

DVB-T2

Стандарт наземного цифрового
телевизионного вещания
второго поколения

Требования при разработке

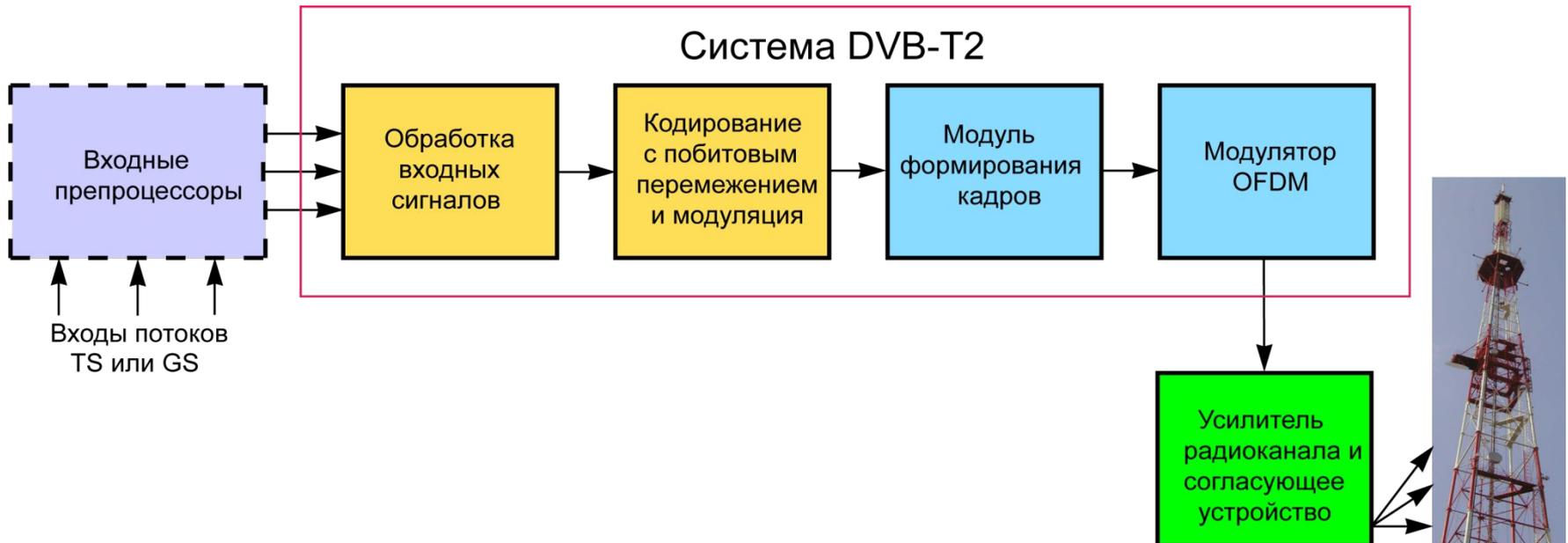
DVB-T2 (февраль 2006 г.,

исследовательский комитет консорциума
DVB Study Mission)

- обеспечение приема на существующие домашние антенны
- переход на новый стандарт не должен требовать изменения инфраструктуры передающей сети
- обеспечение, как минимум, 30-50%-ного прироста пропускной способности каналов относительно DVB-T при идентичных условиях передачи
- улучшение работы одночастотных сетей (SFN)
- реализация возможности сосуществования в одном РЧ-канале услуг, передаваемых с разной степенью помехоустойчивости
- повышение гибкости использования полосы и частот
- наличие механизма снижения отношения пиковой и средней мощности передаваемого сигнала и др.

DVB-T2 - базовые системы передачи цифрового наземного видеовещания второго поколения

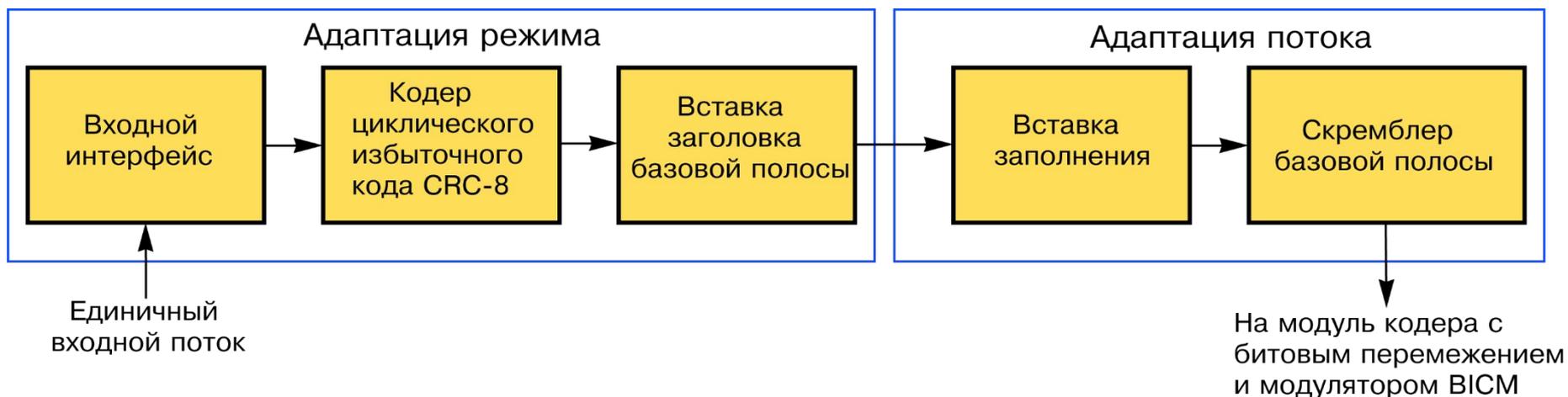
- определяет цифровой сигнал, модулированный таким образом, чтобы обеспечить совместимость между элементами оборудования, разработанными различными производителями; это достигается с помощью детального описания обработки сигнала на стороне модулятора, в то время как обработка на стороне приемника остается открытой для различных решений задачи реализации



Вход и выход системы

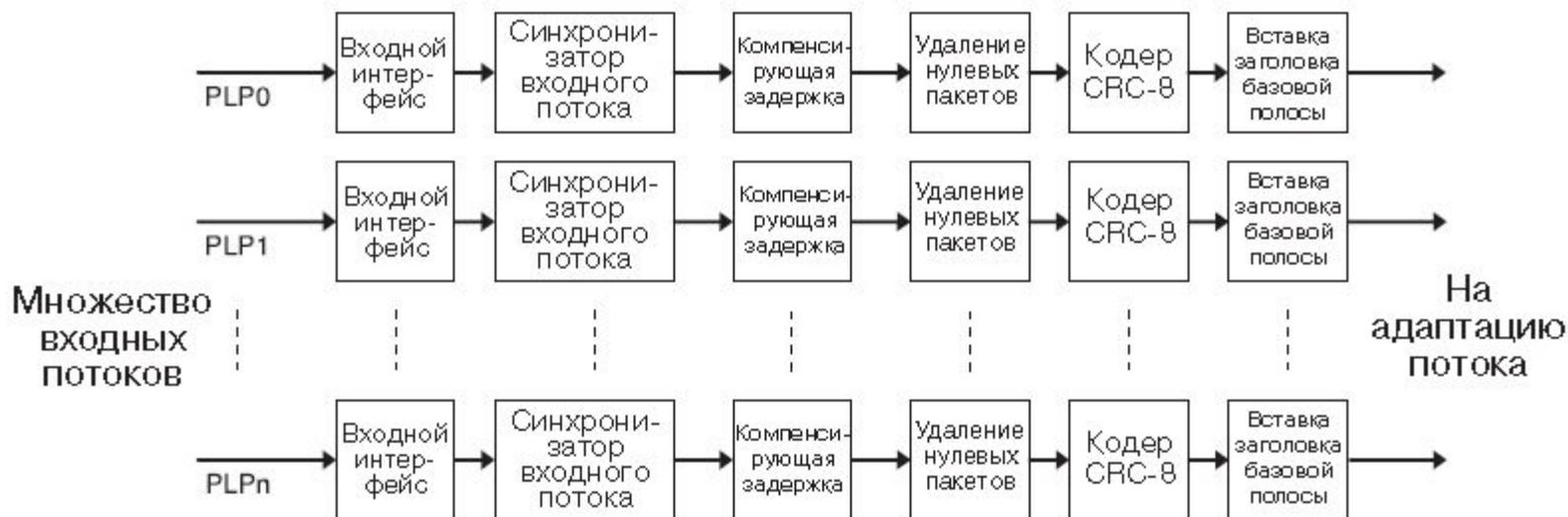
- на входе системы могут быть один или множество транспортных потоков MPEG-2 (TS) и/или один или множество общих потоков (GS)
- входной препроцессор, не являющийся частью системы T2, может включать в себя сплиттер сервисов или демультимплексор транспортных потоков (TS) для распределения сервисов на входы системы T2, представляющие собой один или множество логических потоков данных
- далее они передаются в индивидуальных магистральных физических уровнях (PLP)
- на выход системы обычно поступает один сигнал для передачи по одному отдельному РЧ каналу
- система может опционально генерировать второй набор выходных сигналов для передачи на вторую группу антенн в так называемом режиме передачи MISO
- максимальная скорость на входе любого транспортного потока TS, включая нулевые пакеты, должна составлять 100 Мбит/с, максимально достижимая пропускная способность после удаления нулевых пакетов, если оно применяется, составляет более 50 Мбит/с (в канале 8 МГц)

Блок-схема системы



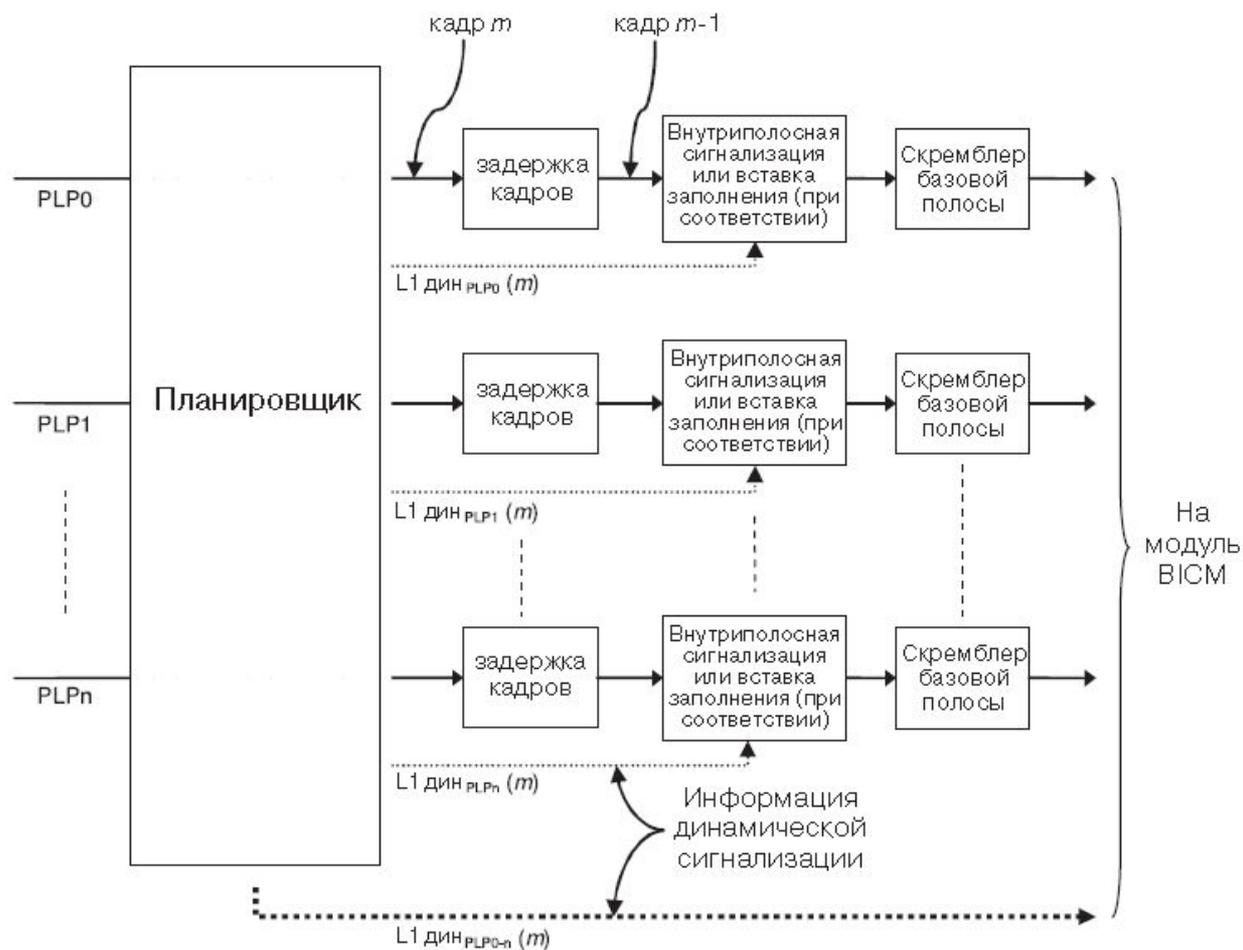
Модуль входной обработки для входного режима "А" (одна PLP)

Блок-схема системы



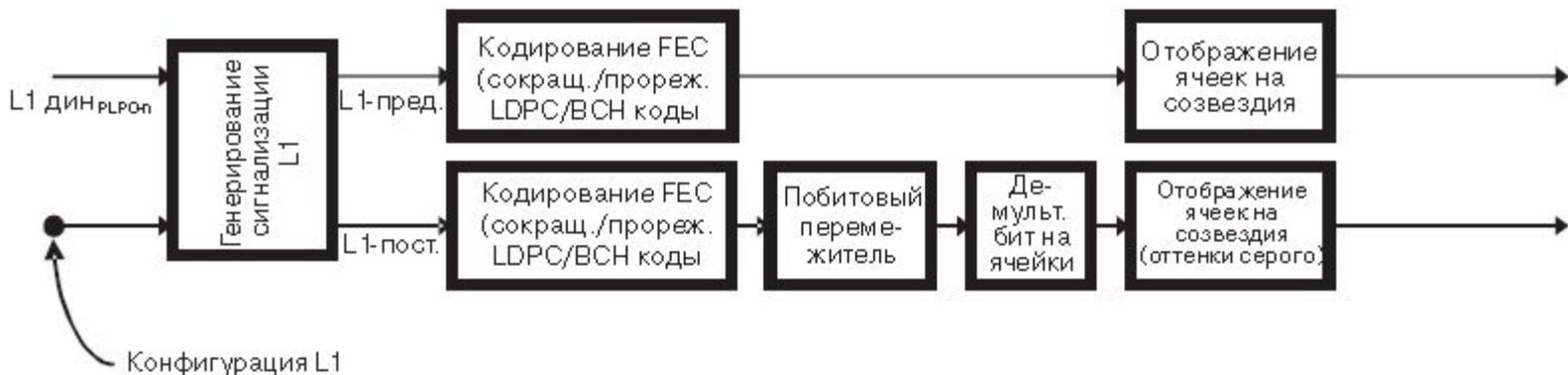
Адаптация режима для входного режима "В" (множество PLP)

Блок-схема системы



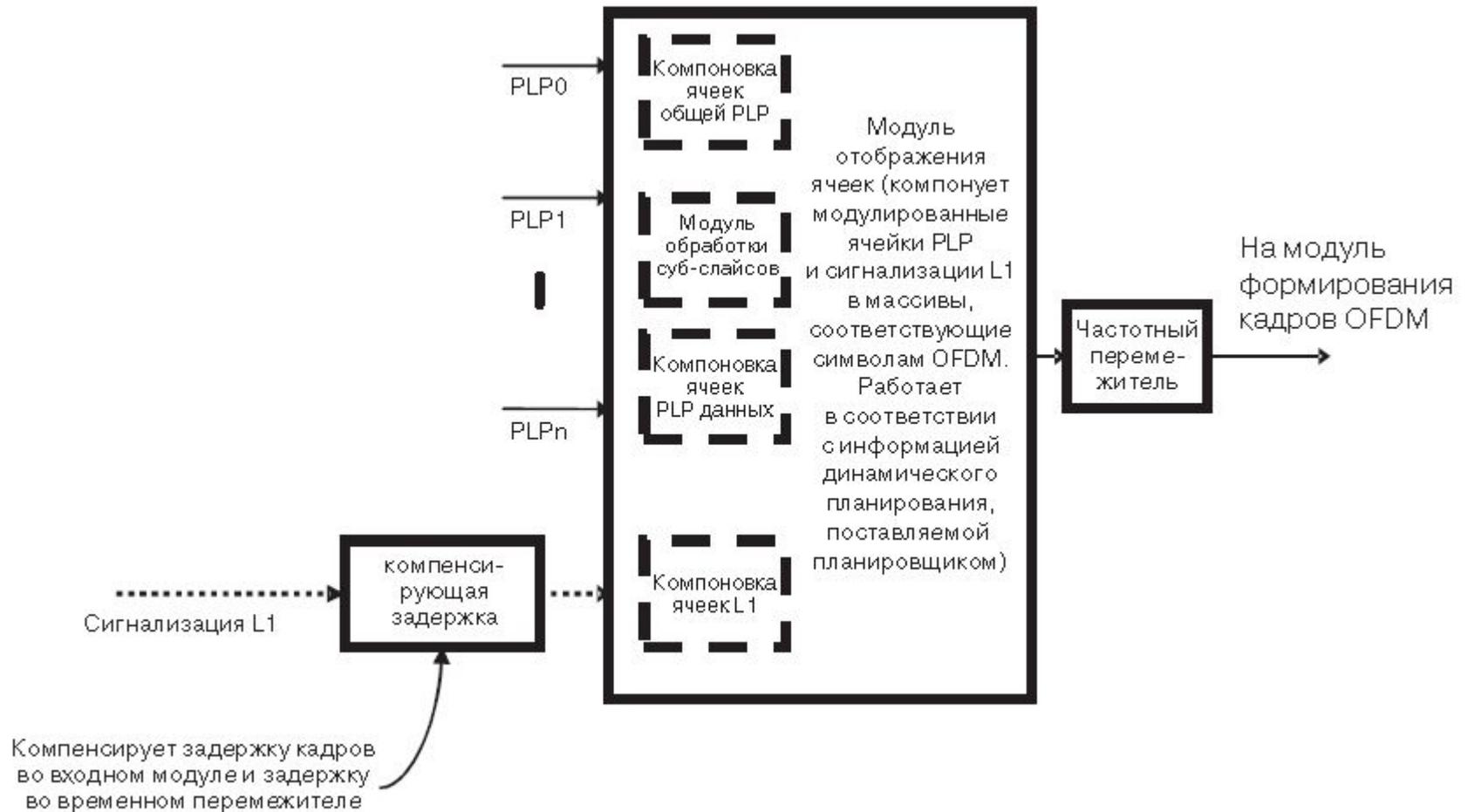
Адаптация потока для входного режима "В" (множество PLP)

Блок-схема системы



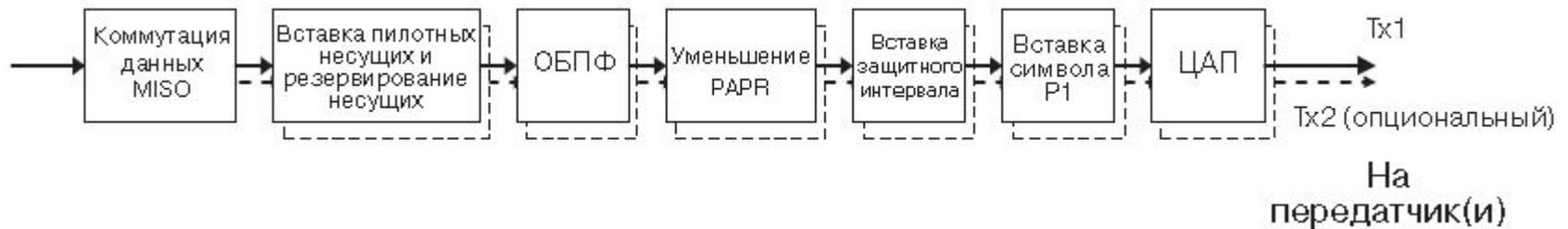
Кодирование с побитовым перемежением и модуляция (BICM)

Блок-схема системы



Модуль формирования кадров

Блок-схема системы



Формирование кадров OFDM

Когда уровень полученного сигнала превышает пороговое значение $C/N+I$,

принятый в Системе метод опережающей коррекции ошибок (FEC) обеспечивает «квазибезошибочный» (QEF) режим работы.

В DVB-T2 принимается следующее определение QEF: "менее одного неисправленного ошибочного события на час передачи на уровне 5 Мбит/с одного декодера ТВ сервиса", приблизительно соответствующее вероятности появления ошибочных пакетов $PER < 10^{-7}$ до демультимплексора.

Входная обработка – адаптация режима

- Вход системы T2 должен состоять из одного или из множества логических потоков данных. По одной магистрали физического уровня (PLP) передается один логический поток данных.
- Модули адаптации режима, по отдельности обрабатывающие содержимое каждой PLP, разбивают входной поток данных на поля данных, которые, после адаптации потока, должны сформировать кадры базовой полосы (BB-кадры).
- Модуль адаптации режима включает в себя входной интерфейс, за которым следуют три опциональных подсистемы (синхронизатор входного потока, удаление нулевых пакетов и кодер CRC-8), после которых в завершение он разбивает входной поток данных на поля данных и выполняет вставку заголовка базовой полосы в начале каждого поля данных.
- Каждая входная PLP может иметь один из четырех форматов.
- Модуль адаптации режима может обрабатывать входные данные в одном или двух режимах, в обычном режиме (NM) или в режиме с повышенной эффективностью (HEM). В режиме HEM могут быть выполнены дополнительные оптимизации конкретного потока для уменьшения накладных расходов сигнализации.
- В заголовке базовой полосы сигнализируются тип входного потока и режим обработки.

Входная обработка – адаптация режима

- Каждый входной поток (PLP) системы T2 должен быть привязан к определенному режиму модуляции и защиты FEC, который должен быть статически конфигурируемым
- Для каждой входной PLP возможен один из следующих форматов:
 - Транспортный поток (TS)
 - Общий инкапсулированный поток (GSE)
 - Общий непрерывный поток (GCS) (поток пакетов переменной длины, в котором модулятор не обращает внимания на границы пакетов)
 - Общий поток пакетов фиксированной длины (GFPS), формат сохранен для совместимости со стандартом DVB-S2, вместо нее будет использоваться поток GSE
- $0 < DFL < (K_{bch} - 80)$
DFL – длина поля данных
 K_{bch} – число бит, защищенных кодами BCH и LDPC

Удаление нулевых пакетов

- Требования, установленные для передачи TS, предусматривают, что скорости битовых потоков на выходе мультиплексора передатчиков и на входе демультимплексора приемников должны быть постоянными во времени, и сквозная задержка также должна быть постоянной
- В некоторых входных сигналах транспортных потоков может присутствовать большая доля нулевых пакетов с целью адаптации сервисов VBR в транспортных потоках с постоянной битовой скоростью; в этом случае во избежание излишних накладных расходов передачи нулевые пакеты TS должны быть удалены
- Процесс выполняется таким образом, чтобы удаленные нулевые пакеты могли быть повторно вставлены в приемнике в точности на то же самое место, где они находились первоначально, гарантируя таким образом постоянную скорость битового потока и избегая необходимости обновления временных меток (PCR)

Заголовок ВВ-фрейма (NM, NFM)

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

MATYPE (2 байта)	ISSY 2 старших бита (2 байта)	DFL (2 байта)	ISSY 1 младший бит (1 байт)	SYNCD (2 байта)	CRC-8 MODE (1 байт)
---------------------	-------------------------------------	------------------	--------------------------------------	--------------------	---------------------------

TS/GS (2 бита)	SIS/MIS (1 бит)	CCM/ACM (1 бит)	ISSYI (1 бит)	NPD (1 бит)	EXT (2 бита)
00 = GFPS 11 = TS 01 = GCS 10 = GSE	1 = единичный поток 0 = множество потоков	1 = CCM 0 = ACM	1 = включено 0 = выключено	1 = включено 0 = выключено	Зарезервировано для последующего использования (см. примечание)

Поле	Размер (байты)	Описание
MATYPE	2	Как определено выше
UPL	2	Длина пользовательского пакета в битах, в пределах [0,65535]
DFL	2	Длина поля данных в битах, в пределах [0,53760]
SYNC	1	Копия синхробайта пользовательского пакета
SYNCD	2	Расстояние в битах от начала поля DATA FIELD до первого полного пользовательского пакета (UP) поля данных. SYNCD=0 _D означает, что первый UP выровнен по началу поля данных. SYNCD = 65535 _D означает, что ни один из UP не начинается в поле DATA FIELD.
CRC-8 MODE	1	Операция XOR, примененная к полю CRC-8 (1 байт) и полю MODE (1 байт). CRC-8 – код обнаружения ошибок, применяемый к первым 9 байтам заголовка ВВHEADER (см. Приложение F). MODE (8 бит) должно обозначать: <ul style="list-style-type: none"> 0_D Обычный режим 1_D Режим с повышенной эффективностью Прочие значения: зарезервированы для последующего использования.

ISSY – input stream synchronization

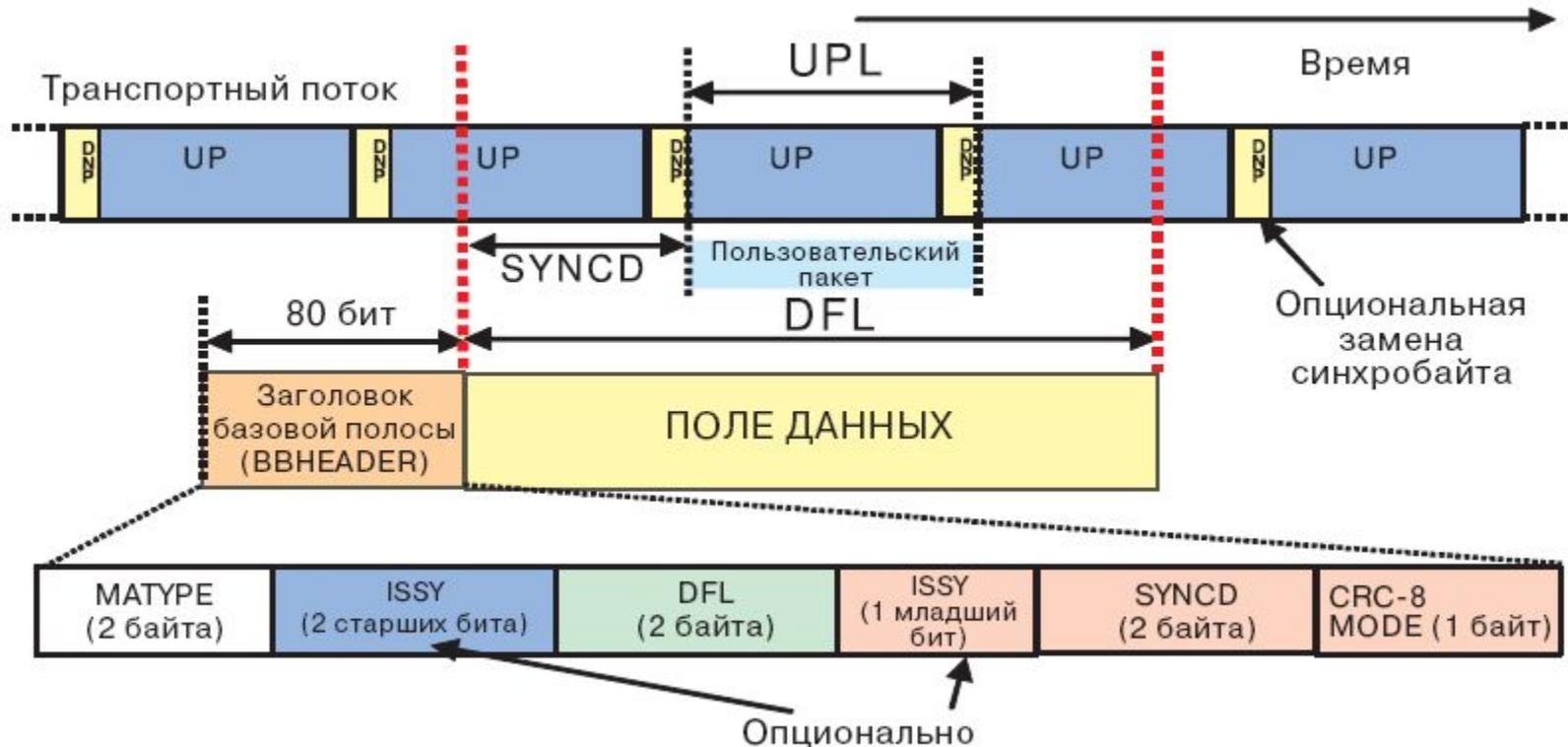
ISSYI – ISSY indication

SIS/MIS – single/multiple input stream

CCM/ACM – constant/adaptive coding and modulation

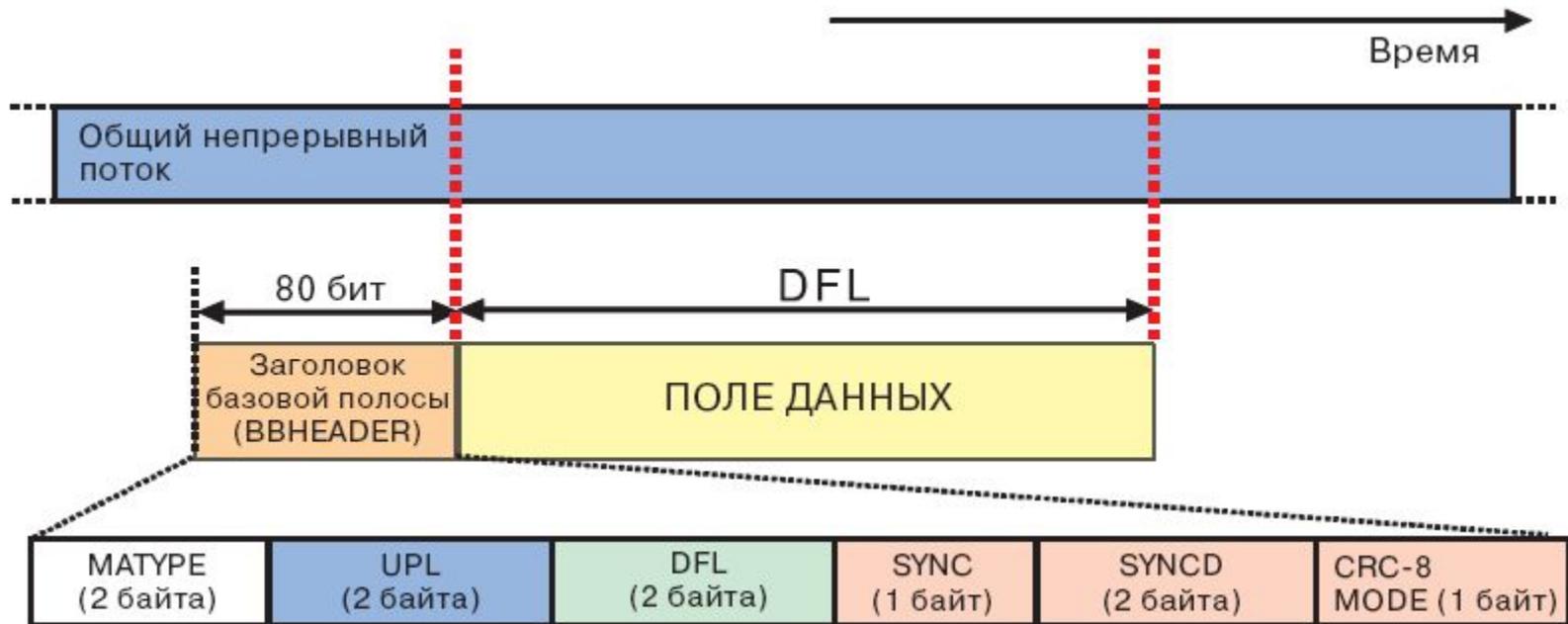
NDP – null packets deletion

Формат ВВ-фрейма



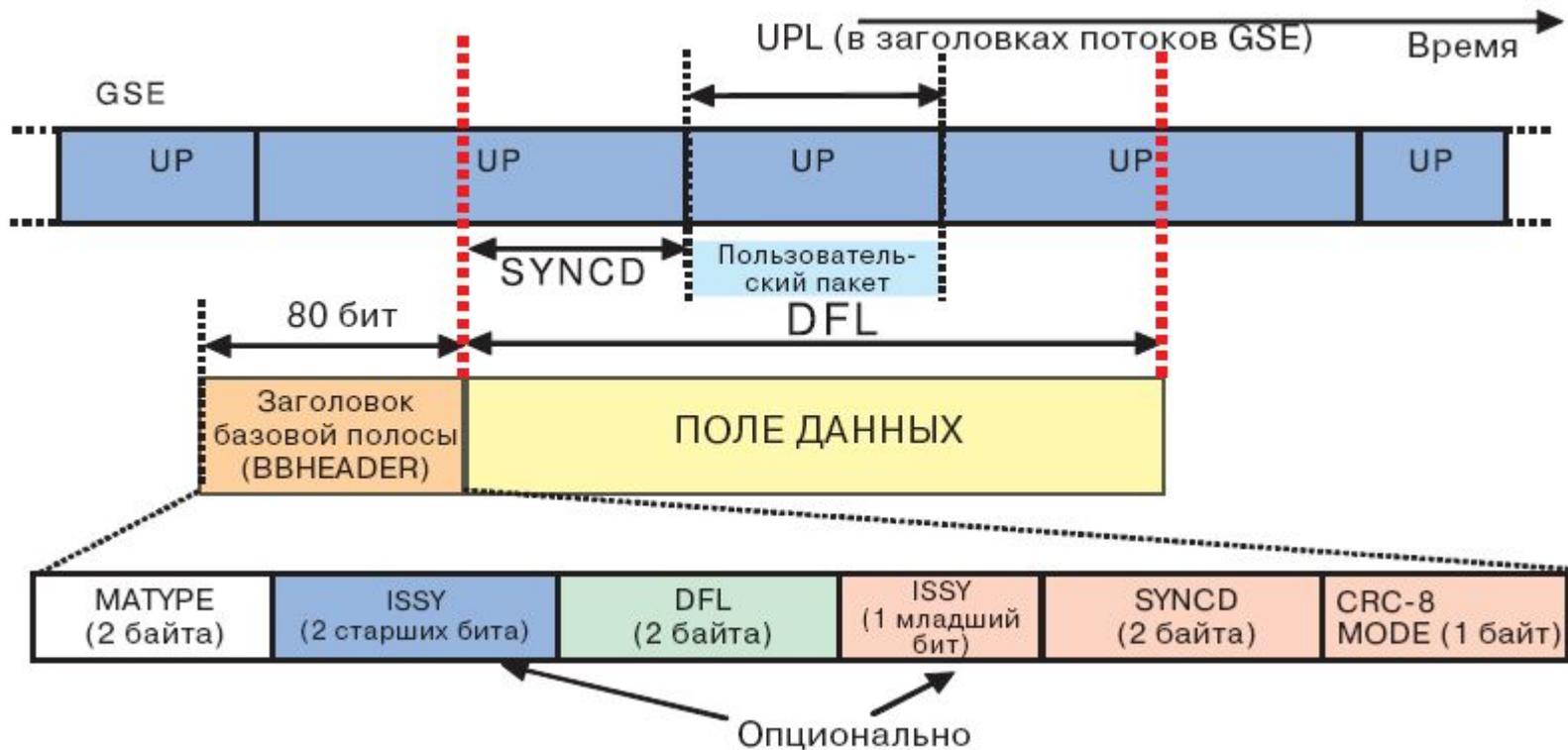
Формат потока на выходе адаптера режима, режим с повышенной эффективностью (HEM) для транспортных потоков (TS), (CRC-8 для пользовательских пакетов не вычисляется, опциональное единичное поле ISSY вставляется в заголовок базовой полосы, UPL не передается)

Формат ВВ-фрейма



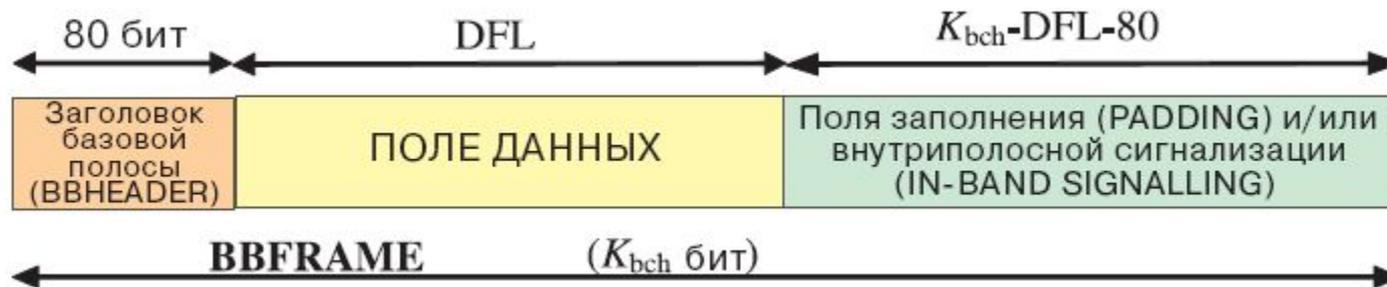
Формат потока на выходе адаптера режима, обычный режим (NM), потоки GSE и GCS

Формат ВВ-фрейма

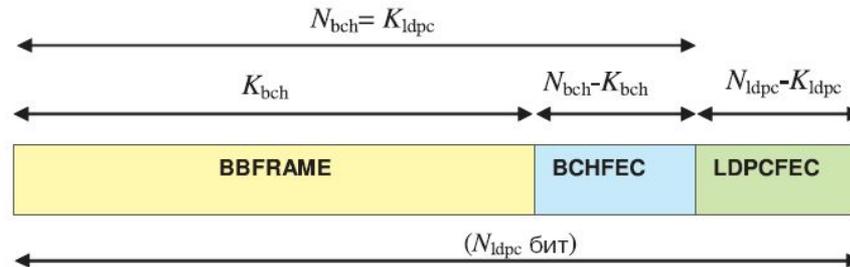


Формат потока на выходе адаптера режима, режим с повышенной эффективностью (HEM) для потоков GSE, (CRC-8 для пользовательских пакетов не вычисляется, опциональное единичное поле ISSY вставляется в заголовок базовой полосы, UPL не передается)

Скремблирование ВВ-фрейма



Кодирование с опережающей коррекцией ошибок (FEC)



LDPC-код	Некодированный блок БЧХ-кода K_{bch}	Кодированный блок БЧХ-кода N_{bch} Некодированный блок LDPC-кода K_{ldpc}	Коррекция t ошибок БЧХ-кода	$N_{bch} - K_{bch}$	Кодированный блок LDPC-кода N_{ldpc}
1/2	32 208	32 400	12	192	64 800
3/5	38 688	38 880	12	192	64 800
2/3	43 040	43 200	10	160	64 800
3/4	48 408	48 600	12	192	64 800
4/5	51 648	51 840	12	192	64 800
5/6	53 840	54 000	10	160	64 800

Идентификатор LDPC-кода	Некодированный блок БЧХ-кода K_{bch}	Кодированный блок БЧХ-кода N_{bch} Некодированный блок LDPC-кода K_{ldpc}	Коррекция t ошибок БЧХ-кода	$N_{bch} - K_{bch}$	Эффективная скорость LDPC-кода $K_{ldpc}/16200$	Кодированный блок LDPC-кода N_{ldpc}
1/4 (см. прим.)	3 072	3 240	12	168	1/5	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
4/5	12 432	12 600	12	168	7/9	16 200
5/6	13 152	13 320	12	168	37/45	16 200

ПРИМЕЧАНИЕ: Эта кодовая скорость используется только для защиты сигнализации предобработки L1, но не для защиты данных.

Побитовое перемежение

Выход кодера LDPC должен подвергаться побитовому перемежению, которое состоит из перемежения проверочных бит, за которым следует перемежение со сдвигом начала столбцов

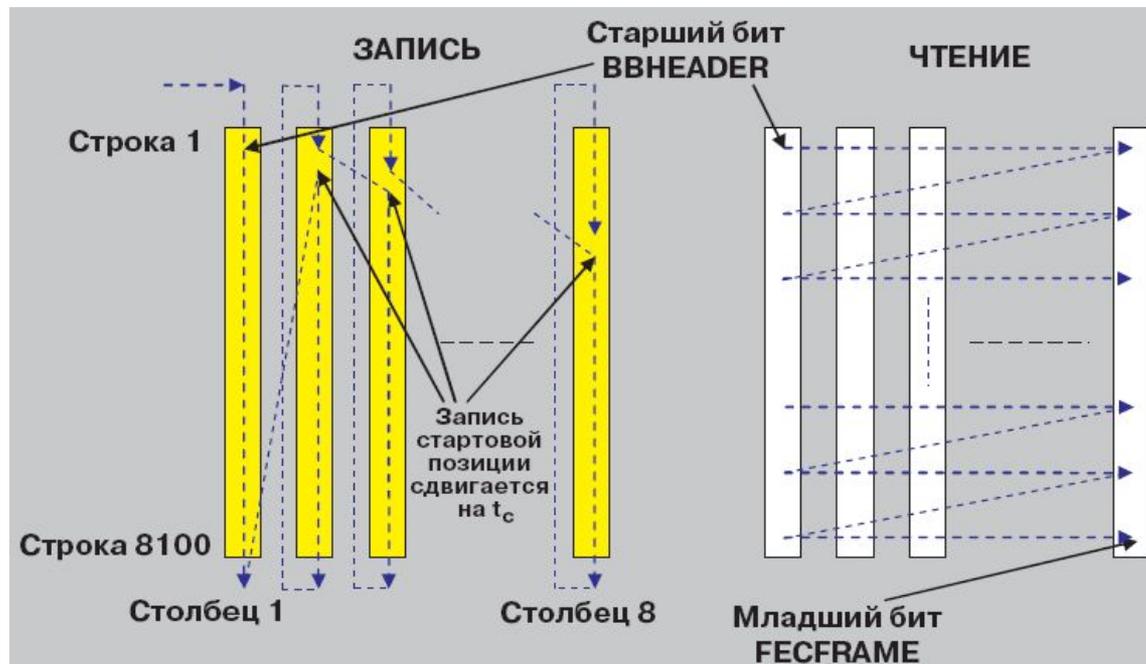


Схема побитового перемежения для кадров FECFRAME обычной длины и 16QAM

Побитовое отображение на созвездие

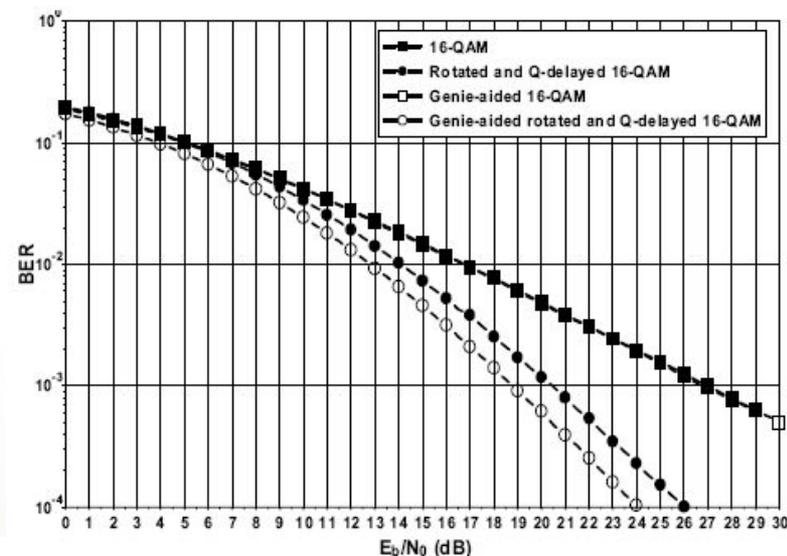
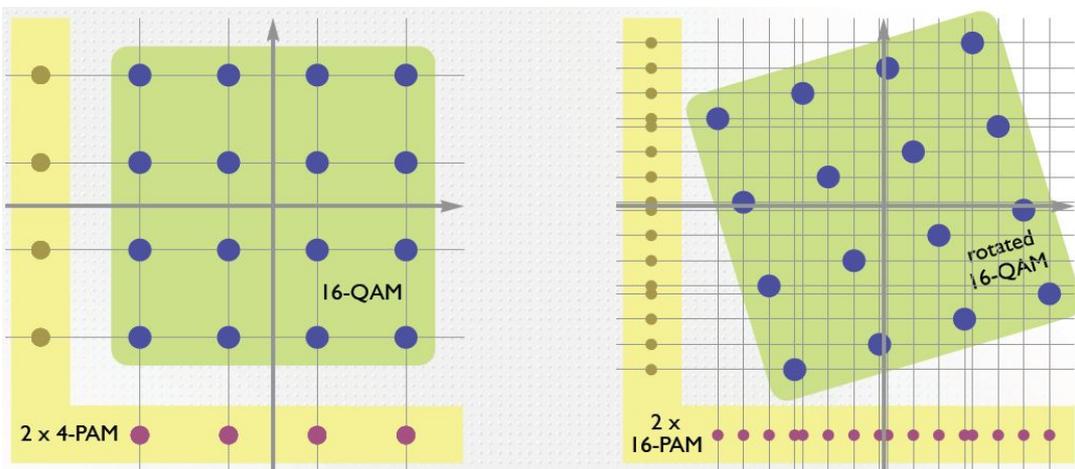
- Каждый кадр FECFRAME (представляющий собой последовательность из 64800 бит для обычного кадра FECFRAME или 16200 бит для сокращенного кадра FECFRAME), должен быть преобразован в кодированный и модулированный FEC-блок
- Для этого входные биты сначала демультиплексируются на параллельные кодовые слова ячеек (cell word), и затем эти слова отображаются на значения созвездий (η_{MOD} - эффективное число бит на ячейку)

Длина блока LDPC-кода (N_{ldpc})	Режим модуляции	η_{MOD}	Число выходных ячеек данных
64800	256-QAM	8	8 100
	64-QAM	6	10 800
	16-QAM	4	16 200
	QPSK	2	32 400
16200	256-QAM	8	2 025
	64-QAM	6	2 700
	16-QAM	4	4 050
	QPSK	2	8 100

Поворот созвездия

- Если используется поворот созвездия, то нормализованные значения ячеек каждого FEC-блока, поступающие от модуля отображения созвездий, поворачиваются в комплексной плоскости, а мнимая часть циклически задерживается на одну ячейку в пределах FEC-блока
- Угол поворота Φ зависит от модуляции
- Поворот созвездий должен использоваться только для общих PLP и PLP данных

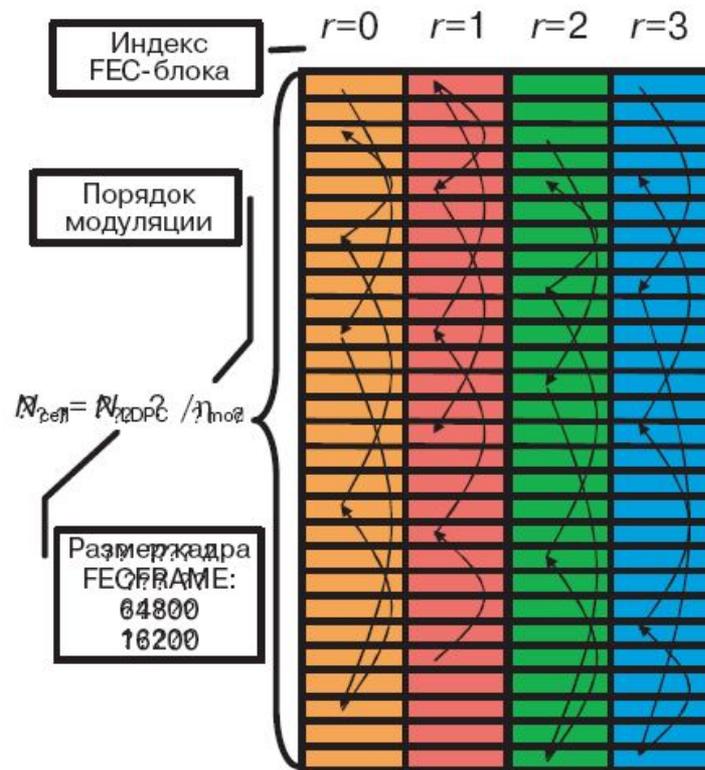
Модуляция	QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
Φ (градусов)	29,0	16,8	8,6	$\text{atan}(1/16)$



BER at the output of the 16-QAM demapper for a transmission over flat fading Rayleigh channel.

Перемежитель ячеек

Псевдослучайный перемежитель ячеек должен равномерно распределять ячейки в кодовом слове FEC-кода, чтобы обеспечить в приемнике некоррелированный набор канальных искажений и интерференции на протяжении кодовых слов FEC, и должен дифференциально "поворачивать" последовательность перемежения в каждом из FEC-блоков одного блока временного перемежения

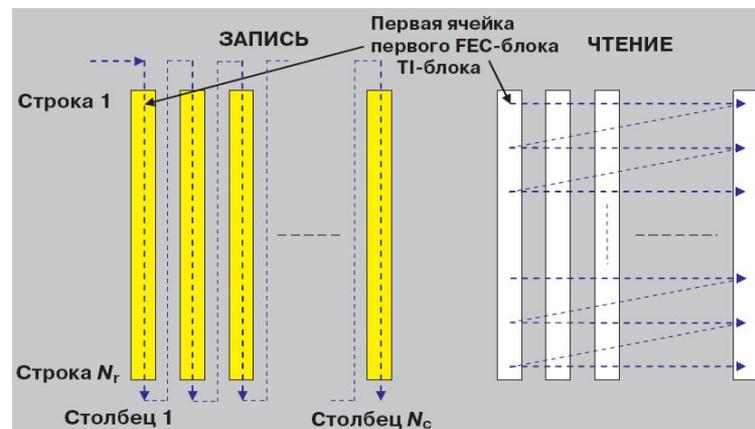
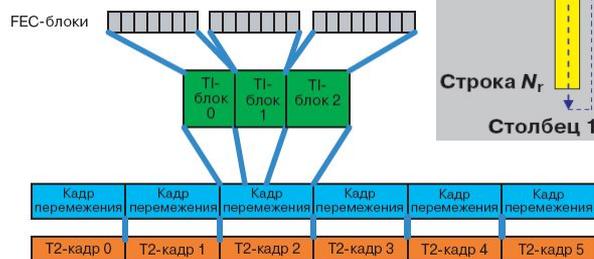
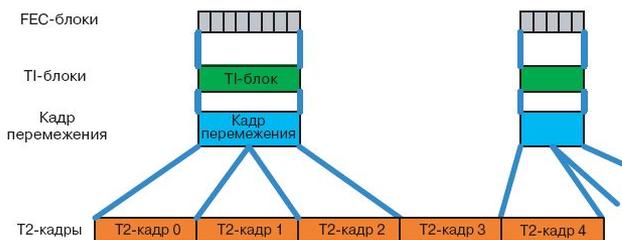
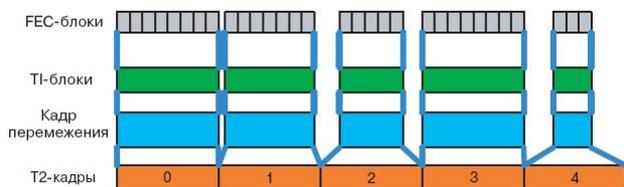


Временной перемежитель

- Временной перемежитель (Т1) должен работать на уровне PLP
- Для различных PLP в системе Т2 параметры временного перемежения могут быть различными
- FEC-блоки, поступающие от перемежителя ячеек для каждой PLP, должны быть сгруппированы в кадры перемежения
- Каждый кадр перемежения должен содержать динамически изменяющееся целое число FEC-блоков
- Каждый кадр перемежения либо отображается непосредственно на один Т2-кадр, либо распространяется на множество Т2-кадров
- Каждый кадр перемежения делится на один или множество Т1-блоков, где Т1-блок соответствует однократному использованию памяти временного перемежителя
- Если кадр перемежения делится на множество Т1-блоков, он должен отображаться только на один Т2-кадр

Временной перемежителю

- Три режима временного перемежения:
 - каждый кадр перемежения содержит один Т1-блок и отображается в точности на один Т2-кадр
 - каждый кадр перемежения содержит один Т1-блок и отображается на множество Т2-кадров (более одного), это дает больший временной разнос для низкоскоростных сервисов передачи данных
 - каждый кадр перемежения отображается в точности на один Т2-кадр, и кадр перемежения делится на множество Т1-блоков



Частотный перемежитель

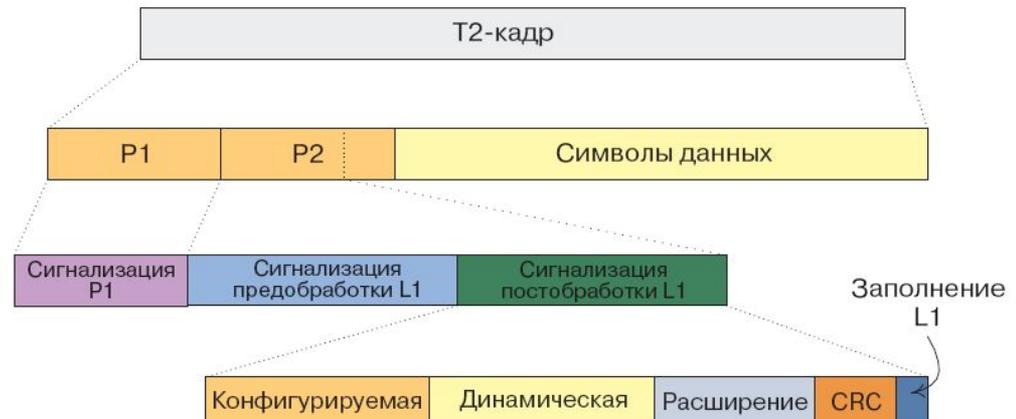
- Частотный перемежитель, обрабатывающий ячейки данных одного символа OFDM, предназначен для отображения ячеек данных, поступающих от модуля формирования кадров, на N_{data} несущих данных, доступных в каждом символе
- Частотные перемежители различаются для всех режимов:
1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k

Сигнализация уровня 1 (L1)

- Сигнализация L1 обеспечивает приемник средствами доступа к магистралям физического уровня (PLP) в пределах T2-кадров
- Сигнализация L1 разделена на три основных сектора: сигнализация P1, сигнализация предобработки L1 и сигнализация постобработки L1
- Сигнализация P1, передаваемая в символе P1, предназначена для определения типа передачи и основных параметров передачи
- Остальная сигнализация передается в символе(ах) P2, в котором также могут передаваться данные
- Сигнализация предобработки L1 позволяет принимать и декодировать сигнализацию постобработки L1, которая, в свою очередь, передает параметры, необходимые приемнику для доступа к магистралям физического уровня

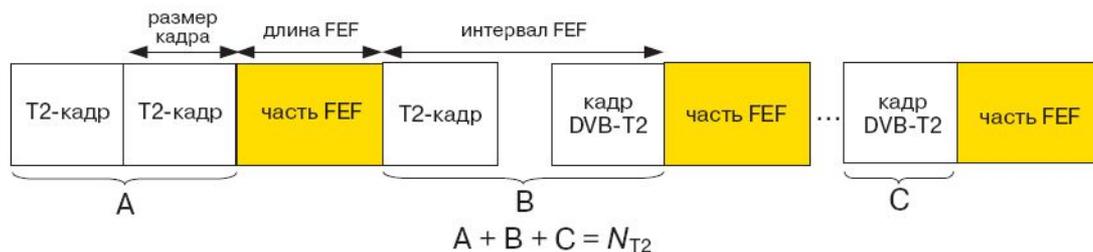
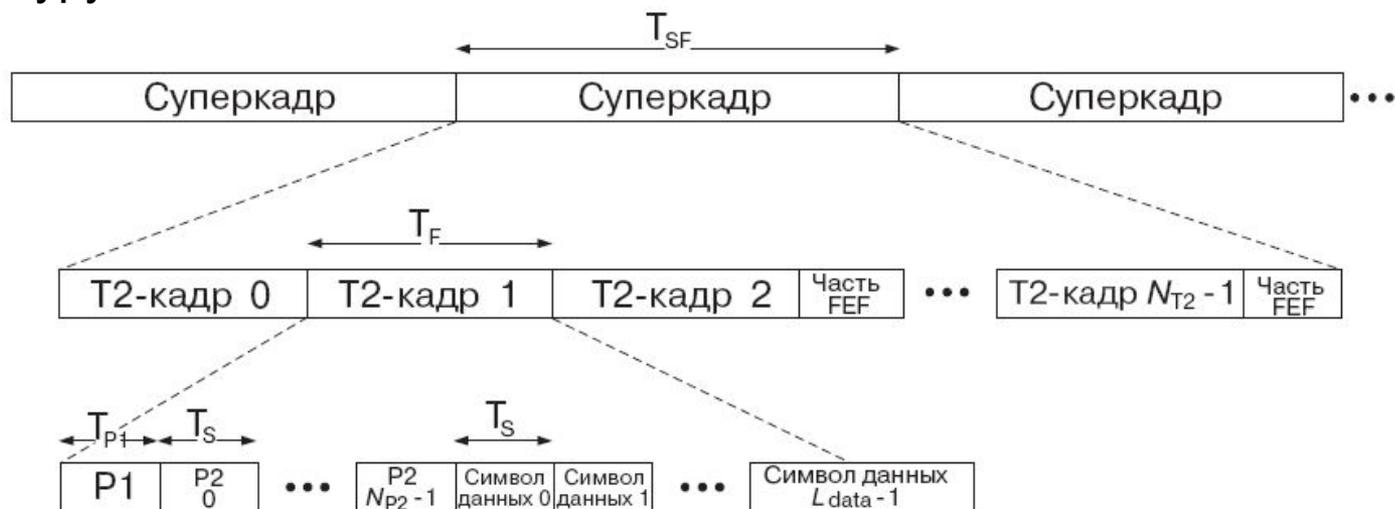
В дальнейшем сигнализация постобработки L1 разбивается на две основные части: конфигурируемую и динамическую, после которых могут следовать опциональные поля расширения

Сигнализация постобработки L1 заканчивается кодом CRC и заполнением (если требуется)



Кадровая структура T2

Функция модуля формирования кадров заключается в компоновке ячеек, генерируемых временными перемежителями для каждой PLP, и ячеек модулированных данных сигнализации L1 в массивы активных ячеек OFDM, соответствующие каждому из символов OFDM, составляющих общую кадровую структуру



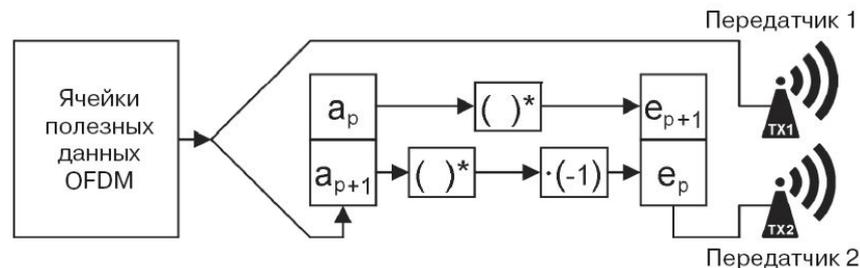
FEF – Future Extension Frame

T2 – кадр

- T2-кадр содержит один символ начального поля P1, за которым следуют один или множество символов начального поля P2, за которыми следует конфигурируемое количество символов данных
- В определенных сочетаниях длины БПФ, защитного интервала и расположения пилотных несущих последний символ данных должен быть последним символом кадра
- Символы P1 отличаются от обычных символов OFDM, и их вставка выполняется позже
- Символ(ы) P2 следуют сразу после символа P1, основное назначение символа(ов) P2 – передача данных сигнализации L1
- Длительность T2-кадра определяется выражением $T_F = L_F \times T_s + T_{P1}$,
 T_s – общая длительность символа OFDM, T_{P1} – длительность символа P1, максимальное значение длительности кадра T_F должно быть равно 250 мс

Формирование кадров OFDM

- Модуль формирования кадров OFDM выполняет следующие функции:
 - берет ячейки, генерируемые модулем формирования кадров, в качестве коэффициентов частотной области
 - выполняет вставку соответствующей опорной информации, называемой пилотной, которая позволяет приемнику компенсировать искажения канала передачи; при этом он создает основу для передачи сигнала во временной области
 - выполняет вставку защитных интервалов и, в соответствующих случаях, применяет обработку с уменьшением PAPR для получения полного сигнала T2
- Опциональная начальная стадия, называемая режимом MISO, позволяет обрабатывать исходные коэффициенты частотной области с помощью преобразованного кодирования Аламуги, позволяющего разделить сигнал T2 между двумя группами передатчиков на одной и той же частоте таким образом, чтобы между двумя группами не возникало взаимных помех



Модуляция

Если не применяется ни FEF, ни уменьшение PAPR, генерируемый сигнал определяется 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

$$\psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k'}{T_U}(t - \Delta - T_{P1} - lT_S - mT_F)} & mT_F + T_{P1} + lT_S \leq t \leq mT_F + T_{P1} + (l+1)T_S \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

и:

k – обозначает число несущих;

l – обозначает число символов OFDM, начиная с 0, для первого символа P2 кадра;

m – обозначает число T2-кадров;

K_{total} – число переданных несущих,

L_F – число символов OFDM на кадр;

T_S – общая длительность символа для всех символов, исключая P1, и $T_S = T_U + \Delta$;

T_U – активная длительность символа,

Δ – длительность защитного интервала,

f_c – центральная частота РЧ сигнала;

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

$c_{m,l,k}$ – комплексное модулирующее значение для несущей k символа OFDM номер l в T2-кадре номер m ;

T_{P1} – длительность символа P1, заданная выражением $T_{P1} = 2048T$, T определено ниже.

T_F – длительность кадра, $T_F = L_F T_S + T_{P1}$.

$p_1(t)$ – форма сигнала P1

Возможные полосы сигнала

Ширина полосы	1,7 МГц	5 МГц	6 МГц	7 МГц	8 МГц	10 МГц (см. примечание)
Элементарный период T	71/131 μ s	7/40 μ s	7/48 μ s	1/8 μ s	7/64 μ s	7/80 μ s
ПРИМЕЧАНИЕ: Данная конфигурация предназначена только для профессиональных приложений и, как ожидается, не будет поддерживаться бытовыми приемниками.						

Параметры OFDM

Параметр		Режим 1К	Режим 2К	Режим 4К	Режим 8К	Режим 16К	Режим 32К
Число несущих K_{total}	обычный режим несущих	853	1 705	3 409	6 817	13 633	27 265
	расширенный режим несущих	Н/П	Н/П	Н/П	6 913	13 921	27 841
Значение числа несущих K_{min}	обычный режим несущих	0	0	0	0	0	0
	расширенный режим несущих	Н/П	Н/П	Н/П	0	0	0
Значение числа несущих K_{max}	обычный режим несущих	852	1 704	3 408	6 816	13 632	27 264
	расширенный режим несущих	Н/П	Н/П	Н/П	6 912	13 920	27 840
Число несущих K_{ext} , добавляемое с каждой стороны в расширенном режиме несущих (см. примечание 2)		0	0	0	48	144	288
Длительность T_U		1024T	2048T	4096T	8192T	16384T	32768T
Длительность T_U μ s (см. примечание 3)		112	224	448	896	1792	3584
Интервал между несущими $1/T_U$ (Гц) (см. примечания 1 и 2)		8 929	4 464	2 232	1 116	558	279
Интервал между несущими K_{min} и K_{max} ($K_{total}-1$)/ T_U (см. примечание 3)	обычный режим несущих	7,61 МГц	7,61 МГц				
	расширенный режим несущих	Н/П	Н/П	Н/П	7,71 МГц	7,77 МГц	7,77 МГц

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Численные значения, данные курсивом, являются приблизительными.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Это значение используется при определении последовательности пилотных несущих, как в обычном, так и в расширенном режиме несущих.

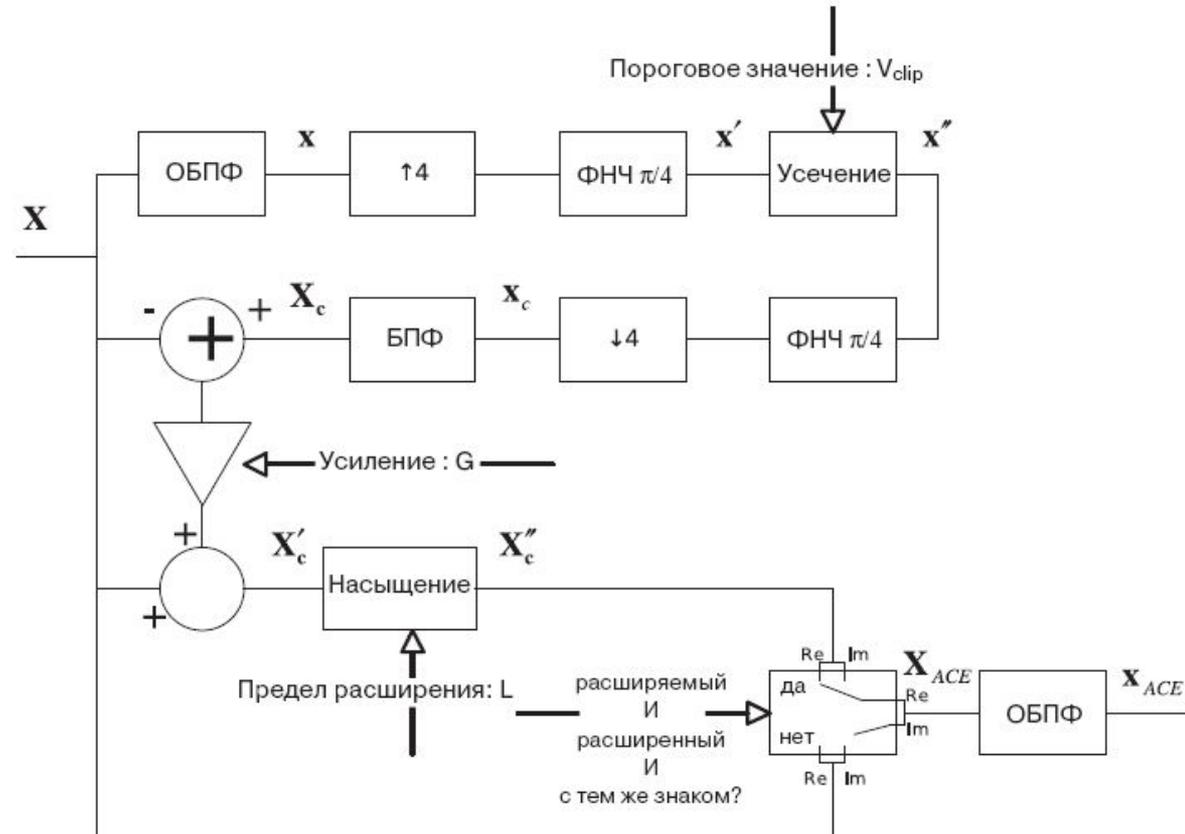
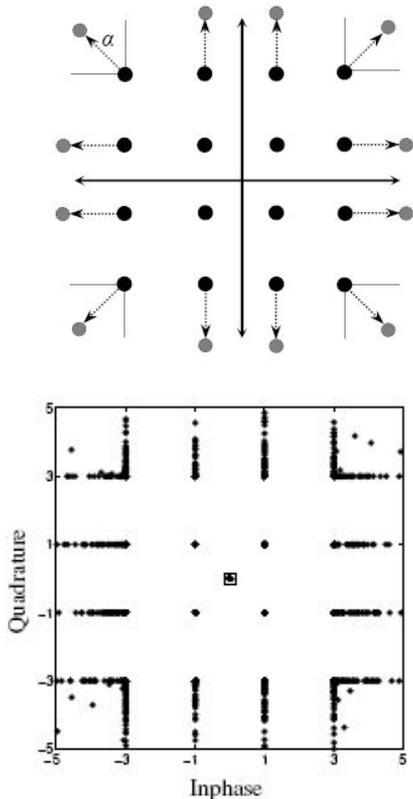
ПРИМЕЧАНИЕ 3: Значения для 8 МГц каналов.

PAPR — уменьшение отношения пиковой и средней мощностей

- Для уменьшения PAPR допускаются две модификации переданного сигнала OFDM: метод активного расширения созвездий и метод резервирования несущих
- Могут быть использованы один или оба метода одновременно
- Использование методов (или их отсутствие) должно быть указано в сигнализации
- Оба метода, в случае использования, применяются к активной части каждого символа OFDM (за исключением P1), и после этого должны быть вставлены защитные интервалы
- Метод активного расширения созвездий не должен применяться к пилотным или резервируемым несущим, а также в случае, если используются повернутые созвездия

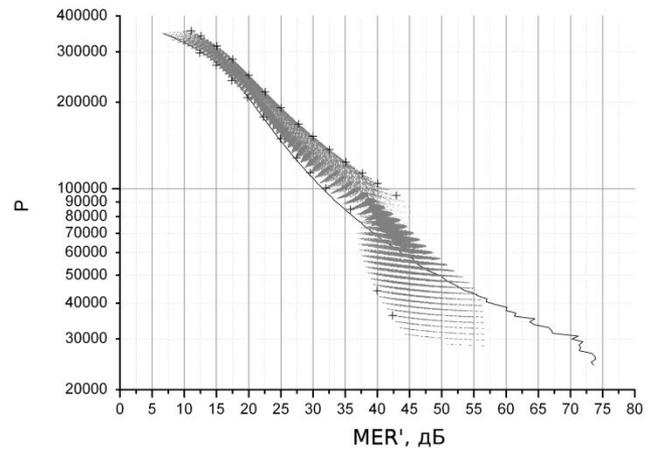
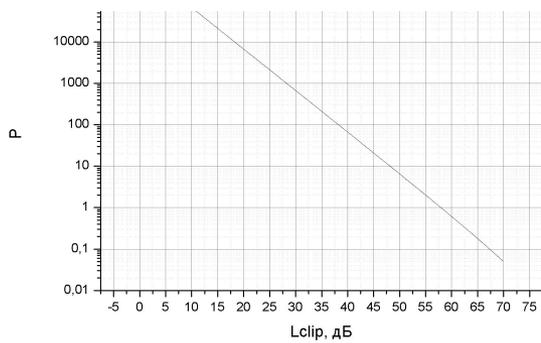
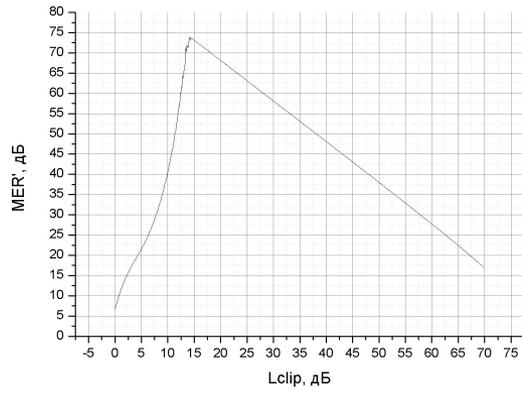
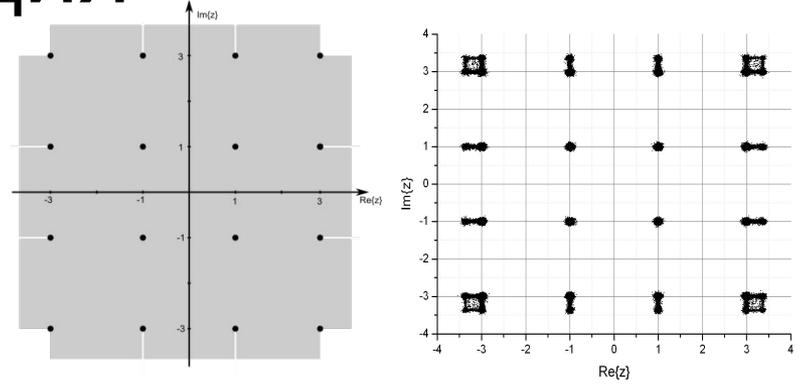
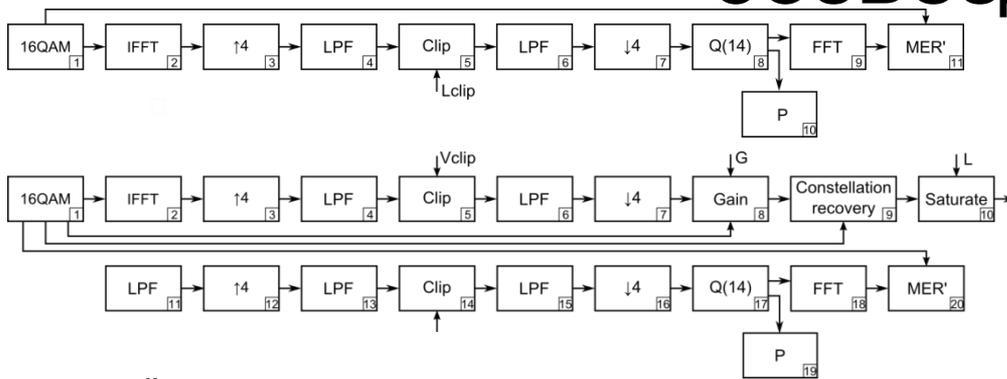
РАРР: активное расширение созвездия

- Active Constellation Extension - ACE
- Алгоритм активного расширения созвездий генерирует сигнал во временной области, который замещает исходный сигнал во временной области, генерированный с помощью ОБПФ из множества значений частотной области



РАРР: активное расширение

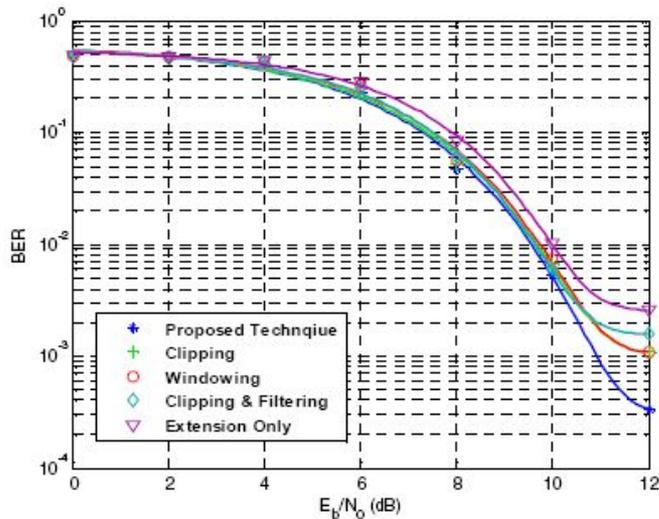
СОЗВЕЗДИЯ



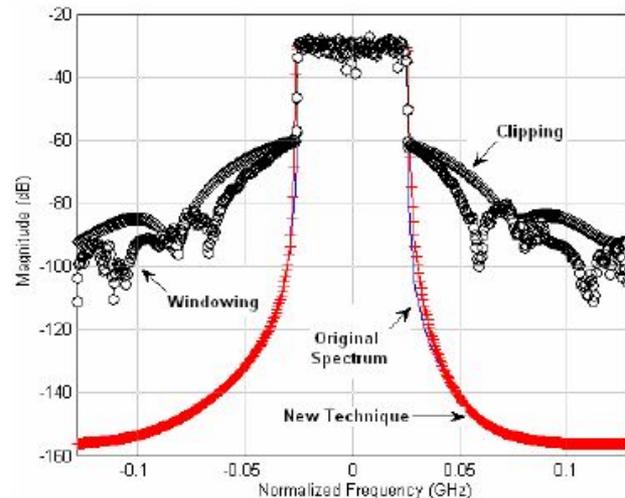
Применение алгоритма ACE для снижения пик-фактора позволяет получить выигрыш в мощности 1,85 дБ, при сохранении величины MER' в диапазоне от 40 до 45 дБ.

PAPR: использование зарезервированных несущих

- Зарезервированные несущие должны передавать произвольные комплексные величины, используемые для уменьшения PAPR
- Мощность сигнала каждой зарезервированной несущей не должна превышать 10-кратной средней мощности несущих данных
- Пиковые значения сигнала во временной области последовательно удаляются с помощью набора импульсноподобных ядер, образуемых с помощью зарезервированных несущих
- Значения зарезервированных несущих определяются итеративной процедурой



BER for a WiMax system using 16 QAM. PAPR reduction is 2.5dB for all techniques shown



Output Power Spectrum for PAPR reduction of 2.5dB for 16QAM IEEE802.16e system.

Длина БПФ (Число зарезервированных несущих)
1K (10)
2K (18)
4K (36)
8K (72)
16K (144)
32K (288)

Защитный интервал

Длина БПФ	Доля, занимаемая защитным интервалом (Δ/T_u)						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32К	256Т	1024Т	2048Т	2432Т	4096Т	4864Т	Н/П
16К	128Т	512Т	1024Т	1216Т	2048Т	2432Т	4096Т
8К	64Т	256Т	512Т	608Т	1024Т	1216Т	2048Т
4К	Н/П	128Т	256Т	Н/П	512Т	Н/П	1024Т
2К	Н/П	64Т	128Т	Н/П	256Т	Н/П	512Т
1К	Н/П	Н/П	64Т	Н/П	128Т	Н/П	256Т

- Определены семь различных долей, занимаемых защитным интервалом
- В генерируемый сигнал включается вставка защитных интервалов, если уменьшение PAPR не применяется
- Если уменьшение PAPR применяется, вставка защитных интервалов должна выполняться после уменьшения PAPR

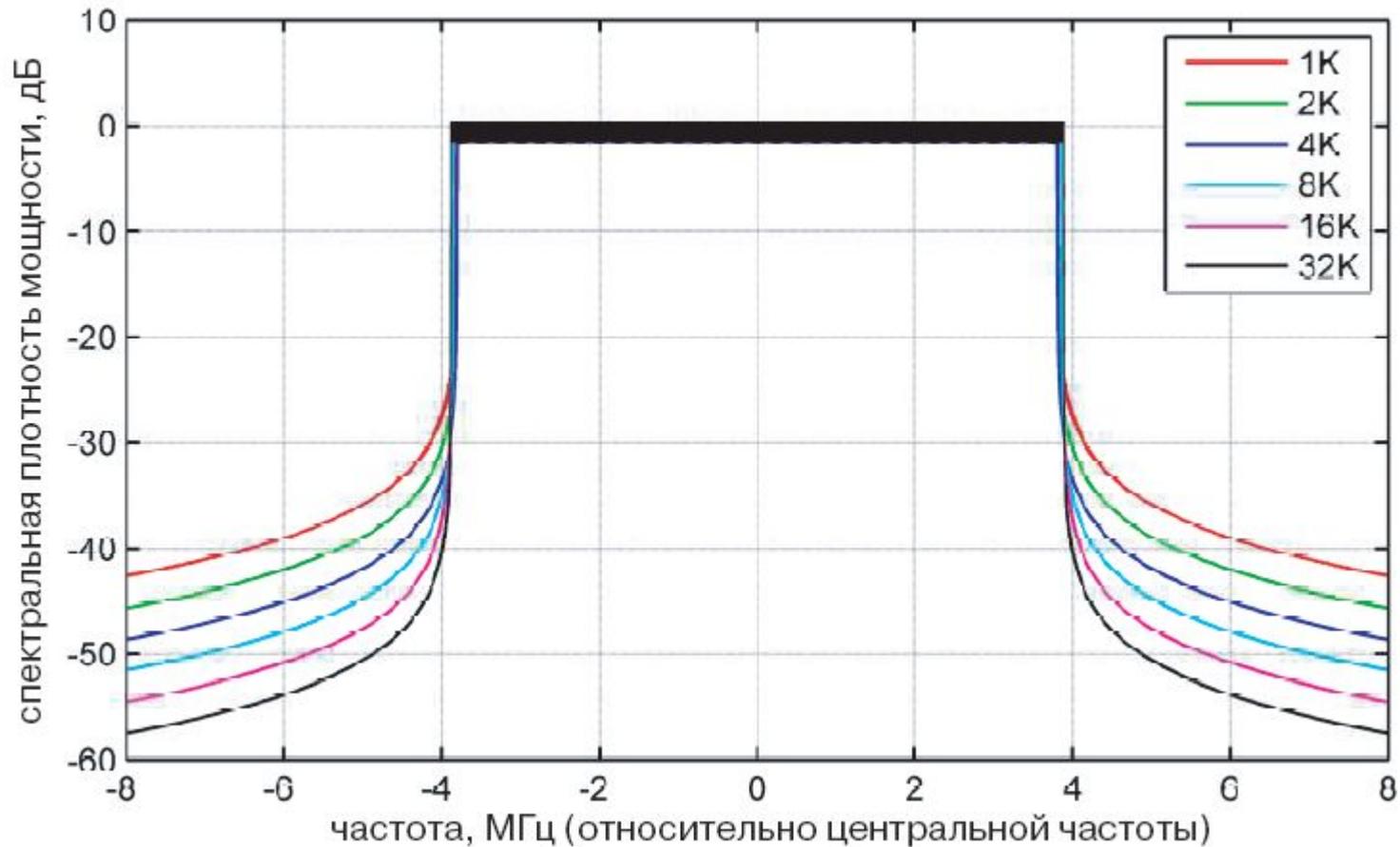
Характеристики спектра

- Символы OFDM состоят из равноотстоящих друг от друга ортогональных несущих
- Амплитуды и фазы несущих, соответствующих ячейкам данных, изменяются от символа к символу в соответствии с вышеописанным процессом отображения
- Спектральная плотность мощности $P_{k'}(f)$ каждой несущей на частоте

определяется следующим выражением:

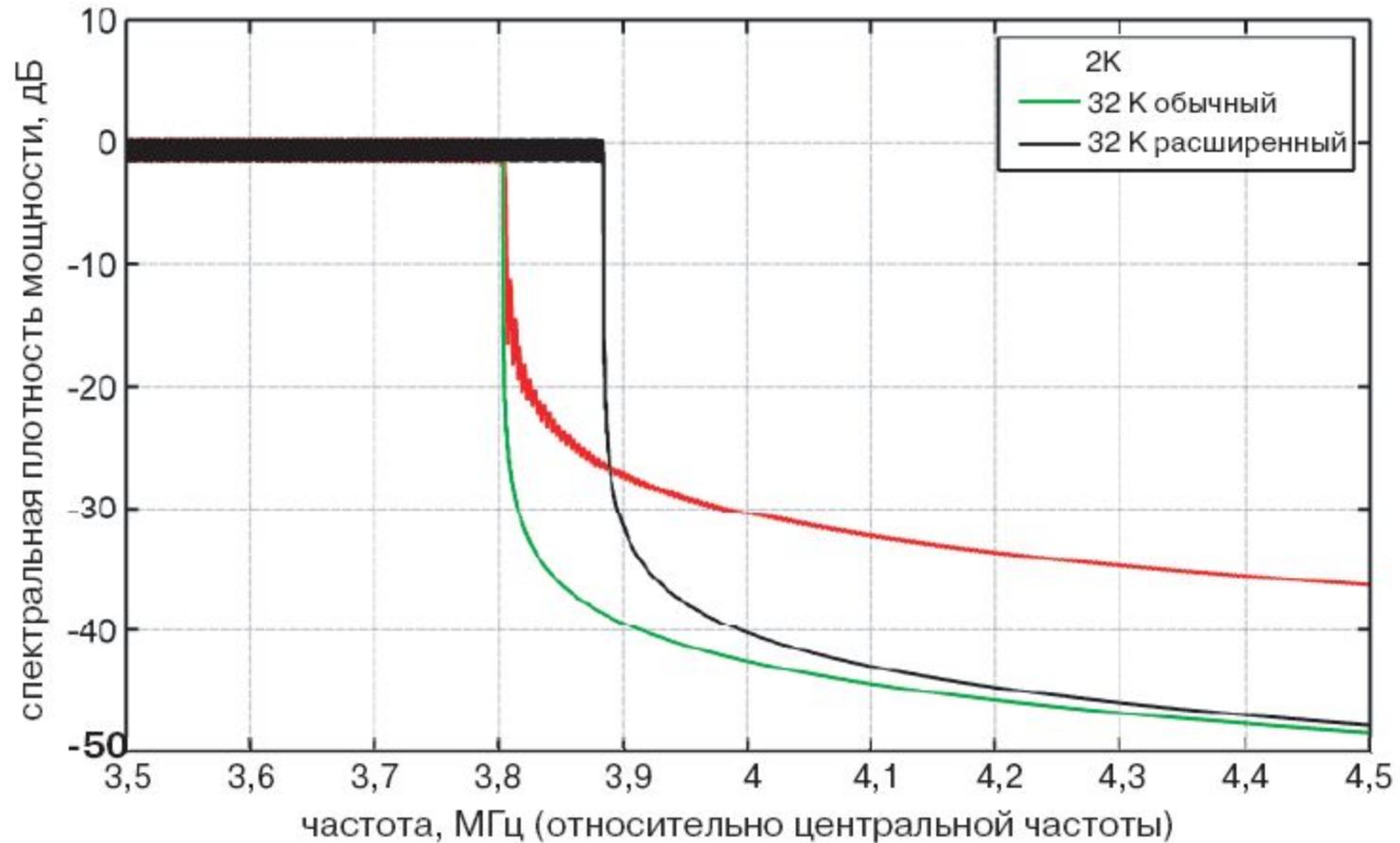
- $f_{k'} = f_c + \frac{k'}{T_u}$ ДЛЯ $\left(-\frac{K_{total}-1}{2}\right) \leq k' \leq \frac{K_{total}-1}{2}$
- $f_{k'} = f_c + \frac{k'}{T_u}$ ДЛЯ $\left(-\frac{K_{total}-1}{2}\right) P_{k'}(f) = \left[\frac{\sin \pi(f - f_{k'})T_S}{\pi(f - f_{k'})T_S} \right]^2$
- Суммарная спектральная плотность данных несущих, соответствующих ячейкам данных, равна сумме спектральных плотностей мощности всех этих несущих
- Поскольку длительность символа OFDM больше, чем обратная величина интервала между несущими, основной лепесток спектральной плотности мощности каждой несущей уже, чем удвоенный интервал между несущими

Характеристики спектра



Теоретический спектр сигнала DVB-T2 для 1/8 доли защитного интервала (для 8 МГц каналов в расширенном режиме несущих, при 8К, 16К и 32К)

Характеристики спектра

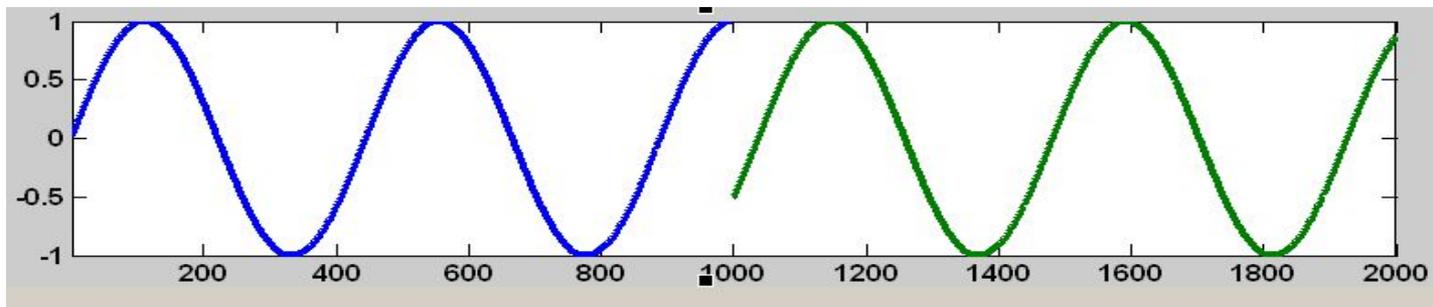


Подробное изображение теоретического спектра DVB-T2 для 1/8 доли защитного интервала (для 8 МГц каналов)

Устранение разрывов между OFDM-символами

Метод сглаживающего окна

Два OFDM-символа до обработки сглаживающим окном

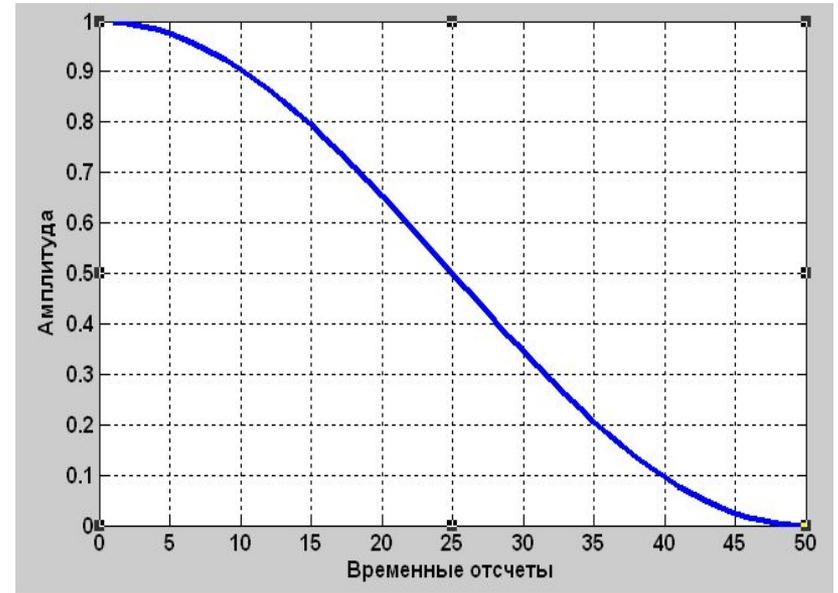


Формирование области сглаживания OFDM-символов: область пересечения постфикса первого символа и префикса первого символа. Область пересечения задает размер окна.



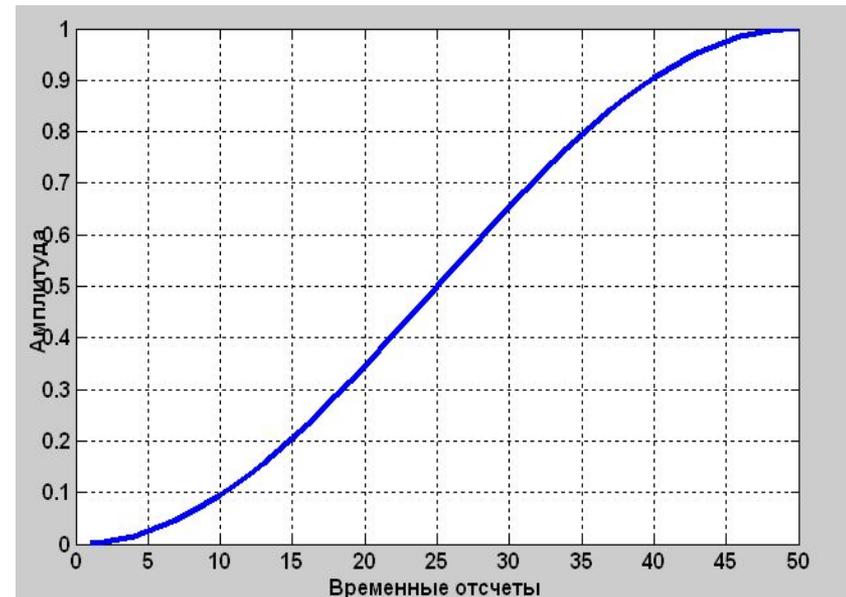
Постфикс первого символа умножаем на спадающее окно:

$$\text{WIN}(i) = \cos^2\left(\frac{i^*}{2 * \text{postfix}}\right),$$
$$1 \leq i \leq \text{postfix}$$

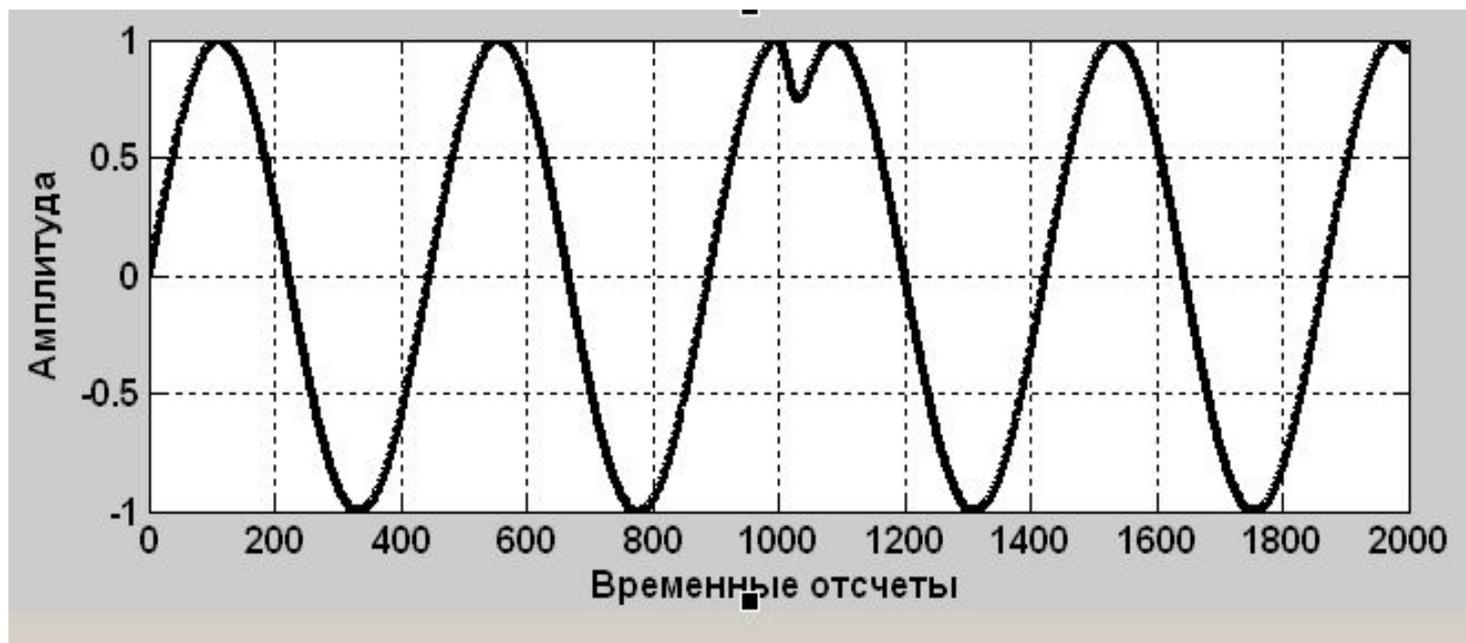


Префикс второго символа на интервале постфикса первого символа умножаем на возрастающее окно:

$$\text{WIN}(j) = 1 - \cos^2\left(\frac{j^*}{2 * \text{postfix}}\right),$$
$$1 \leq j \leq \text{postfix}$$



Затем, на интервале области пересечения постфикса первого символа и префикса второго символа складываем результаты перемножений на полуокно:



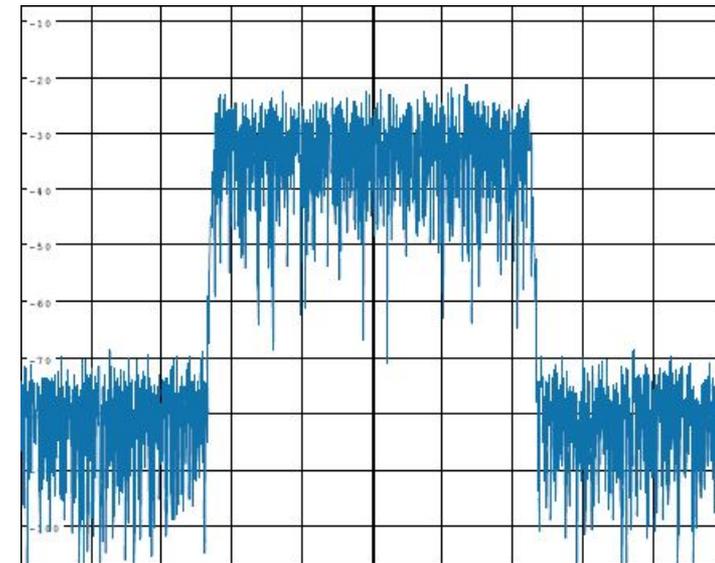
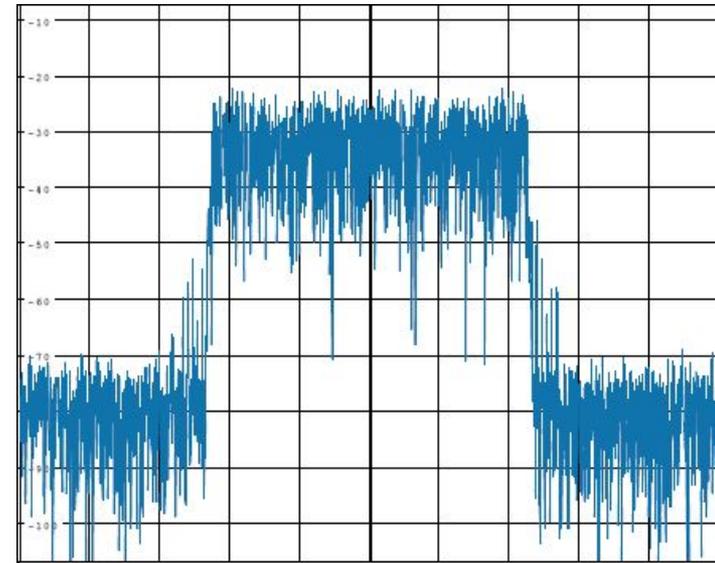
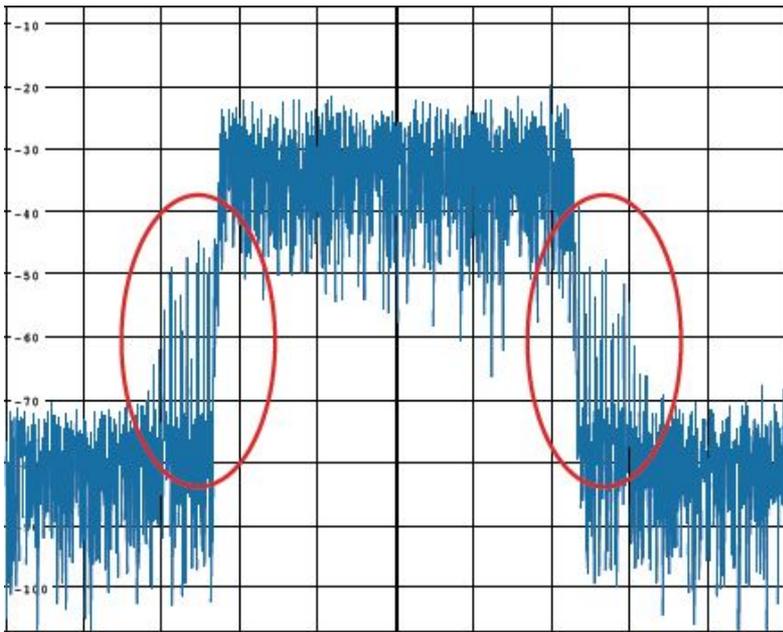
Длина области пересечения двух символов должна быть меньше длины защитного интервала.

В результате увеличения длительности OFDM символа на величину суффикса и применения временного окна к области пересечения символов, уменьшается растекание спектра OFDM сигнала и уменьшается отношение мощностей в смежных каналах ACPR (adjacent channel power ratio). Однако, при этом уменьшается длина защитного интервала на величину длины области пересечения символов и происходит размытие сигнального созвездия (уменьшение параметра MER).

Данный метод временного сглаживания описывает рецепт получения OFDM символов на этапе генерации OFDM сигнала с заранее заданным уровнем внеполосных компонент, что занимает меньше вычислительных ресурсов передатчика, чем в случае фильтрации сгенерированного OFDM сигнала.

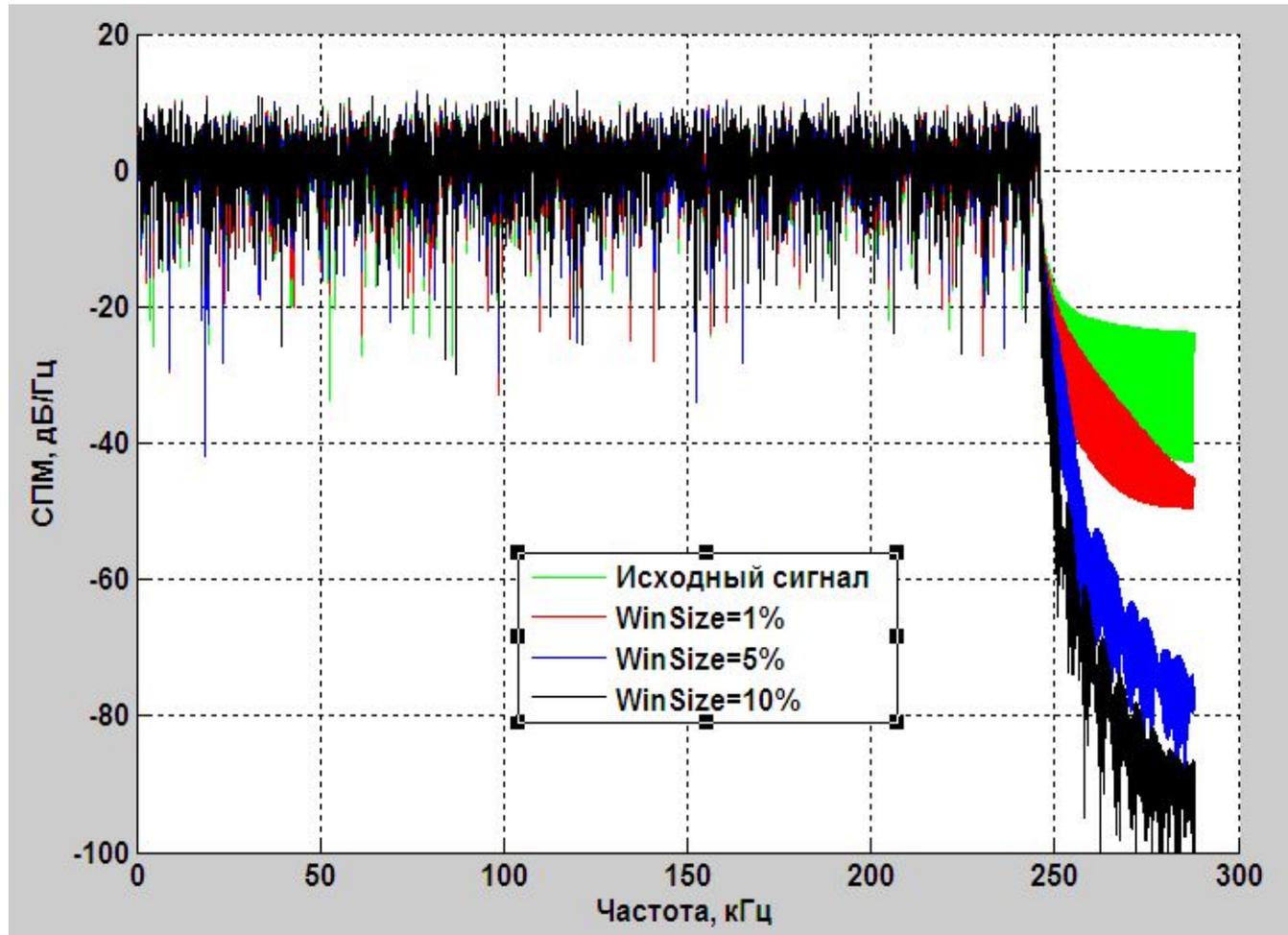
Данный метод получил свое применение в стандартах WiMax и LTE.

Пример применения временного сглаживания в стандарте LTE



Зависимость степени подавления внеполосных компонент от размера сглаживающего окна

Параметры OFDM сигнала: размер Фурье $N_{FFT}=1296$, количеством несущих $N=553$, модуляция 16-QAM, длина защитного интервала $T_G=1/8 * N_{FFT}$, количество символов 15



DVB-S2

Факторы разработки:

- Планы массового запуска ТВВЧ, что потребовало разработки форматов канального кодирования, более эффективно использующих имеющиеся частотные ресурсы
- Дефекты в работе приемных систем Ka-диапазона, их сильная зависит от погодных условий, в частности, от дождя. Поэтому для трансляций в этом диапазоне часто требуется более высокая помехозащищенность, чем в C- и Ku-диапазонах.
- Использование интерактивных спутниковых сетей с адресными услугами, требующих значительного транспортного ресурса

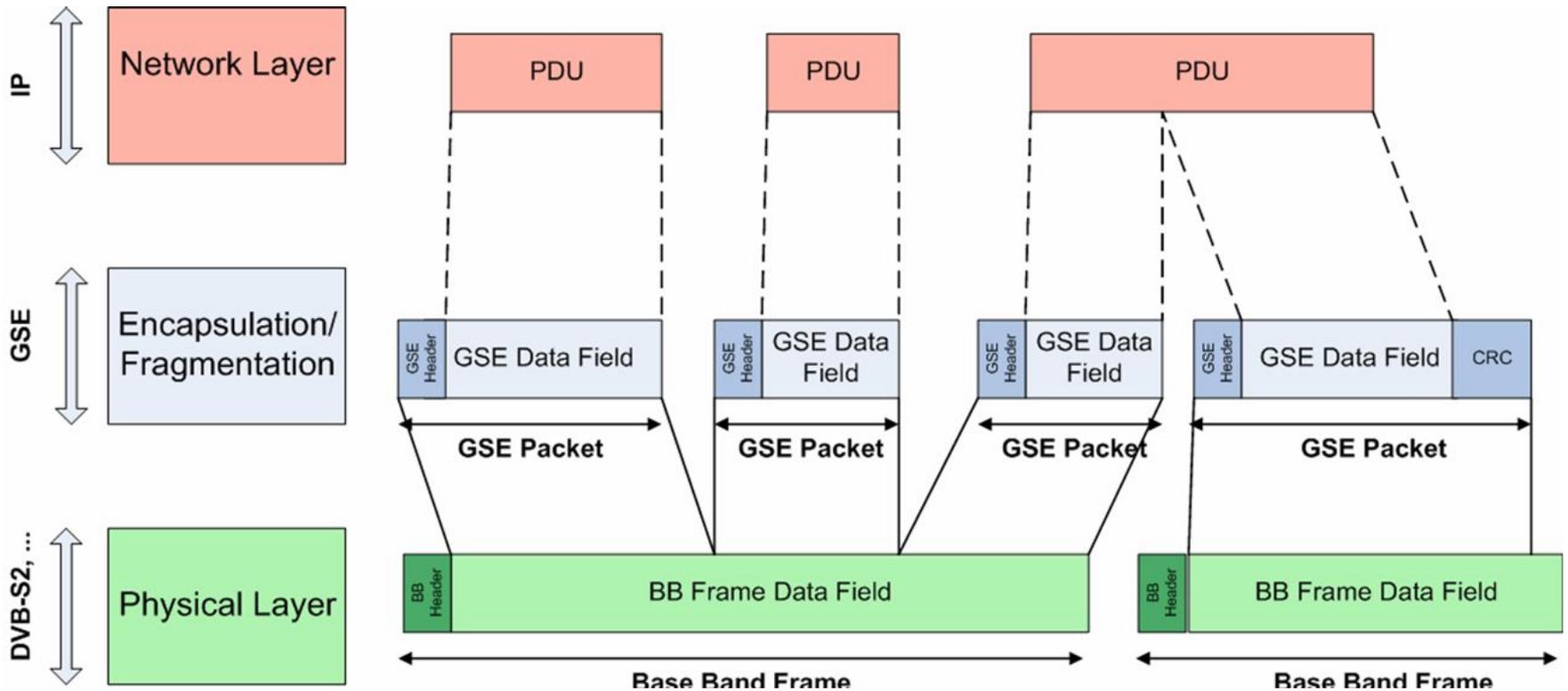
Полосы частот спутниковой связи

Название	Полоса, ГГц
L	1,452-1,550 1,610-1,710
S	1,93-2,70
C	3,40-5,25 5,725-7,075
X	7,25-8,40
Ku	10,70-12,75
Ku (K)	12,75-14,80
Ka (K)	15,40-26,50
Ka	27,00-30,20

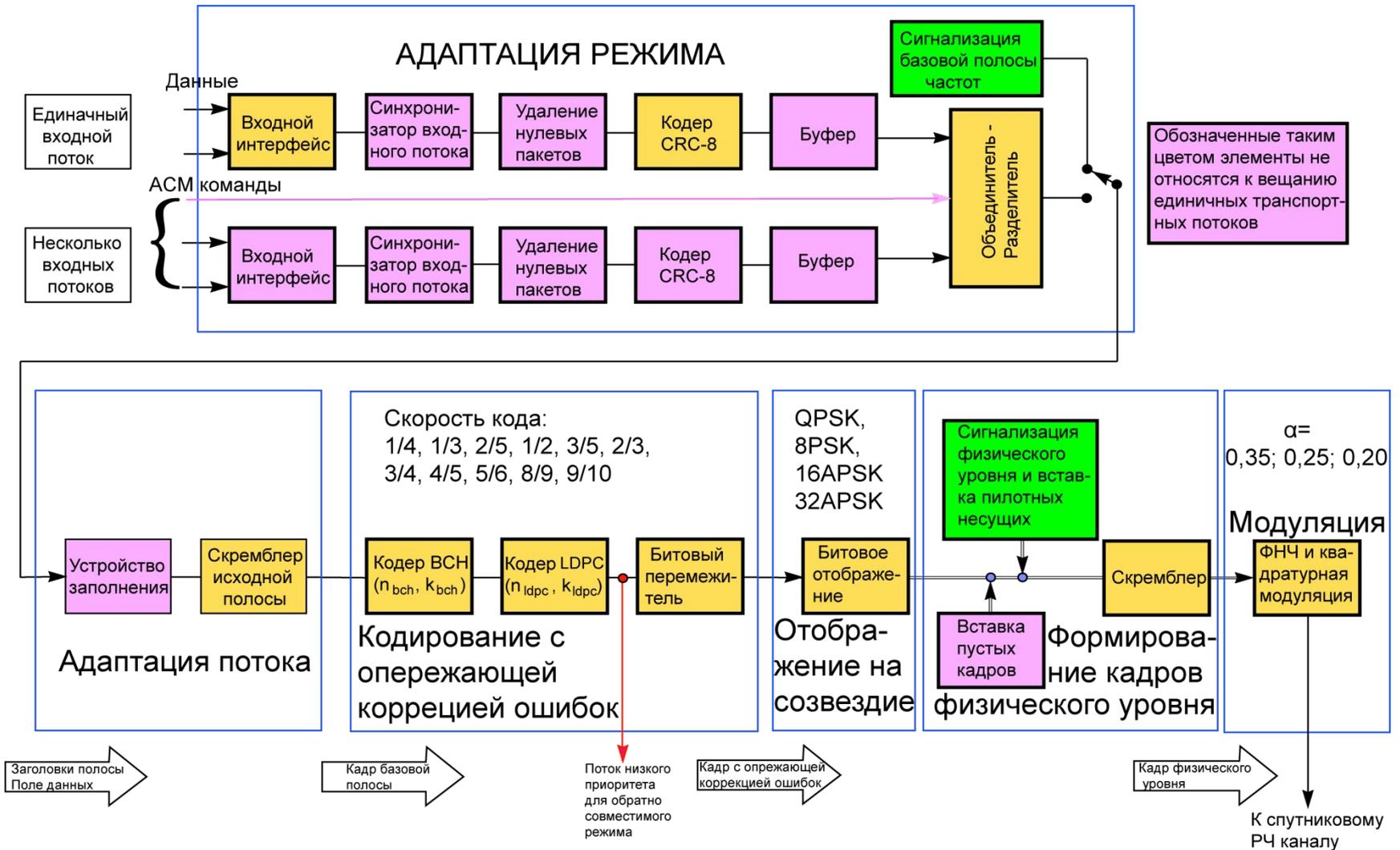
DVB-S2

- Универсальный стандарт DVB-S2 позволяет создавать сети для распространения ТВ программ стандартной или высокой четкости, сети для предоставления интерактивных услуг, например, доступа в Интернет, сети для профессиональных приложений, таких как передача цифрового ТВ от студии к студии, сбор новостей и раздача сигнала на эфирные ретрансляторы
- Стандарт удобен для формирования сетей передачи данных и создания IP-магистралей
- Большинство эффективных механизмов, заложенных в DVB-S2, несовместимы со старыми стандартами. Потому для выполнения требования совместимости вниз в стандарт введено два режима: один – менее эффективный, совместимый вниз, а другой, реализующий все новые возможности, но не позволяющий использовать приемники стандарта DVB-S

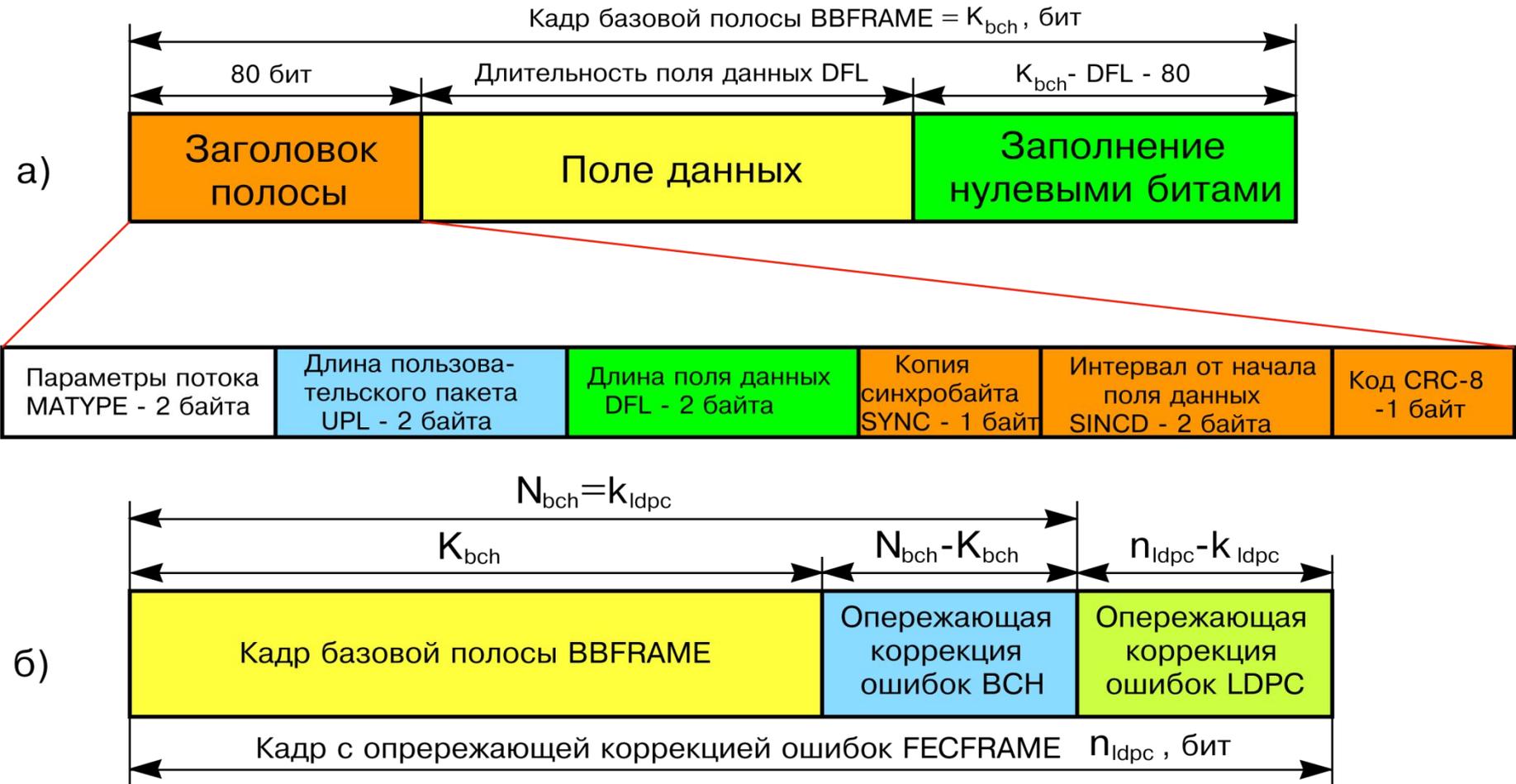
Инкапсуляция GSE в стеке протоколов DVB



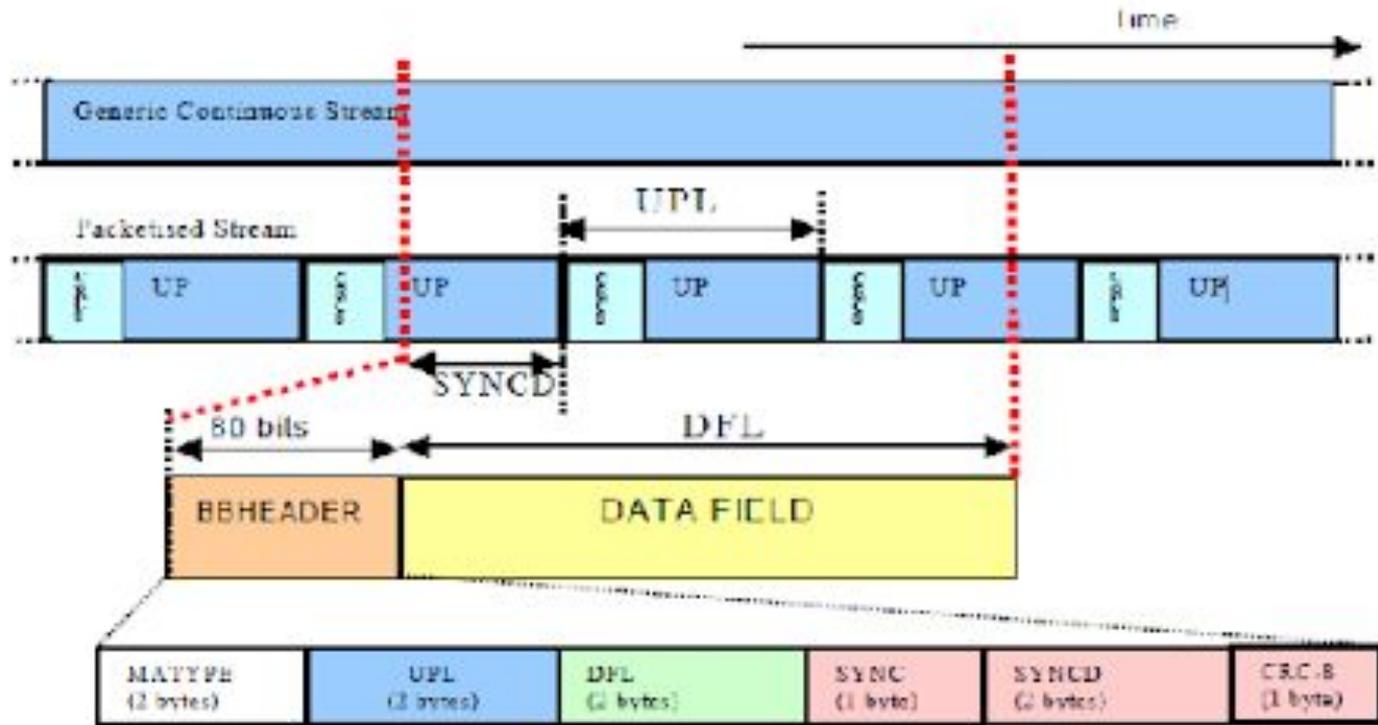
Блок-схема системы по стандарту DVB-S2



Структуры форматов кадров базовой полосы в стандарте DVB-S2

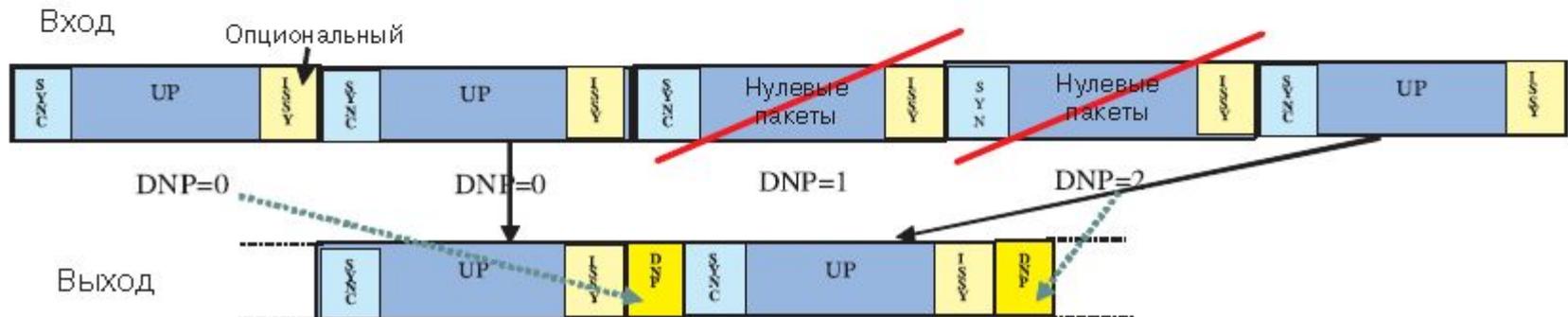
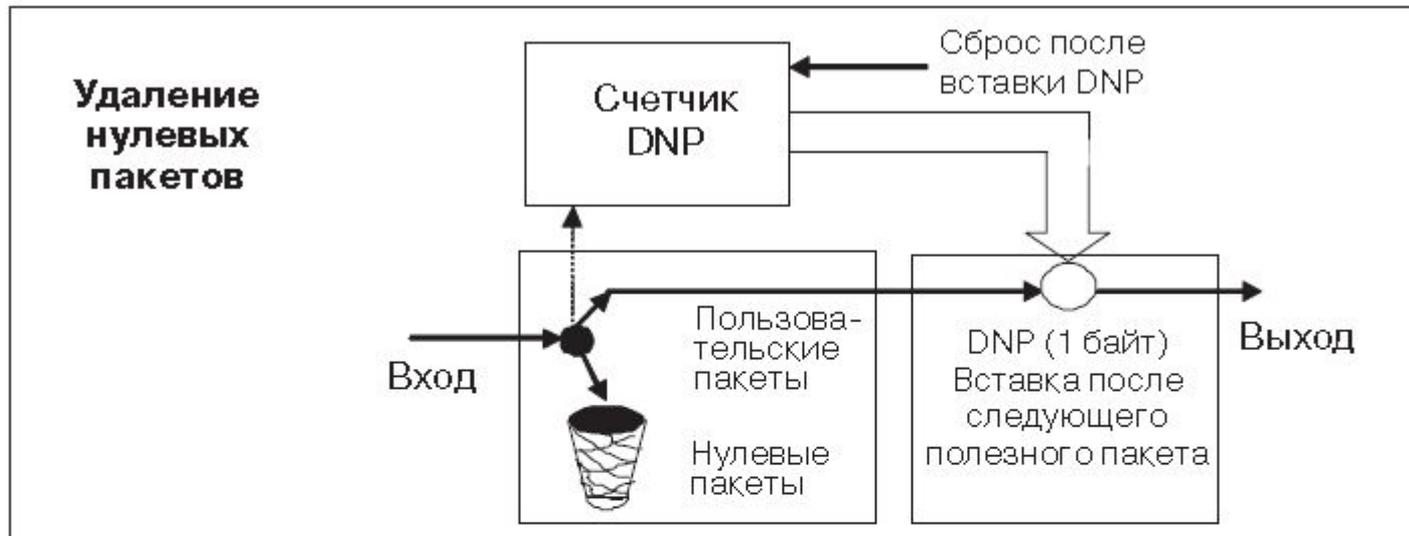


Формат ВВ-кадра DVB-S2



Формат потока на выходе адаптера режима, входные потоки:
обобщённый непрерывный (GS, GCS),
обобщённый пакетированный с постоянной длиной пакета (GS, GFPS) и
транспортный поток MPEG (TS).

Удаление нулевых пакетов

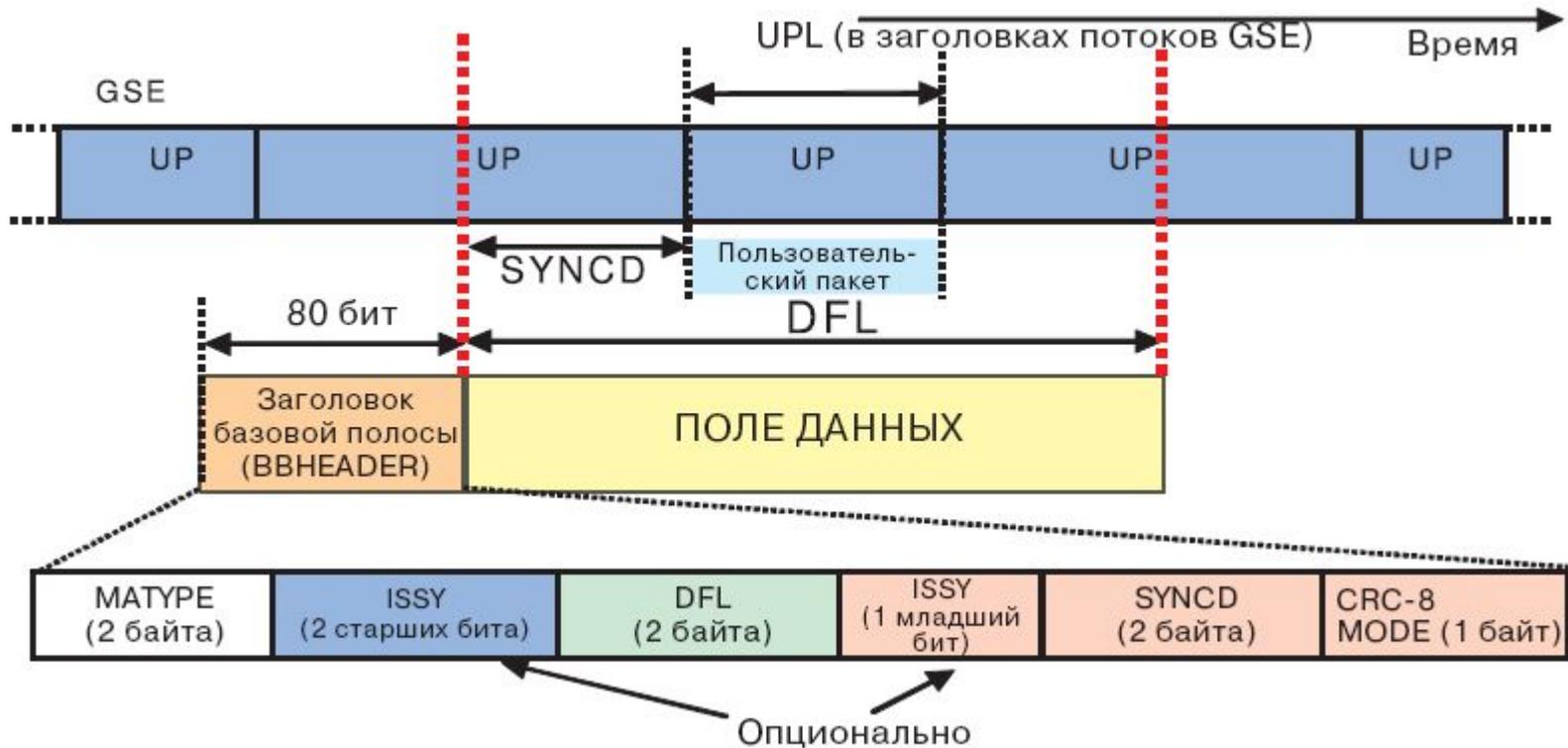


Стратегии деления/объединения для различных сфер применения

Application area/configuration	MATYPE-1	MATYPE-2	UPL	DFL	SYNC	SYNCD	CRC-8	Merging/slicing policy
Broadcasting/CCM, single TS	111100Y	X	180 _D x8	$K_{bch} - 80_D$	47 _{HEX}	Y	Y	Break No timeout No Padding No Dummy
Broadcasting, differentiated protection level per stream/VCM, constant protection level per TS, Multiple TS	1100Y0Y	Y	188 _D x8 (+16 or 24 if ISSYI = 1)	$K_{bch} - 80_D$	47 _{HEX}	Y	Y	Break Read (1) No timeout No Padding Yes Dummy
DSNG with time variable protection level/ACM, single TS input, NP- deletion, ACM Command active	111011Y	X	180 _D x8+ (16 or 24)	$K_{bch} - 80_D$	47 _{HEX}	Y	Y	Break Read (0) No timeout No Padding Yes Dummy
Interactive services with ACM over IS, differentiated protection per stream/ ACM, constant protection level per TS, Multiple TS, NP- deletion	1100Y1Y	Y	188 _D x8 (+16 or 24 if ISSYI = 1)	$Y \leq K_{bch} - 80_D$	47 _{HEX}	Y	Y	Read(1) or (2) Yes Padding Yes Dummy YES shortframe (see note)
Interactive services (IP) with ACM over GS, differentiated protection per stream/ ACM, constant protection level per input stream, Multiple Generic Stream	010000Y	Y	0	$Y \leq K_{bch} - 80_D$	X	X	Y	Read(1) or (2) Yes Padding Yes Dummy YLS shortframe (see note)
Interactive services (IP) with ACM over GS, time variable protection/ ACM, time variable protection level, Single Generic Stream, ACM Command active	011000Y	X	0	$Y \leq K_{bch} - 80_D$	X	X	Y	According to ACM Command Yes Padding Yes Dummy YFS shortframe
BC Broadcasting services	111100Y	X	180 _D x8	$K_{bch} - 80_D$	47 _{HEX}	Y	Y	Break No timeout No Padding No Dummy

X = not defined, Y = according to configuration/computation Break = break packets in subsequent DATAFIELDS, Timeout: maximum delay in merger/slicer buffer.
 Read (0) = Read $[K_{bch} - 80]$ bits when available, otherwise dummy.
 Read (1) = Round-robin polling, Read $[K_{bch} - 80]$ bits from port i when available, otherwise poll the next port.
 Read (2) = On timeout, read DFL bits from port i and select the shortest FECFRAME containing DFL
 NOTE: Additional merging policy modes may be optionally implemented by manufacturers.

Формат ВВ-кадра DVB-S2X



Формат потока на выходе адаптера режима, режим с повышенной эффективностью (HEM) для потоков GSE, (CRC-8 для пользовательских пакетов не вычисляется, опциональное единичное поле ISSY вставляется в заголовок базовой полосы, UPL не передается)

Параметры кодирования кадров базовой полосы (64800)

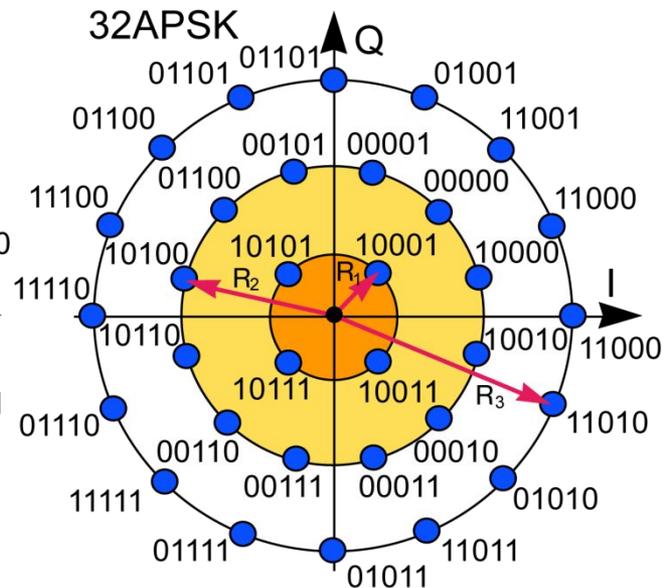
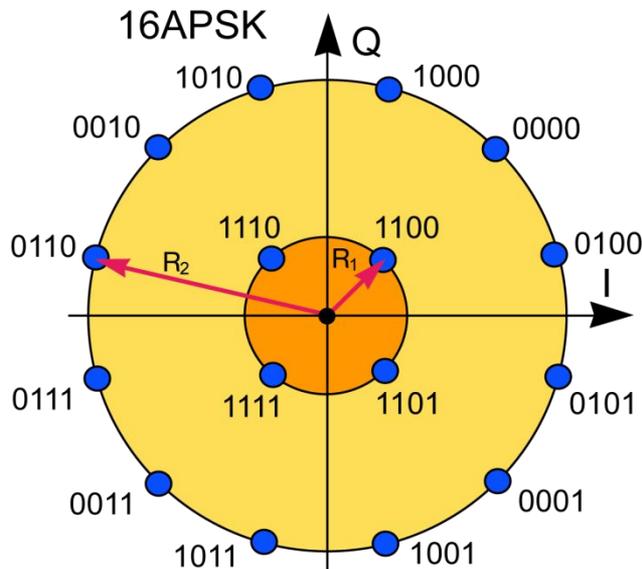
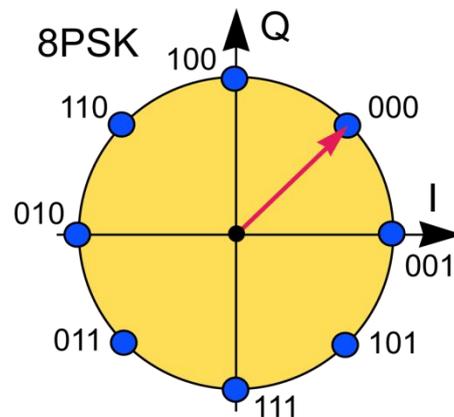
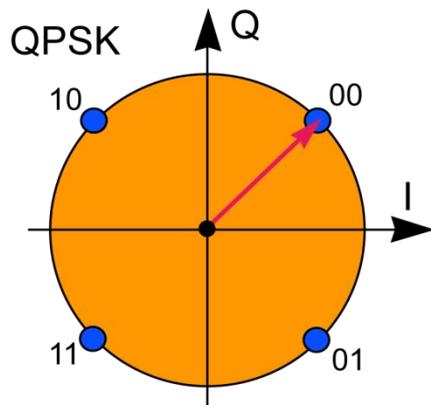
В DVB-S2

Код LDPC	Некодированный блок BCH-кода K_{bch}	Кодированный блок BCH-кода N_{bch} , некодированный блок LDPC-кода K_{ldpc}	Коррекция t ошибок BCH-кода	Кодированный блок LDPC-кода N_{ldpc}
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21600	12	64800
2/5	25728	25920	12	64800
1/2	32208	32400	12	64800
3/5	38688	38880	12	64800
2/3	43040	43200	10	64800
3/4	48408	48600	12	64800
4/5	51648	51840	12	64800
5/6	53840	54000	10	64800
8/9	57472	57600	8	64800
9/10	58192	58320	8	64800

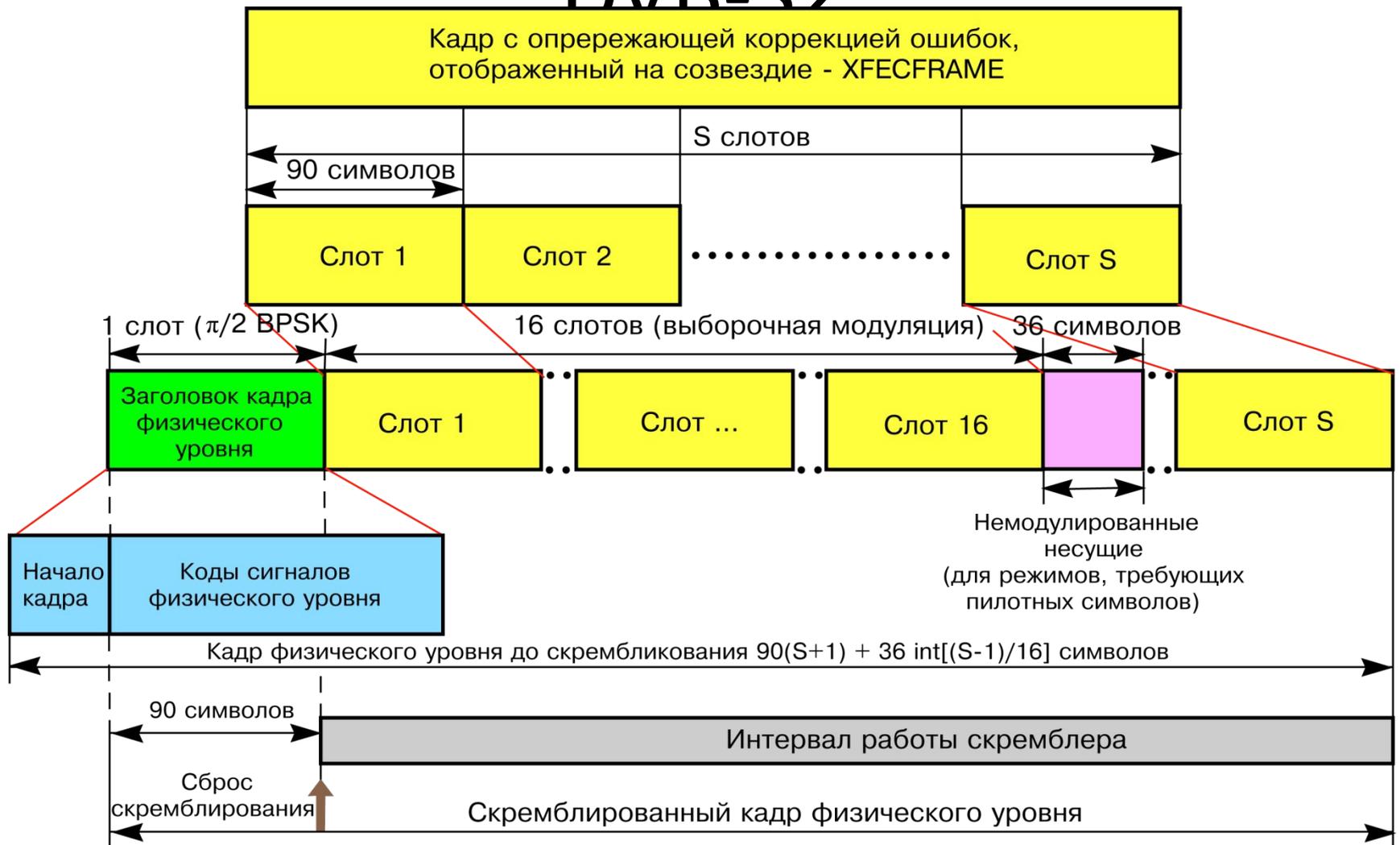
Параметры кодирования кадров базовой полосы (16200)

Код LDPC	Некодированный блок БЧХ-кода K_{bch}	Кодированный блок БЧХ-кода $N_{bch'}$ некодированный блок LDPC-кода K_{ldpc}	Коррекция t ошибок БЧХ-кода	Эффективная скорость LDPC-кода $K_{ldpc}/16200$	Кодированный блок LDPC-кода N_{ldpc}
1/4	3072	3240	12	1/5	16200
1/3	5232	5400	12	1/3	16200
2/5	6312	6480	12	2/5	16200
1/2	7032	7200	12	4/9	16200
3/5	9552	9720	12	3/5	16200
2/3	10632	10800	12	2/3	16200
3/4	11712	11880	12	11/15	16200
4/5	12432	12600	12	7/9	16200
5/6	13152	13320	12	37/45	16 200
8/9	14232	14400	12	8/9	16 200

Используемые варианты созвездий в стандарте DVB-S2



Формирование кадра физического уровня PLFRAME в DVB-S2



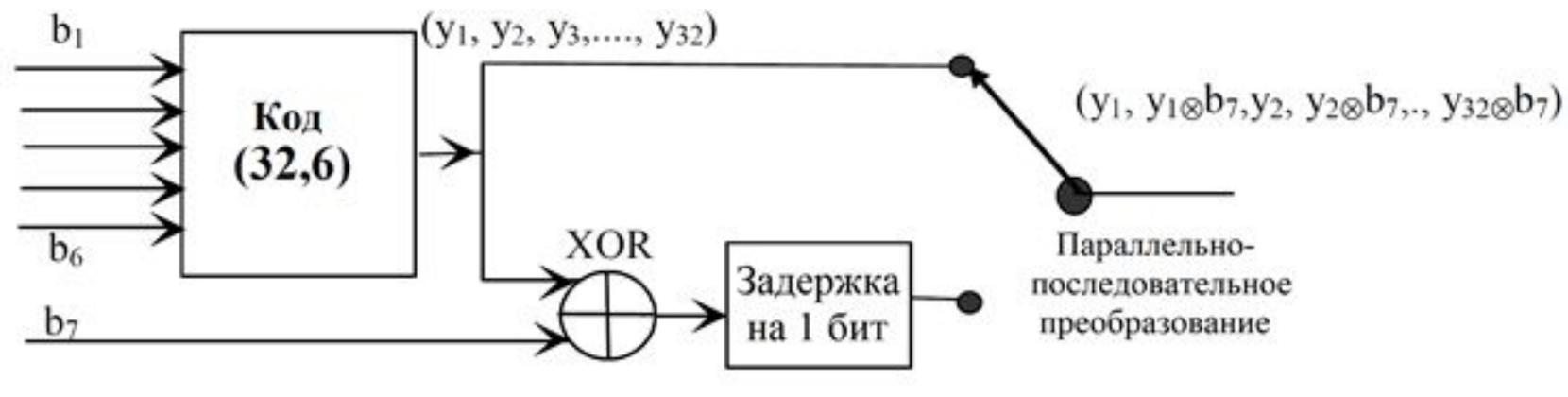
Состав заголовка кадра физического уровня

- Поле SOF (начало кадра) из 26 бит заполняется последовательностью $18D2E82_{16}$ и используется для синхронизации.
- Поле PLSCOD из 64 бит содержит информацию о типе модуляции и кодовой скорости (MODCOD), наличии или отсутствии пилотов, а так же размере выходного блока LDPC кода (TURB).

Поле TYPE

- Вне режима СНОСШ первый бит поля TYPE определяет длину кадра FEC-кадра: 0 – длинный кадр (64 800 бит), 1 – короткий кадр (16 200 бит).
- Второй бит поля TYPE определяет конфигурацию пилотов: 0 – пилоты применяются, 1 – пилоты не применяются.

Формирование PLSCOD



$$G = \begin{pmatrix} 01010101010101010101010101010101 \\ 00110011001100110011001100110011 \\ 00001111000011110000111100001111 \\ 00000000111111110000000011111111 \\ 00000000000000001111111111111111 \\ 11111111111111111111111111111111 \end{pmatrix}$$

Скремблирующая последовательность (64 бита):

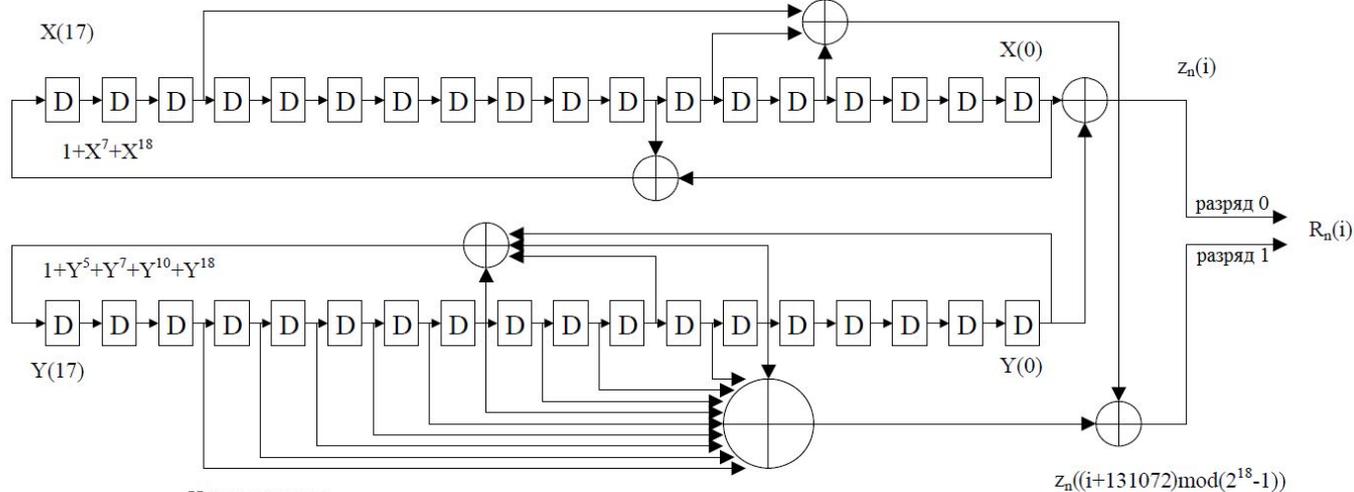
011100011001110110000011110010010101001101000010001011011111101
0.

Вставка пилотов

- В случае применения пилотов, после каждого 16-го информационного слота кадра после PLHEADER вставляют блок пилотов, представляющий собой последовательность $P = 36$ немодулированных символов $I = 1/\sqrt{2}, Q = 1/\sqrt{2}$. Если последний пилотный блок располагается непосредственно перед SOF-полем следующего кадра, блок не передаётся.

Рандомизация физического

УПРАВЛЕНИЕ



Инициализация
 $X(0)=1, X(1)=X(2)=\dots=X(17)=0$
 $Y(0)=Y(1)=\dots=Y(17)=1$

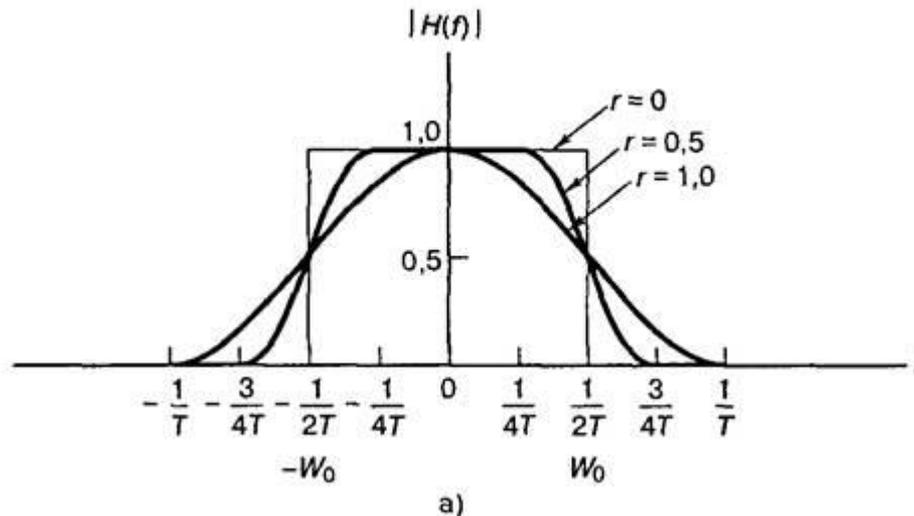
R_n	$\exp(j R_n \pi/2)$	$I_{\text{рандомиз}}$	$Q_{\text{рандомиз}}$
0	1	I	Q
1	j	-Q	I
2	-1	-I	-Q
3	-j	Q	-I

Формирование полосы пропускания и квадратурная МОДУЛЯЦИЯ

- Фильтр «корень приподнятого косинуса» (фильтр Найквиста). Коэффициент сглаживания α может принимать значения $\{0,35, 0,25, 0,2\}$.

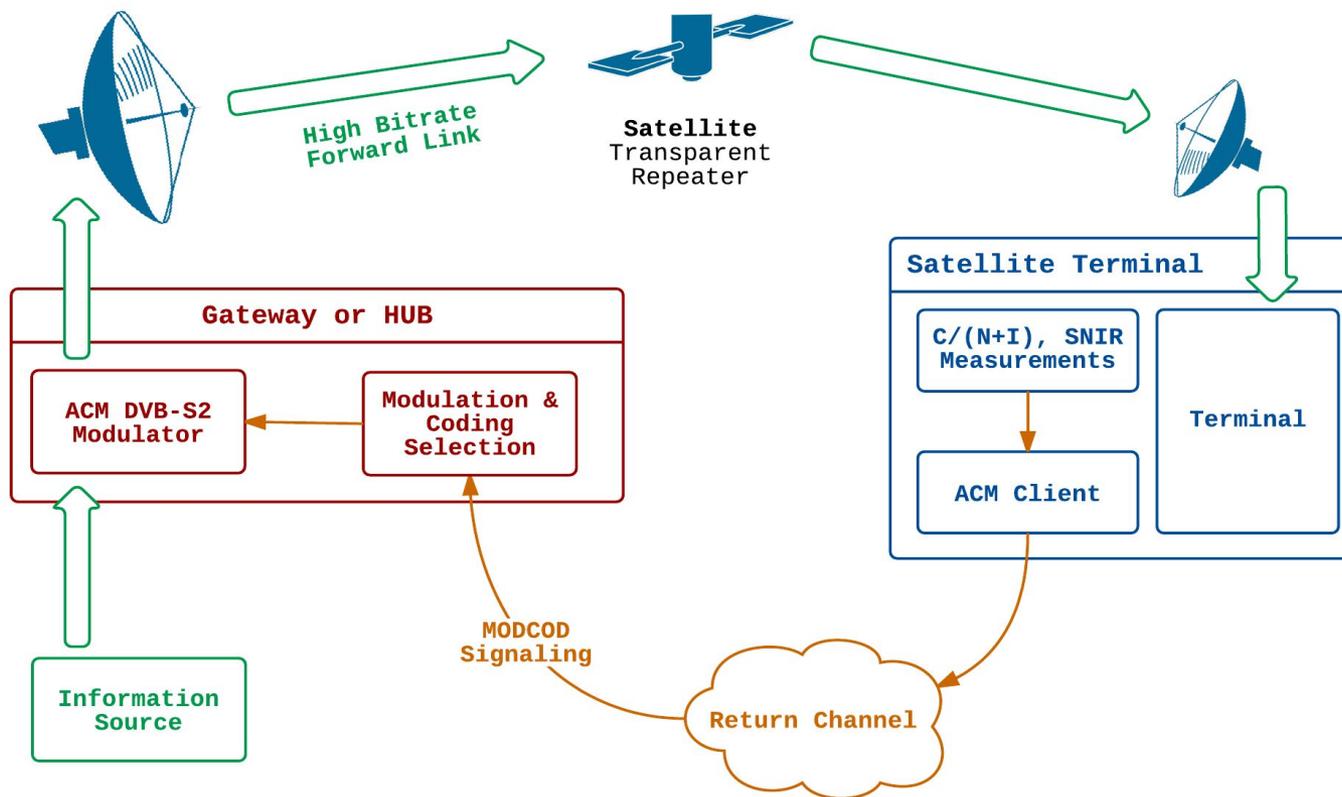
$$f(x) = \begin{cases} 1, & |f| < f_N(1 - \alpha), \\ \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}, & f_N(1 - \alpha) < |f| < f_N(1 + \alpha), \\ 0, & |f| > f_N(1 + \alpha), \end{cases}$$

- где $f_N = \frac{1}{2T_S} = \frac{R_S}{2}$ – частота Найквиста, α – коэффициент сглаживания.



Режим ACM

DVB-S2 ACM Link



Режим АСМ

● Отношение несущая/(шум+помеха) кодируется как целочисленная 9-ти битовая величина CNI, лежащая в диапазоне от 0 до 511, определяется следующим образом:

$$CNI = 150 + 10 \{10 \lg[C/(N + I)]\}.$$

В системе Спутник-А допустимый диапазон отношения несущая/(шум+помеха) $10 \lg[C/(N + I)]$ лежит в пределах от -15,0 дБ до +36,1 дБ.

Запрос изменения параметров передачи

CNI (9 бит)	MODCOD_RQ (7 бит)
----------------	----------------------

Подтверждение изменения параметров передачи

00 (2 бита)	MODCOD_ACK (6 бит)
----------------	-----------------------

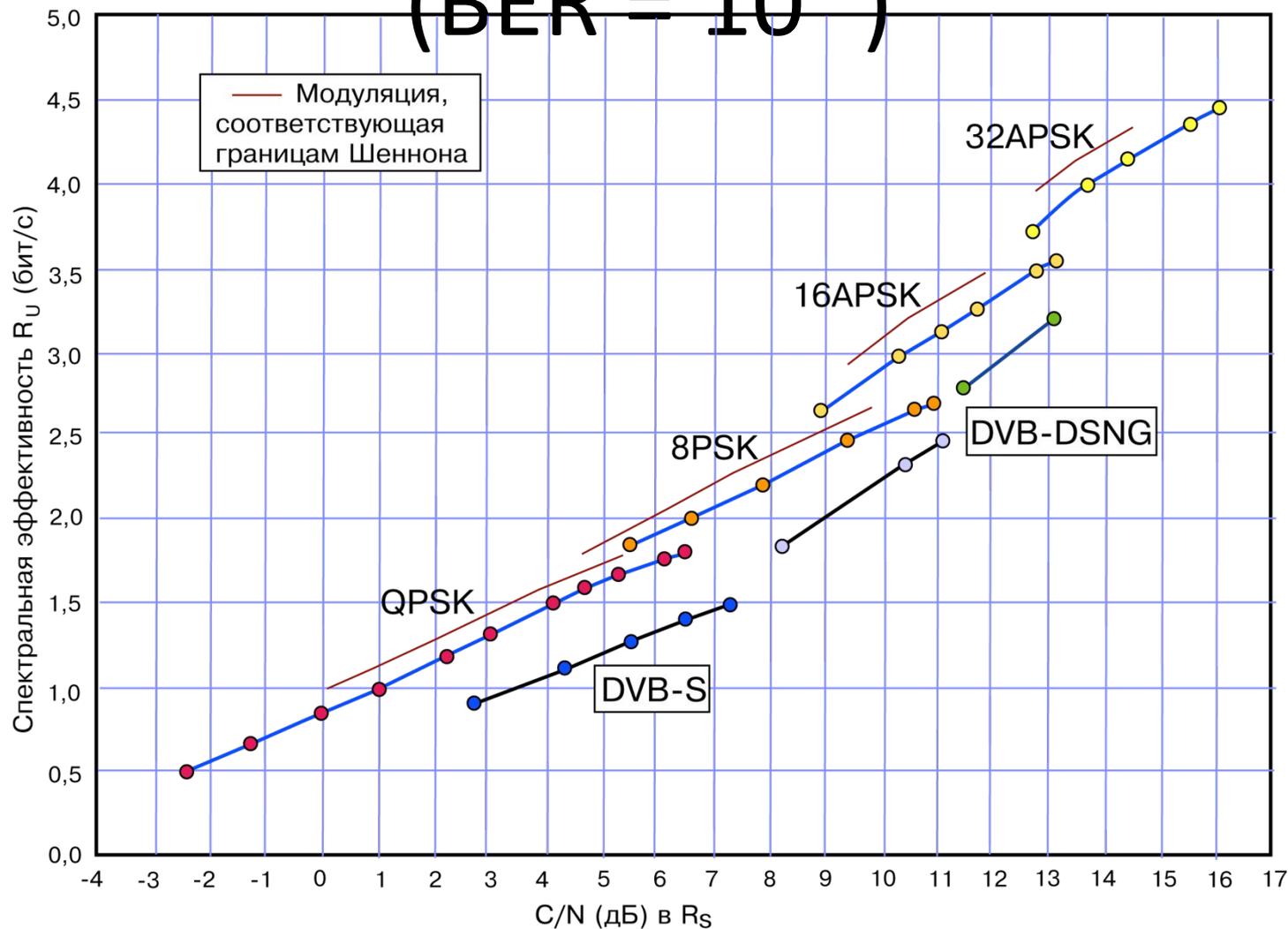
Рис. Возможная структура сообщений сигнализации о качестве приёма

DVB-S2

- При использовании обратно-совместимых режимов (BC – Backwards-Compatible) обеспечивается передача по отдельному спутниковому каналу двух транспортных потоков: первый из них (высокого приоритета, ВП) совместим с приемниками DVB-S и DVB-S2, второй (низкого приоритета, НП) совместим только с приемниками DVB-S2
- Обратная совместимость может быть в опциональном порядке реализована в соответствии с двумя подходами:
 - многоуровневые модуляции, где сигналы DVB-S2 и DVB-S асинхронно объединяются в радиочастотном канале
 - иерархическая модуляция, где два транспортных потока ВП и НП синхронно объединяются на уровне модулированных символов асимметричного созвездия 8-PSK

Спектральная эффективность DVB-S2 в гауссовском канале

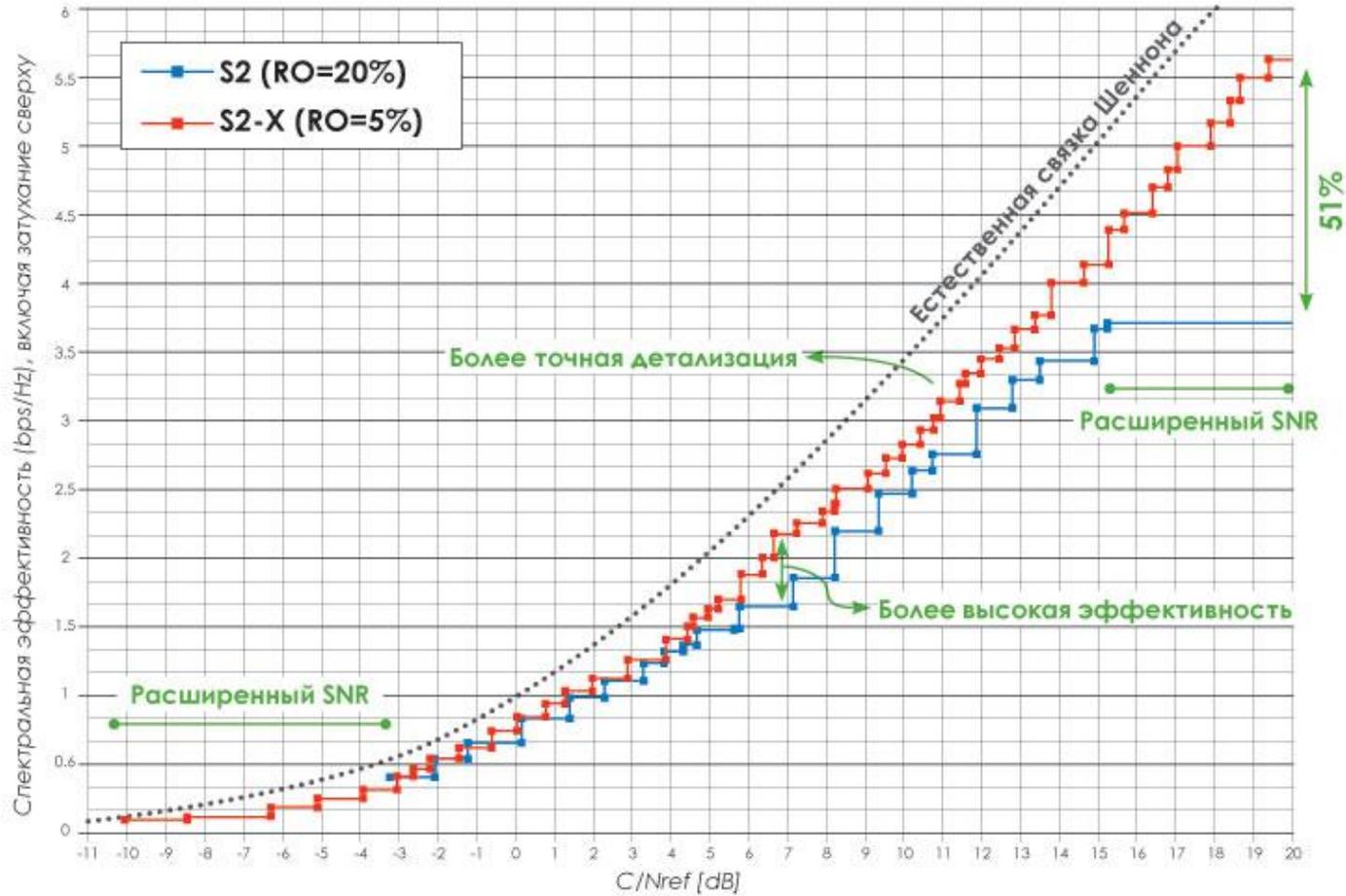
(BER = 10^{-7})



DVB-S2X: цели

- Передача в условиях высокого уровня шума или помех (SNR до -10 дБ)
- Увеличение пропускной способности канала при высоких SNR
- Более гибкий выбор режима
- Гибкое распределение потока ТВВЧ

DVB-S2X



DVB-S2X: НОВОВВЕДЕНИЯ

- Введение как пониженных, так и повышенных скоростей передачи
- Введение модуляций высоких порядков и модуляции $\pi/2$ -BPSK
- Введение промежуточных режимов кодирования и модуляции
- Связывание физических потоков в один логический (transponder bonding) для ТВВЧ
- Введение более крутых roll-off ($\alpha = 0,15; 0,10$ и $0,05$)
- Увеличение пропускной способности объединением кадров в суперкадр с единственным заголовком
- Поддержка GSE-Lite и GSE-HEM

Table D.2: Comparison of GSE-Lite and GSE profile parameters

Parameter	GSE-Lite profile	GSE profile
Max. PDU Size	1 800 bytes	65 536 bytes
Max. GSE Packet Size	1 800 bytes	4 096 bytes
Max. Fragmentation Identifiers	4	256
Max. Fragments for PDU	6	Effectively unlimited
Max. Delay for Final Fragment Transmission	64 Baseband Frames	256 Baseband Frames

DVB-S2X: кодирование и модуляция

Используются созвездия:

$\pi/2$ -BPSK($v/lsnr$)

QPSK 8PSK и 8APSK

16APSK 32APSK*

64APSK* 128APSK*

256APSK*

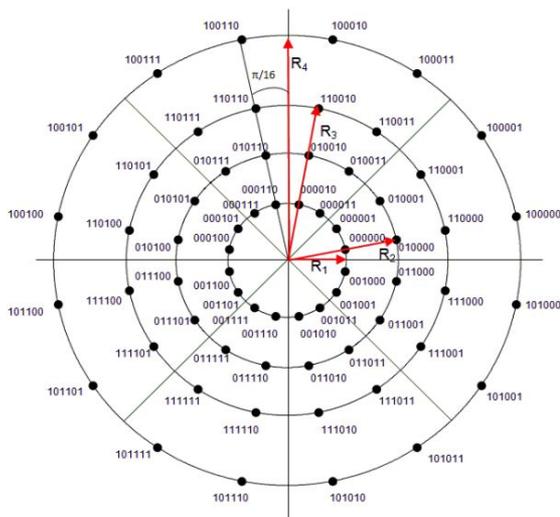
Кодовые скорости (длинные кадры):

23/36 116/180 20/30 124/180 25/36 104/180

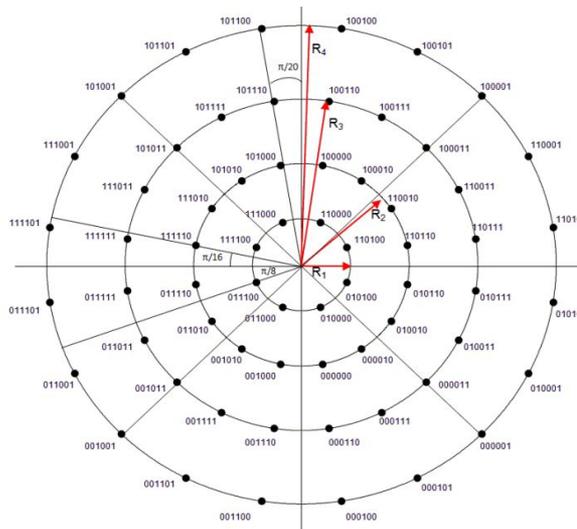
26/45 18/30 28/45 128/180 13/18 132/180

22/30 135/180 140/180 7/9 154/180 2/9 13/45 9/20

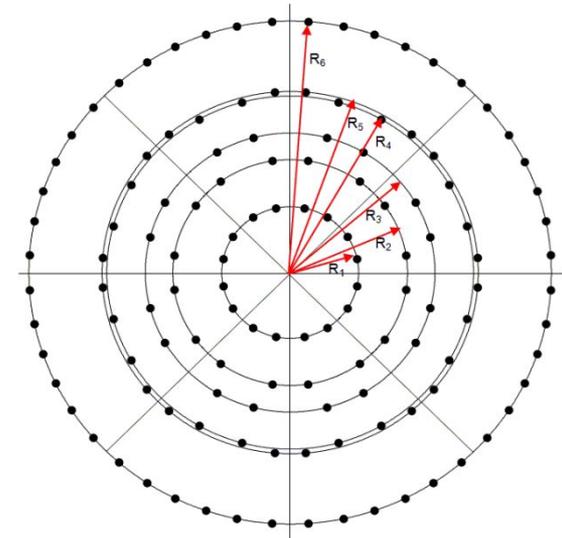
90/180 96/180 11/20 100/180



16+16+16+16APSK



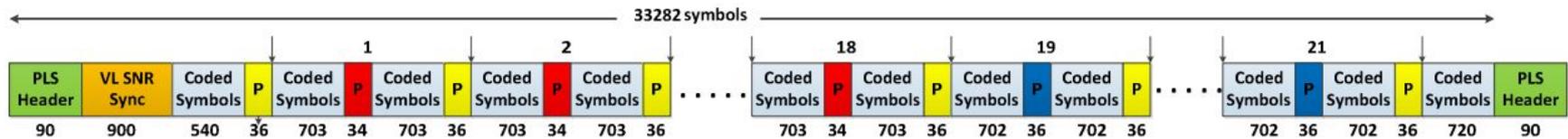
8+16+20+20APSK



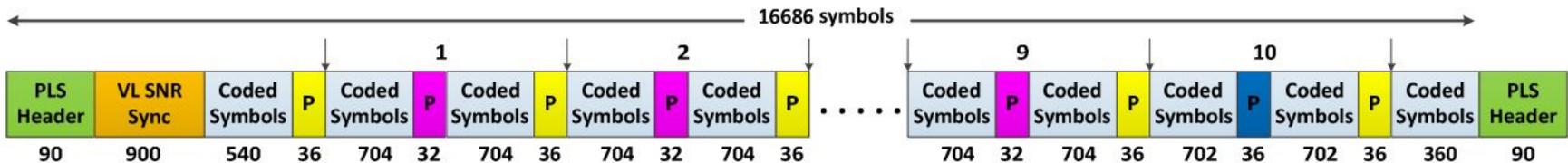
128APSK

VL-SNR кадры

- Вводятся кадры средней длины ($n_{ldpc} = 32\ 000$)
- Скорость кодирования до 1/5
- Модуляция QPSK или $\pi/2$ -BPSK (до 1 бит/символ)
- Увеличение помехозащищённости двукратным повтором бита (в некоторых режимах)



Set1



Set2

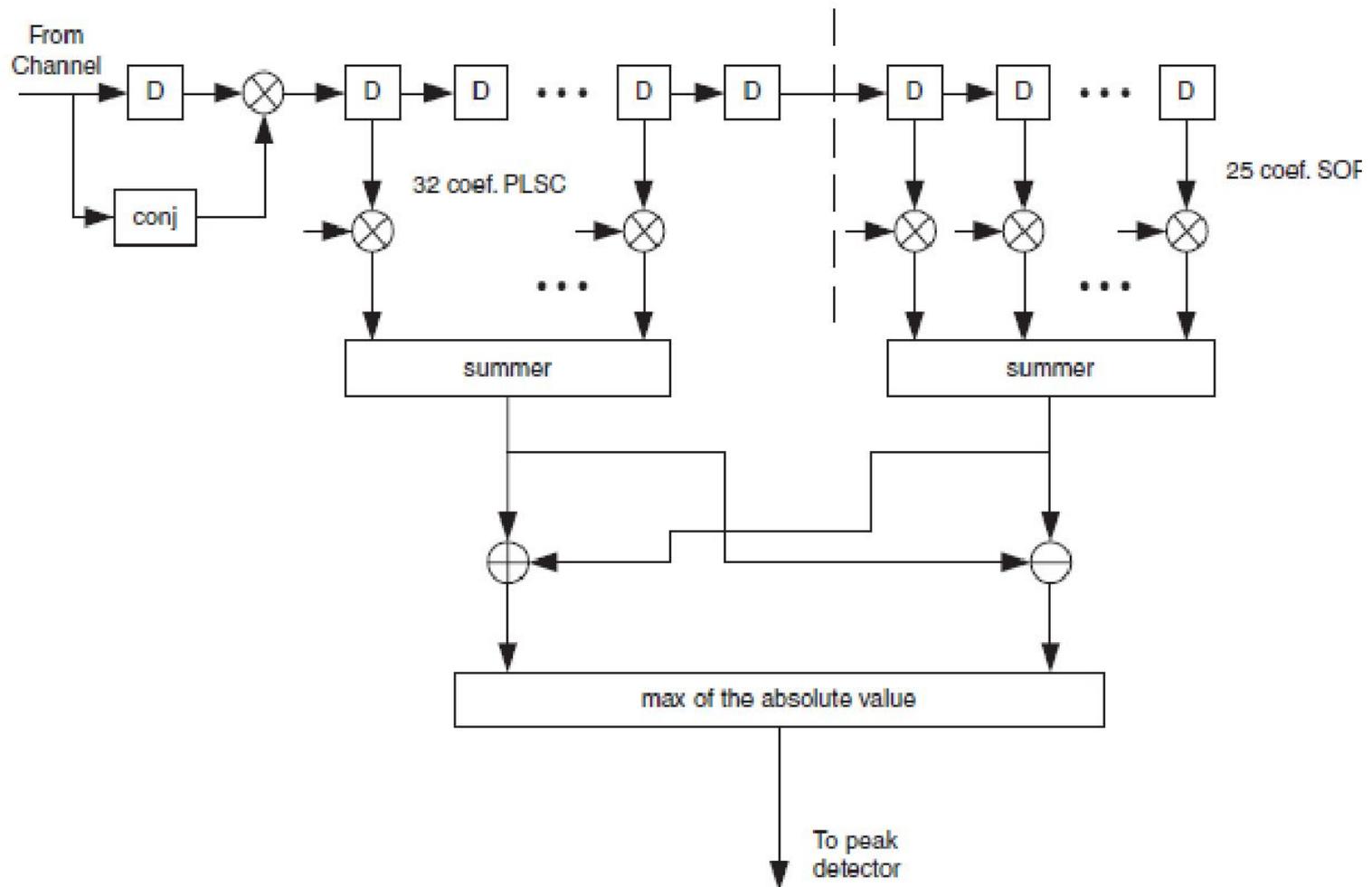
Заголовок VLSNR (900
СИМВОЛОВ)

Последователь
ность для
VLSNR кода (16

Последовательности уолша-Адамара для каждого режима СНОСШ

Последовательность	Тип входного кадра	Тип модуляции	Коэффициент расширения	Скорость кода
+++++	длинный	QPSK	1	2/9
+ _ + _ + _ + _ + _ + _	средний	π/2-BPSK	1	1/5
++ _ ++ _ ++ _ ++ _	средний	π/2-BPSK	1	1/4
+ _ ++ _ ++ _ ++ _ +	средний	π/2-BPSK	1	1/3
++++ _ ++ _ ++ _ ++ _	короткий	π/2-BPSK	2	1/5
+ _ + _ ++ _ + _ + _ ++ _	короткий	π/2-BPSK	2	1/4
++ _ ++ _ ++ _ ++ _ ++	зарезерв.	н/д	н/д	н/д
+ _ ++ _ + _ ++ _ ++ _	зарезерв.	н/д	н/д	н/д
++++ _ ++ _ ++ _ ++ _	зарезерв.	н/д	н/д	н/д
СНОСШ-2				
++ _ ++ _ ++ _ ++ _ ++	короткий	π/2-BPSK	1	1/5
+ _ + _ + _ ++ _ + _ + _ +	короткий	π/2-BPSK	1	4/15
_ ++ _ ++ _ ++ _ ++ _ ++	короткий	π/2-BPSK	1	1/3
+ _ + _ + _ + _ + _ + _ +	фиктивный	н/д	н/д	н/д
+ _ + _ + _ + _ + _ ++ _ + _	зарезерв.	н/д	н/д	н/д
++ _ ++ _ ++ _ ++ _ ++	зарезерв.	н/д	н/д	н/д
+ _ + _ ++ _ ++ _ + _ +	зарезерв.	н/д	н/д	н/д

Алгоритм синхронизации кадра физического уровня (вариант 1)



Дифференциальные коэффициенты

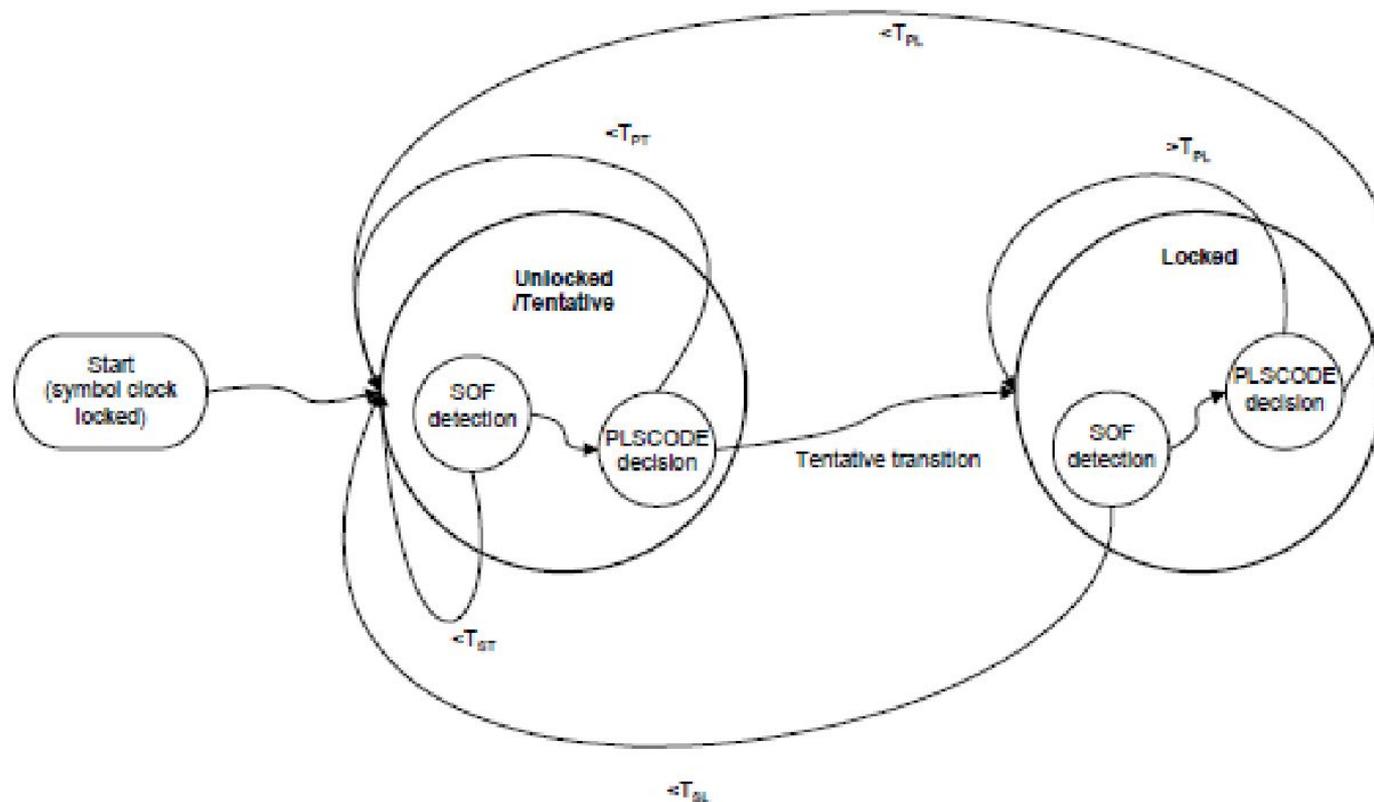
- $$c(n) = z(n)e^{i(fn+\varphi)}$$

$$dif = c(n) * conj(c(n + 1))$$

$$= z(n)e^{i(fn+\varphi)} z(n + 1)e^{-i(fn+f+\varphi)}$$

$$= z(n)z(n + 1)e^{-if}$$

Алгоритм синхронизации кадра физического уровня (вариант 2)



$$[T_{ST} = 0.61, \quad T_{PT} = 0.88, \quad T_{SL} = 0.36, \quad T_{PL} = 0.65]$$

Грубая оценка частотного сдвига (1)

- Сигнал с удаленной информационной составляющей:

$$c_n = z(n, f) \cdot a_n^*$$

- Расчет автокорреляционной функции:

$$R_s(m) \triangleq \sum_{k=0}^{N_s-1-m} c_{k+m} c_k^*$$

- Накопление значений автокорреляционной функции по нескольким кадрам:

$$R(m) \triangleq \sum_s R_s(m)$$

Грубая оценка частотного сдвига (2)

- Грубая оценка частотного сдвига $\Delta\hat{f}$:

$$\Delta\hat{f} = \frac{1}{2\pi T_s} \sum_{m=0}^{L_c-1} \omega_m \Delta(m)$$

- Весовые коэффициенты ω_m :

$$\omega_m = \frac{3((2L_c + 1)^2 - (2m + 1)^2)}{((2L_c + 1)^2 - 1)(2L_c + 1)}$$

где $m = 0, 1, \dots, L_c - 1$

- Приращение фазы автокорреляционной функции:

$$\Delta(m) = \begin{cases} \arg[R(1)], & m = 0 \\ \text{mod}[\arg(R(m+1)) - \arg(R(m)), 2\pi], & m = 1, 2, \dots, L_c - 1 \end{cases}$$

Тонкая оценка частотного и фазового сдвига:

- Оценка фазы несущей внутри сегмента пилотного сигнала:

$$\varphi_S = \arg \left[\sum_{k=0}^{N_S-1} c_k \right]$$

- Тонкая оценка частотного сдвига:

$$\Delta \hat{f} = \frac{1}{2\pi(N_S + N_d)T_s} \sum_{s=0}^{N_p-2} \omega_s \text{mod}[\varphi_{s+1} - \varphi_s, 2\pi]$$

- Весовые коэффициенты ω_s :

$$\omega_s = \frac{3 \left((2N_p - 1)^2 - (2s + 1)^2 \right)}{\left((2N_p - 1)^2 - 1 \right)}$$

N_S – длина сегмента пилотных символов, N_p – **число пилотных символов в кадре**, $N_d = 16 \cdot 90$ или **весь кадр** – число значащих символов между двумя сегментами пилотных сигналов.

DVB-C2

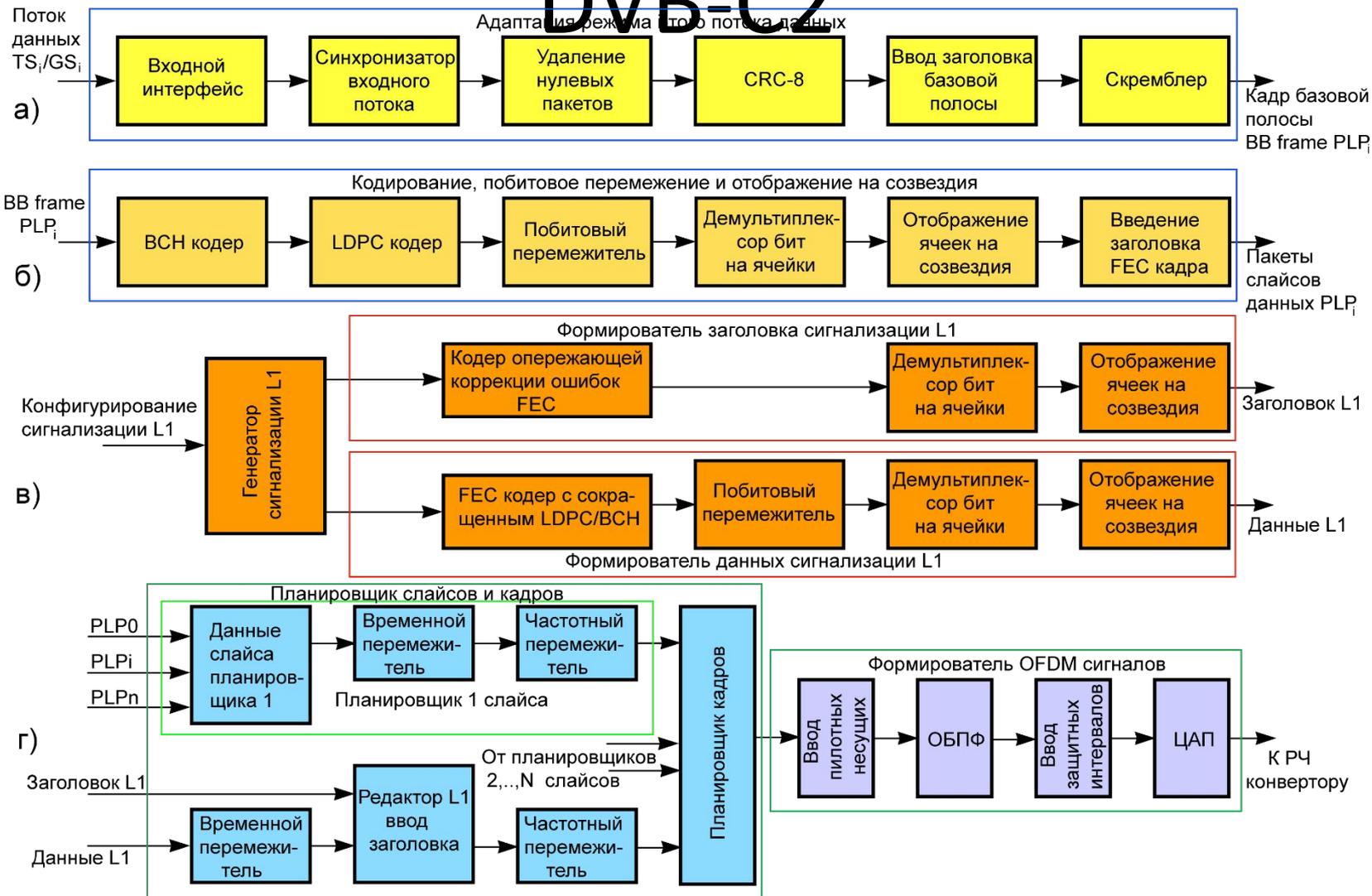
- Стандарт кабельного цифрового телевизионного вещания DVB-C2 унифицирован со стандартами второго поколения, обслуживающими спутниковую (DVB-S2) и наземные (DVB-T2) эфирные транспортные среды
- Прирост пропускной способности 30%
- Спектральная эффективность 1...10,8 бит/с/Гц
- VCM, ACM и прочие «фишки» второго поколения DVB

DVB-C2

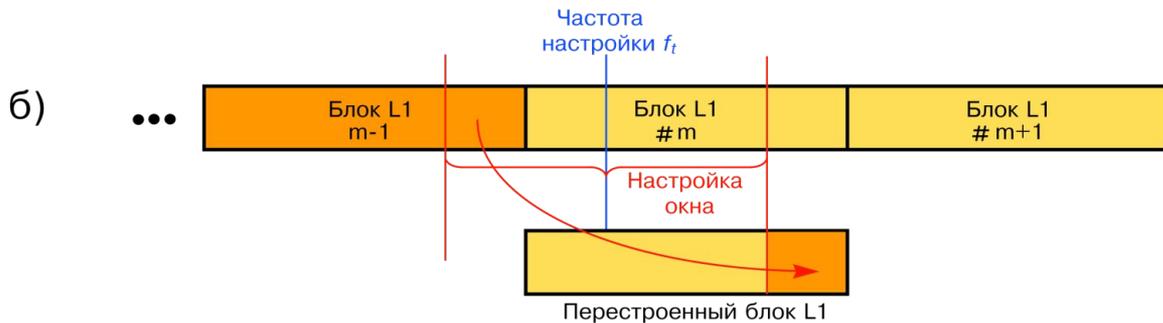
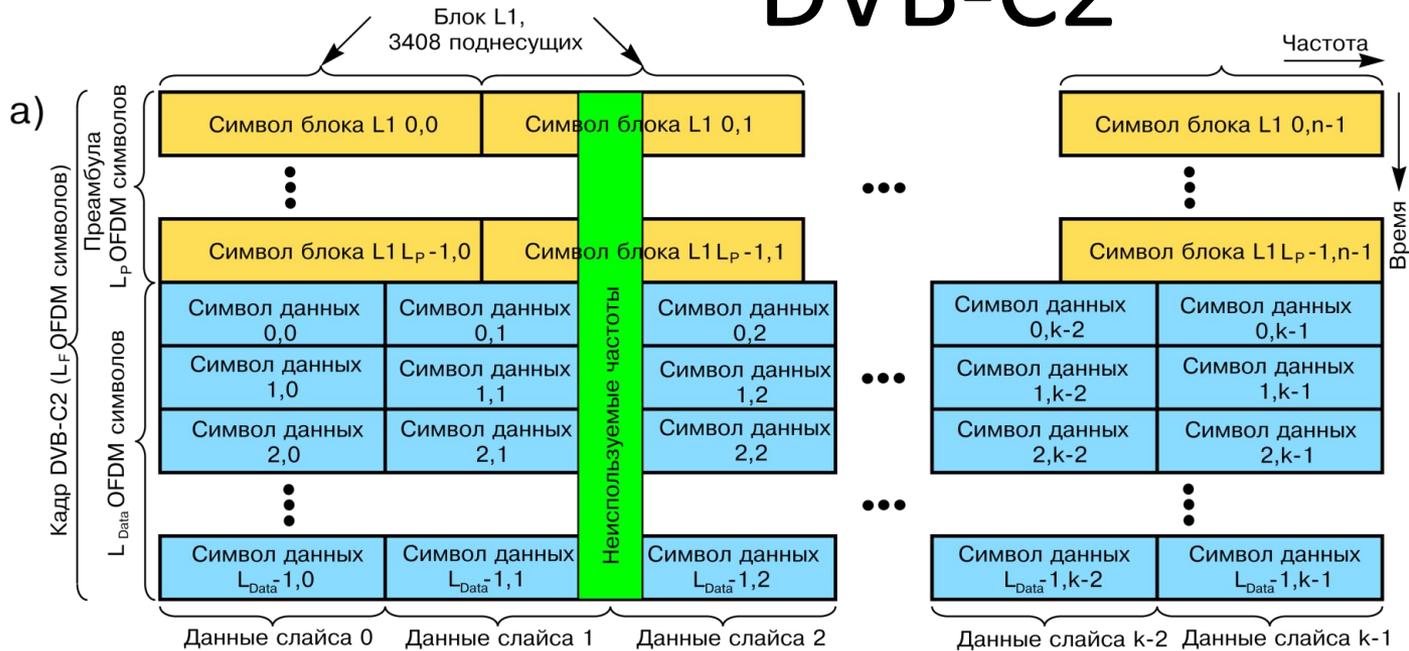
- Как в DVB-S2 и DVB-T2, предусмотрено выделение транспортных PLP физических каналов, которые могут обрабатывать и переносить как обычный поток MPEG-2 TS, так и IP с применением GSE-протокола
- Размеры кадров базовой полосы (после канального кодирования) – 64800 или 16200 бит
- Скорость помехоустойчивого кодирования – 1/2 (заголовки), 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
- Модуляция несущих – 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM, 4096-QAM
- Защитный интервал – 1/64, 1/128

Структурная схема передающей части системы

DVB-C2



Структура кадра системы DVB-C2



В дополнение к рассеянным и постоянным пилотным несущим вводятся также граничные пилотные несущие, определяющие «края» в каждом символе. Такие пилотные несущие вводятся также на границах областей неиспользуемых частот.

Параметры OFDM сигналов для каналов 6 и 8 МГц (DVB-C2)

Параметр	6 МГц	6 МГц	8 МГц	8 МГц
	1/64	1/128	1/64	1/128
Количество OFDM несущих в блоке сигнализации $L1 - K_{L1}$	3408	3408	3408	3408
Ширина полосы блока сигнализации $L1$	5,61 МГц	5,61 МГц	7,61 МГц	7,61 МГц
Длительность T_U в элементарных периодах T	4096 <i>T</i>	4096 <i>T</i>	4096 <i>T</i>	4096 <i>T</i>
Длительность T_U в мкс	597,3	597,3	448	448
Частотный интервал между несущими $1/T_U$ в Гц	1674	1674	2232	2232
Длительность T_G в элементарных периодах T	64 <i>T</i>	32 <i>T</i>	64 <i>T</i>	32 <i>T</i>

Отношение сигнал/шум при различных параметрах DVB-S2

Параметры LDPC кода	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

Максимальные скорости DVB-C и DVB-C2 в канале 8 МГц

Система		16-QAM	64-QAM	256-QAM	1024-QAM	4096-QAM
DVB-C		25 Мбит/с	38,4 Мбит/с	51,2 Мбит/с	-	-
DVB-C2	2/3	-	31,4 Мбит/с	-	-	-
	3/4	-	-	47,1 Мбит/с	58,9 Мбит/с	-
	4/5	25,1 Мбит/с	37,7 Мбит/с	-	-	-
	5/6	-	-	52,4	65,4	78,6