – биты зарезервированы для использования в будущем.

**aux\_stream\_data** (переменные биты) переносит данные для каждого дополнительного потока. Поле состоит из комплексных значений ячеек в порядке возрастания адреса ячейки. Содержание ячейки  $x_{m,l,p}$  – это действительная  $I$  и мнимая  $Q$  части комплексного числа:

$$\operatorname{Re}(x_{m,l,p})=I/2^9, \quad \operatorname{Im}(x_{m,l,p})=Q/2^9,$$

где  $I$  и  $Q$  – 12-битные значения в дополнительном коде, представленные как целые числа в диапазоне от  $-2^{11}$  до  $2^{11}-1$ .

ПРИМЕЧАНИЕ. Учитывая, что действующее значение  $x_{m,l,p}$  равно 1, отношение сигнала к шуму квантования примерно равно 59 дБ, что должно быть достаточно для всех приложений.

Дополнительные потоки должны быть инкапсулированы в один или несколько пакетов T2-MI в том же порядке, что и заполнение OFDM-ячеек в сигнале DVB-T2, набивка не должна использоваться.

Если для конкретного дополнительного потока используется несколько пакетов T2-MI, полезная нагрузка пакетов T2-MI с незаконченным потоком должна заканчиваться заполненной ячейкой. Значение следующей ячейки из этого потока будет начинаться с началом полезной нагрузки следующего пакета T2-MI с **packet\_type** 01<sub>16</sub> с тем же **aux\_id**.

Значения ячеек для дополнительных потоков должны быть одинаковыми для всех передатчиков в одночастотной сети при передаче **packet\_type** 01<sub>16</sub>.

### Вставка произвольных ячеек

Пакеты T2-MI с **packet\_type** 02<sub>16</sub> переносят данные произвольных ячеек, которые модулятор должен вставить в T2- кадре, начиная с указанного адреса ячейки и продолжая до конца комплексных значений ячеек в поле **arbitrary\_cell\_data**.

Структура пакета Полезной Нагрузки T2-MI показана на рисунке П7.6.

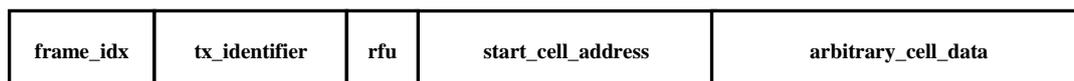


Рисунок П7.6. Пакет Полезной Нагрузки типа 02<sub>16</sub>

**frame\_idx** (8 бит) указывает на FRAME\_IDX из кадра T2, который несет данные произвольной ячейки.

**tx\_identifier** (16 бит) это слово для адресов передатчиков или модуляторов. Это поле имеет то же самое значение, как и в П7.2.8. Значение 0000<sub>16</sub> используется как адрес всех передатчиков или модуляторов в сети. Данные из предыдущих пакетов могут быть перезаписаны более поздними пакетами, полученными конкретным модулятором.

**rfu** (18 бит) биты зарезервированы для будущего использования и должны быть установлены в 0<sub>2</sub>.

**start\_cell\_address** (22 бит) указывает начальный адрес данных произвольных ячеек с использованием схемы адресации, указанной в пункте 8.3.6.2 из [8].

**arbitrary\_cell\_data** (переменные биты) несет данные произвольной ячейки для вставки модулятором. Поле должно состоять из комплексных значений ячеек в порядке возрастания их адресов. Содержание ячейки  $x_{m,l,p}$  представлено в виде:

$$\operatorname{Re}(x_{m,l,p})=I/2^9, \quad \operatorname{Im}(x_{m,l,p})=Q/2^9,$$

где  $I$  и  $Q$  – 12-битные значения в дополнительном коде, представленные как целые числа в диапазоне от  $-2^{11}$  до  $2^{11}-1$ .

Если требуется нести больше ячеек произвольных данных, чем может быть передано в одном пакете T2-MI, то данные элементов должны быть разделены между несколькими пакетами типа 02<sub>16</sub> с соответствующими значениями **start\_cell\_address**. Каждый пакет T2-MI должен заканчиваться заполненной ячейкой.

### Пакеты T2-MI сигнализации L1-current

Пакеты типа 10<sub>16</sub> содержат данные сигнализации L1-pre и L1-post для вставки в символы P2 текущего T2-кадра с индексом **frame\_idx**. Структура пакета полезной нагрузки T2-MI показана на рисунке П7.7.



Рисунок П7.7. Пакет Полезной Нагрузки типа 10<sub>16</sub>

**frame\_idx** (8 бит) указывает FRAME\_IDX [8] того T2-кадра, в котором передаётся сигнализация L1.

**rfu** (8 бит) биты зарезервированы для использования в будущем и должны быть установлены в 0<sub>2</sub>.

### L1-current\_data

Эта сигнализация содержит поля в порядке, указанном в таблице П7.2.

ПРИМЕЧАНИЕ 1: сигнализация P1 генерируется модулятором из полей S1 и S2 в сигнализации L1-pre (см пункт 7.2.2 из [8]).

Таблица П7.2. Поля данных сигнализации L1-current

Поле	Размер поля, бит	Формат	Описание
L1PRE	168	bflbf	Биты сигнализации L1-pre в соответствии с 7.2.2 [8], кроме CRC.
L1CONF_LEN	16	uimsbf	Размер конфигурируемой сигнализации L1
L1CONF	$8 \times \lfloor L1\_CONF\_LEN / 8 \rfloor$	bflbfzpb	Поля L1 конфигурируемой сигнализации L1-post в соответствии с 7.2.3.1 [8].
L1DYN_CURR_LEN	16	uimsbf	Размер L1-dynamic, текущий кадр.
L1DYN_CURR	$8 \times \lfloor L1DYN\_CURR\_LEN / 8 \rfloor$	bflbfzpb	Поля L1-post "dynamic, текущий кадр " в соответствии с 7.2.3.2 [8].
L1EXT_LEN	16	uimsbf	Размер поля расширения L1
L1EXT	$8 \times \lfloor L1\_EXT\_LEN / 8 \rfloor$	bflbfzpb	L1-post поля расширения в соответствии с 7.2.3.4 [8].

Поля L1PRE, L1CONF и L1DYN\_CURR обязательны во всех пакетах L1-current и должны быть закодированы в соответствии с п. 7.2.2, 7.2.3.1 и 7.2.3.2 [8] без применения скремблирования L1-post.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Поле L1DYN\_CURR не передаётся в режиме TFS, но является обязательным, так как эта информация будет использована модулятором для перемежения и формирования кадров.

### L1-future

Пакеты T2-MI **packet\_type** из 11<sub>16</sub> содержат сигнализацию L1-post и должны быть вставлены в P2-символы T2-кадра с индексом **frame\_idx**. Сигнализация in-band вставляется в первый ВВ-кадр Кадра Перемежения. Сигнализация включает те поля, которые описывают будущие T2-кадры, и, следовательно, они не могут быть доступны на момент передачи пакетов L1-current. Полезная нагрузка пакета T2-MI показана на рис. П7.8.



Рисунок П7.8. Полезная нагрузка пакета L1-future типа 11<sub>16</sub>

**frame\_idx** (8 бит) указывает FRAME\_IDX (в соответствии с [8]) того T2-кадра, к которому относятся символы P2 динамической сигнализации L1-post. Этот индекс также указывает на первый T2-кадр Кадра Перемежения, первый ВВ-кадр будет содержать сигнализацию in-band. T2-кадр с этими сигнализациями L1-post и in-band зависит от использования TFS, как определено в разделах 7 и 5.2.3 [8]. Кадры, имеющие сигнализацию in-band, зависят также от параметров перемежения ( $P_1$  и  $I_{\text{jump}}$ ) того PLP, в который она вставлена, см. раздел 5.2.3 [8].

**rfu** (8 бит) резерв для использования в будущем, установлен в 0<sub>2</sub>.

**L1-future\_data** содержание полей – в таблице П7.3.

Таблица П7.3. Поля данных сигнализации L1-future

Поле	Размер поля, бит	Формат	Описание
DYN_NEXT_LEN	16	uimsbf	Размер поля "dynamic, следующий кадр". Ноль, если отсутствует блок L1DYN_NEXT.
L1DYN_NEXT	$8 \times \lfloor \text{L1DYN\_NEXT\_LEN}/8 \rfloor$	bflbfzpb	Поля L1-post "dynamic, следующий кадр". Опция при единственном RF, обязательно в TFS.
L1DYN_NEXT2_LEN	16	uimsbf	Размер "dynamic, next-but-one frame" в режиме TFS. Ноль, если отсутствует блок L1DYN_NEXT2.
L1DYN_NEXT2	$8 \times \lfloor \text{L1DYN\_NEXT2\_LEN}/8 \rfloor$	bflbfzpb	Поля L1-post "dynamic, next-but-one frame", п. 7.2.3.2 [8]. Опция в TFS, отсутствует при единственном RF.
NUM_INBAND	8	uimsbf	Количество PLP, для которых в цикле имеется сигнализация in-band
For i=1..NUM_INBAND {			Цикл сигнализации in-band loop.
PLP_ID	8	uimsbf	Идентификатор PLP ID для PLP, содержащего сигнализацию in-band в следующем поле INBAND.
INBAND_LEN	16		Размер поля INBAND в битах.
INBAND	$8 \times \lfloor \text{INBAND\_LEN}/8 \rfloor$	bflbfzpb	Поля сигнализации in-band для PLP с индикатором PLP ID, п. 5.2.3 [8].
}			

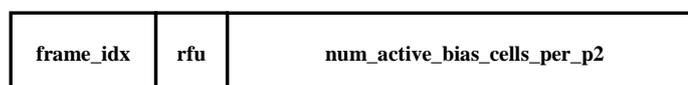
В цикле сигнализации in-band должен появиться только тот PLP, для которого T2-кадр с индексом **frame\_idx** является первым в Кадре Перемежения.

Поля L1DYN\_NEXT и L1DYN\_NEXT2 кодируются в соответствии с п. 7.2.3.2 [8]. Поля INBAND кодируется в соответствии с пунктом 5.2.3 [8] и без скремблирования L1-post.

### Ячейки баланса смещения P2

Пакет T2-MI типа  $12_{16}$  содержит информацию о балансировке смещения сигнализации L1 и должен быть вставлен модулятором (в соответствии с пунктом 8.3.6.3.1 [8]) в символы P2 T2-кадра, имеющего индекс **frame\_idx**. Этот пакет дает указание модулятору о величине баланса смещения ячеек для вставки в каждом символе P2. Расчет фактического значения балансировки смещения  $S_{bal}$  осуществляется модулятором по кодированным и модулированным ячейкам L1.

Полезная нагрузка этих пакетов показана на рис. П7.9.

Рисунок П7.9. Полезная нагрузка пакетов T2-MI типа  $12_{16}$ 

**frame\_idx** (8 бит) – индикатор FRAME\_IDX [8] кадра, который переносит ячейки балансировки смещения.

**rfu** (17 бит) – резерв,  $\rightarrow 0_2$ .

**num\_active\_bias\_cells\_per\_p2** (15 бит) – индикатор количества ячеек балансировки в каждом символе P2 данного T2-кадра:

$$N_{\text{biasCellsActive}} = \text{num\_active\_bias\_cells\_per\_p2}$$

## Метки времени DVB-T2

T2-MI пакет с **packet\_type**  $20_{16}$  должен нести метку, используемую для синхронизации выходного сигнала модуляторов DVB-T2. Определяются два механизма: абсолютный и относительный.

Полезная нагрузка пакета T2-MI для этих данных показана на рисунке П7.10.

rfu	bw	T2_timestamp		utco
		seconds_since_2000	subseconds	

Рисунок П7.10. Полезная нагрузка пакетов T2-MI типа  $20_{16}$

**rfu** (4 бита) – эти биты зарезервированы для использования в будущем и должны быть установлены в  $0_2$ .

**bw** (4 бита) – указывает на пропускную способность системы, в соответствии с пунктом 9.5 [8], определяет также единицы области оцифровки меток времени T2, как показано в таблице П7.4.

Таблица П7.4: Полоса частот и поля оцифровки меток времени T2

Полоса, МГц	Поле bw	Элементарный период $T$	Оцифровка $T_{sub}$
1,7	$0_{16}$	$71/131 \mu s$	$1/131 \mu s$
5	$1_{16}$	$7/40 \mu s$	$1/40 \mu s$
6	$2_{16}$	$7/48 \mu s$	$1/48 \mu s$
7	$3_{16}$	$7/56 \mu s$	$1/56 \mu s$
8	$4_{16}$	$7/64 \mu s$	$1/64 \mu s$
10	$5_{16}$	$7/80 \mu s$	$1/80 \mu s$

**seconds\_since\_2000** (40 бит) счётчик количества секунд от 2000-01-01 T 00:00:00 UTC используется для определения абсолютного времени излучения.

Величина  $0000000000_{16}$  – индикатор относительных меток времени, определяет поле оцифровки (subseconds).

**subseconds** (27 бит) определяет количество единиц оцифровки. Значение выражается как целое число без знака

**T2\_timestamp**: взятые вместе, поле **seconds\_since\_2000** и поле оцифровки позволяют определить метку DVB-T2 и время излучения передачи DVB-T2.

Когда поле **seconds\_since\_2000** не равно нулю, время излучения должно быть представлено как

$$t_{\text{излучения}} = \text{seconds\_since\_2000} + \text{оцифровка} \times T_{\text{sub}}.$$

Когда в поле **seconds\_since\_2000** все нули, временем излучения должно быть

$$t_{\text{излучения}} = \text{оцифровка} \times T_{\text{sub}}$$

после предшествующей ему границы SI.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** Граница SI может быть дана соответствующим сигналом «1 импульс в секунду». Временем излучения считается время, при котором 50% энергии образа IFFT части "C" символа P1 преамбулы первого T2-кадра соответствующего суперкадра излучается в эфир. Все T2-кадры в пределах суперкадра имеют одно и то же значение временной метки. Метки времени последующих суперкадров должны быть увеличены на длительность суперкадра.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2.** На основании знаний о метке конкретного суперкадра и сигналов сигнализации L1, относящейся к конкретному T2-кадру, модулятор должен быть в состоянии определить необходимое время излучения для любого T2-кадра, даже если он не попадает в начало суперкадра (например, после перезапуска). Чтобы сделать это, модулятор должен учитывать индекс и длину T2-кадра, а также общую длину любых частей FEF, имевших место в суперкадре, а затем и текущего T2-кадра.

**utco** (13 бит) – смещение (в секундах) между временем по Гринвичу и **seconds\_since\_2000**. Значение выражается целым числом без знака.

**ПРИМЕЧАНИЕ 3.** Значение, содержащееся в этой области, не имеет никакого влияния на время излучения сигнала модулятора, но может быть полезным для реализации модулятора, где источником времени является только UTC.

**ПРИМЕЧАНИЕ 4.** Максимальное время задержки системы распределения, а также максимальная задержка обработки реализаций модулятора (соответствующие значения  $T_{min}$ ) для режима вещания должны быть известны. Там, где диапазон всех задержек превышает 1 секунду, необходимо использование абсолютных временных меток T2, чтобы избежать неопределённости времени начала суперкадров.

**Метка Null.** Если не требуется синхронизировать выходные сигналы нескольких модуляторов DVB-T2, метка должна быть передана как «НУЛЬ» путем установки всех битов полей **T2\_timestamp** и **utco** в 1<sub>2</sub>. При генерации составного сигнала, даже в MFN, нулевые метки не должны использоваться, чтобы обеспечить правильность относительной синхронизации различных потоков T2-MI. Пакет метки DVB-T2 должен быть отправлен всегда (независимо от того, несёт ли Null-метку или иным образом), чтобы указать модулятору пропускную способность передачи.

### Индивидуальная адресация

Пакеты T2-MI типа **packet\_type 21**<sub>16</sub> переносят данные индивидуальной адресации, которые могут использоваться для настройки отдельных модуляторов или их группы. Механизм индивидуальной адресации является асинхронным, пакеты могут быть посланы в любое время. Модулятор использует сигнализацию L1 в качестве источника информации о формировании кадра, используя значения регистров при необходимости. Полезная нагрузка пакетов показана на рис. П7.11.

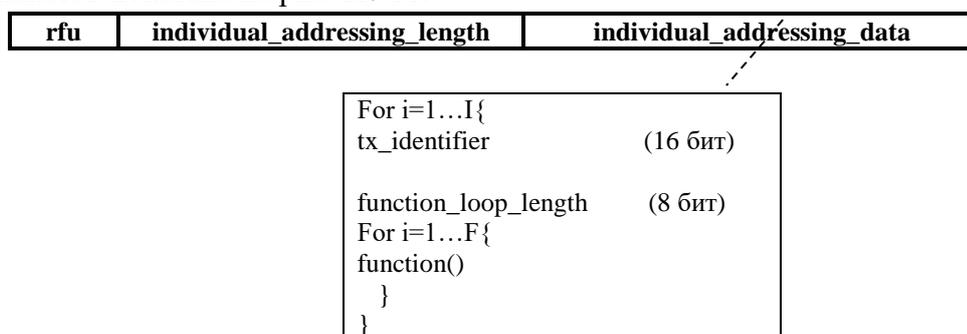


Рисунок П7.11. Полезная нагрузка пакетов T2-MI типа 21<sub>16</sub>

**individual\_addressing\_length** (8 бит) размер поля данных в байтах.

**individual\_addressing\_data** (варьируемые биты):

- **tx\_identifier** (16 бит) слово для адресации отдельных передатчиков или модуляторов. Значение  $0000_{16}$  используется как адрес всех передатчиков или модуляторов в сети.

- **function\_loop\_length** (8 бит) размер контура функций в байтах.

**function()** зависит от применения.

### Существующие функции индивидуальной адресации

Формат функций индивидуальной адресации соответствует параграфу 6.1 TS 101 191 [14]. Таблица П7.5 показывает существующие функции индивидуальной адресации, применимые в T1 и в T2.

Таблица П7.5. Существующие функции индивидуальной адресации

Функция	Значение <b>function_tag</b>	Применимо в DVB-T2?
Сдвиг времени передатчика	$00_{16}$	yes
Сдвиг частоты передатчика	$01_{16}$	yes
Мощность передатчика	$02_{16}$	yes
Private data	$03_{16}$	yes
Cell id	$04_{16}$	yes
Enable	$05_{16}$	yes
Полоса частот	$06_{16}$	no

### Специфические для DVB-T2 функции индивидуальной адресации

Некоторые новые функции определены в DVB-T2, как показано в таблице П7.6. Хотя они имеют такую же структуру, как и в п.6.1 TS 101 191 [14], данные, которые они несут, специфичны в системе T2.

Таблица П7.6. Специфические для DVB-T2 функции индивидуальной адресации

Функция	Значение <b>function_tag</b>
ACE-PAPR	$10_{16}$
Transmitter MISO group	$11_{16}$
TR-PAPR	$12_{16}$
L1-ACE-PAPR	$13_{16}$
TX-SIG FEF: Sequence Numbers	$15_{16}$
TX-SIG Aux stream: Transmitter ID	$16_{16}$

Каждая функция **function()** формируется из трёх полей:

**function\_tag** (8 bits) эти значения приведены в таблицах 5 и 6.

**function\_length** (8 bits) определяет полную длину **function()** в байтах, включая поля **function\_tag**, **function\_length** и **function\_body** ().

**function\_body** () специфическая функция показана ниже.

ПРИМЕЧАНИЕ: Для каждой из существующих функций индивидуальной адресации, определенных в TS 101 191 [14], **function\_body** () включает все поля, которые следуют за полем **function\_length**.

### Функции ACE-PAPR

ACE-PAPR и TR-PAPR – это алгоритмы уменьшения пик-фактора выходного сигнала передатчика.

Функции ACE-PAPR используются для сигнализации параметров Active Constellation Extension (ACE) модуляторам DVB-T2 (9.6.1 [8]). ACE имеет 3 параметра:  $G$ ,  $L$  и  $V_{clip}$ , которые передаются всем модуляторам SFN так, чтобы обеспечить идентичные сигналы в эфире.

Таблица П7.7: Функции ACE-PAPR

Синтаксис	Количество бит	Формат
tx_ACE_PAPR_function () {		
function_tag	8	uimsbf
function_length	8	uimsbf
function_body () {		
ACE_gain	5	uimsbf
ACE_maximal_extension	3	uimsbf
ACE_clipping_threshold	7	uimsbf
reserved_for_future_use	1	bflbf
}		
}		

**ACE\_gain** (5 бит) между 0 и 31 – усиление  $G$ .

**ACE\_maximal\_extension** (3 бит) – величина максимального расширения ACE,

$$L = (ACE\_maximal\_extension + 7) / 10.$$

**ACE\_clipping\_threshold** (7 бит) – порог ограничения ACE  $V_{clip}$ :

$$V_{clip} = (V_{rms})^{ACE\_clipping\_threshold / 200}.$$

Величина **ACE\_clipping\_threshold** = 1111111<sub>2</sub> означает  $V_{clip} = +\infty$ .

**reserved\_for\_future\_use** (1 бит) – резерв, установлен в 0<sub>2</sub>

### Функции группы MISO

Эти функции позволяют сигнализировать MISO group для модуляторов DVB-T2 (9.6.1 [8] и приложение D).

Таблица П7.8: Функции группы MISO

Синтаксис	Количество бит	Формат
tx_MISO_function() {		
function_tag	8	uimsbf
function_length	8	uimsbf
function_body() {		
MISO_group	1	bflbf
reserved_for_future_use	7	bflbf
}		
}		

**MISO\_group** (1 бит) – индикатор группы MISO. Значение 0<sub>2</sub> – указатель группы 1 MISO.

Значение 1<sub>2</sub> – указатель группы 2 MISO.

**reserved\_for\_future\_use** (7 бит) резерв для использования в будущем, установлен в 0<sub>2</sub>.

### Функция TR-PAPR

Используется для сигнализации параметров Tone Reservation (TR) (9.6.2 [8]). TR имеет единственный параметр  $V_{clip}$ , передаваемый всем модуляторам сети SFN.

Таблица П7. 9: Функции TR-PAPR

Синтаксис	Количество бит	Формат
tx_TR_PAPR_function () {		
function_tag	8	uimsbf
function_length	8	uimsbf
function_body () {		
reserved_for_future_use1	4	bflbf
TR_clipping_threshold	12	uimsbf
reserved_for_future_use2	14	
number_of_iterarions	10	bflbf
}		
}		

**reserved\_for\_future\_use1** (4 бит) – резерв для использования в будущем, установлен в 0<sub>2</sub>.

**TR\_clipping\_threshold** (7 бит) – величина порога в вольтах  $V_{clip}$ :

$$V_{clip} = (V_{rms})^{TR\_clipping\_threshold/2000}.$$

Значение **TR\_clipping\_threshold** = FFF<sub>16</sub> соответствует  $V_{clip} = +\infty$ , то есть TR-PAPR не влияет.

**reserved\_for\_future\_use2** (14 бит) – резерв для использования в будущем, установлен в 0<sub>2</sub>.

**number of iterations** (10 бит) – число итераций алгоритма TR. Значение 111111111<sub>2</sub> указывает на то, что модулятор может использовать любое количество итераций. Если поле **T2\_VERSION** в сигнализации L1 больше, чем 0000<sub>2</sub>, и поле PAPR = 0000<sub>2</sub>, то данная функция сигнализирует величину  $V_{clip}$  только для единственной итерации символа P2 (9.6.2[8]). При этом **number\_of\_iterarions** = 0000000001<sub>2</sub>. Остальные значения – резерв.

### Функция L1-ACE-PAPR

Функция L1-ACE-PAPR используется для сигнализации параметров Активного Расширения Созвездия (ACE), которые применяются только для ячеек сигнализации L1 ACE в модуляторах DVB-T2 (см пункт 9.6.1 из [8]). L1-ACE имеет один параметр  $C_{L1\_ACE\_MAX}$ , который должен быть доведен до сведения всех модуляторов одночастотной сети, чтобы убедиться, что они производят идентичные сигналы в эфире. Таблица П7.10 показывает формат функции.

Таблица П7.10. Функция L1-ACE-PAPR

Синтаксис	Количество бит	Формат
tx_L1_ACE_PAPR_function() {		
function_tag	8	uimsbf
function_length	8	uimsbf
function_body() {		
L1_ACE_max_correction	16	uimsbf
reserved_for_future_use	16	bflbf
}		
}		

**L1\_ACE\_max\_correction** (16 бит) – максимальная величина коррекции L1-ACE:

$$C_{L1\_ACE\_MAX} = L1\_ACE\_max\_correction / 1000$$

Величина **L1\_ACE\_max\_correction** = 0000<sub>16</sub> означает отсутствие коррекции.

**reserved\_for\_future\_use** (16 бит) – резерв, установлен в значение 0000<sub>16</sub>.

### Функция «Порядковые номера TX-SIG FEF»

Эта функция используется для сигнализации порядковых номеров СИГНАТУР ПЕРЕДАТЧИКОВ, содержащихся в FEF-части (раздел 6 из [9]). Сигнатура Передатчика имеет два значения параметра  $h$ , которые используются для выбора ортогональной последовательности  $Sh$ .

Таблица П7.11: Функция «Порядковые номера TX-SIG FEF»

Синтаксис	Количество бит	Формат
tx_TX_SIG_SEQ_NUM_function() {		
function_tag	8	uimsbf
function_length	8	uimsbf
function_body () {		
reserved_for_future_use1	5	bflbf
TX_SIG_FEF_SEQ_NUM_1	3	uimsbf
reserved_for_future_use2	5	bflbf
TX_SIG_FEF_SEQ_NUM_2	3	uimsbf
reserved_for_future_use3	24	bflbf
}		
}		

**reserved\_for\_future\_use1** (5 бит) – резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

**TX\_SIG\_FEF\_SEQ\_NUM\_1** (3 бит) – указывает на параметр  $h$  Обобщенной Ортогональной (GO) последовательности  $Sh$ , должен быть передан в течение первого периода сигнатуры.

**reserved\_for\_future\_use2** (5 бит) – резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

**TX\_SIG\_FEF\_SEQ\_NUM\_2** (3 бит) – значение  $h$ , указывающее, какая ортогональная последовательность  $Sh$  должна быть передана во втором периоде сигнатуры.

**reserved\_for\_future\_use3** (24 бит) – резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

### Функция TX-SIG дополнительного потока идентификатора передатчика ID.

Эта функция используется для сигнализации идентификатора передатчика ID, используемой в модуляторе DVB-T2 при генерации Сигнатуры Передатчика, содержащейся во вспомогательном потоке (раздел 5 из [10]). Сигнатура Передатчика обозначает идентификатор отдельных передатчиков **tx\_id\_1**, **tx\_id\_2**, ... **tx\_id\_M**, т.е. **tx\_id\_m**, где  $m = 1 \dots M$ . Функция сигнализирует значение  $m$  для данного передатчика. Таблица П7.12 показывает формат функции.

ПРИМЕЧАНИЕ: Сигнатуру передатчика **tx\_id\_M** не следует путать с идентификатором **tx\_identifier**, который используется для адресации отдельных модуляторов или передатчиков потока T2-MI.

Таблица П7.12: Функция TX-SIG дополнительный поток ID передатчика

Синтаксис	Количество бит	Формат
tx_TX_SIG_ AUX_TX_ID_function() {		
function_tag	8	uimsbf
function_length	8	uimsbf
function_body() {		
TX_SIG_AUX_TX_ID	12	uimsbf
reserved_for_future_use	20	bflbf
}		
}		

**TX\_SIG\_AUX\_TX\_ID** (12 бит) должно иметь значение, которое представляет собой идентификатор передатчика  $m$  следующим образом:  $TX\_SIG\_AUX\_TX\_ID = m$ . Значение  $000_{16}$  зарезервировано для использования в будущем.

**reserved\_for\_future\_use** (20 бит) – резерв, все биты установлены в  $0_2$

ПРИМЕЧАНИЕ: другие параметры сигнатур переносит сигнализация L1.

#### FEF-часть: Нуль

Пакеты T2-MI с **packet\_type** =  $30_{16}$  переносят информацию, относящуюся к FEF-части ([8], п. 8.4), во время которой не должен генерироваться никакой сигнал профиля, кроме преамбулы P1.

<b>fef_idx</b>	<b>rfu</b>	<b>s1_field</b>	<b>s2_field</b>
----------------	------------	-----------------	-----------------

Рисунок П7.12: FEF-часть: полезная нагрузка «Нуль»

**fef\_idx** (8 бит) – указывает индекс FEF-части в пределах суперкадра. Первая FEF-часть в суперкадре должна иметь значение  $fef\_idx = 0$ , и оно должно увеличиваться на 1 для каждой последующей FEF-части.

**rfu** (9 бит) – резерв, все биты установлены в  $0_2$ .

**s1\_field** – значение поля S1 в преамбуле P1 FEF-части в соответствии с 7.2.1 [8].

**s2\_field** – значение поля S2 в преамбуле P1 FEF-части в соответствии с 7.2.1 [8].

Если содержание для соответствующей FEF части не указано иным способом, модулятор должен генерировать преамбулу-P1 согласно **s1\_field** и **s2\_field** и нулевые значения модуляции для оставшейся FEF-части.

#### FEF-часть: данные I/Q

Пакеты T2-MI с **packet\_type** =  $31_{16}$  должны нести информацию, относящуюся к FEF-части, в соответствии с п. 8.4 [8], вместе с данными I/Q, которые должны передаваться в FEF-части. Полезная нагрузка пакета T2-MI показана на рисунке 13.

<b>fef_idx</b>	<b>rfu</b>	<b>s1_field</b>	<b>s2_field</b>	<b>fef_part_data</b>
----------------	------------	-----------------	-----------------	----------------------

Рисунок П7.13. FEF-часть: данные I/Q

**fef\_idx** (8 бит) указывает индекс FEF-части в пределах суперкадра. Первая FEF-часть в суперкадре должна иметь значение **fef\_idx**= 0, и оно должно увеличиваться на 1 для каждой последующей FEF-части.

**rfu** (9 бит) – резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

**s1\_field** – значение поля S1 в преамбуле P1 FEF-части в соответствии с 7.2.1 [8].

**s2\_field** – значение поля S2 в преамбуле P1 FEF-части в соответствии с 7.2.1 [8].

**fef\_part\_data** – данные  $IQ$  для каждой FEF-части. Состоят из комплексных значений выборок времени, начиная с первого образца после окончания преамбулы P1, с частотой дискретизации  $1/T$ , как это определено в пункте 9.5 [8]. Каждое значение выборки должно быть 12-битными значениями комплексного числа  $I$  в дополнительном коде для реальной части и  $Q$  в дополнительном коде для мнимой части. Значение выборки  $p_{\text{FEF}}(t)$  должно быть представлено в виде:

$$\text{Re}(p_{\text{FEF}}(t))=I/2^9, \quad \text{Im}(p_{\text{FEF}}(t))=Q/2^9,$$

где диапазон значений  $I$  и  $Q$  – от  $-2^{11}$  до  $2^{11}-1$ .

Передаваемый сигнал  $s(t)$  во время T2-кадров определен в пункте 9.5 из [8]. Сигнал во время FEF-частей определяется формулой:

$$s(t)= \text{Re}\{e^{j2\pi ft} p_{\text{FEF}}(t)\}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ. При этом величина пика модуляции на 12 дБ выше уровня среднеквадратичного значения сигнала во время T2-кадров. Шум квантования приблизительно на 59 дБ ниже среднеквадратичного значения T2-кадров. При использовании этого типа пакета T2-MI средняя мощность комплекса образцов  $E(|p_{\text{FEF}}|^2)$  не должна превышать единицы. Если для конкретной FEF-части используется больше одного пакета T2-MI, полезная нагрузка пакетов с незаконченным потоком должна закончиться с завершенным образом. Следующее значение выборки для этой FEF-части должно затем начаться в начале полезной нагрузки следующего пакета T2-MI с **packet\_type** 31<sub>16</sub> с тем же **fef\_idx**.

Все пакеты T2-MI типа 31<sub>16</sub> с данным индексом **fef\_idx** имеют те же значения, что и **s1\_field** и **s2\_field**. Общее количество сложных образцов должно равняться FEF\_LENGTH-2048, где FEF\_LENGTH является полем настраиваемой сигнализации L1-post, определяется в пункте 7.2.3.1 из [8].

### Составная FEF-часть

Пакеты T2-MI типа 32<sub>16</sub> должны нести информацию, относящуюся к FEF-части (п. 8.4 [8]), сформированной в виде композиции нескольких подразделов, как показано на рисунке 14.

P1	sub-part index 0	sub-part index 1	...	sub-part index p-1
----	---------------------	---------------------	-----	-----------------------

Рисунок П7.14: Разделение FEF на суб-части

Составная FEF-часть сигнализируется с использованием пакетов T2-MI, полезная нагрузка которых показана на рис. П7.15. Фактические составные части переносятся в отдельных пакетах типа **packet\_type** 33<sub>16</sub>. Пакеты типа **packet\_type** 32<sub>16</sub> для данного **fef\_idx** должны прибывать к модулятору перед любыми пакетами, описанными в данном подразделе.

<b>fef_idx</b>	<b>rfu 1</b>	<b>s1_field</b>	<b>s2_field</b>	<b>rfu2</b>	<b>num_subparts</b>
----------------	--------------	-----------------	-----------------	-------------	---------------------

Рисунок П7.15: Полезная нагрузка составной FEF-части

**fef\_idx** (8 бит) – индекс FEF в пределах суперкадра. Первая FEF-часть в суперкадре должна иметь значение **fef\_idx** = "0", и оно должно увеличиваться на 1 для каждой последующей FEF.

**rfu1** (1 бит) – резервный бит, установлен в 0<sub>2</sub>.

**s1\_field** – значение поля S1 в преамбуле P1 FEF-части в соответствии с 7.2.1 [8].

**s2\_field** – значение поля S2 в преамбуле P1 FEF-части в соответствии с 7.2.1 [8].

**rfu2** (32 бита) – резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

**num\_subparts** (16 бит) сигнализирует общее количество *P* суб-частей, составляющих FEF. Общий состав подразделов данного типа должен быть одинаковым для всех модуляторов. Тем не менее, содержание отдельных подразделов могут быть адресованы модулятору или комбинации модуляторов индивидуально с помощью поля **tx\_identifier** в FEF-части.

### Суб-часть FEF

Пакеты T2-MI типа 33<sub>16</sub> должны нести информацию, относящуюся к суб-части FEF, как показано на рисунке П7.16.

<b>fef_idx</b>	<b>tx_identifier</b>	<b>rfu1</b>	<b>subpart_idx</b>	<b>subpart_variety</b>	<b>rfu2</b>	<b>subpart_length</b>	<b>subpart()</b>
----------------	----------------------	-------------	--------------------	------------------------	-------------	-----------------------	------------------

Рисунок П7.16: Полезная нагрузка суб-части FEF

**fef\_idx** (8 бит) – индекс FEF в данном суперкадре. Первая FEF в суперкадре имеет индекс **fef\_idx** = '0', и это значение увеличивается на единицу в каждой следующей FEF-части. **fef\_idx** должен быть одинаковым для всех суб-частей одной и той же FEF.

**tx\_identifier** (16 бит) – адрес суб-части в индивидуальном передатчике или модуляторе. Это поле имеет то же самое значение, что и в п. 5.2.8 [8]. Значение 0000<sub>16</sub> используется как адрес всех передатчиков или модуляторов в сети. Если модулятор принимает несколько суб-частей с данным значением **fef\_idx** и **subpart\_idx**, он должен использовать последнюю суб-часть для формирования передаваемого сигнала.

**rfu1** (32 бита) – резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

**subpart\_idx** (16 бит) – индекс суб-части.

**rfu2** (10 бит) – резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

**subpart\_length** (22 бита) – размер суб-части. Размеры всех суб-частей с данным индексом должны быть добавлены к FEF\_LENGTH-2048.

**subpart\_variety** (16 бит) – вариация суб-части. Количество вариаций определяется по таблице П7.13.

Таблица П7.13: Сигнализация **subpart\_variety**

Значение subpart_variety	FEF sub-part variety
0000 <sub>16</sub>	Null
0001 <sub>16</sub>	IQ
0002 <sub>16</sub>	PRBS
0003 <sub>16</sub>	TX-SIG:FEF
От 0004 <sub>16</sub> до FFFF <sub>16</sub>	Резерв

**subpart()** представляет собой поле, формат и размер которого варьируется в зависимости от величины **subpart\_variety**. Формат поля подробно описаны в пунктах, которые следуют дальше.

### Суб-часть FEF: Нуль

Эта суб-часть инструктирует модулятор для передачи нулевой суб-части, в течение которой сигнал модулятора не формируется. Его формат описан в таблице П7.14.

Таблица П7.14: Суб-часть FEF: Null

Формат	Количество бит	Формат
subpart () {		
reserved_for_future_use	32	bflbf
}		

**reserved\_for\_future\_use** (32 бит) резерв, все биты установлены в 0<sub>2</sub>.

**Суб-часть FEF: IQ.** Эта суб-часть инструктирует модулятор для передачи выборок во временной области данных *IQ* в суб-части. Её формат описан в таблице П7.15.

Таблица П7.15: Суб-часть FEF: данные *IQ*

Формат	Количество бит	Формат
subpart() {		
reserved_for_future_use	32	bflbf
iq_data	variable	(see below)
}		

**reserved\_for\_future\_use** (32 бита) резерв, все биты =0<sub>2</sub>.

**iq\_data** (переменные биты) – данные *IQ* для каждой FEF-части. Состоят из комплексных значений выборок, начиная с первого образца после окончания преамбулы P1, с частотой дискретизации  $1/T$ , как это определено в пункте 9.5 [8]. Каждое значение выборки содержит 12-бит комплексного числа (в дополнительном коде) для реальной и мнимой частей. Значение выборки  $p_{FEF}(t)$  имеет вид:

$$\operatorname{Re}(p_{FEF}(t))=I/2^9, \quad \operatorname{Im}(p_{FEF}(t))=Q/2^9,$$

где  $I$  и  $Q$  – 12-битные значения в дополнительном коде, представленные как целые числа в диапазоне от  $-2^{11}$  до  $2^{11}-1$ .

Передаваемый сигнал  $s(t)$  в течение T2-кадров определён в п. 9.5 [8], сигнал во время FEF-части, использующий тот же масштаб, имеет вид:

$$s(t)=\operatorname{Re}\{e^{j2\pi ft} p_{FEF}(t)\}.$$

**ПРИМЕЧАНИЕ.** При этом величина пика модуляции на 12 дБ выше уровня средне-квадратичного значения сигнала во время T2-кадров. Шум квантования примерно на 59 дБ ниже, чем среднеквадратичное значение T2-кадров.

При использовании пакета T2-MI этого типа средняя мощность  $E(|p_{FEF}|^2)$  не должна превышать единицы. Если требуется передать больше данных выборки  $IQ$ , чем может быть передано в одном пакете T2-MI, то данные должны быть разделены по нескольким суб-частям.

**Суб-часть FEF: PRBS.** Эта суб-часть инструктирует модулятор для передачи суб-части, содержащей данные, полученные с помощью PRBS. Его формат показан в таблице П7.16.

Таблица П7.16: Суб-часть FEF: данные  $IQ$

Формат	Количество бит	Формат
subpart() {		
prbs_type	8	uimsbf
reserved_for_future_use	96	bflbf
}		

**prbs\_type** (8 бит) – тип PRBS и метод генерации FEF sub-part. Допустимые значения приведены в таблице П7.17.

Таблица П7.17: Сигнализация **subpart\_variety**

prbs_type	FEF sub-part variety
00 <sub>16</sub>	Испытания и измерения определяет пользователь
От 01 <sub>16</sub> до FF <sub>16</sub>	Резерв

**reserved\_for\_future\_use** (96 бит) резерв, все биты =0<sub>2</sub>.

#### **Суб-часть FEF: TX-SIG FEF**

Эта суб-часть инструктирует модулятор для формирования времени, в течение которого должны быть переданы Сигнатуры передатчика использованием FEF [10]. Её формат показан в таблице П7.18.

Таблица П7.18: Суб-часть FEF: TX-SIG с использованием FEF

Формат	Количество битов	Формат
subpart() {		
reserved_for_future_use	32	bflbf
}		

**reserved\_for\_future\_use** (32 бит) резерв, все биты =0<sub>2</sub>.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1:** Signature Tx FEF определяется как "Неопределенная FEF-часть", сигнализируется S1 = 010, S2 = 000x в пакете T2-MI с **packet\_type** 32<sub>16</sub>.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2:** Конкретные порядковые номера, используемые при формировании TX-SIG данным передатчиком или модулятором, могут быть переданы с использованием индивидуального адреса

## Приложение 7, часть 2. ПАКЕТЫ T2-MI В МОДУЛЯТОРЕ

### Работа модулятора с потоками T2-MI

На рис. П7.15 приведена блок-схема модулятора. Вначале должны быть декодированы заголовки входящих пакетов для определения их типа. Большинство пакетов содержат ВВ-кадры. В этом случае должен быть декодирован индекс PLP, который используется для отправки ВВ-кадра в соответствующий канал. *ВВ-кадры, принадлежащие одному Кадру Перемежения (IF), буферизируются в ожидании L1-сигнализации, описывающей данный IF.* Это необходимо, т.к. некоторые каскады ВИСМ нуждаются в динамической информации для разделения IF в Т1-блоки. Это необходимо, т.к. некоторые каскады ВИСМ нуждаются в динамической информации для разделения IF в Т1-блоки.

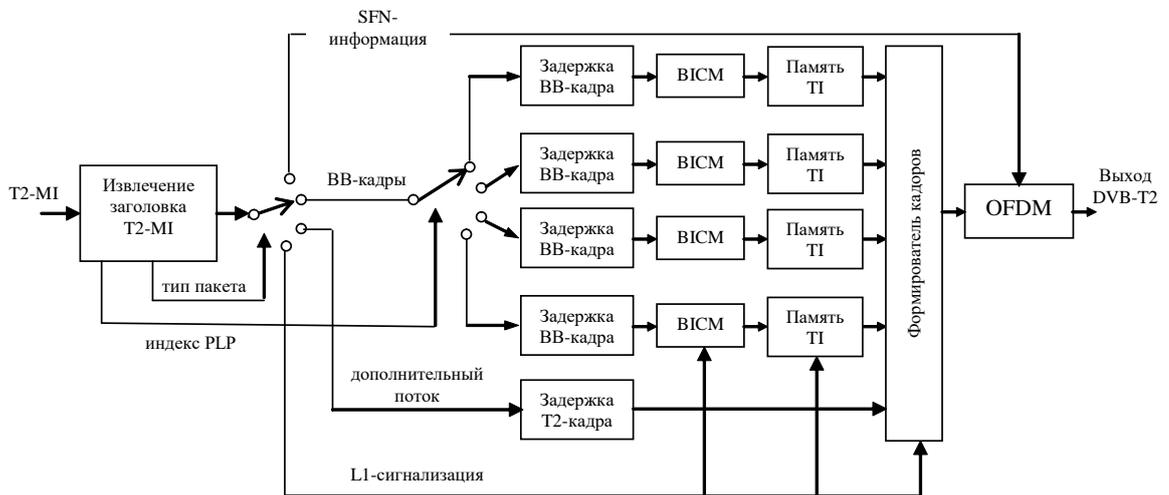


Рис. П7.15. Обработка потока T2-MI в T2-модуляторе

T2-MI-пакеты, содержащие дополнительные потоки данных, задерживаются на один T2-кадр для компенсации задержек в каналах PLP и подводятся непосредственно к Формирователю Кадров. Для пакетов, содержащих L1-сигнализацию, информация подводится к ВИСМ и Формирователю Кадров, который использует её для отображения PLP в определённые ячейки кадра и вставит кодированную и модулированную L1-сигнализацию в P2-символы. Пакеты T2-MI, содержащие SFN-данные, поступают в выходные каскады генератора OFDM для управления временем выхода данных.

### Буферизация и временные отношения

При использовании T2-gateway ВВ-кадры формируются и посылаются к модулятору по мере их готовности. В модуляторе требуется задержка до формирования Планировки и чтобы вставить L1-сигнализацию в подходящий момент. Рис. П7.16 иллюстрирует временные отношения для T2-системы, включающей несколько PLP (на рисунке ось времени – в горизонтальном направлении). Сверху показан “входной поток T2-MI”, содержащий пакеты T2-MI. Ниже показано содержимое трёх PLP, ещё ниже – пакеты для текущей L1-сигнализации, в самом низу – T2-кадры.

Рассмотрим первый бокс для PLP1. Это PLP типа 2 с  $P_1=1$ , он имеет один или несколько TI-блоков в каждом Кадре Перемежения (IF), причём каждый IF отображён в один T2-кадр. **Вверху показаны приходящие пакеты T2-MI для этого PLP, т.е. на выходе второго коммутатора на рис. П8.1.** T2-MI пакеты окрашены согласно индексу **frame\_idx** в заголовке T2-MI, который для данного PLP индицирует T2-кадр, в котором они будут переноситься. Когда прибывают эти пакеты, они запоминаются в устройстве задержки IF. Когда размещение T2-кадра (красный) завершено, T2-gateway посылает пакет T2-MI, содержащий L1-информацию, описывающую этот кадр (красный штрихованный пакет). ВВ-кадры для этого IF могут быть закодированы каскадом ВИСМ на основе информации в пакете L1-сигнализации и записаны в память TI (Time Interleaver), как показано. Память TI обеспечивает дальнейшую задержку T2-кадра, это требуется, чтобы были вставлены in-band-сигнализация и L1-повторение. PLP1 является PLP второго типа, поэтому Interleaving Frame (IF) переносится во множестве субслайсов каждого T2-кадра, это также показано на диаграмме.

PLP используют мультикадровое перемежение через два T2-кадра, поэтому IF длится в течение двух T2-кадров. Поле **frame\_idx** в заголовке пакета T2-MI индицирует *первый* T2-кадр, в котором отображается Interleaving Frame. Это иллюстрируется цветами пакетов T2-MI для PLP2: бирюзовым, зелёным или пурпурным в соответствии с индексами 0, 2 или 4.

Приходящие пакеты для данного IF запоминаются устройстве задержки до тех пор, пока не закончится размещение и принят текущий пакет T2-MI.

Отметим, что зелёные T2-пакеты с индексом **frame\_idx** 2 заканчиваются на той же границе кадра, как и зелёные пакеты для PLP1, и сразу перед зелёным пакетом текущей L1-сигнализации и перед передачей T2-кадра 2. Как для PLP1, предусмотрена задержка единственного T2-кадра в памяти Временного Перемежителя (Time Interleaver), эта память заполняется в течение одного T2-кадра, но считывается через два T2-кадра (один Interleav-

ing Frame). Так как это PLP типа 1, показан один слайс для каждого T2-кадра; каждый слайс содержит половину имеющихся ячеек Кадра Перемежения IF.

Наконец, PLP3 использует механизм перескока кадров с  $I_{\text{jump}}=2$ . К тому же **FIRST\_FRAME\_IDX** равен 1, т. е. PLP3 отображается в кадры 1, 3 и 5. Это соответствует индексу **frame\_idx** в заголовке T2-MI, что отмечено цветом на рисунке (красный, жёлтый и голубой). Что касается PLP2, Кадр Перемежения имеет протяжённость двух T2-кадров, и снова размещение завершается перед первым T2-кадром, переносящим данный Кадр Перемежения.

### Генерация L1-сигнализации из пакетов T2-MI

Пакеты L1-сигнализации служат двум целям: они используются модулятором для динамической информации, необходимой для обработки ВВ-кадров в блоке кодирования и модуляции ВИСМ. Они также необходимы, чтобы обеспечить вставку сигнальных бит в T2-кадры.

Массивы в нижней части рис. П7.16 показывают, как L1-информация вставляется в P2-символы T2-кадров. Информация, описывающая T2-кадр  $m$ , переносится в P2-символах T2-кадра  $m$ , как показано в массивах, обозначенных "curr". Дополнительно, динамическая информация может опционально повторяться в P2 предыдущего кадра. В этом случае значимая информация посылается в L1-future. Это показывает массив, обозначенный "next".

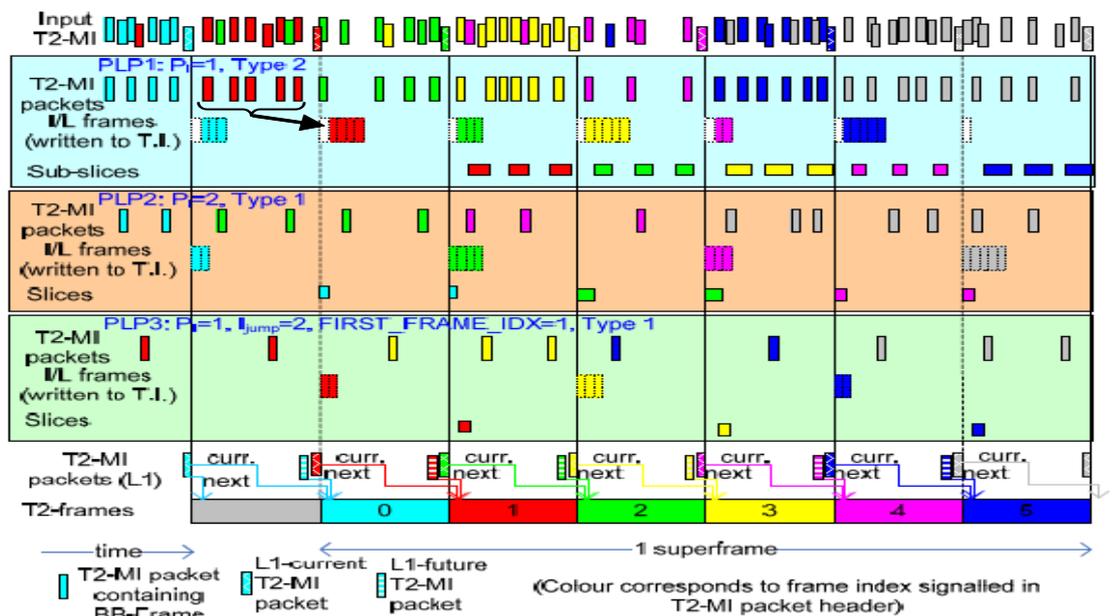


Рисунок П7.16.

## Приложение 8. DVB-C2

DVB-C2 является цифровой системой передачи второго поколения, разработанной «Проектом DVB». Она использует новейшие способы модуляции и кодирования для повышения эффективности кабельных сетей. Предназначена для доставки новых сервисов, таких как видео по требованию и телевидения высокой чёткости. Спецификация EN302769 опубликована в апреле 2010 (новая версия её в наличии как DVB BlueBook A138, и руководящий документ по применению A147).

DVB-C был впервые опубликован ETSI в декабре 1994 и впоследствии стал наиболее широко используемой системой передачи цифрового кабельного телевидения.

Таблица П8.1. Сравнение систем DVB-C и DVB-C2

	DVB-C	DVB-C2
Входной интерфейс	Едиственный Транспортный Поток (TS)	Множественный транспортный поток
Режимы	Постоянное кодирование и модуляция	Изменяемое и Адаптивное Кодирование и Модуляция
FEC	RS	LDPC+VCH
Перемежение	Перемежение бит	Перемежение бит, временное и частотное
Пилоты	Не используются	Рассеянные и непрерывные пилоты
Модуляция	QAM одной несущей	COFDM
Защитный интервал	Не используется	1/64 или 1/128
Схемы модуляции	16-до 256-QAM	16-до 4096-QAM

*Дальше приведено краткое изложение статьи из журнала «Телеспутник» [8.11].*

Разработчики семейства стандартов второго поколения DVB старались максимально унифицировать компоненты стандартов, предназначенных для разных сред. В частности, во всех стандартах применяется единая схема помехоустойчивого кодирования. Она предусматривает последовательное наложение внешней кодозащиты BCH и внутренней кодозащиты LDPC). Более того, системные уровни DVB-S2 и DVB-C2 тоже очень близки, что позволяет легко конвертировать спутниковый сигнал в формат, регламентированный для кабельных сетей.

Как в DVB-S2 и DVB-T2, кабельном стандарте DVB-C2 внутри одного физического канала предусмотрено выделение **транспортных труб**. Они получили название Physical Layer Pipe. PLP – это канал, который может переносить обычный поток MPEG-2 TS или использоваться для передачи IP с применением протокола Generic Stream Encapsulation (GSE). GSE – это протокол, определяющий порядок формирования и формат транспортных пакетов для передачи произвольных пакетов переменной длины, разработанный для второго поколения стандартов DVB. Каждый PLP пропускается через блок входной обработки, за которой следует модуль помехоустойчивого кодирования и далее — *раскладчик* QAM-символов. Один или несколько PLP могут укладываться в так называемые *слои данных* Data Slices (аналогичные каналам). Для повышения устойчивости к пакетным ошибкам или воздействия узкополосных помех эти слои затем подвергаются перемежению по времени и частоте. После этого они поступают в *формирователь кадра*, собирающий воедино все слои и добавляющий пилот-сигналы, а также **преамбулу с сигнализацией первого уровня L1**. На последнем этапе сформированный кадр поступает в генератор OFDM-потока.

**Концепция PLP.** Применение PLP позволяет передавать *в одном физическом канале несколько независимых логических*. Каждый PLP представляет собой такой логический канал (на физическом уровне), по которому передаются либо транспортные пакеты MPEG-2 TS, либо IP-пакеты с использованием протокола GSE.

Идентификатор **PLP\_Id**, позволяющий идентифицировать конкретный PLP на приемной стороне, является частью заголовка, передаваемого перед каждым пакетом. После декодирования этого заголовка и извлечения **PLP\_Id** приемник может определить, должен ли он декодировать пакет, следующий за заголовком. Пакеты, не принадлежащие к запрашиваемому PLP, пропускаются, то есть не поступают в QAM-демодулятор и декодер помехоустойчивого кодирования. В результате существенно снижается скорость потока, обрабатываемого приемником, а также процессорная мощность, требуемая для этой обработки. Другое преимущество применения PLP заключается в том, что разные потоки можно передавать с разным уровнем помехоустойчивости: схема модуляции и режим помехоустойчивого кодирования для каждого PLP могут выбираться индивидуально.

**Кодирование LDPC.** Преимущества применения кодов LDPC можно проиллюстрировать следующими цифрами. Поток DVB-C2 с относительной скоростью кодозащиты 9/10 может быть восстановлен декодером даже при плотности ошибок в несколько процентов. В то время как применяемый в DVB-C код Рида-Соломона при той же относительной скорости может восстановить поток до квазибесошибочного состояния при плотности ошибок не более  $2 \cdot 10^{-4}$ . Эффективность LDPC-кодирования особенно высока при кодировании длинных последовательностей. Потому длина стандартного слова, к которому в DVB-C2 прилагается LDPC, составляет 64800 бит (вместо 1632 бит или 204 Байт в DVB-C). То есть кодируемое слово больше не коррелировано с транспортным пакетом MPEG-2 TS.

**Кодирование BCH.** После LDPC в DVB-C2 предусмотрено применение кода BCH, налагаемого с очень высокой относительной скоростью (около 0,99). Этот код с малой корректирующей способностью введен для снижения порога коррекции LDPC. Порог коррекции присутствует у всех итеративных схем кодирования, таких как LDPC или турбокоды. Он проявляется в том, что при декодировании всегда остается некоторое количество ошибок, не поддающихся коррекции при последующих итерациях, выполняемых FEC-декодером.

**Существенное повышение эффективности помехоустойчивого кодирования позволяет использовать более высокие размерности модуляции. Если в DVB-C максимально можно использовать 256-QAM, то в DVB-C2 добавляются размерности 1024 и 4096-QAM.** Допустимые комбинации модуляций и схем помехоустойчивого кодирования приведены в таблице П8.2. В ней также указаны уровни отношения сигнал/шум, требуемые для приема, квазисвободного от ошибок. Эти уровни лежат в пределах примерно от 10 до 35 дБ, причем спектр допустимых модуляций и схем кодирования позволяет подбирать их под требуемый сигнал /шум с шагом около 2 дБ.

Таблица П8.2. Допустимые в DVB-C2 сочетания модуляций и относительных скоростей передачи, а также уровни отношения сигнал/шум, необходимые для квазисвободного от ошибок приема

FEC	16-QAM	64-QAM	256-QAM	1024-QAM	4096-QAM
2/3	-	13,5 дБ	-	-	-
3/4	-	-	20,0 дБ	24,8 дБ	-
4/5	10,7 дБ	16,1 дБ	-	-	-
5/6	-	-	22,0 дБ	27,2 дБ	32,4 дБ
9/10	12,8 дБ	18,5 дБ	24,0 дБ	29,5 дБ	35,0 дБ

**Применение OFDM в DVB-C2.** Основным отличием DVB-C2 от DVB-C является применение OFDM вместо одной QAM-модулированной несущей. Благодаря хорошо известной, проверенной на практике устойчивости к различным видам канальных искажений (например, многолучевым отражениям или узкополосным помехам), OFDM применяется большинством современных одно- и двунаправленных технологий передачи. Что касается семейства DVB, то OFDM вначале было использовано в эфирном стандарте первого поколения DVB-T, а затем его параметры расширили и усовершенствовали в стандарте DVB-T2.

**Рабочие характеристики DVB-C2.** Спецификация DVB-C2 регламентирует определенные характеристики кабельных сетей. При их разработке принимались во внимание уже упомянутые требования простоты ретрансляции спутниковых сигналов и возможность адаптивно выбирать устойчивость соединения для персонализированных приложений (точка—точка). Более того, в кабельных сетях используется экранированная среда передачи, что позволяет задействовать весь спектр, например, до 862 МГц, и не следовать жесткому частотному растрю, заданному для эфирных трансляций.

**Повышение эффективности использования спектра** достигается применением LDPC-кодирования в сочетании с более высокими схемами QAM-модуляции, а также за счет применения OFDM. С расширением полосы частот спектральные потери существенно снижаются. Так, например, спектральные потери для сигнала DVB-C2 шириной 32 МГц составляют всего 3,25%, в то время как в DVB-C они составляют 15%. Снижение потерь спектра за счет применения COFDM в сочетании с LDPC-кодированием позволило создать систему, по эффективности передачи близкую к теоретическому пределу. Если каналы DVB-C находятся ниже предела примерно на 10 дБ, то каналы DVB-C2 всего на 23 дБ.

Таблица П8.3. Допустимые скорости передачи информационных бит для DVB-C (частично) при ширине канала 8 МГц и DVB-C2 (параметры DVB-C2: ширина полосы — 32 МГц, защитный интервал — 1/128, плотность пилот-сигналов — 1/96).

-	16-QAM	64-QAM	256-QAM	1024-QAM	4096-QAM
DVB-C	25 Мбит/с	38,4 Мбит/с	51,2 Мбит/с	-	-
C2, 2/3	-	31,4 Мбит/с	-	-	-
C2, 3/4	-	-	47,1 Мбит/с	58,9 Мбит/с	-
C2, 4/5	25,1 Мбит/с	37,7 Мбит/с	-	-	-
C2, 5/6	-	-	52,4 Мбит/с	65,4 Мбит/с	78,6 Мбит/с
C2, 9/10	28,3 Мбит/с	41,4 Мбит/с	56,6 Мбит/с	70,7 Мбит/с	84,8 Мбит/с

В таблице П8.3 собраны возможные в DVB-C и DVB-C2 скорости передачи информационных бит. Для более наглядного сравнения для обеих систем рассматривается канал шириной 8 МГц. В случае DVB-C2 общая ширина потока выбрана величиной в 32 МГц. Новые режимы, появившиеся в DVB-C2, позволяют увеличить скорость на величину до 65% при требуемом отношении сигнал/шум в 35 дБ, что в большинстве современных кабельных сетей вполне реализуемо.

**Заключение.** Стандарт DVB-C2 позволяет существенно повысить эффективность использования спектра. Это достигается за счет применения более высоких размерностей QAM-модуляции (до 4096-QAM) в сочетании с мощной системой помехоустойчивого кодирования на базе LDPC-кодов. Кроме того, применение OFDM дает дополнительный выигрыш в гибкости и эффективности, а также позволяет удешевить создание единых приемных чипсетов DVB-T2/C2.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виктор Дворкович, Михаил Чобану. Проблемы и перспективы развития систем кодирования динамических изображений. MediaVision, №№ 2/2015. [www.mediavision-mag.ru](http://www.mediavision-mag.ru).
2. Зубарев Ю.Б, Кривошеев М.И., Красносельский И.М. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. – М.: Научно-исследовательский институт радио (НИИР). 2001.
3. Fischer, Walter. Digital television. A practical guide for engineers / W. Fischer; transl.: H. von Renouard. - Berlin: Springer-Verlag, 2004. - 384[10] p.: 308 figur. - (Signals and communication technology). - index: p. 381-384. - ISBN 3-540-01155-2: 79.95 € 6. А.
4. Серов А.В. HEVC: приближение к совершенству. MediaVision, №№ 2...5, 7, 8/2011. [www.mediavision-mag.ru](http://www.mediavision-mag.ru).
5. Серов А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 464 с.: ил.
6. Мамчев Г.В. Теория и практика наземного цифрового телевизионного вещания. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 340 с.
7. ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).
8. ETSI EN 302 755: "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)".
9. ETSI TS 102 773 V1.3.1 (2012-01): "Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)". <http://www.etsi.org>.
10. ETSI TS 102 992: "Digital Video Broadcasting (DVB); Structure and modulation of optional transmitter signatures (T2-TX-SIG) for use with the DVB-T2 second generation digital terrestrial television broadcasting system".
11. EBU – TECH 3348. Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2. Geneva April 2012.
12. Евгений Сычевский, Николай Фокин. «Технологии канального кодирования и модуляции DVB-T и DVB-T2» «Телеспутник», октябрь 2011 г.
13. Цифровое телевидение в видеоинформационных системах: монография / А.Г. Ильин, Г.Д. Казанцев, А.Г. Костевич, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский, В.А. Шалимов. – Томск: ТУСУР, 2010. – 465 с. – ISBN 978-5-86889-540-1. Электронный ресурс, 2014 г. [Часть 1](#). [Часть 2](#). [Часть 3](#).
14. TS 101191. TS 101 191 «Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization».

## Определения, символы и аббревиатура

**0xkk** – число ‘kk’ должно интерпретироваться как шестнадцатеричное

**active cell** – ячейка OFDM, переносящая точку созвездия для L1-сигнализации или PLP

**auxiliary stream** – последовательность ячеек, переносящих данные с неопределённой модуляцией и кодированием, которые могут использоваться для будущего расширения, для вещателей или сетевых операторов

**BBFRAME** – ВВ-кадр: набор  $K_{\text{bch}}$  бит, поступающий в блок помехоустойчивого кодирования FEC (кодирование BCH и LDPC)

**bias balancing cells** – ячейки балансировки смещения – специальные ячейки, вставленные в символы P2, чтобы уменьшить влияние смещения в сигнализации L1

**common PLP** – общий PLP, имеющий один слайс в каждом T2-кадре, передаваемый после L1-сигнализации и ячейки балансировки; может содержать данные, общие для нескольких PLP

**configurable L1-signalling** – конфигурируемая (настраиваемая) сигнализация L1, содержащая параметры, которые остаются постоянными на протяжении одного суперкадра

**data cell** – ячейка OFDM-данных, которая не является пилотом или резервным тоном (может быть немодулированной ячейкой в Символе Закрытия Кадра)

**data PLP** – PLP-данных первого или второго типа

**data symbol** – символ OFDM-данных в T2-кадре, который не является ни P1, ни P2-символом

**div** – оператор деления нацело:

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

**dummy cell** – ячейка OFDM, переносящая псевдослучайную величину; используется для заполнения оставшейся ёмкости, не использованной для L1-сигнализации, PLP или дополнительных потоков

**dynamic L1-signalling** – динамическая сигнализация: содержит параметры, которые могут изменяться от одного T2-кадра к другому

**elementary period** – период времени, который зависит от полосы частот системы, используется для определения других временных параметров

**FEC Block** – набор  $N_{\text{cells}}$  OFDM-ячеек, переносящий все биты одного кадра FECFRAME

**FECFRAME** – набор  $N_{\text{ldpc}}$  (16200 или 64800 бит) одной кодирующей операции LDPC

**FEF part** – часть суперкадра между двумя T2-кадрами, которая содержит FEF. FEF-часть должна начинаться с P1-символа. Остальная часть FEF-части должна быть проигнорирована приёмником и может содержать добавочные символы P1.

**FFT size** – номинальный размер FFT, используемый для определённого режима, равный периоду активного символа  $T_s$ , выраженному в циклах элементарного периода  $T$ .

**for i=0..xxx-1** – при использовании в цикле сигнализации, означает, что соответствующий контур сигнализации повторяется столько раз, сколько элементов в контуре. Если элементы отсутствуют, контур пропускается.

**frame closing symbol** – символ OFDM с наивысшей плотностью пилотов, используется в конце T2-кадра в определённых комбинациях размера БПФ, защитного интервала и шаблона рассеянных пилотов

**Im(x)** – мнимая часть  $x$

**interleaving frame** – блок, в котором производится размещение динамической ёмкости для определённого PLP, составленный из целого, динамически изменяющегося числа FEC-блоков и имеющий фиксированное отношение к определённым T2-кадрам.

**ПРИМЕЧАНИЕ** – Кадр Перемежения может быть отображен непосредственно на один T2-кадре либо на несколько T2-кадров. Он может содержать один или несколько T1-блоков.

**L1 bias balancing bits** – неиспользуемые биты в пределах полей сигнализации L1, которые устанавливают сигнализацию таким образом, чтобы уменьшить общее смещение в сигнале L1

**L1-post-signalling** – сигнализация, переносимая в P2-символе, имеет больше деталей информации L1 о T2-системе и о PLP.

**L1 pre-signalling** – сигнализация, переносимая в P2-символах имеющих фиксированный размер, кодирование и модуляцию, включающая основную информацию о T2-системе а также и информацию, необходимую для декодирования L1пост-сигнализации. Остаётся одной и той же в пределах суперкадра.

**MISO group** – группа (1 или 2) к которой принадлежит отдельный передатчик в сети MISO, определяемая тип обработки, который выполняется к ячейкам данных и пилотам. Сигналы от передатчиков в различных группах будут комбинироваться в приёмнике оптимальным образом.

**mod** – модуль, определяемый так:

$$x \bmod y = x - y \left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$$

**nnD** – число ‘nn’ должно интерпретироваться как десятичное

**normal symbol** – символ OFDM в T2-кадре, который не является ни P1, ни P2 и не символом Закрытия Кадра

**OFDM cell** – ячейка OFDM – модуляционная величина для одной несущей OFDM во время одного OFDM-символа, например, одна точка созвездия

**OFDM symbol** – символ OFDM – набор  $K_{total}$  активных несущих длительностью  $T_s$ , модулированных в соответствии с их модуляционной величиной (включающий защитный интервал)

**P1 signalling** – сигнализация, переносимая символом P1, используется для идентификации основного режима символа DVB-T2

**P1 symbol** – фиксированный пилотный символ, который переносит сигнальные поля S1 и S2 и расположен в начале кадра в каждом RF-канале. Он главным образом используется для быстрого начального сканирования сигнала для обнаружения T2-субсигнала, частотного сдвига и размера FFT. Использует режим 2k с 1/4 защитным интервалом.

**P2 symbol** – пилотный символ, который расположен сразу после P1 с тем же размером FFT и защитным интервалом, как и символы данных. Число P2-символов зависит от размеров FFT. Используется для частотной и временной синхронизации, а так же для начальной оценки канала. Переносит сигнальную информацию L1 и L2 и может также нести данные.

**PLP** – physical layer pipe – канал физического уровня, который переносится точно определёнными суб-слайсами

**ПРИМЕЧАНИЕ** – PLP может переносить один или несколько сервисов

**PLP\_ID** – это 8-битовое поле однозначно определяет PLP в T2-системе, определяемой идентификатором **T2\_system\_id**. Один и тот же PLP\_ID может оказаться в одном или нескольких кадрах суперкадра

**Re(x)** – реальная часть  $x$

**reserved for future use** – резерв для будущего использования. Там, где величина этого поля или его части не определена, она устанавливается в ноль.

**slice** – набор всех ячеек PLP, которые относятся к отдельному T2-кадру. Может быть разделён на субслайсы.

**sub-slice** – группа ячеек одного PLP, которая перед частотным переключением передаётся в активных ячейках OFDM с последовательными адресами через единственный RF-канал

**T2-base signal** – сигнал T2, использующий профиль T2-base

**T2-frame** – фиксированный кадр физического уровня TDM, который в дальнейшем разделяется на суб-слайсы с изменяющимися размерами. T2-кадр начинается с одного символа P1 и одного или нескольких символов P2.

**T2-Lite signal** – сигнал T2, использующий профиль T2-Lite

**T2 profile** – подмножество всех конфигураций, разрешенных в настоящем документе

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Настоящий документ определяет профиль T2-базовый и профиль T2-Lite.

**T2 signal** – сигнал определённого профиля T2-base или T2-Lite, включающий любую FEF-часть

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Может быть сформирован составной сигнал РЧ, содержащий два или несколько сигналов, где каждый сигнал T2 передаёт другие сигналы в своей FEF-части

**T2 Super-frame** – набор определённого числа последовательных T2-кадров. Дополнительно суперкадр может содержать FEF-часть.

**T2 system** – вторая генерация наземного видеовещания, входом которой является один или несколько потоков TS или GSE а на выходе – радиочастотный сигнал

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Термин «T2-система» означает:

- объект, в котором переносится один или несколько PLP индивидуальным способом в пределах сигнала DVB-T на одной или нескольких частотах
- T2-система является уникальной в пределах T2-сети и идентифицируется словом **T2\_system\_id**. Две T2-системы с одинаковыми идентификаторами **T2\_system\_id** и **network\_id** имеют идентичные структуры на физическом уровне и конфигурации, кроме **cell\_id**, которые могут различаться
- T2-система прозрачна к данным, которые она переносит (включая транспортные потоки и сервисы)

**T2\_SYSTEM\_ID** – это 16-ти битовое поле однозначно определяет для T2-систему в пределах T2-сети (идентификатор NETWORK\_ID)

**Time interleaving block (TI-block)** – набор ячеек, в пределах которого производится временное перемежение, соответствует одному (единственному) использованию памяти временного перемежителя

**Type 1 PLP** – PLP, имеющий один слайс в каждом T2-кадре, передаваемый перед любым PLP типа 2

**Type 2 PLP** – PLP, имеющий два или более субслайсов в каждом кадре, передаваемый после любого PLP первого типа

$\lfloor x \rfloor$ : округление с вычитанием дробной части – наибольшее целое число, меньшее или равное  $x$

$\lceil x \rceil$ : округление с добавлением дробной части – наименьшее целое число, большее или равное  $x$

$x^*$  – комплексно-сопряжённое  $x$

$\square$  – исключающее ИЛИ / оператор сложения по модулю 2

### Аббревиатуры

**16-QAM** 16-ary Quadrature Amplitude Modulation –16-ричная КАМ

**256-QAM** 256-ary Quadrature Amplitude Modulation –256-ричная КАМ

**64-QAM** 64-ary Quadrature Amplitude Modulation –64-ричная КАМ

**АСМ** Adaptive Coding and Modulation – Адаптивное Кодирование и Модуляция

**ВВ** BaseBand – Основная Полоса

**ВСН** Bose-Chaudhuri-Nocquenghem – код ВСН

**BICM** Bit Interleaved Coding and Modulation – Перемежение Бит, Кодирование и Модуляция  
**BPSK** Binary Phase Shift Keying – Двоичная Фазовая Манипуляция  
**CBR** Constant Bit Rate – Постоянная Битовая Скорость  
**CCM** Constant Coding and Modulation – Постоянное Кодирование и Модуляция  
**CI** Cell Interleaver – Перемежение Ячеек  
**CRC** Cyclic Redundancy Check – Циклическая Проверка Избыточности  
**D** Decimalnotation – Десятичная запись  
**DAC** Digital to Analogue Conversion – Цифро-аналоговый Преобразователь (ЦАП)  
**DBPSK** Differential Binary Phase Shift Keying – Дифференциальная Двоичная Фазовая Манипуляция  
**DFL** Data Field Length – Размер Поля Данных  
**DNP** Deleted Null Packets – Удаленные Нулевые Пакеты  
**DVB** Digital Video Broadcasting project – Проект «Цифровое Видеовещание»  
**DVB-T** DVB system for Terrestrial broadcasting – Система Наземного Цифрового Видеовещания  
**DVB-T2** – Система DVB-T2  
**EBU** European Broadcasting Union – Европейский Союз Вещателей  
**EIT** Event Information Table – Таблица «Информация о Событии»  
**FEC** Forward Error Correction – Упреждающее Исправление Ошибок  
**FEF** Future Extension Frame – Будущее Расширение Кадров  
**FFT** Fast Fourier Transform – Быстрое Преобразование Фурье (БПФ)  
**FIFO** First In First Out  
**GCS** Generic Continuous Stream – Обобщенный Непрерывный Поток  
**GF** GaloisField – Поле Галуа  
**GFPS** Generic Fixed-length Packetized Stream Обобщенный Пакетированный поток с фиксированным размером пакета  
**GS** Generic Stream – Поток Общего Назначения  
**GSE** Generic Stream Encapsulation – Инкапсуляция Общего Потока  
**HDTV** High Definition Television – Телевидение Высокой Чёткости  
**HEM** High Efficiency Mode – Режим Высокой Эффективности  
**HEX** Hexadecimal notation – Шестнадцатеричное Представление  
**IF** Intermediate Frequency – Промежуточная Частота  
**IFFT** Inverse Fast Fourier Transform – Обратное Быстрое Преобразование Фурье (ОБПФ)  
**ISCR** Input Stream Clock Reference – Опорные Часы Входного Потока  
**ISI** Input Stream Identifier – Идентификатор Входного Потока  
**ISSY** Input Stream SYNchronizer – Синхронизатор Входного Потока  
**ISSYI** Input Stream SYNchronizer Indicator – Индикатор Синхронизатора Входного Потока  
**LDPC** Low Density Parity Check (codes) – LDPC (коды)  
**LSB** Least Significant Bit – Наименьший Значащий Бит  
**MIS** Multiple Input Stream – Множественный Входной Поток  
**MISO** Multiple Input, Single Output – Несколько Входов, Один Выход – несколько передающих антенн и одна приёмная  
**MODCOD** MODulationan CODing – Модуляция и Кодирование  
**MPEG** Moving Pictures Experts Group – MPEG  
**MSB** Most Significant Bit – Наибольший Значащий Бит  
 ПРИМЕЧАНИЕ: В DVB-T2 MSB всегда передается первым.  
**MSS** Modulation Signalling Sequences – Сигнальные Последовательности Модуляции  
**NA** Not Applicable – Не применимо  
**NM** Normal Mode – Обычный Режим  
**NPD** Null-Packet Deletion – Удаление Нуль-Пакетов

**OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplex – Мультиплекс с Ортогональным Частотным Разделением

**O-UPL** Original User Packet Length – Размер Исходного Пакета Пользователя

**PAPR** Peak to Average Power Ratio – Отношение Пиковой Мощности к Средней

**PCR** Programme Clock Reference – Опорные Часы Программы

**PER** (MPEG TS) Packet Error Rate – Коэффициент Пакетных Ошибок

**PID** Packet Identifier – Идентификатор Пакета

**PLL** Phase Locked Loop – Контур Системы Фазовой Автоподстройки

**PLP** Physical Layer Pipe – Канал Физического Уровня

**PRBS** Pseudo Random Binary Sequence – Псевдослучайная Бинарная Последовательность

**QEF** Quasi Error Free – Квази-безошибочный (приём)

**QPSK** Quaternary Phase Shift Keying – Квадратурная Фазовая Манипуляция

**RF** Radio Frequency – Радио Частота

**SDT** Service Description Table – Таблица Описания Сервиса

**SIS** Single Input Stream – Единственный входной Поток

**SISO** Single Input Single Output – Один Вход Один Выход

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Означает: одна передающая и одна приемная антенна.

**SoAC** Sum of AutoCorrelation – Сумма Автокорреляций

**TDM** Time Division Multiplex – Мультиплексирование с Временным Разделением

**TF** Time/Frequency – Время/Частота

**TFS** Time-Frequency Slicing – Частотно-Временной Слайсинг

**TS** Transport Stream – Транспортный Поток

**TSPS** Transport Stream Partial Stream – Часть Транспортного Потока

**TSPSC** Transport Stream Partial Stream Common – Частичный Поток Общего Транспортного Потока

**TTO** Time To Output – «ВРЕМЯ НА ВЫХОД»

**TV** TeleVision – Телевидение

**UP** User Packet – Пакет Пользователя

**UPL** User Packet Length – Размер Пакета Пользователя

**VCM** Variable Coding and Modulation – Переменное Кодирование и Модуляция

### Форматы данных в таблицах приложения П7

bflbf – битовое поле, слева первый бит

bflbfzpb – битовое поле, слева первый бит, нулями после последнего бита к кратному 8 бит

uimbsf – целое число без знака, старший бит первый

grchof – остаточные полиномиальные коэффициенты, наивысший порядок первый