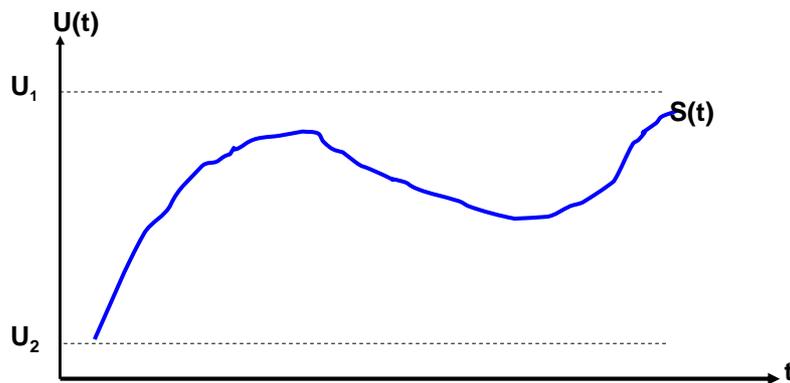


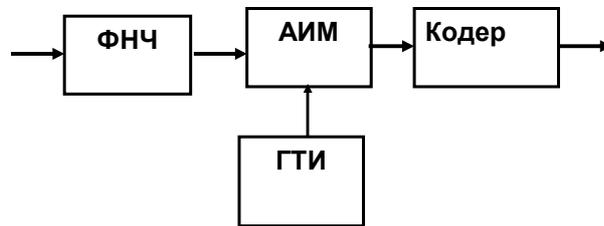
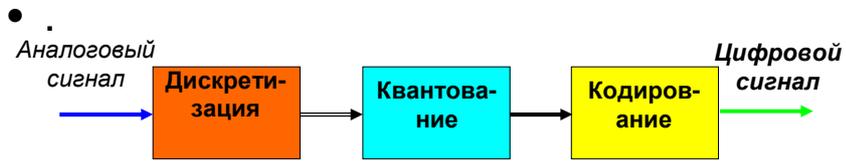
# Эволюция методов обработки цифровых сигналов телерадиовещания.

*Копылов Анатолий Михайлович*  
*Доцент кафедр «Инфокоммуникаций»*  
*и «Радиовещания и акустики» МТУСИ*  
E-mail: amkop@yandex.ru; mppk@mtuci2.ru  
Т. +7-499-1916673  
*Семинар БРЭ МСЭ 16-18 июня 2009 г.*  
*г. Саранск*

## Аналоговый сигнал

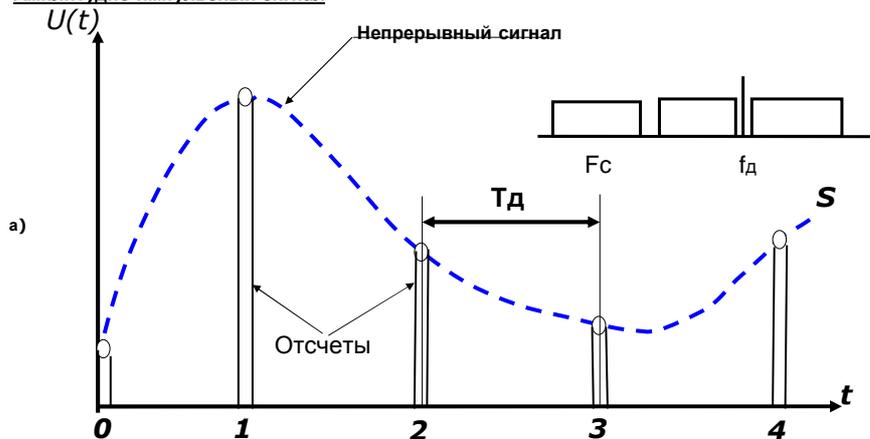


## Последовательность операций преобразования аналогового сигнала в цифровой.

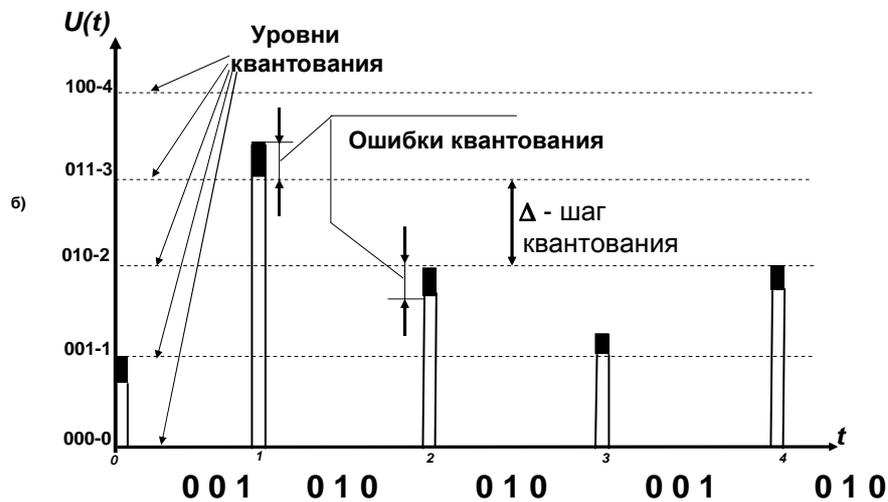


## Представление непрерывного сигнала в цифровой форме: дискретизация во времени

- Амплитудно-импульсный сигнал



## Квантование и кодирование



Частота дискретизации  $F_d = 1/T_d > 2F_d$   
и системные требования.

Звуковое вещание:

И трактах формирования программ  $F = 48$  кГц;

В лазерных проигрывателях и видеомэгнитофонах - 44,1 кГц;

В трактах распределения программ - 32 кГц.

(кратна частоте дискретизации телефонного канала 8 кГц)

Верхняя частота ТВ изображения - 6,375 МГц (ГОСТ 7845-92)

Для сигнала яркости выбрана частота - 13,5 МГц

Она кратна строчным частотам двух стандартов разложения

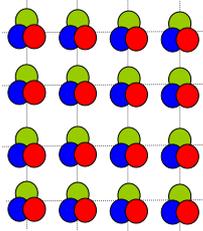
625/50 и 525/59,94. Рекомендация 601МСЭ-Р для  
производства ТВ программ стандартной чёткости.

Для цветоразностных сигналов  $F = 6,75$  МГц,

Для формата изображения 16Х9 частота дискр. - 18 МГц

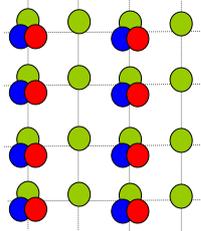
Для ТВ пониженной чёткости и мультимедиа применяют  
формат по яркости 352Х288, по цветности - 176Х144 для  
625 строчного разложения.

## Цифровые видео форматы



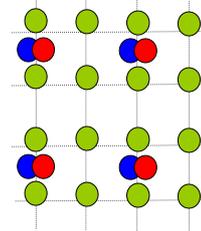
### 4 : 4 : 4

Каждый отсчет (пиксель) описывается – Y, Cr и Cb  
Применяется в студийной работе



### 4 : 2 : 2

Каждый отсчет описывается Y. И каждый второй отсчет в строке описывается Cr и Cb  
Применяется в студийной работе  
**Основной формат**

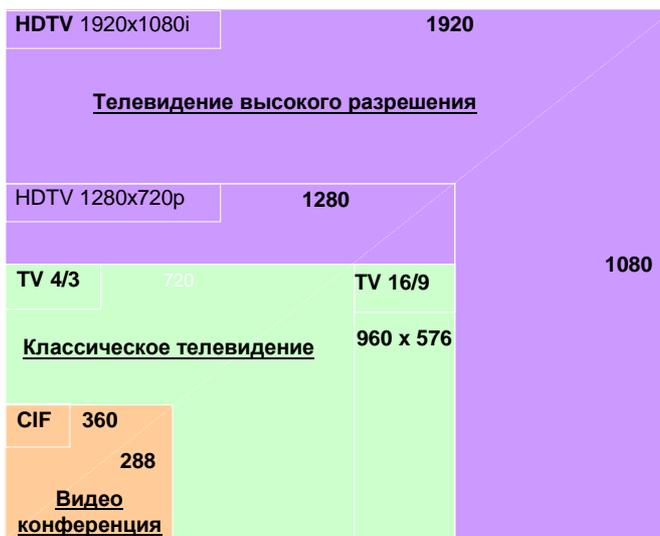


### 4 : 2 : 0

Каждый отсчет описывается Y. И только каждый второй отсчет и на 2 строки описывается Cr и Cb.  
Применяется в широковещательной трансляция

## Форматы телевизионных экранов по рекомендации (ITU-R 601 Rec)

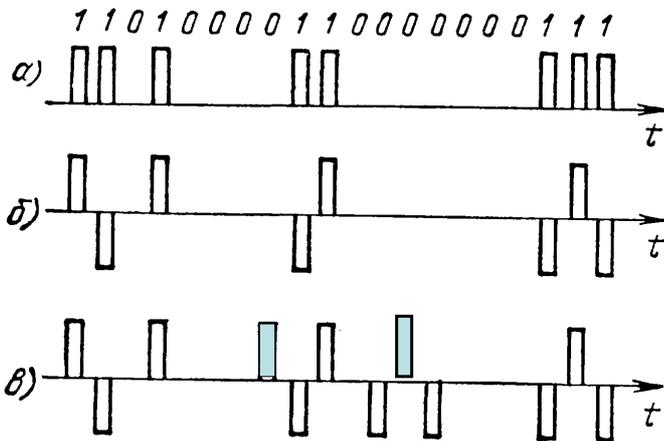
- 
- 



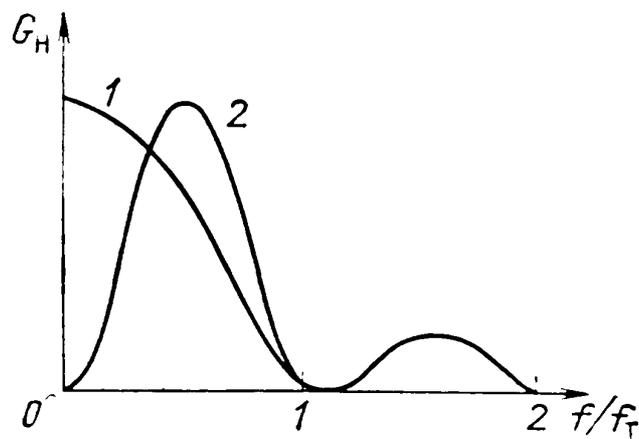
- $n_{\max} = 2Em$  ;  $m = \log_2 n$ ;
- $m = 8$ ;  $n = 256$ ;  $m = 16$ ,  $n = 65536$
- Симметричные коды  $+ \rightarrow 1$ ;  $- \rightarrow 0$ .
- $P_{\text{шк}} = \Delta E^2 / 12$ ;  $P_{\text{шп}} = \Delta E^2 / 4$  ;
- Сигнал звукового вещания  
 $V = m \cdot f_d \cdot n = (16 \cdot 48) \cdot 2 = 768 \cdot 2 = 1536 \text{ кбит/с}$ ;
- Телефонный сигнал:  $V = 8 \cdot 8 = 64 \text{ кбит/с}$ .
- Сигнал ТВ изображения  
 $V = 13,5 \cdot 106 \cdot 10 + 2 \cdot 6,75 \cdot 106 \cdot 10 = 270 \text{ Мбит/с}$   
 Для формата 16x9  $V = 360 \text{ Мбит/с}$   
 Для цифрового сигнала высокого качества (ТВЧ). Частота дискретизации сигналов цветности – 74,25 МГц, скорость цифрового потока -1,485 Гбит/с.

- Ширина полосы частот сигналов
- $B_n = 2F_v$  – при двухполосной передаче;
  - $B_n = F_v - F_n$  – при однополосной передаче;
  - При частотной модуляции несущей  $B_n = 2(\Delta f_d + F_v)$ ,  
 где  $\Delta f_d$  – девиация частоты.
  - Для систем с цифровой манипуляцией несущей МСЭ–Р рекомендует определять значение НШПЧ исходя из условия попадания в эту полосу 99% средней мощности излучения.
  - ШПЧ можно вычислить по формуле:  $B_n = RK$ ,
  - где  $R$  - скорость передачи,  $K$  – эмпирический весовой коэффициент, выбираемый в соответствии с рекомендацией МСЭ–Р. Значения весовых коэффициентов  $K$  приняты равными: 0,91 (система GSM), 1,03 (система DECT), 1 (система CDMA 450).
  - Если 1 бит/Гц необходимо сжатие цифрового потока 270 Мбит/с примерно в 40 – 44 раза шире полосы 8МГц.  $K = 1,2 \dots 1,3$  (324 ... 351 МГц)
- Необходимо сжатие цифровых сигналов**

Линейные коды: а) однополярные импульсы, б) квазитроичный код, в) код с высокой плотностью единиц



Спектральная плотность мощности цифровых сигналов: 1) однополярных импульсов, 2) квазитроичного кода



## Скремблирование (scramble – перемешивать)

- При появлении длинных серий нулей может произойти сбой в синхронизации.
- Чтобы устранить это явление к двоичным символам цифрового потока добавляют другую последовательность:

(сумматоры по модулю 2)

Цифровой поток 0111000000000000000011

Скремблер 10101010101010101010101

Выходной поток 11011010101010101010110

- Длинные последовательности нулей исчезли.
- Чтобы вернуться к исходной последовательности, нужно сложить сигнал с такой же последовательностью
- Скремблирование используется в системах условного доступа

## Достоверность цифровой передачи

- При использовании симметричного кода ошибка приводит к изменению полярности. Её заметность зависит от абсолютного значения сигнала.
- При линейной шкале квантования ошибка в старшем разряде приводит к погрешности, равной половине шкалы квантования, в младшем разряде погрешность равна шагу квантования.
- Если ошибка происходит в трёхразрядной комбинации, определяющей шкалу квантования при почти мгновенном компандировании, то с погрешностью будут восстановлены все 32 отсчёта 9(на 6 дБ, если ошибка в младшем разряде и связана с переходом к соседней шкале квантования; на 12 дБ, если ошибка во втором разряде, на 24дБ, если ошибка в старшем разряде.
- *При одиночных ошибках в младших разрядах их влияние может быть практически не заметно на слух.*
- *Ошибки в пяти - шести старших разрядах проявляются в виде щелчков, сильно ухудшающих качество звучания.*

- Считается, что допустимым является появление не более одного щелчка в час на канал, и что к щелчкам приводит половина всех ошибок, тогда

$$P_{ош} = 1/(2 \cdot 0,5 \cdot F_{д} \cdot 3600 \cdot m).$$

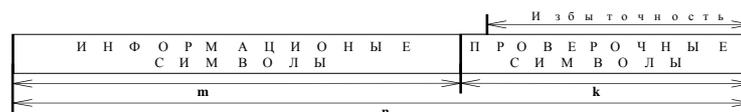
- В реальных цифровых каналах связи с учётом действия различных помех трудно обеспечить требуемую вероятность ошибки, средняя вероятность ошибки -  $10E-5, 10E-6$ .

*Поэтому нужно принимать специальные меры по обнаружению и дальнейшему маскированию или исправлению ошибок, если  $P_{ош} > 10-5$ .*

- Для ошибок большой кратности в множество одиночных ошибок используют метод перемежения информации.
- При модуляции *OFDM* несущих используют частотное перемежение, чтобы соседние биты были разнесены по частоте и не попадали в полосу селективного замирания.

## Помехоустойчивое кодирование

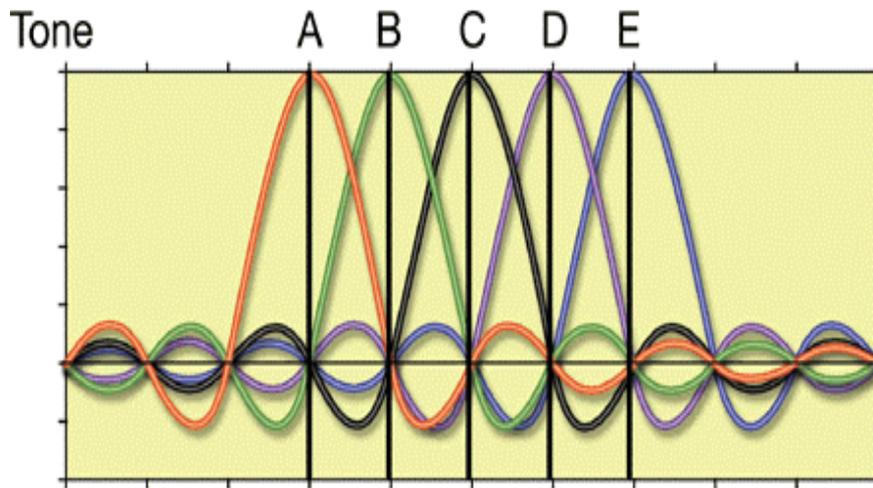
### Б л о к о в ы й к о д



- Введение избыточности в блочный код. К  $m$  информационным символам добавляются  $k$  проверочных символов.
- Относительная скорость кода:  

$$R = m/n = (n - k)/n = 1 - k/n,$$
- где  $n$  – общее число символов.
- С целью упрощения техники кодирования и декодирования в цифровом телевидении применяются блочные циклические коды, в частности коды Хэмминга, Боуза, Чоудхури, Хэквиема (БЧХ) и их разновидности коды Рида – Соломона.  $R = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$ .

## Структура сигнала при OFDM – модуляции



## МЕТОДЫ ЦИФРОВОГО СЖАТИЯ

- Сокращение статистической избыточности не более 3:1  
Коды с переменной длиной кодового слова (VLC - Variable Length Coding), самый известный - код Хаффмана.

По принципу азбуки Морзе.

Алфавит «а», «в», «с», «d» с вероятностями 0,5; 0,25; 0,125;

Присвоим значения 00; 01; 10; 11; длина - 2 бита/символ.

Присвоим символу а значение 0, в - 10; с и d - значения 110 и 111.

В среднем для передачи одного символа потребуется:

$1 \times 0,5 + 2 \times 0,25 + 2 \times 3 \times 0,125 = 1,75$  бит. Вместо 2 бит.

Например, встречаемость букв на 1000 символов:

«о»-90; «а» и «и»- по 62; «щ» и «Э» - по 3; «ф» - 2.

Соответственно часто встречаемым присваиваются короткие последовательности (• -)

Редко встречаемым символам длинные (- - ••••)

## МЕТОДЫ ЦИФРОВОГО СЖАТИЯ

- **Квантование** - составная часть многих алгоритмов сжатия с потерей информации, обеспечивающих сжатие от 3:1 до 100:1. Один из таких алгоритмов - полосное кодирование. Если применять квантование с адаптивным распределением битов, учитывающим долю энергии сигнала в данной полосе, можно добиться существенного сжатия цифрового сигнала.
- Скорость цифрового потока уменьшают, используя неравномерное квантование.
- **ДИКМ** - передаётся разность между соседними элементами в строке, в соседних строках и смежных кадрах.

## МЕТОДЫ ЦИФРОВОГО СЖАТИЯ

- Пространственная избыточность обусловлена наличием в видеокадре значительных по размеру однотонных участков, отсчеты сигнала в соседних точках практически одинаковы или слабо изменяются, то есть присутствуют только НЧ составляющие двумерного пространственного спектра.
- Изображение разбивается на блоки 8 x 8 пикселей. С помощью ДКП 64 отсчётам цифрового сигнала ставится в соответствие 64 коэффициента. Зачастую большую часть коэффициентов после квантования можно отбросить.
- Применяя эффективные методы кодирования отдельно для контуров (резкие перепады яркости) и текстуры (всё, что не контуры) можно получить очень высокую степень сжатия, стандарт MPEG-4



## СТАНДАРТ ЦИФРОВОГО СЖАТИЯ MPEG-1

- **MPEG** означает Motion Pictures Experts Group
- (Группа экспертов по движущимся изображениям)
- Полное название группы - ISO/IEC JTC1/SC29/WG11
- Группа создана в 1988 г. для выработки международного стандарта движущихся изображений и звуковых сигналов до скорости порядка 1,5 Мбит/с с целью записи на CD-ROM с качеством бытового стандарта VHS. Исходные скорости - 270 (360) Мбит/с. Стандарт принят в 1993 г. и получил индекс ISO/IEC 11172.
- Стандарты MPEG не определяют схему и конструкцию кодера и декодера, они лишь описывают средства, используемые для обработки сигнала, определяют правила построения последовательности символов совместимого цифрового потока и дают примеры реализации декодера.

## MPEG-1 - методы компрессии:

- предсказание, когда передаются не сами элементы изображения, а разность между элементами в строке, в соседних строках и смежных кадрах;
- внутрикадровое и межкадровое кодирование,
- дискретно-косинусное преобр. Компенсация движения,
- Определены три типа видеокадров:
- *I* - *видеокадры* (от intra-внутри)-внутрикадровое кодир.
- *P* - *видеокадры* (predicted) первый *P* кадр предсказывается по *I* - кадру, второй и последующие по предыдущему *P* кадру;
- *B* - *видеокадры* кодер рассчитывает как прямое, так и обратное предсказание и посылает декодеру данные, имеющие наименьший объём (отсюда - bidirectional, то есть двунаправленный). Польза *B* - кадров проясняется при рассмотрении задней границы движущегося объекта, для передачи открывающегося фонового изображения выгоднее воспользоваться данными более позднего кадра.

## **СТАНДАРТ ЦИФРОВОГО СЖАТИЯ MPEG-1**

- Ограничения, определяющие область применения:
- размер изображения по горизонтали < 768 пикс.;
- размер изображения по вертикали < 576 строк;
- частота кадров < 30 Гц;
- развёртка прогрессивная (в ТВ системах стандартного качества - черезстрочная);
- число макроблоков < 396 (для ТСЧ надо иметь (720: 16) x (576: 16) = 1620 макроблоков /кадр );
- скорость цифрового потока < 1,856 Мбит/с.  
396 макроблоков соответствует формату разложения CIF (352x480), не для вещательного телевидения.
- Не поддерживается 10 разрядное квантование.

## **СТАНДАРТ ЦИФРОВОГО СЖАТИЯ MPEG - 2**

- Стандарт MPEG-2 принят в 1996 г., дополнен в 1997 г. и получил индекс ISO/IEC 13818.
- Стандарт MPEG-2 значительно улучшен по сравнению с MPEG-1, имеется возможность обработки черезстрочных изображений, набор уровней и профилей, масштабируемый синтаксис, системный уровень с программным и транспортным потоками, новые средства кодирования звука и др.
- Стандарт MPEG-2 значительно сложнее MPEG-1 (кодер примерно на 50%), охватывает более широкий круг применений, включая вещательное телевидение. MPEG-2 может использоваться и для ТВЧ, поэтому были прекращены работы над стандартом MPEG-3, для систем ТВЧ.
- Стандарт MPEG-2 называется «Информационные технологии – Обобщённое кодирование движущихся изображений и сопровождающей звуковой информ.»

## СТАНДАРТ ЦИФРОВОГО СЖАТИЯ MPEG-2

- В стандарте приняты 5 основных и один дополнительный профессиональный Профиль "4:2:2", введённый позднее.
- Внутри каждого Профиля выделено 4 уровня, определяющие допустимые пределы изменения параметров цифрового потока.
- Максимальная скорость данных может находиться в пределах: 4 Мбит/с (Low Main), 15 Мбит/с (Main), 80 Мбит/с (High уровень и Main профиль) и Мбит/с 300 (High Professional 4:2:2).

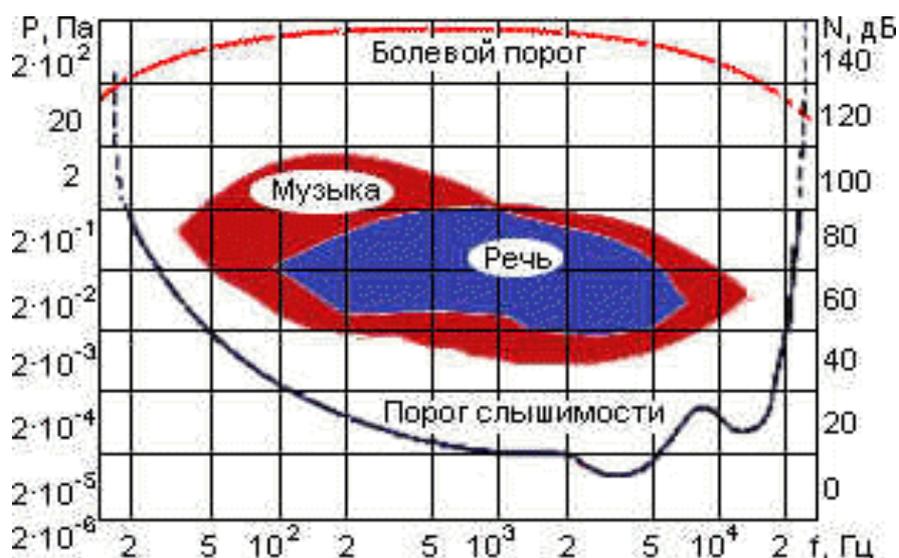
## Уровни основного профиля MPEG-2

- Высокий **MP@HL** Число отсчётов на строку 1920 Число строк на кадр 1152 Частота кадров, Гц 60 Частота отсчётов сигнала яркости, отсч/с 62668800 Скорость потока Мбит/с 80 Размер буфера, бит 9781248
- Высокий **MP@H** Число отсчётов на строку 1440 Число строк на кадр 1152 Частота кадров, Гц 60 Частота отсчётов сигнала яркости, отсч/с 47001600 Скорость потока Мбит/с 60 Размер буфера, бит 7340032
- Основной **MP@ML** Число отсчётов на строку 720 Число строк на кадр 576 Частота кадров, Гц 30 Частота отсчётов сигнала яркости, отсч/с 10368000 Скорость потока Мбит/с 15 Размер буфера, бит 1835008
- Низкий **MP@LL** Число отсчётов на строку 352 Число строк на кадр 288 Частота кадров, Гц 30 Частота отсчётов сигнала яркости, отсч/с 3041280 Скорость потока Мбит/с 4 Размер буфера, бит 475136

## Редукция (сокращение) звуковых данных, обусловленное психоакустическими особенностями

- В присутствии громкого сигнала кривая слышимости слуха поднимается выше.
- Ухо не в состоянии различать звуки с близкими частотами (частотное маскирование).
- Насчитывается 25 полос частот, называемые критическими, в пределах которых действует маскирование.
- В области НЧ ширина критической полосы слуха менее 100 Гц, в районе 2кГц – 300 Гц, в области ВЧ – 4 кГц.
- Громкий звук маскирует слабый раньше громкого сигнала на 5 – 50 мс (явление предмаскировки), во время громкого сигнала и после его прекращения до 50-200 мс.
- Цифровые данные можно сжимать более, чем в 10 раз.

## Области существования звуковых сигналов



## Сжатие звуковых сигналов (стандарты MPEG)

- **Уровень 1** –  $F_v = 15$  кГц,  $n = 4$ ,  $t_z = 20$  мс,  $v = 192$  кбит/с.

Рассчитан на упрощенный кодер. Используется полосное кодирование (32 полосы), слуховая модель создаётся по уровням в самих частотных полосах.

- **Уровень 2** –  $F_v = 15$  кГц,  $n = 6$ ,  $t_z = 40-50$  мс,  $v = 128$  кбит/с.

Тот же набор фильтров и отдельный частотный анализатор, который создаёт более точную слуховую модель. Масштабирующие коэффициенты создаются более сложным образом, учитывается сходство этих коэффициентов в соседних кадрах звукозаписи.

**Уровень 3** –  $F_v = 15$  кГц,  $n = 12$ ,  $t_z =$  более 50 мс,  $v = 64$  кбит/с.

Намного сложнее. Попытка создать точную модель слухового Восприятия. Моделируется ширина критических полосок слуха. Применяется код Хаффмана.

## Кодирование звука в MPEG-2

- В MPEG-2, совместимом с MPEG-1 используются трёхуровневые системы кодирования звука. Различие между стандартами начинается при переходе от двухканального звука к многоканальному звуку (5+1).
- Одной из разновидностей многоканального звука является многоязычное звуковое сопровождение. Оно может осуществляться :
  - либо передачей отдельного цифрового потока для каждого языка,
  - либо добавлением нескольких (до 7) языковых каналов 64 кбит/с к многоканальному потоку 384 кбит/с.
- В дополнение к основному режиму с частотами дискретизации 32, 44,1 и 48 кГц в MPEG-2 введён низкочастотный режим (Low Sampling RATE) с пониженными вдвое частотами дискретизации: 16, 22,05 и 24 кГц. Это позволяет субъективно повысить качество звучания речевого сигнала. Отбрасывание верхних частот почти не влияет на качество речи, а высвобождающиеся ресурсы битов используются кодером для более точной передачи нижней части спектра.

## Параметрическое кодирование высококачественных звуковых сигналов

- Благодаря успехам ВТ, математического моделирования и электроники, ПК всё чаще начинает применяться и при кодировании высококачественных звуковых сигналов.
- Звуковой сигнал представляется в виде модели, содержащей тональные и шумоподобные сигналы.
- Оценивается значение текущих частот, фаз и амплитуд тональных сигналов, уровней энергии шумоподобных сигналов в определённых полосах частот.
- С помощью психоакустической модели значение параметров квантуется и кодируется минимально возможным числом бит.
- На приёмной стороне синтезируется исходный сигнал.

## Основные характеристики речи

- Речевой сигнал, может быть представлено в виде последовательностей символов некоторого конечного алфавита. Символы, из которых состоит речевой сигнал, называют фонемами. В русском языке можно выделить 41 фонему.
- Если фонемы представить числом в двоичном виде, то для русского языка достаточно шестизначного двоичного кода, чтобы закодировать 41 фонему. Человек в среднем произносит 10 – 15 фонем за одну секунду. Скорость передачи информации составит 60 – 90 бит/с. Эта оценка, однако, не учитывает индивидуальных характеристик и эмоционального состояния говорящего человека.

## Гибридные методы кодирования звуковых сигналов

- На тех временных отрезках, где сигнал монотонен, используется его параметрическое описание.
- На участках быстрого изменения временной функции сигнала используется алгоритм компрессии MPEG-2 АСС стандарта ISO/IEC 13818-7. Эти участки выделяются детектором выбросов (атак).
- Качество кодирования высококачественных звуковых сигналов оказывается достаточным при скорости звукового потока 16, 32 кбит/с.
- Оценка качества систем кодирования с компрессией звуковых данных в соответствии с Рек. МККР 562-3 осуществляется методом экспертных оценок по 5-и бальной шкале.

## MPEG4 Кодирование видеообъектов

- В отличие от MPEG-1, MPEG-2 в которых применяется фиксированный алгоритм кодирования, в MPEG-4 используется целый набор методов кодирования, включающий как алгоритмы сходные с применяемыми в MPEG-1 и MPEG-2, так и принципиально новые методы кодирования основанные на понятии видеообъекта.
- Выбор метода кодирования в конкретном случае определяется характером изображения и требуемым коэффициентом сжатия информации.
- Приставки для приёма цифровых программ в стандарте MPEG – 2/ MPEG – 4 AVC/ H.264 как для ТВ стандартной чёткости, так и ТВЧ значительно сложнее. Требуется быстродействующие процессоры, увеличивается объём ОП (256Мб), у моделей с MPEG – 2 - 8-16 Мб. В результате стоимость приставок \$80-150 (с MPEG – 2 - \$30-45).

# MPEG4

## Видеообъекты, аудиообъекты и аудио-визуальный объектами

Видеообъектами (VO - visual object) могут быть изображения людей и предметов, перемещающиеся перед неподвижным фоном, и сам неподвижный фон.

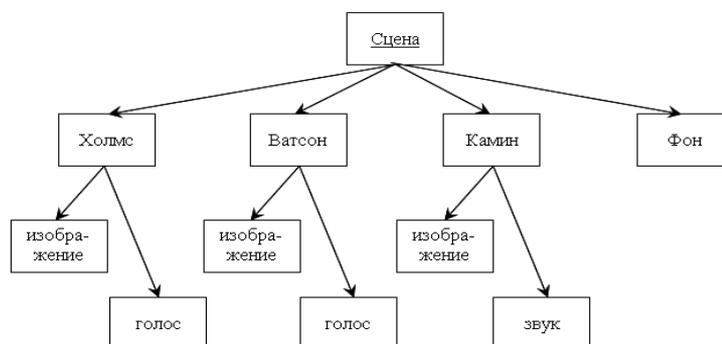
Аудиообъектами (AO - audio object) могут быть голоса людей, музыка, другие звуки.

Аудио-визуальный объектами (AVOs – audio-visual object) могут быть связанные видео и аудио объекты, например, изображение человека и его голос.

# MPEG4

MPEG-4 содержит специальный язык описания сцен – BIFS (Binary Format for Scenes)

## Сцены MPEG-4



*Пример структуры описания сцены*

## MPEG 4-H.264 - профили и уровни

- Разные конфигурации - разные возможности
  - Профиль: набор алгоритмических особенностей
  - Level: уровень возможностей. 4 профиля H.264
- **Baseline** - наименее сложный (нет B-slices).  
Области применения: видео телефония, видеоконференции, беспроводные системы
  - **Main** - наилучшее сочетание уровня компрессии и качества видео под выбранную скорость передачи.  
Области применения: широкоэцевательное телевидение+DVD стандартного разрешения
  - **Extended** - потоковое видео с очень высокой скоростью передачи  
Области применения: сервисы мобильного видео Mobile video services
  - **High** (High, High 10, High 4:2:2, High 4:4:4) - кодирование видео без потерь. Области применения: ориентирован на HDTV

## Формат сжатия Windows Media

- Создан компанией Microsoft на базе видеокодека Windows Media 9 Series. Тестировался обществом инженеров кино и телевидения (SMPNE).
- Первая версия VC-1, известен как VC-9.
- Алгоритм менее сложный, чем MPEG-4, проще реализуется.
- Качество, как в MPEG-2 при равном качестве.
- Кодирование VLC (Variable length Coding); блок компенсации движения 16X16, опорный кадр подобен MPEG-2.
- Включён как формат сжатия для дисков Blu-Ray и HD DVD.
- **Для межстудийного обмена разработан стандарт сжатия JPEG-2000, который допускает многократное перекодирование без ухудшения качества и обеспечивает лучшие показатели сжатия.**

## MPEG-2 или MPEG-4/AVC

- Скорость канала меняется от 0,8 Мбит/с до 6,0 Мбит/с MPEG-2 – 12 каналов.
- На кодеках Mpeg-4 /AVC/H.264 второго поколения, возможно, получить до 15 ТВ программ стандартного разрешения.
- Выигрыш в количестве ТВ программ - минимальный, а затраты значительно выше
- Так ли уж оправдан переход на MPEG-4 при использовании MPEG-2 в студийном производстве. Эффект картонного неба и его психофизическое воздействие на человека.

### Стандарты сжатия ТВ сигнала

Страна	Стандарт	Кол-во MUX	Кол-во каналов	Начало трансляции	Отключение аналогового вещания
Австрия	MPEG-2	1	4/--	2005	2010
Испания		5	20 / 6*	2005	2010
Великобритания		6	30 / 10*	2002	2012
Германия		4	12 / 14*	2003	2010
Дания		1	4 / --	2005	2009
Финляндия		4	12 / 10*	2002	2007
Италия		6	24 / 14*	2004	2008
США	MPEG-2/4			2002	2012
Франция		6	19 / 11*	2005	2010
Швеция		5	8 / 23*	1999	2008
Бельгия		2	5 / 6*	2003	2010
Литва	MPEG-4	4	-- / 27*	2006	2012
Эстония		2	10 / 12*	2007	2010
Россия	MPEG-2/4	?	?	2007	2015
Белоруссия	MPEG-4			2008	
Казахстан				2008	
Украина				2008	
Молдова				2008	
Армения				2009	
Грузия				2009	

\* - платные каналы

**Благодарю за внимание!**

