Лекция 1,2 (4час)
Цифровая компрессия аудиоданных в ЦРВ

1. Перспективы развития радиовещания.

2. Принципы компрессии цифрового звука. Метод MUSICAM.

3. Семейство стандартов MPEG.

4. Кодеры стандарта MPEG – 1 (11172 – 3)

5. Кодеры стандарта MPEG – 2 (13818 – 3, 7)

6. Общие сведения о стандарте MPEG – 4 ISO/IEC 14496 - 3

Системы ЦРВ

Таблица 3.2. **Системы ЦРВ и их основные характеристики**

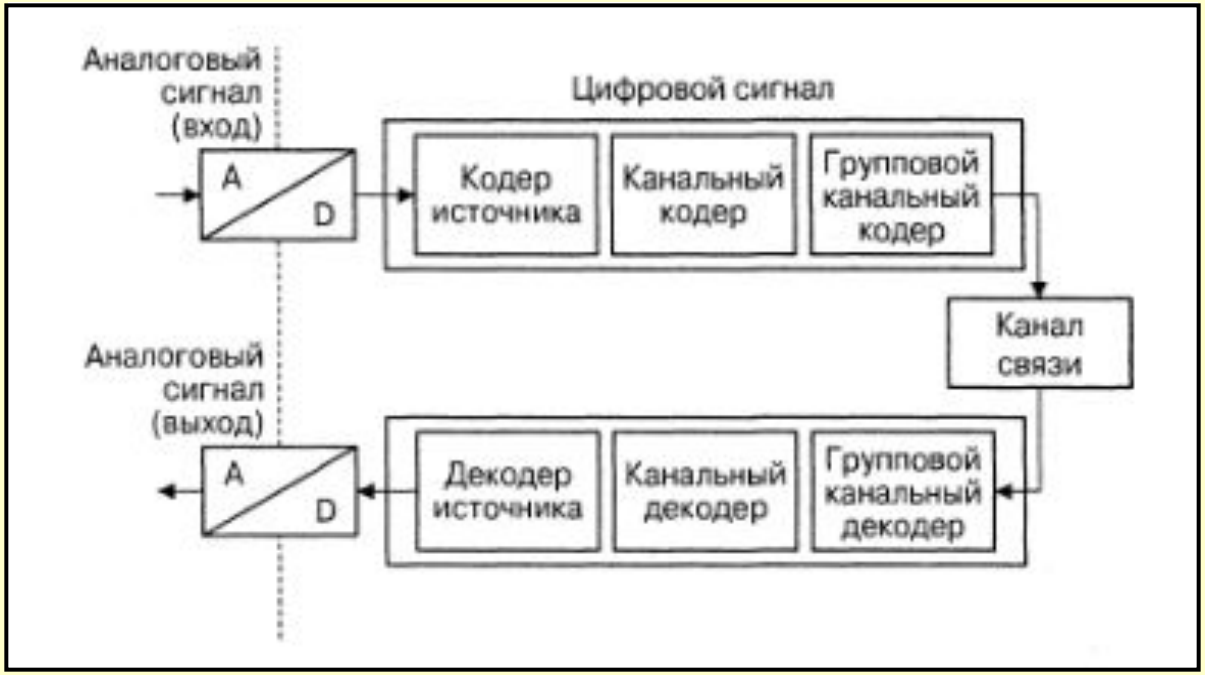
Наименование системы	Вариант построения			Диапазон рабочих частот	Возможность мобильного приема
	Наземная	НЦРВ	НСС		
T-DAB (Eureka 147/DAB)	+	–	–	ОВЧ+УВЧ (~1,5 ГГц)	Гарантирована
DRM	+	–	–	НЧ,СЧ,ВЧ	Гарантирована
AM IBOC DSB	+	–	–	СЧ	Гарантирована
IBAC и IBOC	+	–	–	ОВЧ	Ограничена
S-DAB (Media-Star)	–	+	+	УВЧ	Ограничена
World Space	–	+	–	УВЧ	Ограничена
Sirius Satellite Radio	–	+	+	УВЧ	Отсутствует
XM Satellite Radio	–	+	+	УВЧ	Отсутствует
DSR	–	+	–	СВЧ	Отсутствует
ADR	–	+	–	СВЧ	Отсутствует
Digital System E	–	+	+	УВЧ	Отсутствует

На сегодняшний день в мире получили распространение несколько технологий цифрового радио.
*Это европейская система **Eureka – 147 (DAB),** продвигаемая в США концепция **IBOC,** система низкочастотного (до 30 МГц) цифрового вещания **DRM** (Digital Radio Mondiale – всемирное цифровое радио), а также цифровое спутниковое вещание в формате **DSR** (Digitale Satelliten Radio).*

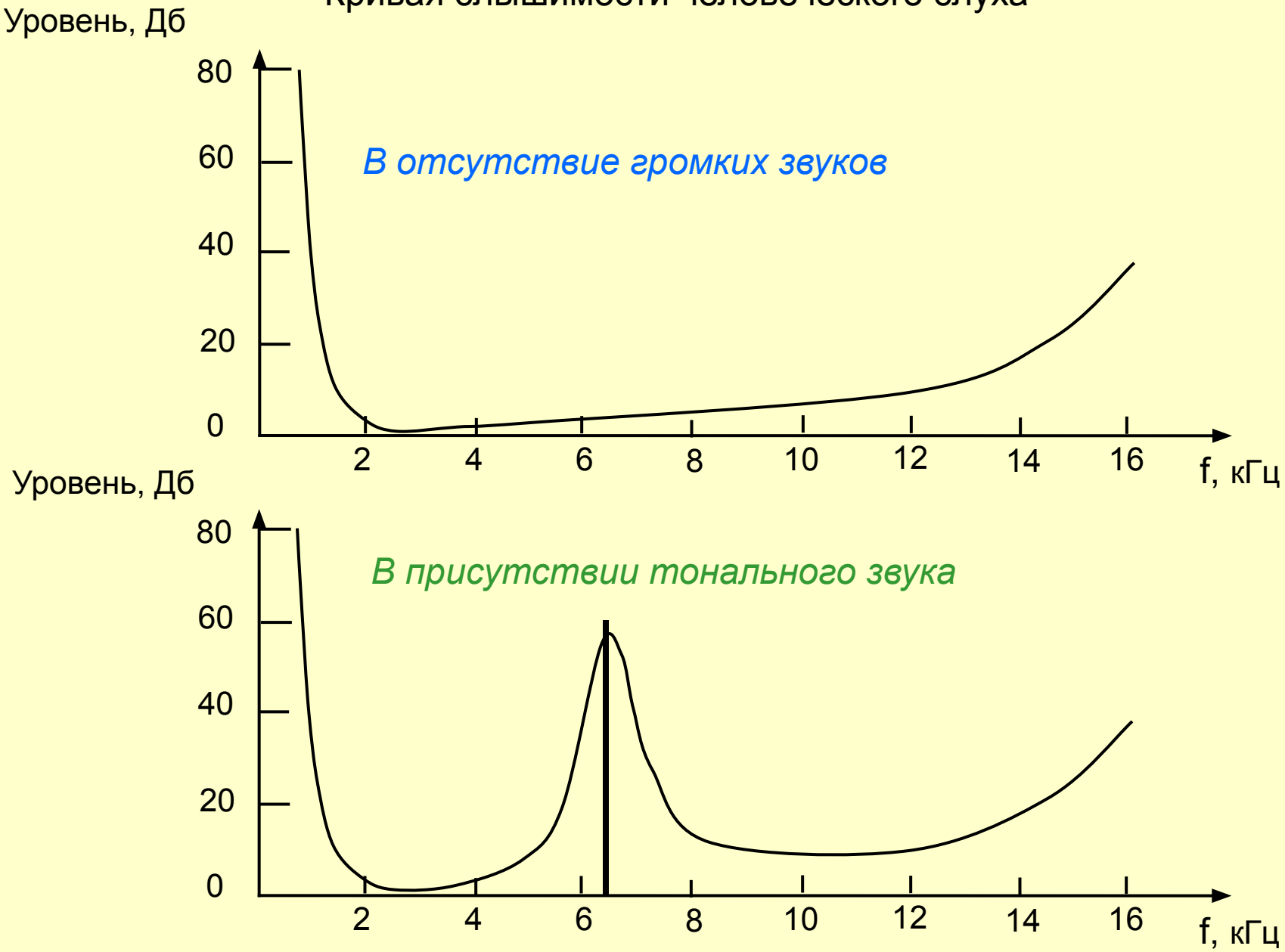
Система цифрового звукового вещания DAB (Digital Audio Broadcasting) *предназначена для доставки высококачественных звуковых программ и данных, передаваемых наземными и спутниковыми передатчиками в метровом (88...114 МГц) и дециметровом (0,5...2 ГГц) диапазонах частот и принимаемых автомобильными, переносными и стационарными приемниками цифровых сигналов, а также распределяемых с помощью кабельных сетей. Система DAB разработана для так называемой одночастотной передающей сети (ОЧС).*

В системе DAB используются широкополосные радиоканалы с одновременной передачей в них нескольких звуковых программ, множества сигналов данных, разнообразной сервисной и другой полезной информации. Она совместима с другими службами радиосвязи.

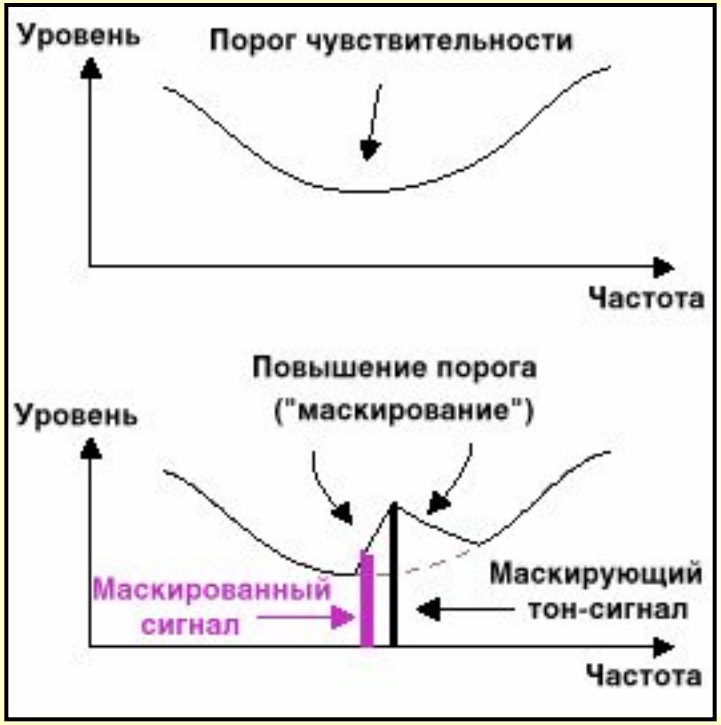
Структурная схема цифровой системы передачи сигналов



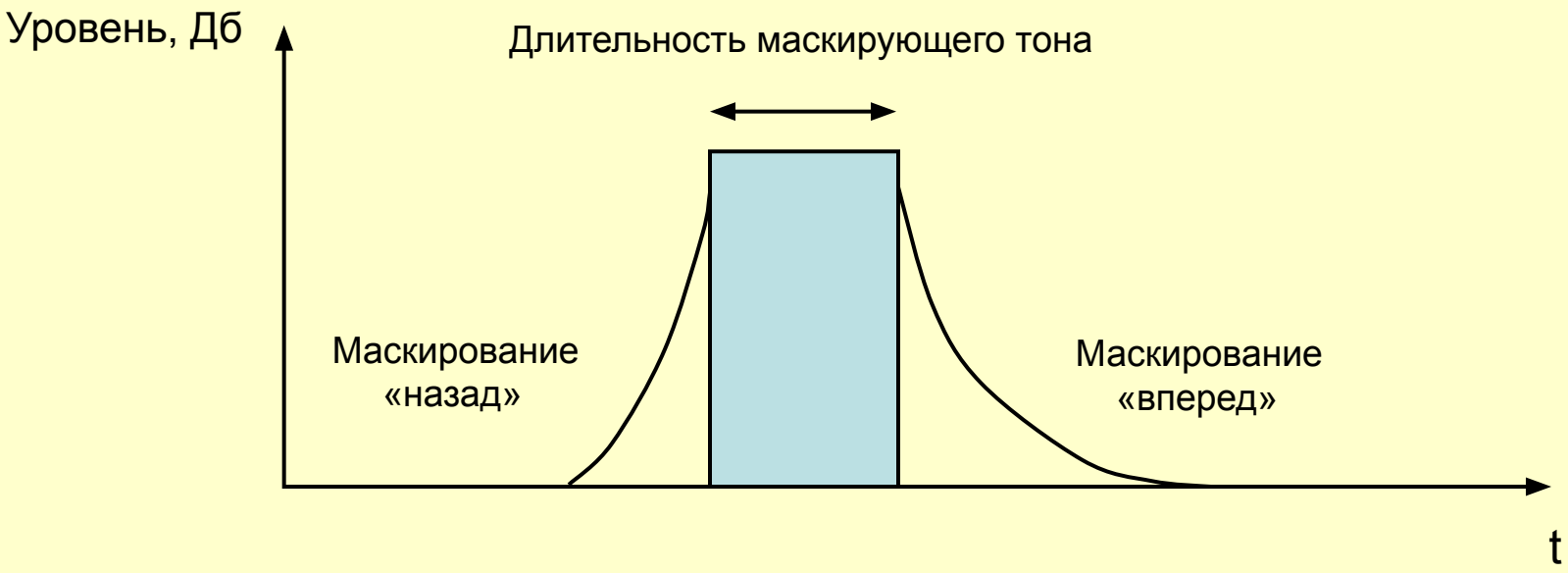
Кривая слышимости человеческого слуха



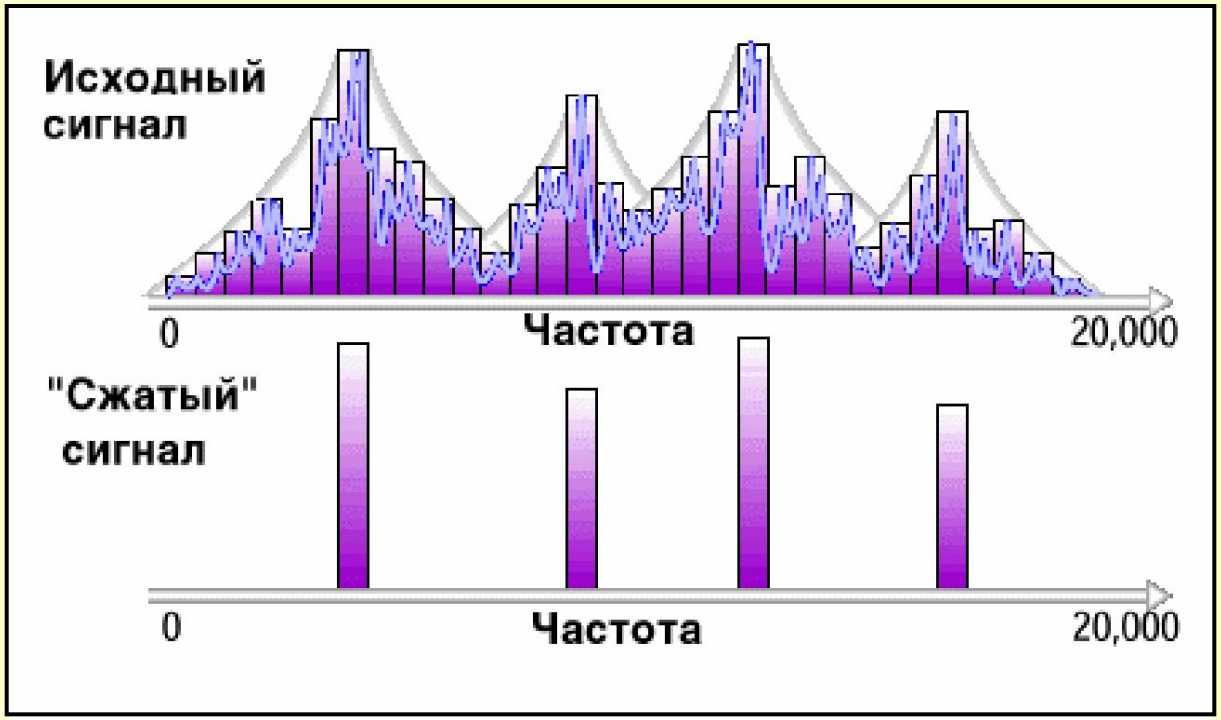
Эффект частотного (статического) маскирования



Эффект временного (динамического) маскирования



Преобразование спектра сигнала при компрессии аудиоданных



Психоакустические модели (ПАМ):

1. NMR (Noise to Mask Ratio)

2. PAQM (Perceptual Audio Quality Measure)

3. PERCEVAL (PERCeptual EVALution).

Методы кодирования и компрессии:

1. *Субполосное кодирование*

   MUSICAM (Masking Pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing),

2. *Кодирование с преобразованием*

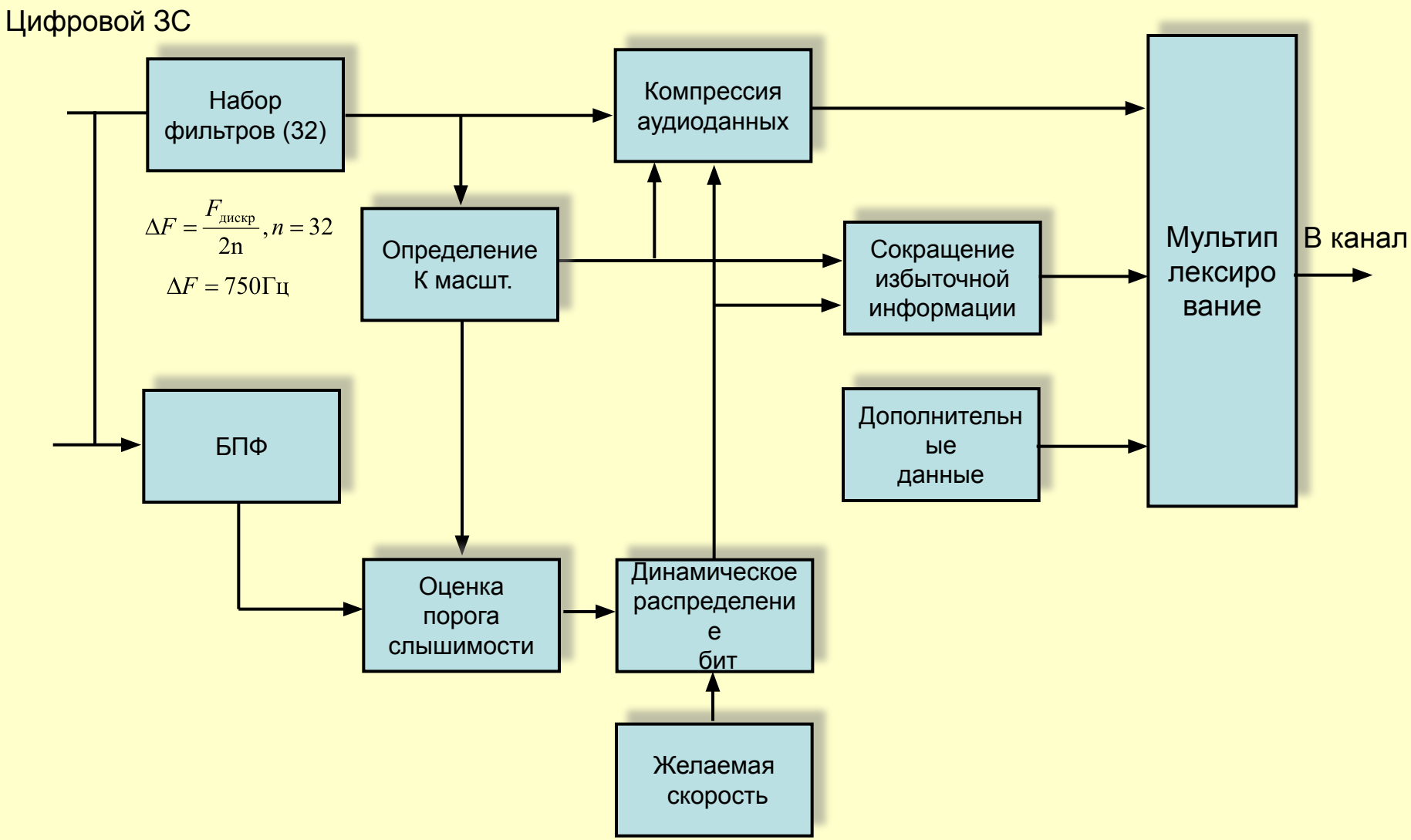
   ASPEC (Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding,
   ATRAC/ATAC (Adaptive Transform Acoustic Coding, США).

Характеристики кодирования источника

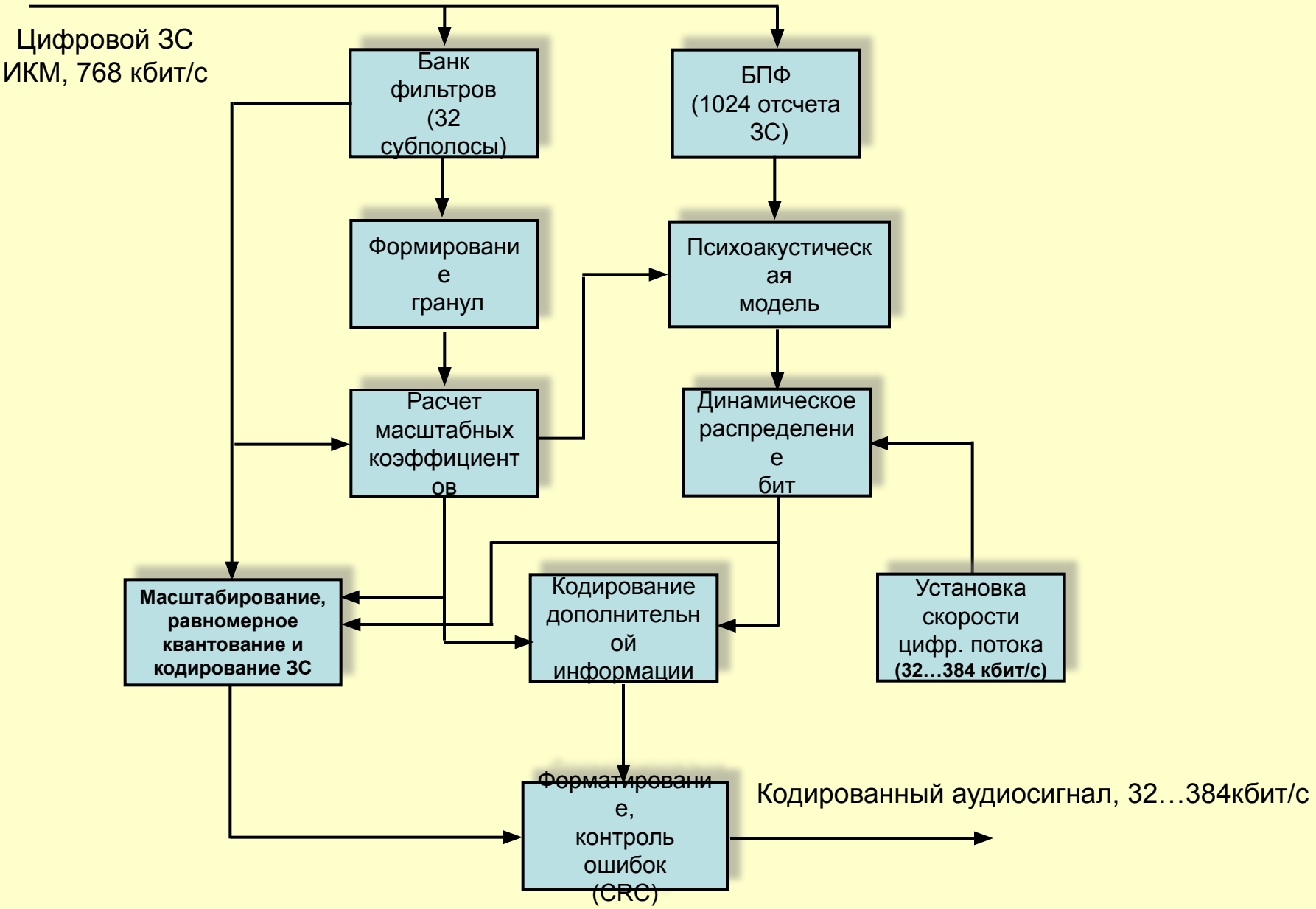
Частота дискретиза-ции, кГц	Звуковой режим	Скорости цифрового потока, кбит/с	Длительность звукового фрейма, мс
48	Одноканальный (одна монопрограмма)	32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192	24
	Стереофонический; двухканальный (2 моноканала), объединенный стереофонический)	64, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256, 320, 384	
24	Для всех режимов передачи	8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 144, 160	48

20 моно...4 стерео

Структурная схема монофонического кодера MUSICAM

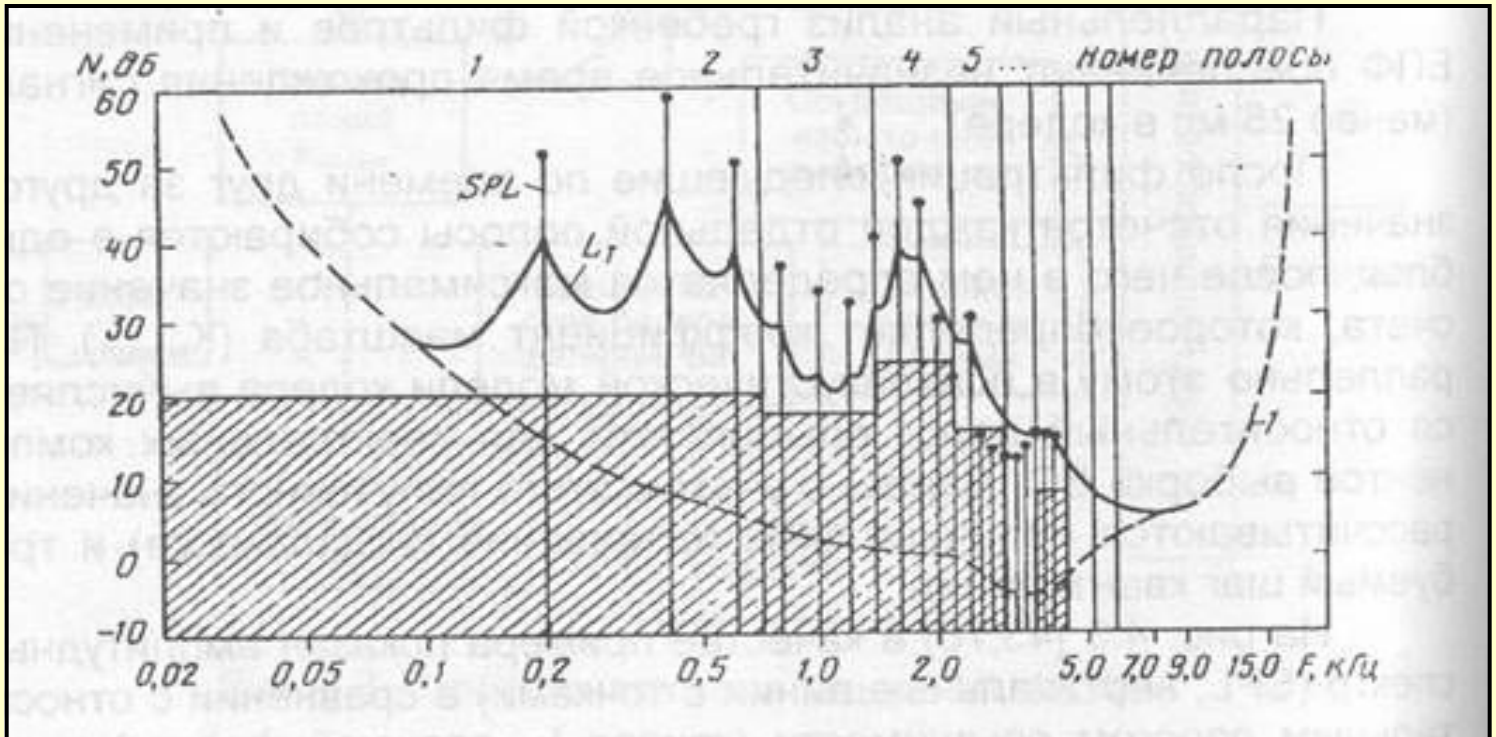


Функционирование кодера MUSICAM



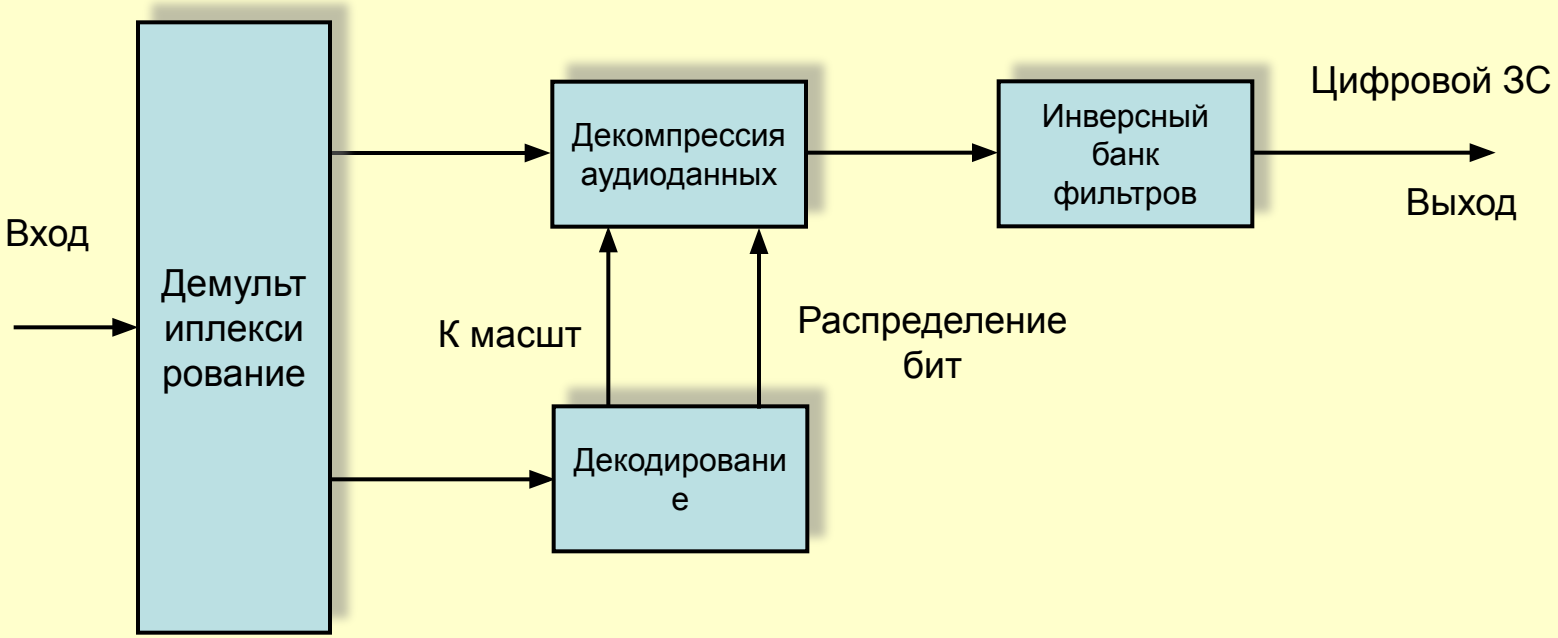
Алгоритм работы кодера MPEG 11172-3 по методу MUSICAM

Частотный анализ ЗС в кодере MUSICAM

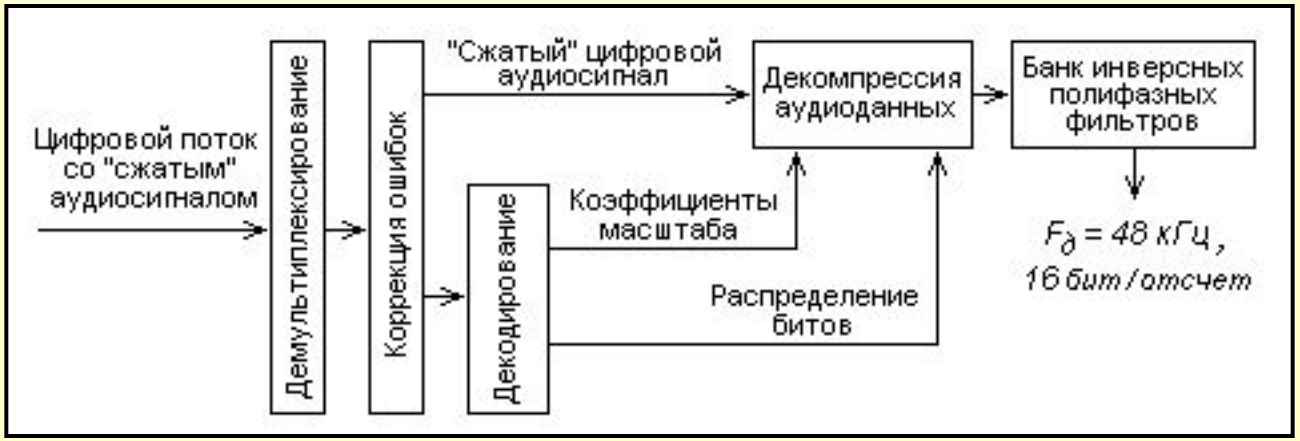


ис. 4.3. Иллюстрация процедуры частотного анализа звукового сигнала

Структурная схема декодера MUSICAM



Структурная схема декодера MPEG 11172-3



Семейство кодеков MPEG

(Motion Pictures Experts Group)

1. MPEG – 1 (ISO/IEC 11172)
2. MPEG – 2 (ISO/IEC 13818)
3. MPEG – 4 (ISO/IEC 14496)
4. MPEG – 7 (ISO/IEC WD 15938)
5. ATSC AC – 3 (Dolby AC – 3)

Профили стандарта MPEG-1

«Информационные технологии – Кодирование движущихся изображений и сопровождающего звука для цифровой записи со скоростями до 1,5 Мбит/с»

11172 – 1 «Системы». *Описывает синхронизацию и мультиплексирование потоков видео и аудио в единый поток, пригодный для цифровой записи или передачи.*

11172 – 2 «Видео». *Определяет кодированное представление сжатых видео последовательностей с 625- и 525-строчным разложением и прогрессивной разверткой до скоростей ~1,5 Мбит/с.*

11172 – 3 «Звук». *Определяет кодированное представление сжатых аудио данных (моно- и стерео).*

11172 – 4 «Проверка соответствия». *Описывает процедуры тестирования цифрового потока и декодера на соответствие профилям 1…3.*

11172 – 5 «Эталонное программное обеспечение». *Примеры реализации ПО для п. 1…3.*

Профили стандарта MPEG-2

Информационные технологии – Обобщенное кодирование движущихся изображений и сопровождающей звуковой информации.

13818 – 1 «Системы». *Описывает мультиплексирование одного или нескольких ЭП видео, аудио и др. данных в одно- или многопрограммный поток, пригодный для записи или передачи.*

13818 – 2 «Видео». *Определяет средства компрессии видеоданных при прогрессивной и чересстрочной развертке, а также процесс декодирования, необходимый для восстановления изображения.*

13818 – 3 «Звук». *Представляет обратно совместимое расширение звукового стандарта MPEG – 1.*

13818 – 4 «Соответствие». *Описывает процедуры тестирования цифрового потока и декодера на соответствие профилям 1…3.*

13818 – 5 «Моделирование ПО». *Примеры реализации ПО для п. 1…3.*

13818 – 6 «DSM – CC». *Определяет набор протоколов по управлению цифровыми потоками MPEG – 1 и MPEG – 2.*

13818 – 7 «AAC». *Описывает алгоритм кодирования многоканального звука AAC, не совместимый с MPEG – 1.*

13818 – 9 «Интерфейс реального времени для декодеров». *Описывает интерфейс реального времени для декодеров транспортного потока.*

13818 – 10 «Соответствие для DSM – CC». *Определяет расширение для совместимости с DSM – CC.*

Профили стандарта MPEG - 4

Информационные технологии – Обобщенное кодирование аудиовизуальных объектов.

14496 – 1 «Системы». *Определяет описание сцены, мультиплексирование, синхронизацию, управление буфером.*

14496 – 2 «Визуальные средства». *Определяет кодированное представление натуральных и синтетических визуальных объектов.*

14496 – 3 «Звук». *Описывает кодированное представление натуральных и синтетических звуковых объектов.*

14496 – 4 «Проверка соответствия». *Описывает процедуры тестирования цифрового потока и декодера на соответствие профилям 1…3.*

14496 – 5 «Рекомендуемое ПО». *Содержит программные модули большинства компонентов MPEG – 4 для построения совместимых устройств.*

14496 – 6 «DMIF». *Определяет сеансовый протокол управления мультимедийными потоками в обобщенной среде.*

Профили 3 «Звук» семейства стандартов MPEG

Стандарт MPEG – 1 (ISO/IEC 11172 - 3) *рекомендуется для кодирования высококачественных моно- и двухканальных стереосигналов, предусматривает три значения* $F_{дискр.}$ *= 32; 44,1 и 48 кГц.*

Стандарт MPEG – 2 (ISO/IEC 13818 - 3) *это обратно совместимая с MPEG – 1 версия метода кодирования 3С различных форматов: 1/0; 2/0; 3/1; 3/2; 5.1; сигналов систем Dolby (Dolby Stereo; Dolby Surround; Dolby Pro Logic и др.). Использует дополнительно к имеющимся в MPEG – 1* $F_{дискр.}$ *= 16; 22,05 и 24 кГц.*

Стандарт MPEG – 2 (ISO/IEC 13818 – 7 AAC) *предназначен для высококачественного (по стандартам EBU (ECP)) кодирования в полной полосе частот (до 20 кГц) при скоростях передачи ~64 кбит/с.*

Стандарт MPEG – 4 (ISO/IEC 14496 - 3) *ориентирован на мультимедийные приложения. Расширяет возможности между мультимедиа терминалами мобильного доступа низкой сложности до высококачественных звуковых систем.*

Уровни (слои) стандартов MPEG

Layer I (слой 1) рекомендуется для применения в профессиональной области в системах записи-перезаписи с высоким студийным качеством с достаточной емкостью памяти. Характеризуется небольшой сложностью и невысокой степенью компрессии (редукции) аудиоданных. Скорость цифрового потока 192…256 Кбит/с; коэффициент компрессии ~4, задержка сигнала при обработке ~20мс.

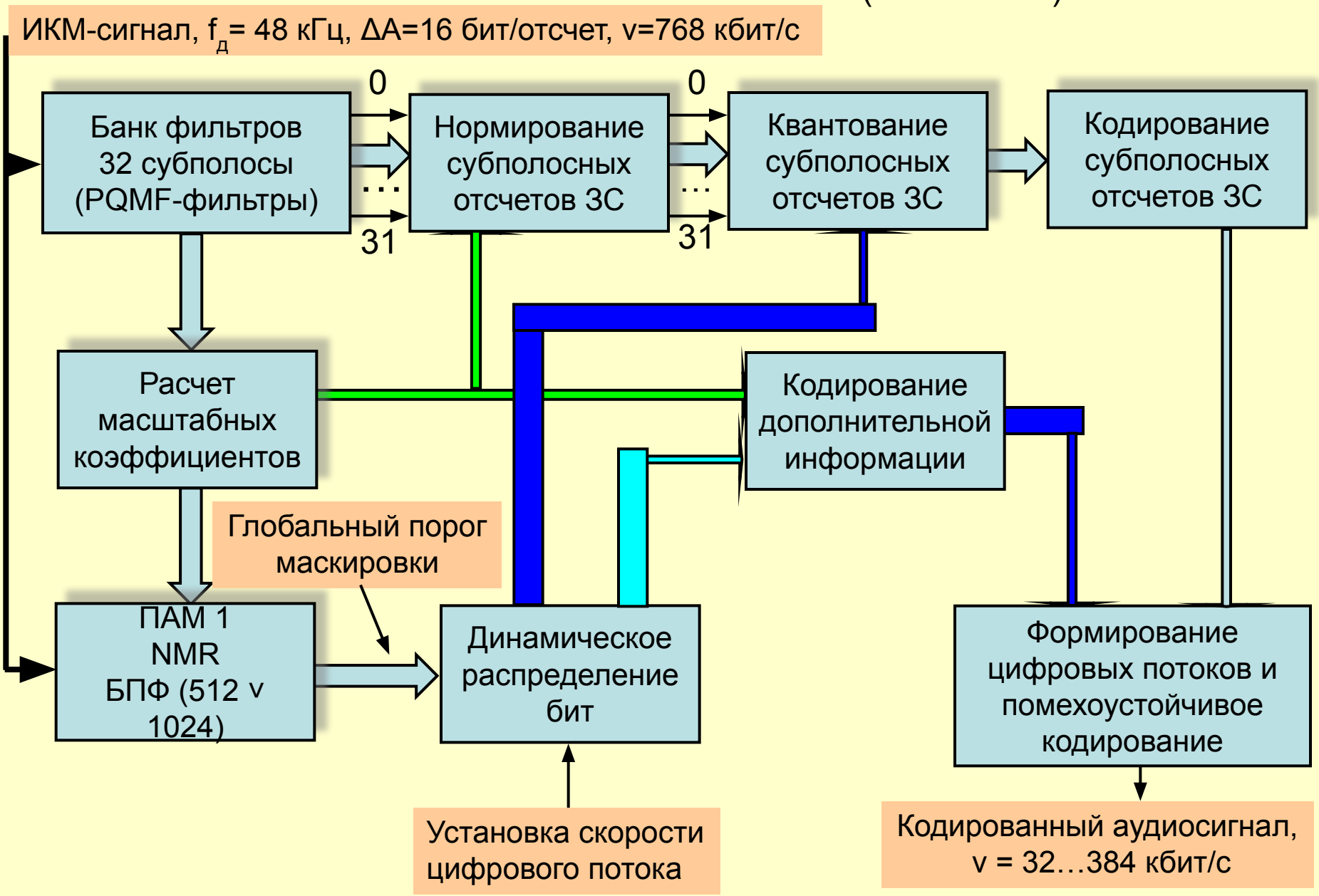
Layer II (слой 2) потребительская область применения, высококачественное РВ. Средняя сложность и средняя степень компрессии аудиоданных. Рекомендуемая скорость цифрового потока 128 Кбит/с при кодировании ЗС в полосе частот 40…15 кГц; коэффициент компрессии ~6, задержка сигнала при обработке 40…50 мс

Layer III (слой 3) рекомендуется для передачи ЗС по сети ISDN в профессиональной области со средним качеством, Интернет – вещания. Отличается высокой сложностью и следующими параметрами: скорость цифрового потока 64 Кбит/с при полосе ЗС 40…15 кГц, коэффициент компрессии ~ 12, время задержки более 50 мс.

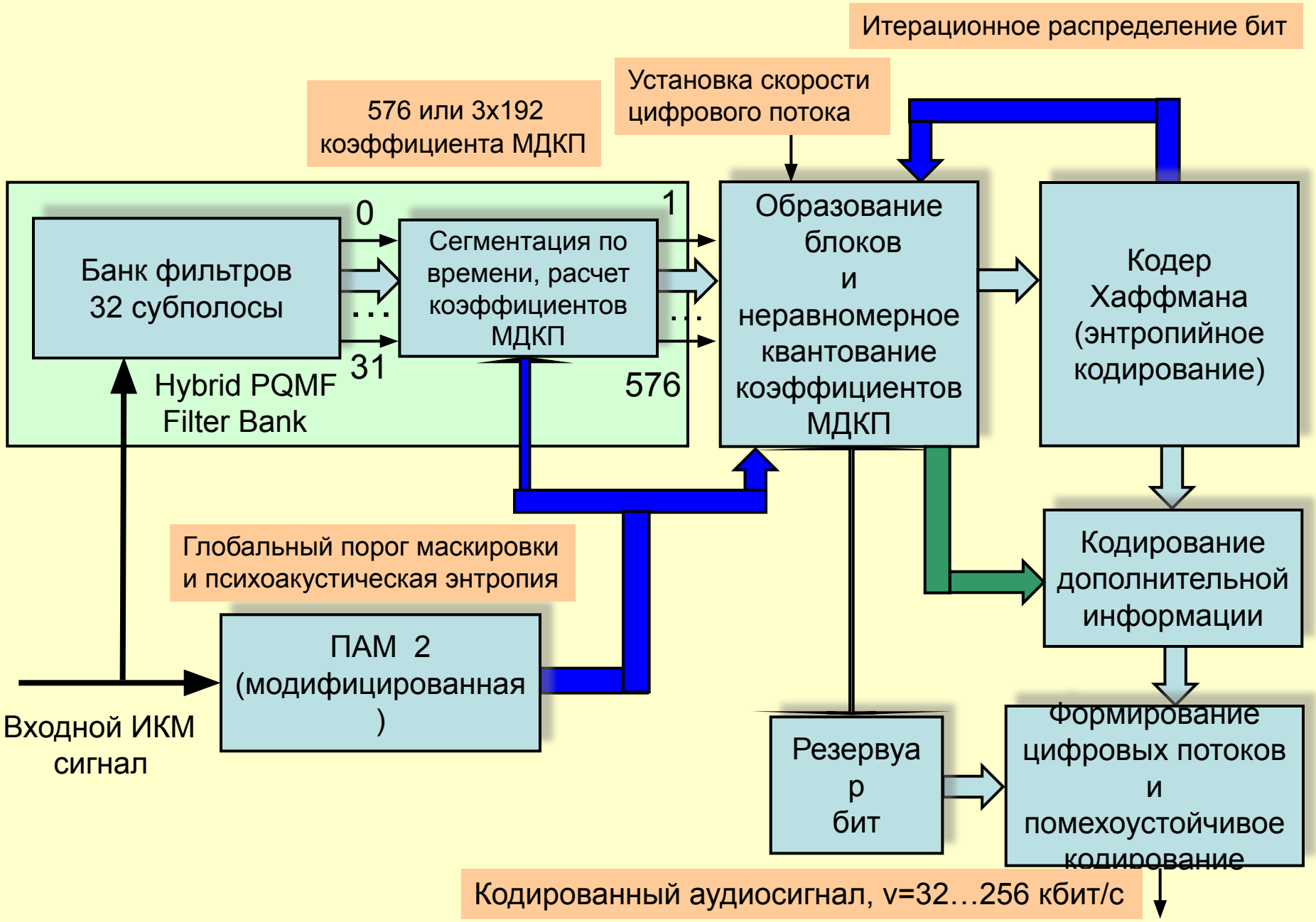
Относительная сложность кодеков MPEG - 1

Уровень	Сложность		Сжатие	Задержка мс
	кодер	декодер		
I	1,5…3	1	4:1	19
II	2…4	1,25	6:1	35
III	>7,5	2,5	12:1	59

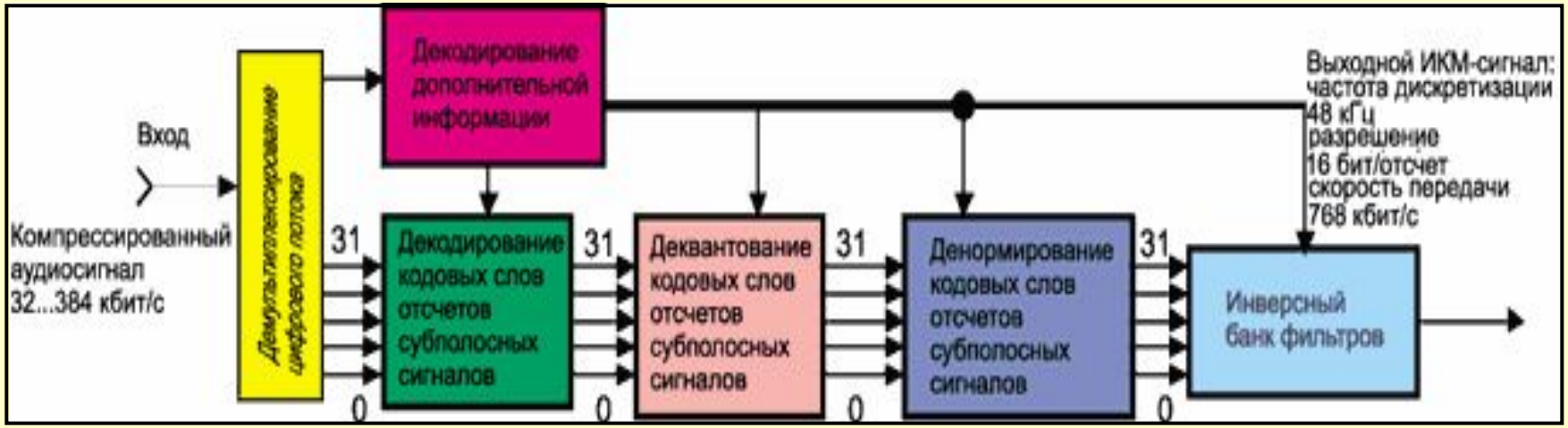
Структурная схема кодера MPEG – 1 (ISO/IEC 11172-3) Layer I и Layer II (MP1 и MP2)



Структурная схема кодера MPEG – 1 (ISO/IEC 11172-3) Layer III (MP3)



Декодер стандарта MPEG - 1 (ISO/IEC 11172-3) Layer II



Структура аудиофрейма стандарта MPEG ISO/IEC 11172-3 Layer I

Header	CRC	BAL	SCF	Subband Samples	AD
12 бит синхрослово 20 бит информация о состоянии	16 бит	4 бита	6 бит	Субполосные отсчеты, соответствующие 32 отсчетам ИКМ аудиосигнала	Дополнительные данные

Структура аудиофрейма стандарта MPEG ISO/IEC 11172-3 Layer II

Header	CRC	BAL	SCFSI	SCF	Subband Samples	AD
12 бит синхрослово 20 бит информация о состоянии	16 бит	Нижние субполосы 4 бита Средние субполосы 3 бита Верхние субполосы 2 бита	2 бита 00 01 10 11	4 бита	Блоки B(1) B(12)	Дополнительные данные

Описание структуры аудиофрейма (20 бит)

1бит – бит идентификации ID, 1- поток аудиоданных полностью соответствует MPEG 11172-3
0- нет (MPEG-2)

2 бита – код уровня (слой кодирования: Layer-I; Layer-II; Layer-III; резерв)

1 бит – бит защиты, 1 – не применяется помехоустойчивое кодирование
0 - применяется

4 бита – скорость цифрового потока для каждого слоя кодирования (32…448 кБит/с для Layer-I; 32…384 кБит/с для Layer-II; 32…320 кБит/с для Layer-III)

2 бита – частота дискретизации: 44,1; 48 или 32 кГц

1 бит – паддинг, 1- частота дискретизации равна 44,1 кГц
0 - иначе

1 бит – для передачи дополнительной информации

2 бита – код режима передачи: стерео, совмещенное стерео, 2 независимых канала, один канал

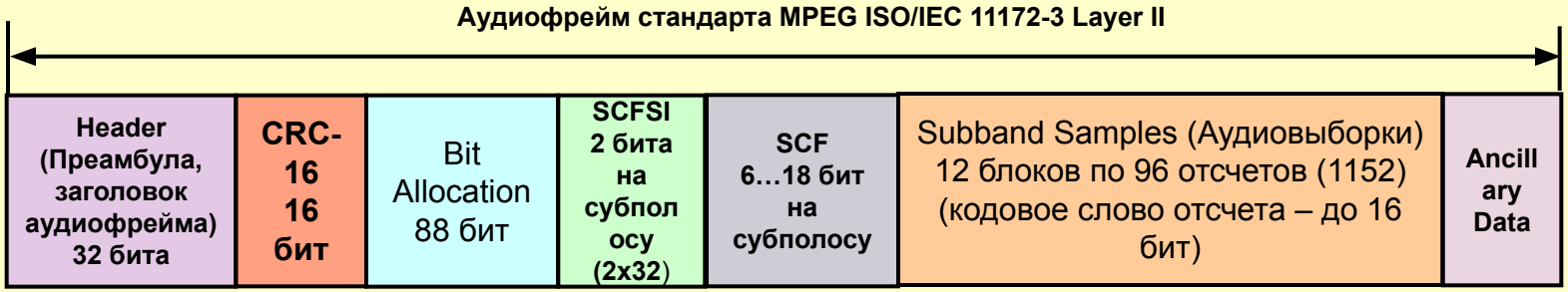
2 бита – код режима расширения при передаче в режиме Joint Stereo

1 бит – бит права копирования, равен 0, если копирование запрещено

1 бит – оригинал/копия, равен 1, если передается оригинал

2 бита – код предыскажения

Структура аудиофрейма стандарта MPEG ISO/IEC 11172-3 Layer II



Header- служебная информация (12 бит синхрослово 111111111111 и 20 бит - описание структуры данных аудиофрейма)

CRC – избыточные биты (остаток) CRC-16

Bit Allocation – распределение количества бит по субполосам

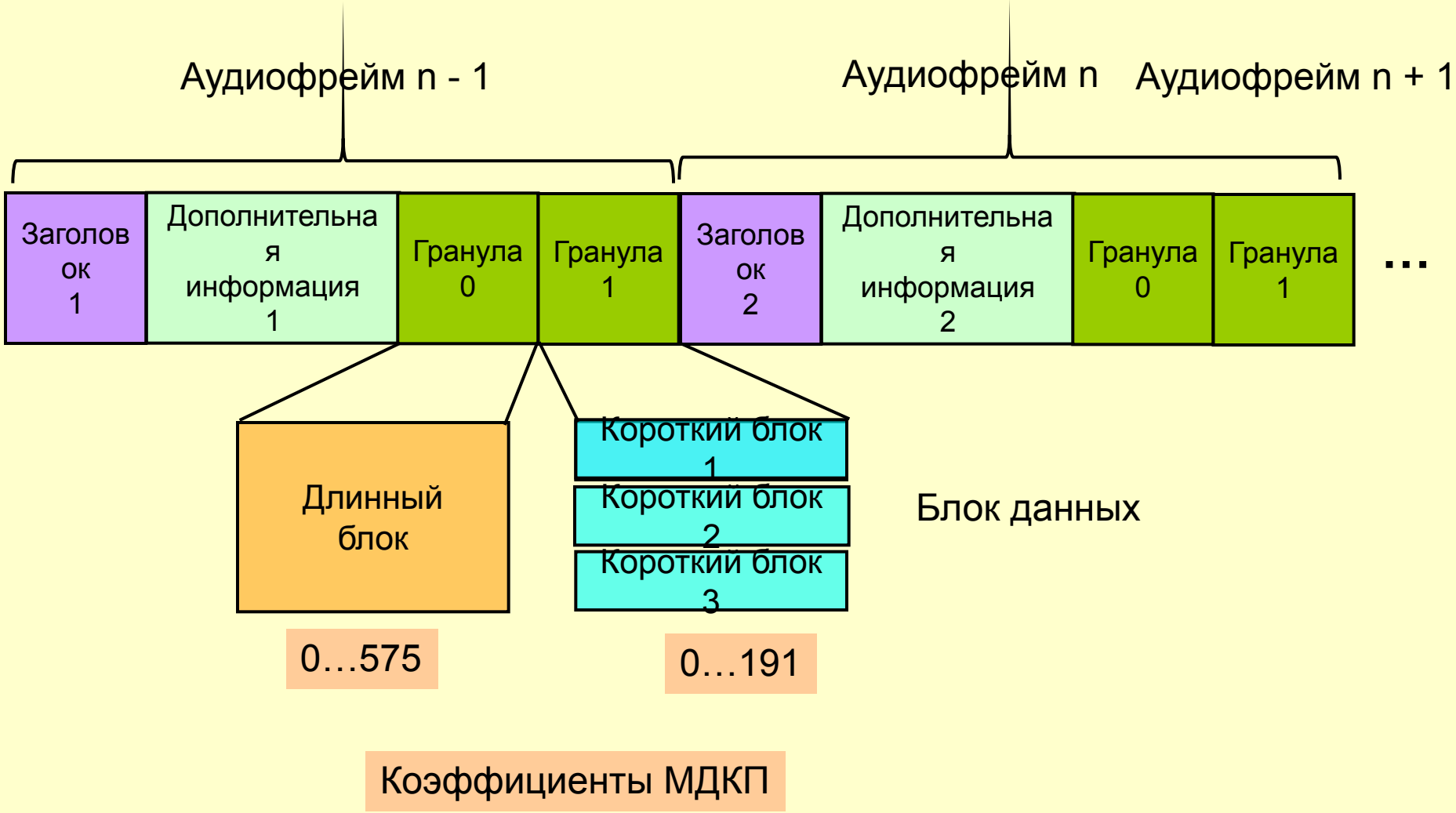
SCFSI – распределение масштабных коэффициентов

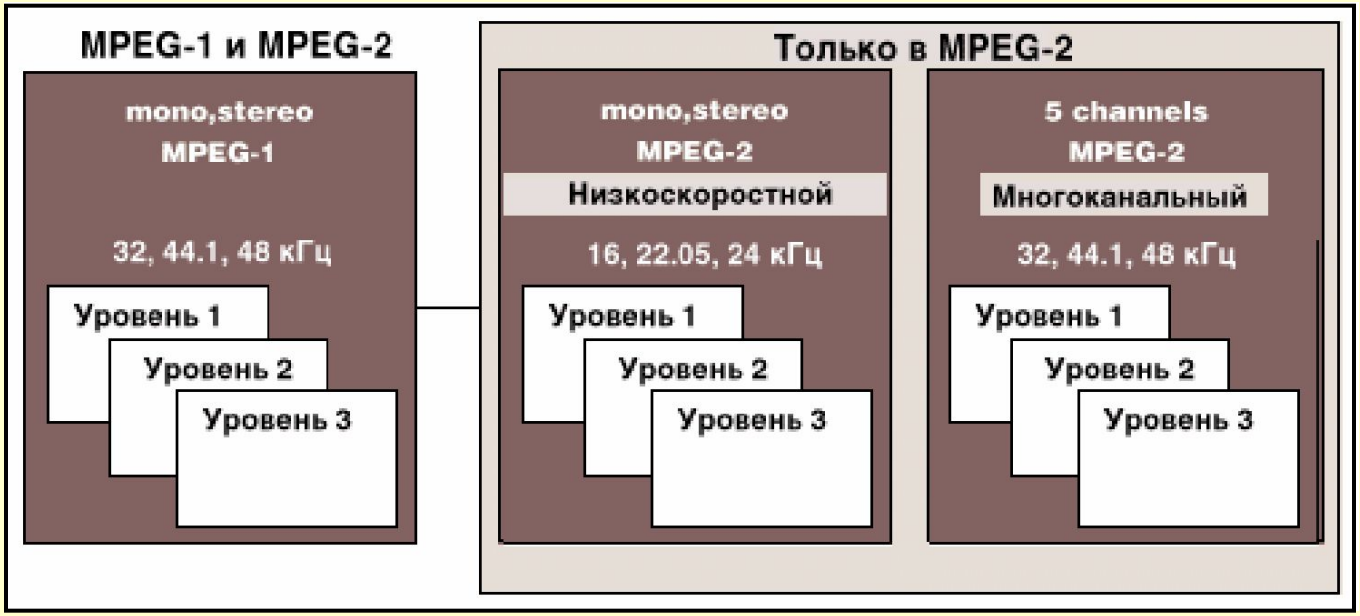
SCF – значения масштабных коэффициентов

Subband Samples – значения нормированных отсчетов субполосных сигналов

Ancillary Data – вспомогательные данные

Структура аудиофрейма стандарта MPEG ISO/IEC 11172-3 Layer III

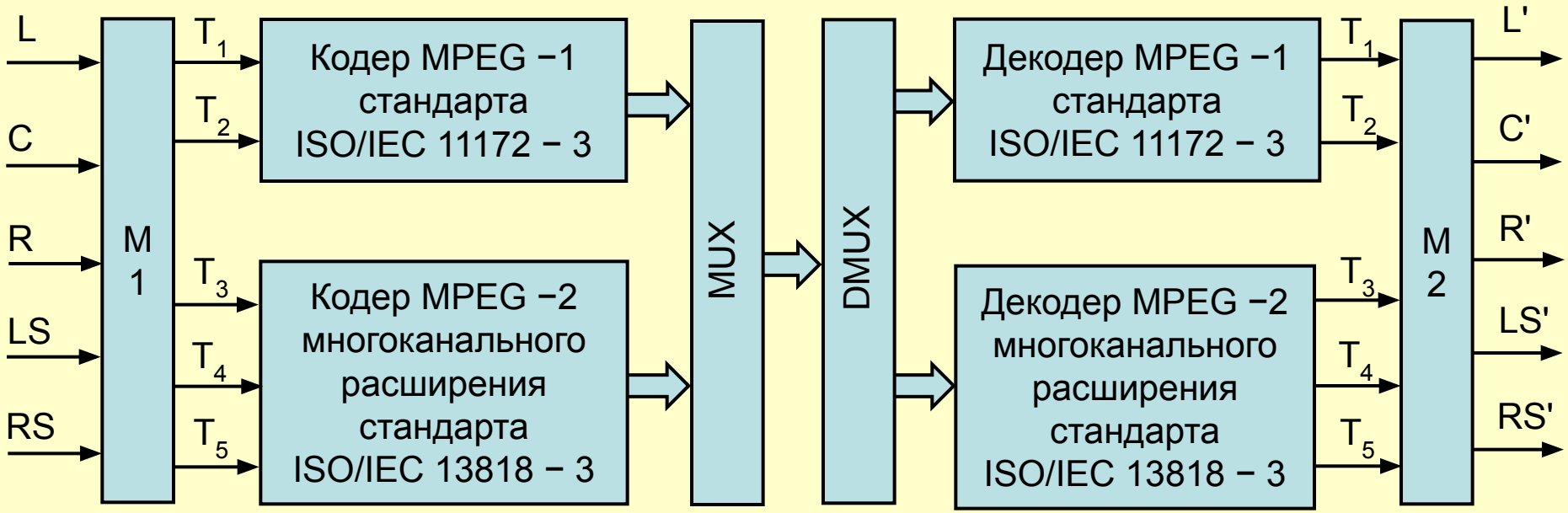



MPEG-1 и MPEG-2
mono,stereo
MPEG-1
32, 44.1, 48 кГц
Уровень 1
Уровень 2
Уровень 3
Только в MPEG-2
mono,stereo
MPEG-2
Низкоскоростной
16, 22.05, 24 кГц
Уровень 1
Уровень 2
Уровень 3
5 channels
MPEG-2
Многоканальный
32, 44.1, 48 кГц
Уровень 1
Уровень 2
Уровень 3

Передаваемые сигналы в стандарте MPEG −2 ISO/IEC 13818 − 3

Число каналов передачи	Формат воспроизведения	Передаваемые сигналы
5	3/2	L,C,R,LS,RS
5	3/0+2/0	$L,C,R+L_2,R_2$
4	3/1	L,C,R,S (Surround)
4	2/0+2/0	$L,R+L_2,R_2$
3	3/0	L,C,R
3	2/1	L,R,S
2	2/0	L,R (Stereo)
1	1/0	Mono

Структурная схема кодека MPEG −2 стандарта ISO/IEC 13818 − 3
(многоканальная конфигурация)

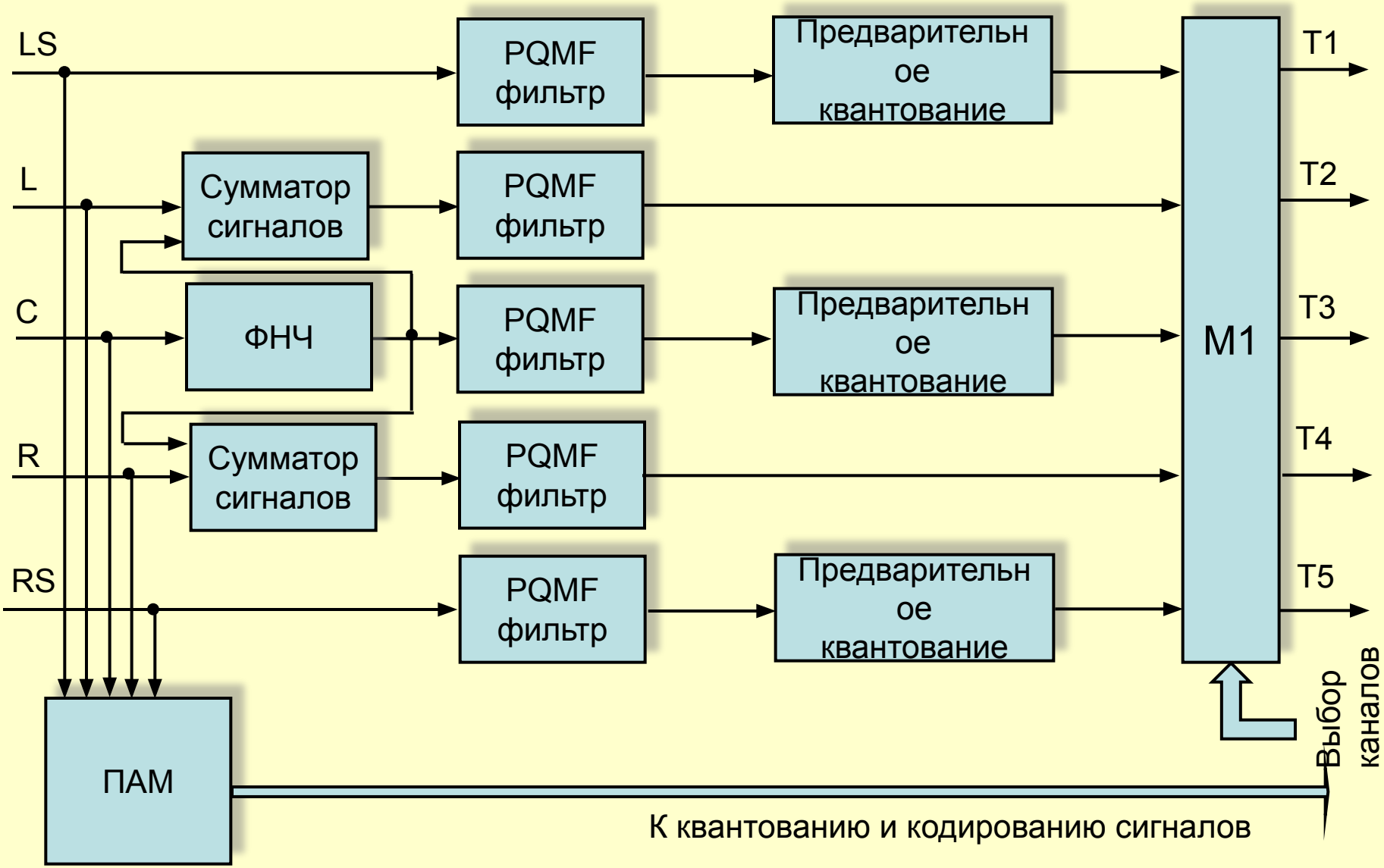


$T_1 = \alpha(L+\beta C+\gamma LS)$;
$T_2 = \alpha(R+\beta C+\gamma RS)$;
$T_3 = \alpha\beta C$;
$T_4 = \alpha\gamma LS$;
$T_5 = \alpha\gamma RS$

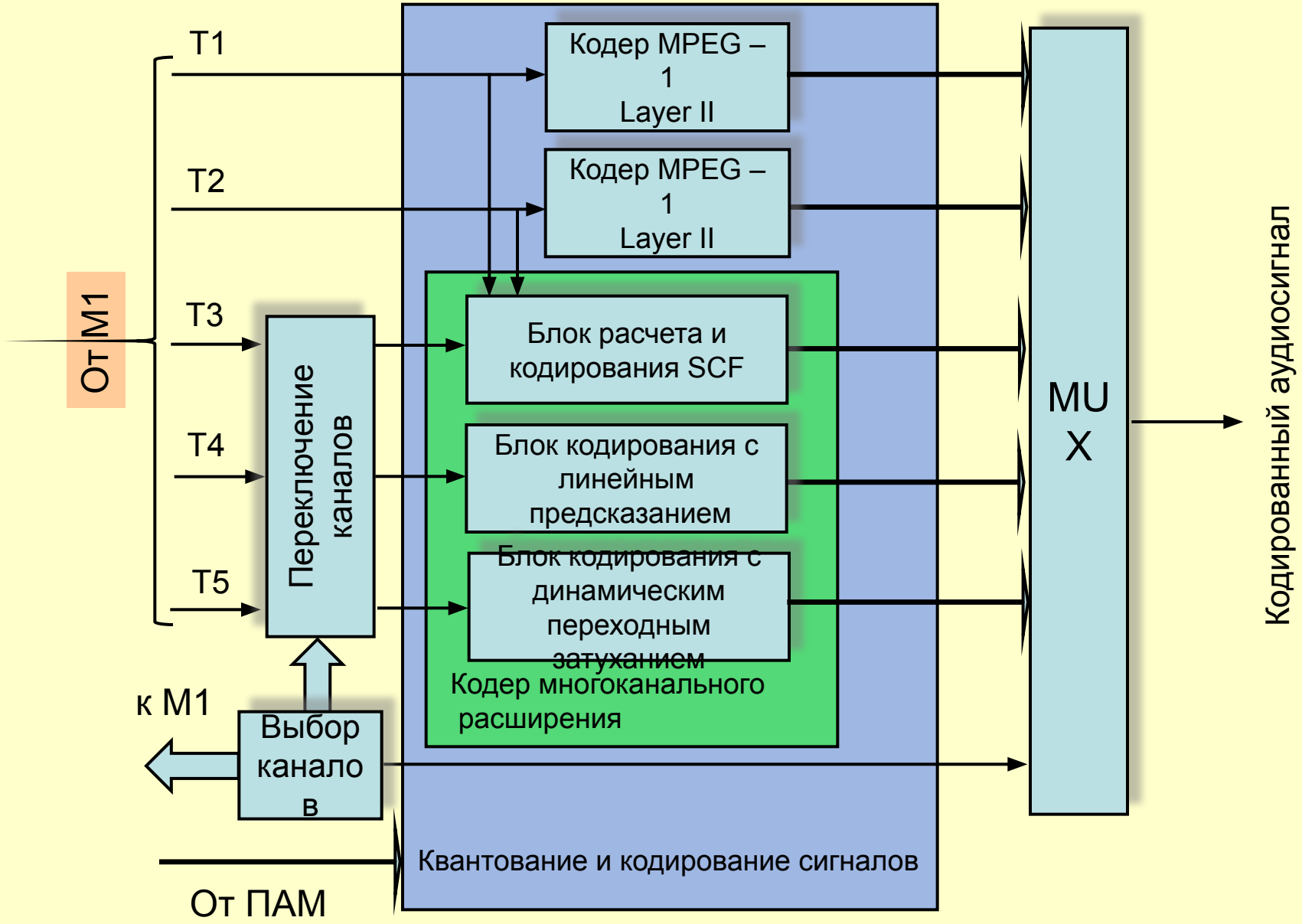
Режим 2 Dolby Surround

$\alpha = 1/(1+\sqrt{2})$ $\beta = 1/\sqrt{2}$ $\gamma = 1/\sqrt{2}$

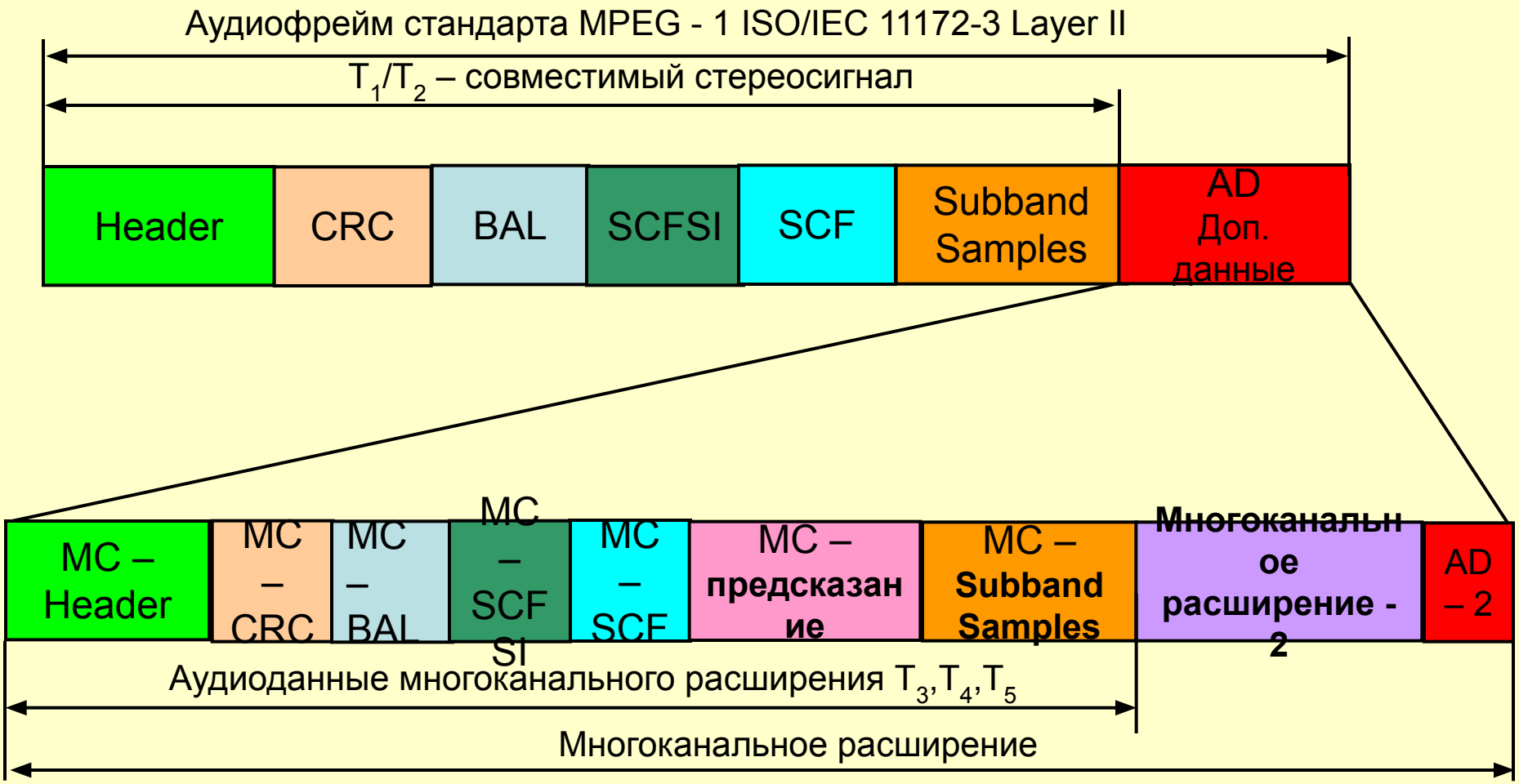
Структурная схема кодера MPEG-2 ISO/IEC 13818-3 Layer II



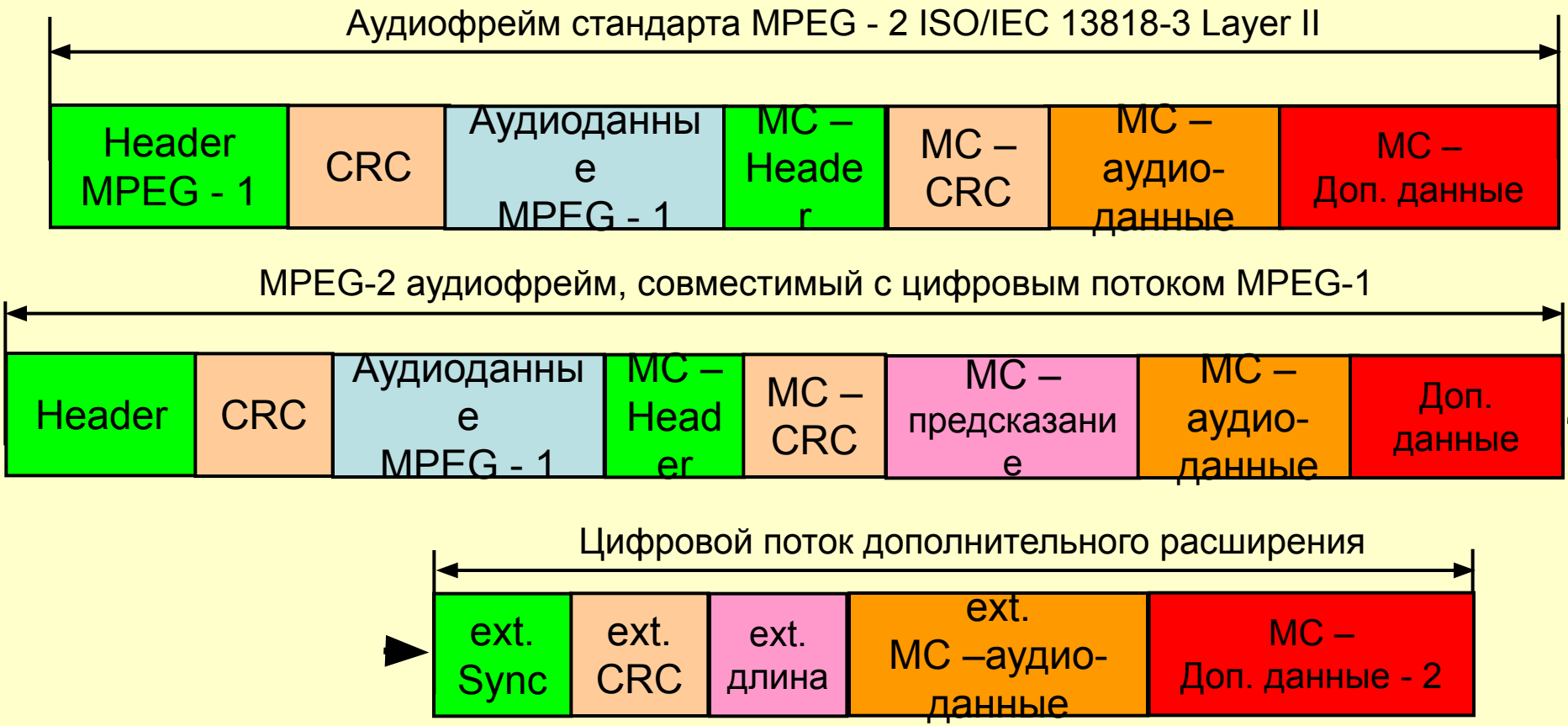
Структурная схема кодера MPEG-2 ISO/IEC 13818-3 Layer II (продолжение)



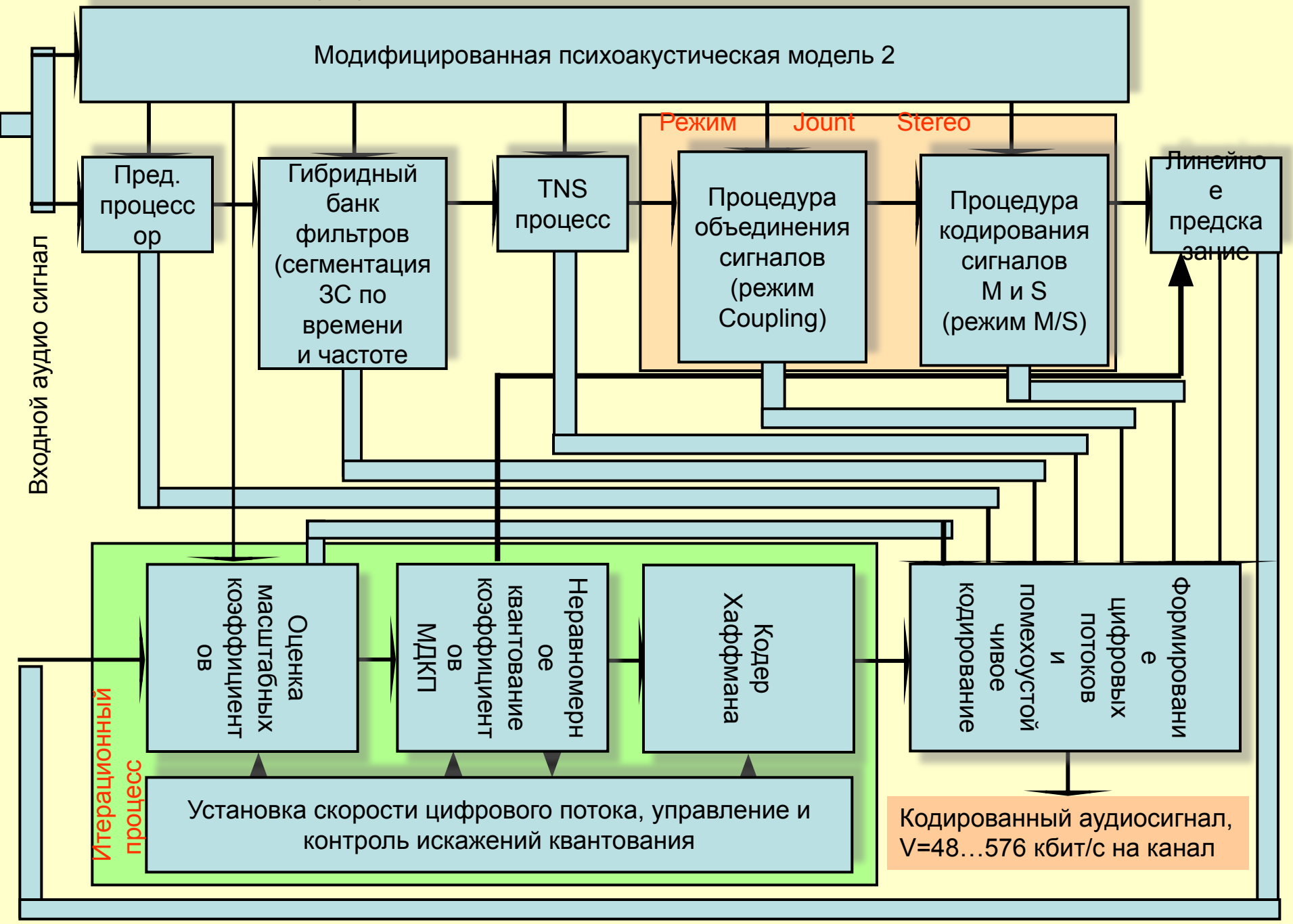
Структура данных аудиофрейма MPEG-2 стандарта ISO/IEC13818-3 Layer II при отсутствии дополнительного расширения



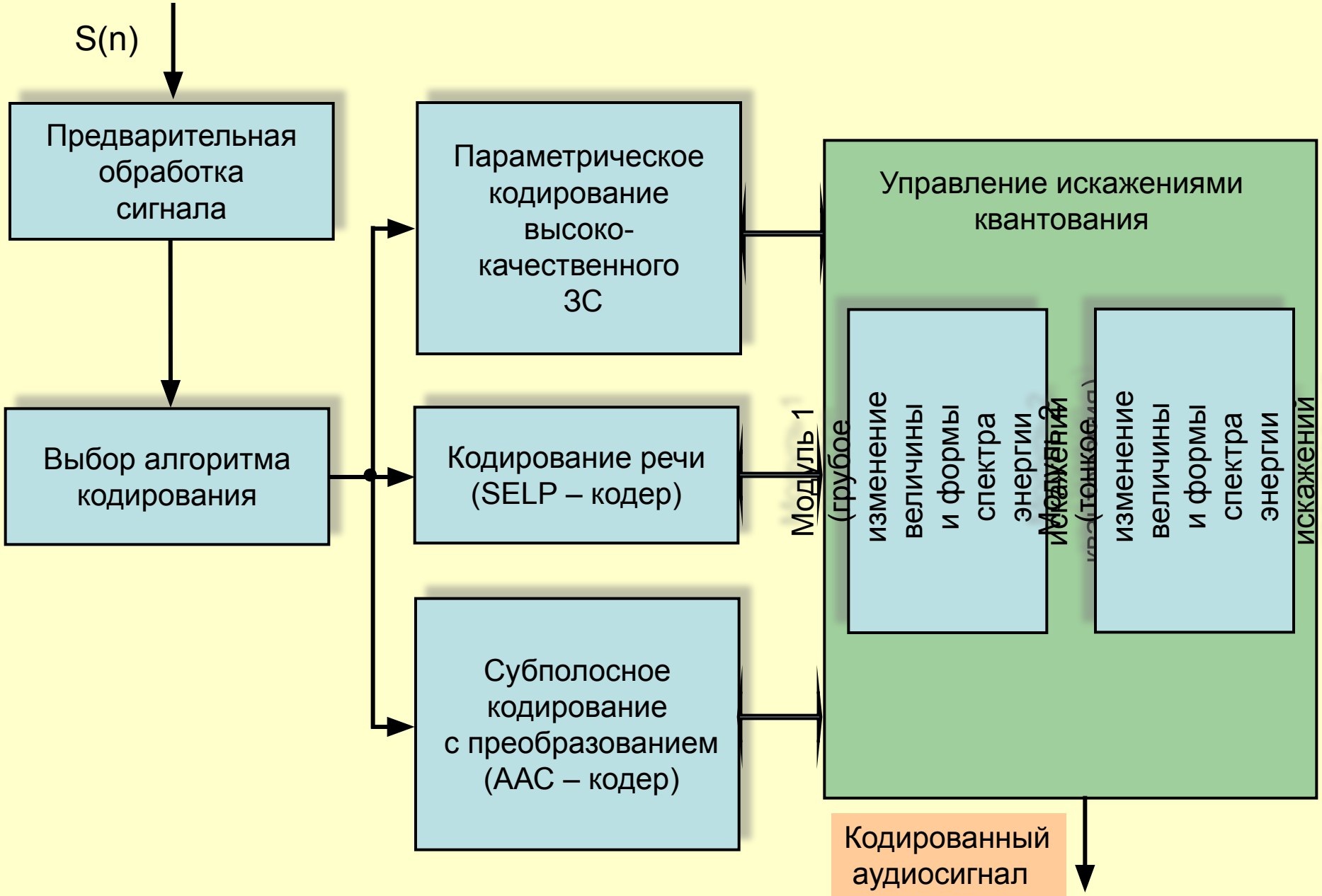
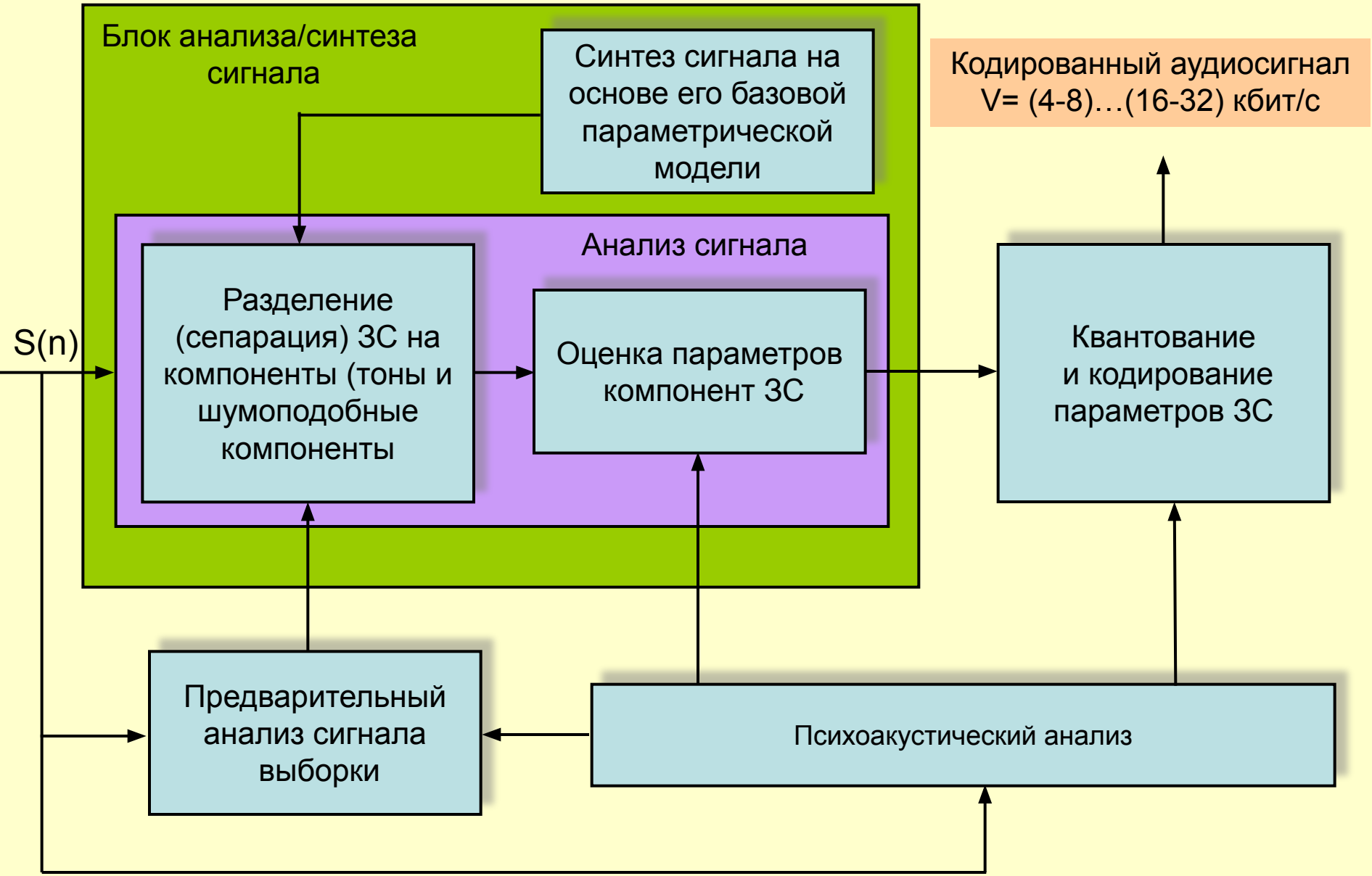
Структура данных аудиофрейма MPEG-2 ISO/IEC 13818-3 с дополнительным расширением



Структурная схема кодера MPEG – 2 AAC ISO/IEC 13818 - 7



Алгоритмы компрессии цифровых данных MPEG – 4 стандарта ISO/IEC 14496 - 3



Структурная схема кодера, использующего параметрическое кодирование (стандарт MPEG – 4 ISO/IEC 14496 - 3)