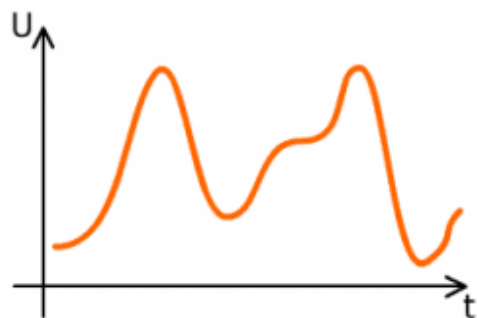


# Преобразование сигналов изображения и звука в цифровую форму

## Представление аналогового сигнала в цифровой форме

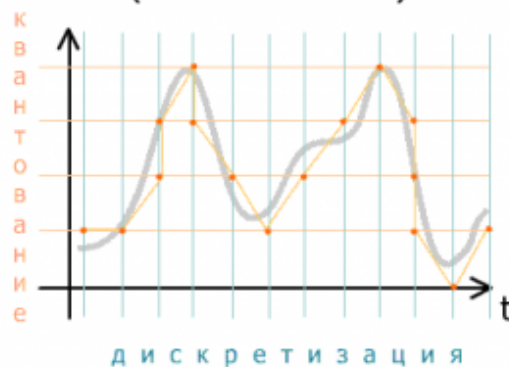
Пример аналогового сигнала

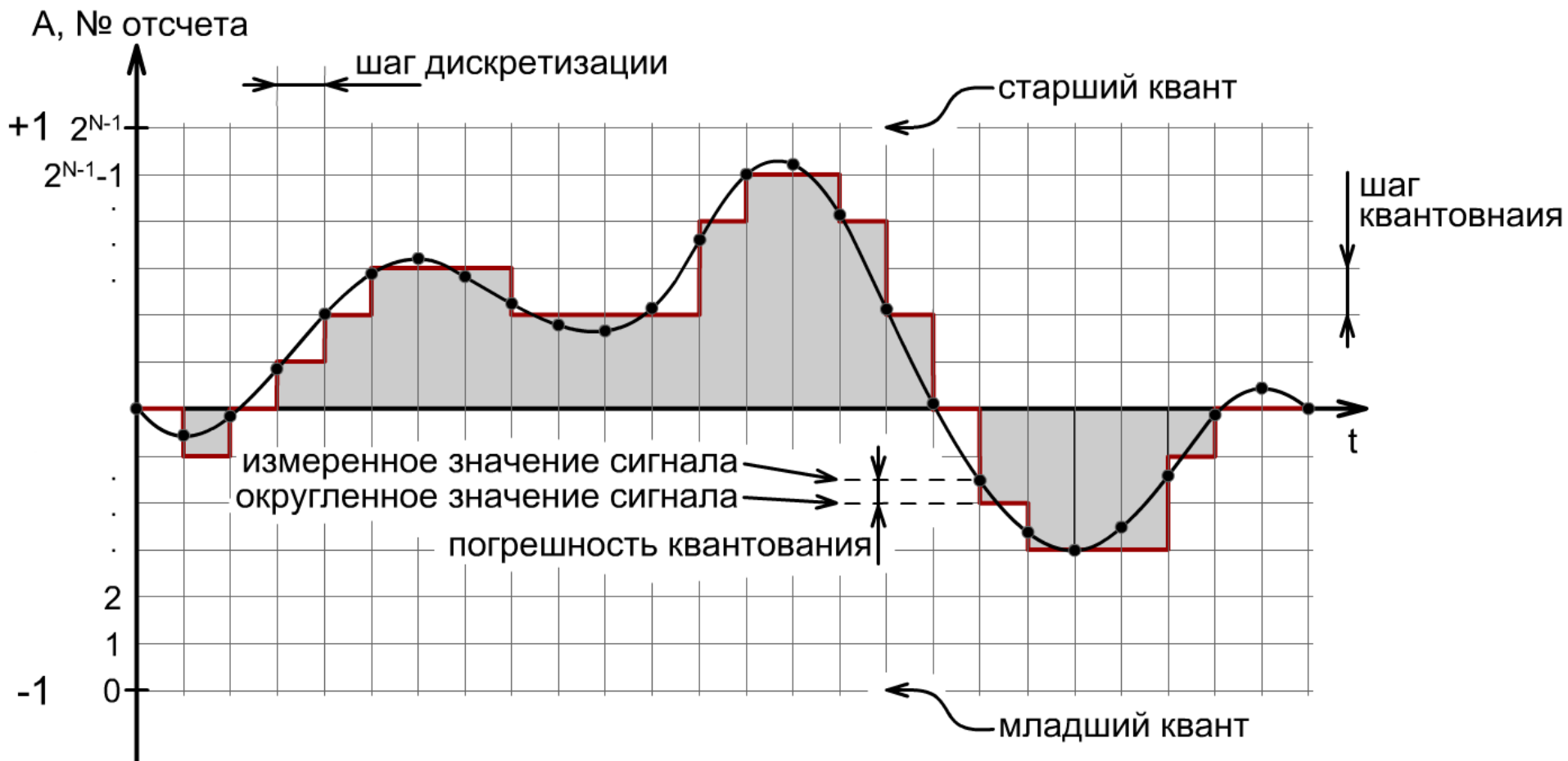


Кодирование сигнала в цифровой вид (высокое качество)



Кодирование сигнала в цифровой вид (низкое качество)





В системах цифрового телевидения, как правило, применяется равномерное квантование прошедших гамма-коррекцию сигналов с числом двоичных разрядов АЦП  $n = 8$ , что дает число уровней квантования НКВ - 256.

При этих условиях шум квантования на изображении практически незаметен.

Одно значение частоты дискретизации сигнала яркости, равное 13,5 МГц, для обоих стандартов развертки - 25 Гц, 625 строк и 30 Гц, 525 строк.

Каждый цветоразностный сигнал дискретизируется с вдвое меньшей частотой 6,75 МГц.

В соответствии с принятыми обозначениями, данный стандарт цифрового кодирования телевизионных сигналов обозначается 4:2:2.

Частота тактовых импульсов при этом равна  $f_t = 13,5 + 6,75 + 6,75 = 27$  МГц.

Произведение частоты дискретизации  $F_d$  и числа разрядов квантования  $N$  называется скоростью передачи двоичных символов цифрового сигнала -  $Q$  [бит/с].

Для цифровой студийной аппаратуры, удовлетворяющей требованиям рассматриваемых рекомендаций, получаются следующие значения этого параметра:

- для яркостного сигнала:  $Q_y = 13,5 \times 8 = 108$  Мбит/с;
- для цветоразностного сигнала:  $Q_c = 6,75 \times 8 = 54$  Мбит/с.

Суммарная скорость передачи двоичных символов преобразованного в цифровую форму полного цветного телевизионного сигнала (ПЦТС) определяется следующим равенством:

$$Q_s = Q_y + 2Q_c = 216 \text{ Мбит/с.}$$

## **Принципы сжатия видеоизображений и звуковых сигналов**

**Одной из важнейших практических задач в области цифрового телевидения является задача сокращения скорости передачи двоичных символов и, соответственно, требуемой полосы частот канала связи.**

Уменьшение объема передаваемой телевизионной информации в большинстве случаев называется сжатием видеоинформации, а также сжатием изображений, сжатием звуковых сигналов, сжатием речи. В англоязычной литературе используется термин *compression*, и вместо слова сжатие возможно использовать слово *компрессия*.

***Избыточность телевизионного сигнала разделяется на структурную, статистическую и психофизиологическую.***

1. ***Структурная избыточность*** связана с наличием в стандартном телевизионном сигнале гасящих импульсов, во время которых информация об изображении не передается. Структурная избыточность телевизионного сигнала может быть уменьшена путем передачи во время гасящих импульсов какой-либо другой полезной информации, например, сигналов звукового сопровождения.

2. **Статистическая** избыточность вызывается наличием корреляционных связей между значениями сигнала в соседних элементах одной строки, в соседних строках и в соседних кадрах.

3. **Психофизиологическая или перцептуальная** избыточность телевизионного сигнала определяется той информацией в нем, которая не воспринимается зрительным аппаратом человека и, следовательно, могла бы и не передаваться. Психофизиологическая избыточность может быть устранена за счет удаления из передаваемого сигнала информации, отсутствие которой существенно не влияет на восприятие изображения.

Примером метода сокращения психофизиологической избыточности может служить способ кодирования Кретцмера, в соответствии с которым при передаче крупных деталей изображения количество градаций яркости увеличивается, а при передаче мелких деталей - уменьшается.

В других методах используется ухудшение геометрического и градационного разрешения зрения при наблюдении движущихся объектов.

Методы сжатия изображений можно разделить на **два класса: методы сжатия без потерь информации и методы сжатия с частичной потерей информации.**

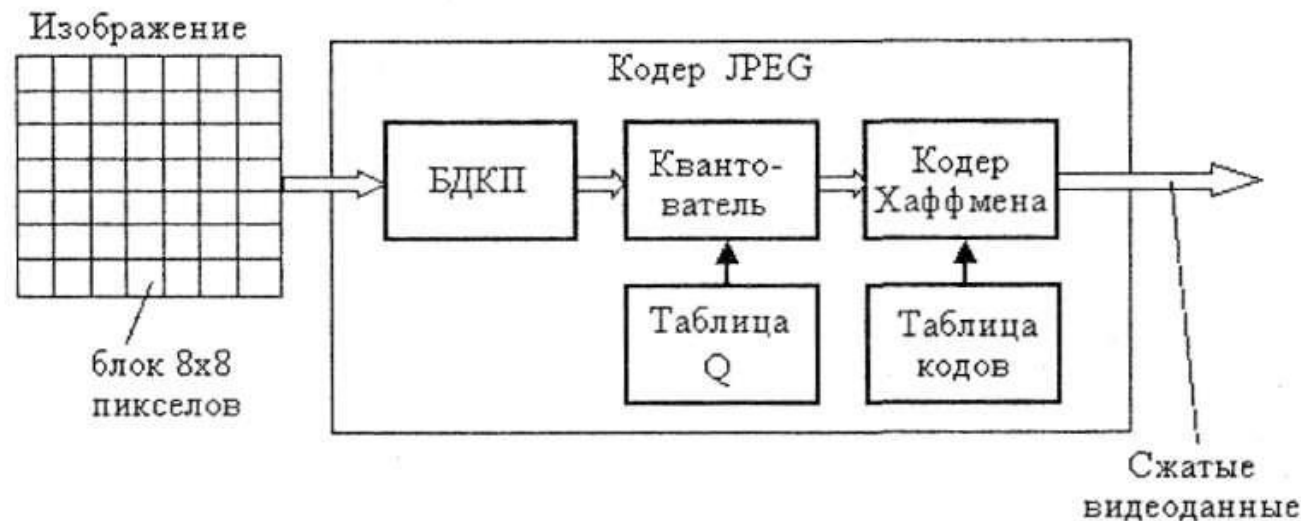
**Под компрессией без потерь подразумевается возможность абсолютно точного восстановления сжатых исходных данных.**

1. Программы компрессии без потерь в процессе анализа данных создают таблицы повторяющихся последовательностей битов и заменяют часто встречающиеся последовательности более короткими записями (кодами) – алгоритм RLE.

2. Большинство алгоритмов сжатия без потерь работают в две стадии: на первой генерируется статистическая модель для входящих данных, вторая отображает входящие данные в битовом представлении. Наиболее часто используемые значения цвета пикселей будут младшими битами кодов, а остальные биты будут получены из уменьшения статистики появления других цветов - Алгоритм Хаффмена.

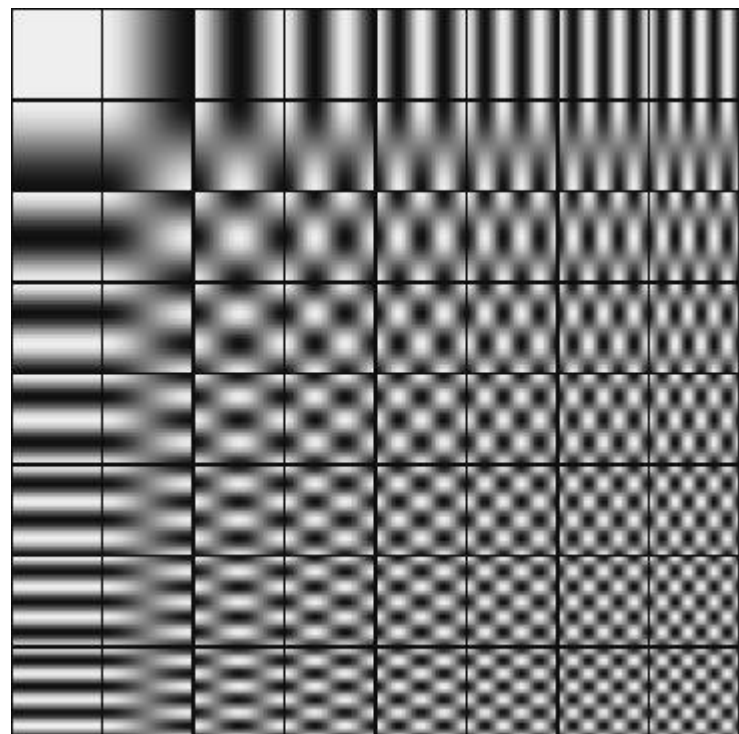
3. Сжатие файла за счет повторяющихся цепочек символов. Новая цепочка символов, встречающаяся в файле, заносится в таблицу, при этом ей присваивается некоторый код. Если такая цепочка еще раз встретится в файле, вместо нее в выходной файл выводится ее код - Алгоритм LZW.

# Большей эффективности позволяют достичь **методы сжатия с частичной потерей информации** - JPEG (Joint Photographic Experts Group)



Последовательность операций при кодировании:

- разбиение изображения на блоки 8x8 пикселей;
- выполнение быстрого ДКП (БДКП) в каждом блоке;
- квантование полученных коэффициентов ДКП с использованием таблицы коэффициентов квантования (таблица Q);
- энтропийное кодирование квантованных коэффициентов ДКП каждого блока изображения.



Последовательность операций при декодировании:

- декодирование энтропийного кода (декодер Хаффмена);
- деквантование коэффициентов ДКП для каждого блока 8x8 пикселей;
- обратное БДКП для каждого блока;
- объединение блоков в декодированное изображение.



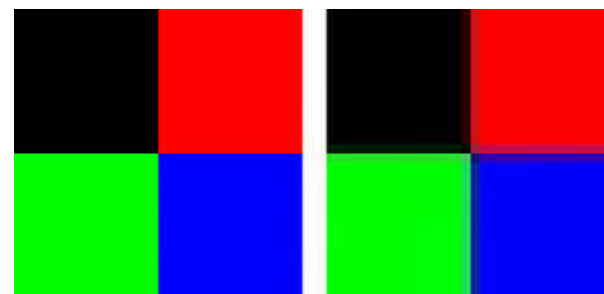
## .jpg Compression



MAX 100%

MEDIUM 30%

LOW 10%





## Принципы сжатия видеоинформации в стандарте MPEG-2

Применение совокупности различных способов сжатия информации, заключенной в телевизионном изображении, позволяет не только передавать цифровой сигнал, соответствующий телевизионному изображению стандартной четкости, по эфирным каналам системы телевизионного вещания, но и реализовать одновременную передачу по этим радиоканалам цифровых сигналов нескольких телевизионных программ, а также организовать передачу сигналов усовершенствованных систем ТВЧ.

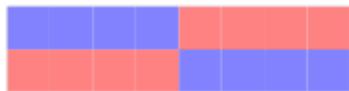
В рамках стандарта MPEG-2 была разработана система профилей и уровней. *Профиль – это подмножество стандарта для специализированного применения, задающее алгоритмы и средства компрессии. Уровни внутри каждого профиля связаны с параметрами компрессируемого изображения.*

### **Уровни MPEG-2**

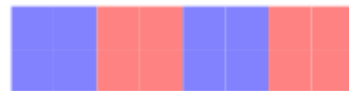
| Аббр. | Имя        | Пикселей/<br>строку | Строк | Кадров/с<br>(Гц) | Битрейт<br>(Мбит/с) |
|-------|------------|---------------------|-------|------------------|---------------------|
| LL    | Low Level  | 352                 | 288   | 30               | 4                   |
| ML    | Main Level | 720                 | 576   | 30               | 15                  |
| H-14  | High 1440  | 1440                | 1152  | 30               | 60                  |
| HL    | High Level | 1920                | 1152  | 30               | 80                  |

## Профили MPEG-2

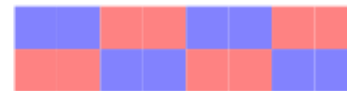
| Аббр. | Имя             | Кадры   | YCrCb | Потоки | Комментарий   |
|-------|-----------------|---------|-------|--------|---|
| SP    | Simple Profile  | P, I    | 4:2:0 | 1      | без <a href="#">интерлейсинга</a>                   |
| MP    | Main Profile    | P, I, B | 4:2:0 | 1      |   |
| 422P  | 4:2:2 Profile   | P, I, B | 4:2:2 | 1      |   |
| SNR   | SNR Profile     | P, I, B | 4:2:0 | 1-2    | <a href="#">Отношение сигнал/шум</a>                |
| SP    | Spatial Profile | P, I, B | 4:2:0 | 1-3    | низкое, нормальное и высокое качество декодирования |
| HP    | High Profile    | P, I, B | 4:2:2 | 1-3    |   |



4:1:1



4:2:0



4:2:2



4:4:4

| Вид Формата | Отношения разрешений по горизонтали (Cb/Y): | Отношение разрешений по вертикали (Cb/Y): |
|-------------|---|---|
| 4:4:4       | 1:1   | 1:1                                       |
| 4:2:2       | 1:2   | 1:1                                       |
| 4:2:0       | 1:2   | 1:2                                       |
| 4:1:1       | 1:4   | 1:1                                       |
| 4:1:0       | 1:4   | 1:4                                       |

Базовым объектом кодирования в стандарте MPEG-2 является **кадр телевизионного изображения**.

Метод кодирования движущихся изображений, используемый в стандартах MPEG, называется гибридным, так как в нем **сочетаются внутрикадровое (intraframe) кодирование**, направленное на уменьшение в основном психофизиологической избыточности в отдельных кадрах, **и межкадровое (interframe) кодирование**, с помощью которого уменьшается избыточность, обусловленная межкадровой корреляцией.

Формат видеоинформации в стандарте MPEG-2 содержит **три типа кадров (I, P, B)**.

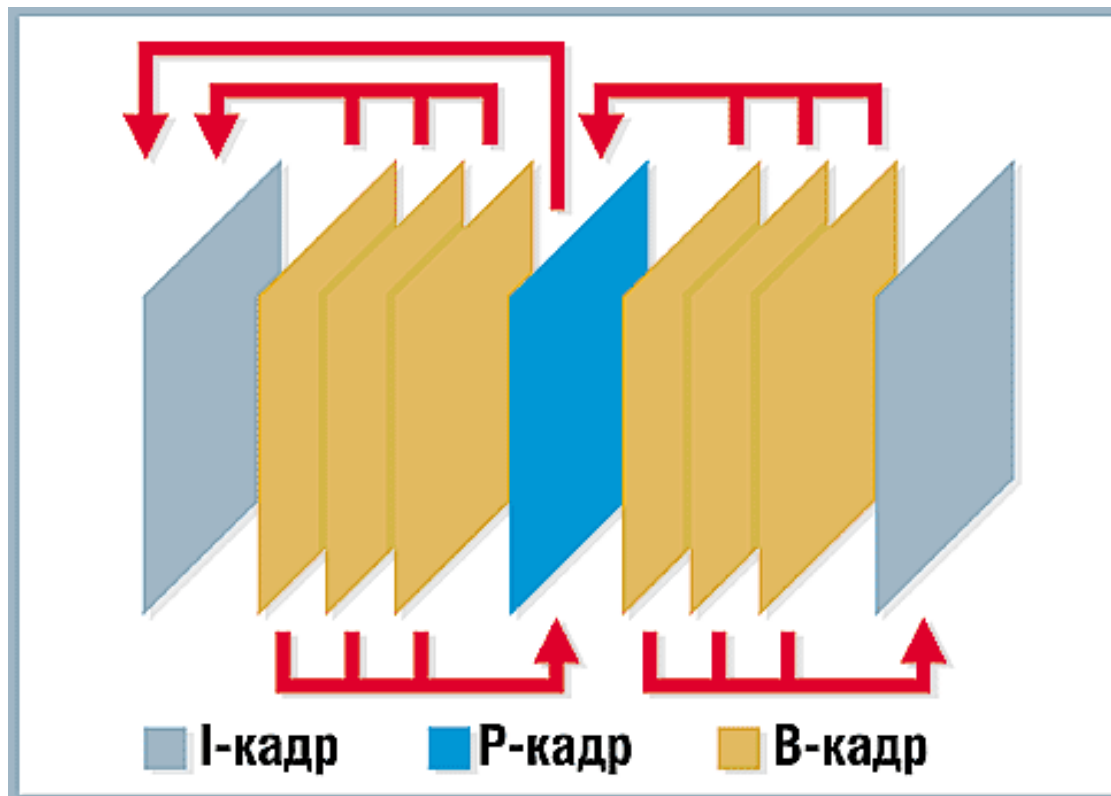
Основные, **I-кадры** (Intraframes) обрабатываются только с применением внутрикадрового предсказания. Они кодируются независимо от других кадров, так как обрабатываются с использованием собственной информации, то есть по принципу случайного доступа к сжатым видеоданным. Они обеспечивают умеренное сжатие. I-кадры служат опорными при межкадровом предсказании P и B кадров.

**P-кадры** (Predicted Frames), то есть кадры с предсказанием, с компенсацией движения. Кодирование осуществляется с учетом ближайших предшествующих I или P-кадров. Этот способ называется с предсказанием вперед, так как используется «разностная» схема сжатия, при которой сохраняются только отличия от предшествующего кадра. В P-кадрах, если сравнивать их с I-кадрами, в три раза выше достижимая степень сжатия видеоданных.

P-кадры являются опорными для последующих P или B-кадров.

**B-кадры** (Bi-Directional Frames), то есть кадры с двунаправленным предсказанием, с компенсацией движения. Для формирования B-кадров также используется «разностная» схема сжатия аналогично P-кадрам, однако, в качестве «базовых» кадров используются оба соседних кадра: предыдущий и последующий. Этот способ называется двунаправленным предсказанием. С B-кадрами связано наиболее глубокое сжатие видеоданных. Поскольку высокая степень сжатия снижает точность восстановления исходного телевизионного изображения, B-кадры не используются в качестве опорных. Ошибки при их декодировании не распределяются по другим кадрам.

Очевидно, что **точность кодирования должна быть максимальной для I-кадров, ниже для P-кадров и минимальной для B-кадров.**



Изображения различных типов объединяются в повторяющиеся серии, называемые **группами видеок кадров (ГВК)**.

Исследования эффективности различных сочетаний P и B-кадров в ГВК показали, что последовательности длинных ГВК целесообразно использовать только для высококачественных незашумленных изображений.

**В начале каждого сюжета должен стоять I-кадр, в конце – P-кадр.**

При передаче по каналу связи порядок следования I, P и B-кадров может изменяться.

В системе сжатия **MPEG-4** используются несколько новых приемов кодирования **на основе объектно-базового принципа**, что обеспечивает уже в настоящее время более чем двукратное повышение степени сжатия по сравнению с MPEG-2.

Функционирование объектно-базовой системы кодирования **осуществляется посредством разделения изображения на специфические объекты** (сегменты), каждый из которых можно кодировать разными способами.

Стандарт MPEG-4 **определяет различные виды аудиовизуальных объектов и способы их описания и кодирования.**

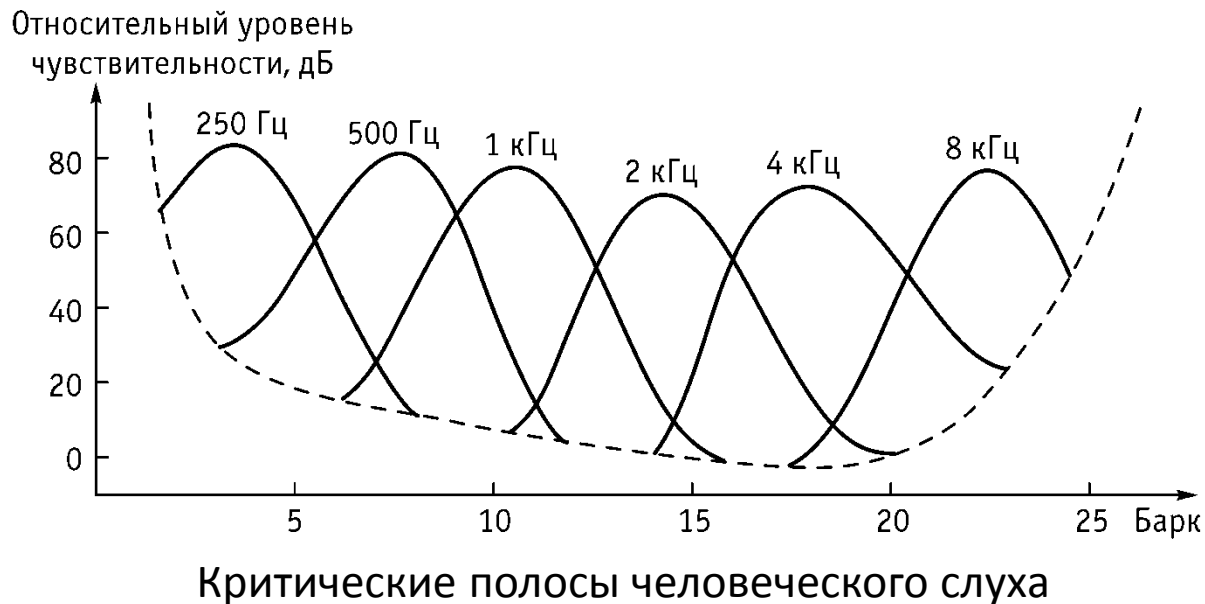
В настоящее время широко используется стандарт нового поколения видеокompрессии MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding – «продвинутое кодирование видео»), известный также под названием MPEG-4 Part 10 (ISO/IEC 14496 Part 10) или **H.264** (по классификации ITU – International Telecommunications Union, то есть МСЭ – Международного союза электросвязи).

Дальнейшее расширение вычислительных возможностей аппаратных средств устройств видеокompрессии позволило разработать проект нового стандарта **H.265/HEVC** (High Efficiency Video Coding – «высокоэффективное видеокodирование»), являющегося логическим развитием стандарта H.264/AVC.

## Принципы сжатия звуковой информации

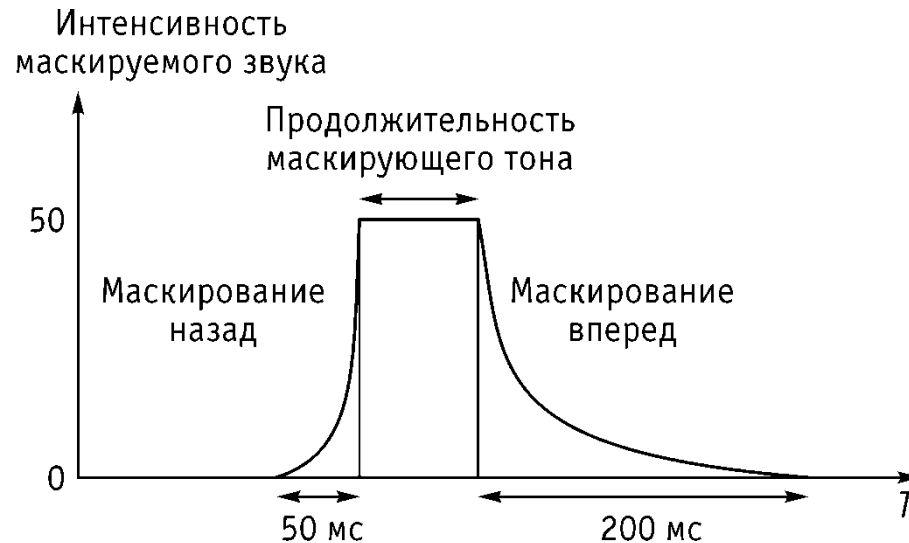
Из-за повышенной чувствительности уха к искажениям сжатие звуковых сигналов оказывается более сложной задачей, чем видеокompрессия.

В слуховой системе имеется некоторая неопределенность в разделении отдельных частотных составляющих. Ухо не в состоянии различить звуки с близкими частотами, этот эффект называется частотным маскированием.





Кроме частотного (статического), имеет место и временное (динамическое) маскирование при котором звук достаточной амплитуды маскирует другие звуки, непосредственно предшествующие ему или следующие за ним по времени.



Проявление временного маскирования

Звуковой файл можно сжать с помощью **компандирования**.

Компандирование заключается в компрессии (сжатии) по амплитуде исходного звукового сигнала и последующем его восстановлении с помощью экспандера (расширителя).

Этот метод основан на законе, открытом психологами: если интенсивность раздражителя меняется в геометрической прогрессии, то интенсивность человеческого восприятия меняется в арифметической прогрессии.

Ухо человека логарифмирует громкость слышимых звуков.

При компандировании значение амплитуды звука заменяется логарифмом этого значения. При 16-битном кодировании звука максимальное значение кода не превышает значение 2 в 16 степени. Логарифм этого числа по основанию 2 равен 16. Последнее число может быть закодировано четырьмя двоичными разрядами.

Экспериментально установлено, что в диапазонах частот 20—200 Гц и 14—20 кГц чувствительность человеческого слуха существенно ниже, чем на частотах 0,2—14 кГц. По этой причине допустимо более грубое квантование сигналов в указанных диапазонах частот.

В стандарте MPEG-2 звуковые кадры всегда передаются в своей естественной последовательности, кадр содержит одинаковое количество данных.

| <b>Тип материала</b>  | <b>Требования, предъявляемые<br/>качеству сжатого<br/>материала</b> | <b>Рекомендуемый диапазон, Кбит / с</b> |                       |               |            |               |
|---|---|---|-----------------------|---------------|------------|---------------|
|   |   | <b>MP3</b>                              | <b>WMA</b>            | <b>OGG **</b> | <b>AAC</b> | <b>MPC **</b> |
| <i>Речь (лекции, радио<br/>трансляции), моно</i>                    | <i>разборчивость речи</i>   | 8 - 64                                  | около 16              | 45 и ниже*    | 8 - 32     | 58 и ниже*    |
|   | <i>качественное звучание</i>  | 32 - 64                                 | около 32              | 45 и ниже*    | 16 - 64    | 58 и ниже*    |
| <i>Ненасыщенная поп-<br/>музыка, стерео</i>                         | <i>прослушивание на улице<br/>«на ходу»</i>                         | 96 - 160                                | 64 - 128              | 64 - 128      | 96 - 128   | 96 - 128      |
|   | <i>прослушивание на<br/>аппаратуре среднего<br/>класса</i>          | 128 - 256                               | 96 - 160              | 96 - 160      | 96 - 160   | 96 - 160      |
|   | <i>прослушивание на улице<br/>«на ходу»</i>                         | 128-160                                 | 96 - 160              | 96 - 160      | 96 - 160   | 96 - 160      |
| <i>Симфоническая музыка,<br/>джаз, стерео</i>                       | <i>прослушивание на<br/>аппаратуре среднего<br/>класса</i>          | 160 - 256                               | 128 - 192             | 128 - 192     | 128 - 192  | 128 - 192     |
|   | <i>прослушивание на<br/>аппаратуре высокого<br/>класса</i>          | 320                                     | 320 и выше<br>(WMA 9) | 256           | 256 и выше | 256           |
|   | <i>прослушивание на улице<br/>«на ходу»</i>                         | 128 - 192                               | 96 - 160              | 96 - 160      | 96 - 160   | 96 – 160      |
| <i>Насыщенная электронная,<br/>рок- и другая музыка,<br/>стерео</i> | <i>прослушивание на<br/>аппаратуре среднего<br/>класса</i>          | 192 - 320                               | 160 - 320             | 160 - 256     | 160 - 256  | 160 – 256     |
|   | <i>прослушивание на<br/>аппаратуре высокого<br/>класса</i>          | 320                                     | 320 и выше<br>(WMA 9) | 320 и выше    | 320 и выше | 320 и выше    |