

Лекция 15

**Основы построения
цифровых систем телевидения**

Рассматриваемые вопросы

- 1 История реализации полностью цифровых систем телевидения
- 2 Структурная схема и основные параметры полностью цифровой телевизионной системы

1 История реализации цифровых систем телевидения

Первая, практически реализованная система телевидения высокого разрешения *MUSE*, созданная в Японии в первой половине 80-х годов прошлого века и доведенная до стадии массового применения, сохраняла аналоговый сигнал в канале связи. При этом в передающей части системы аналоговый телевизионный сигнал преобразовывался в цифровую форму и обрабатывался с целью уменьшения требуемой для передачи полосы частот.

Затем полученный цифровой сигнал преобразовывался обратно в аналоговую форму и передавался в аналоговом виде по каналу связи.

В приемной части принятый аналоговый сигнал снова преобразовывался в цифровую форму, обрабатывался для восстановления исходного количества элементов изображения, опять преобразовывался в аналоговую форму и поступал на аналоговый монитор для отображения принятого изображения.

История реализации цифровых систем телевидения

В системе *MUSE*, имеющей количество строк 1125 при частоте полей 60 Гц, исходный аналоговый сигнал имел верхнюю граничную частоту около 25 МГц.

Аналоговый сигнал на выходе передающей части системы имеет верхнюю граничную частоту 8,1 МГц.

Это слишком много для передачи по стандартным радиоканалам наземного телевизионного вещания, имеющим в США и в Японии ширину 6 МГц, но приемлемо для передачи с ЧМ по спутниковым каналам связи, имеющим ширину полосы 27 МГц.

Сходный принцип построения и параметры имеет западноевропейская система ТВ высокого разрешения *HD-MAC*.

История реализации цифровых систем телевидения

После появления в Японии и Европе систем телевидения высокого разрешения *MUSE* и *HD-MAC* в США в 1987 году был объявлен конкурс на лучший проект системы телевидения высокого разрешения для утверждения в качестве стандарта. В первые годы на этот конкурс были выдвинуты различные аналоговые системы.

Система *MUSE* и другие системы, предусматривающие передачу только по спутниковым каналам, вскоре были сняты с рассмотрения.

Это объяснялось тем, что в США около 1400 компаний наземного телевизионного вещания и очень широко развитая сеть кабельных линий.

Вся эта инфраструктура рассчитана на ширину полосы частот телевизионного канала 6 МГц.

История реализации цифровых систем телевидения

Рассматривались проекты телевизионных систем высокого разрешения, в которых по одному стандартному каналу передается обычный сигнал *NTSC*, а по другому дополнительный сигнал, который в приемнике с соответствующим декодером позволяет получить изображение с большим количеством строк и элементов разложения в строке.

В то время никто не мог предположить, что через несколько лет удастся по стандартному каналу с шириной полосы 6 *МГц* передавать сигнал полностью цифровой системы телевидения как обычного, так и высокого разрешения.

Первые предложения по полностью цифровым системам телевидения появились в 1990 году.

История реализации цифровых систем телевидения

В основе этих проектов лежали достижения в методах и технике эффективного кодирования и сжатия изображений.

Работы в этой области проводились не только с целью создания цифровых телевизионных систем, но и для таких применений, как видеотелефон и видеоконференции, запись видеопрограмм на цифровые лазерные компакт-диски, компьютерная графика, видеосредства мультимедиа, в результате были выработаны методы сжатия изображений.

В мае 1993 года 4 группы компаний и исследовательских организаций, представлявших близкие по существу проекты, объединились в «*Grand Alliance*» и в дальнейшем представляли единый проект, который и должен стать основой стандарта полностью цифровой телевизионной системы в США.

История реализации цифровых систем телевидения

Одновременно с разработчиками проектов цифровых телевизионных систем вели работу и организации, занимающиеся стандартизацией, в частности стандарта **JPEG**, определяющего методы и параметры кодирования неподвижных изображений.

Для разработки стандартов кодирования движущихся изображений Международной организацией стандартизации (**ISO**) была создана рабочая группа **MPEG** (**Motion Picture Experts Group** – Группа Экспертов по Движущимся Изображениям).

В результате ее работы был принят стандарт **MPEG–1**, определяющий методы кодирования движущихся изображений для запоминания в ЗУ компьютеров, в том числе на лазерных дисках **CD–ROM**.

История реализации цифровых систем телевидения

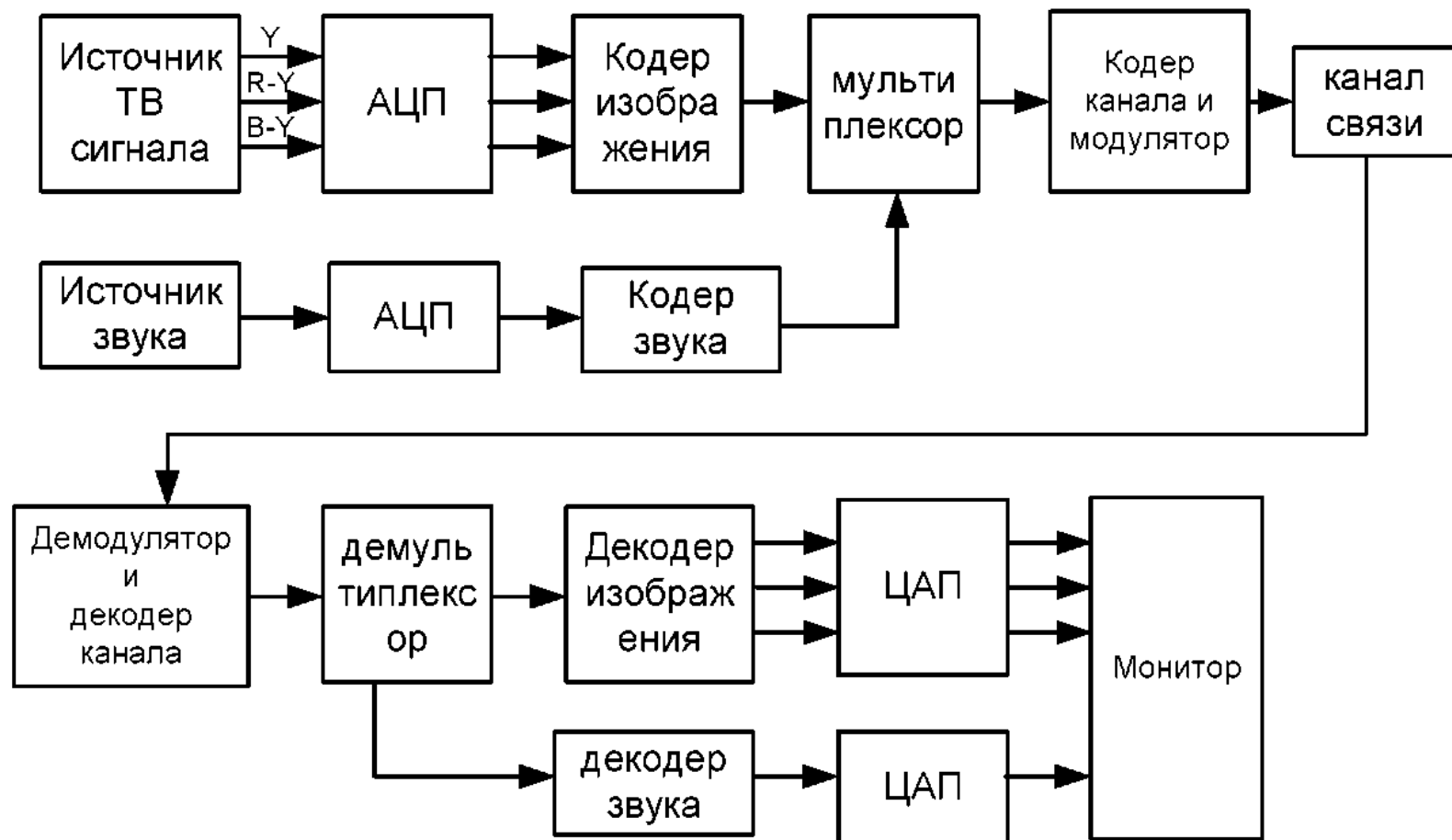
В ноябре 1993 года был принят стандарт *MPEG–2*, предназначенный уже для телевизионного вещания и учитывающий особенности чересстрочной развертки.

Следует отметить, что *MPEG–2* – это не стандарт телевизионной системы, а только стандарт метода кодирования телевизионного изображения.

Стандарт на систему в целом должен включать еще метод канального кодирования и модуляции несущей и ряд других параметров.

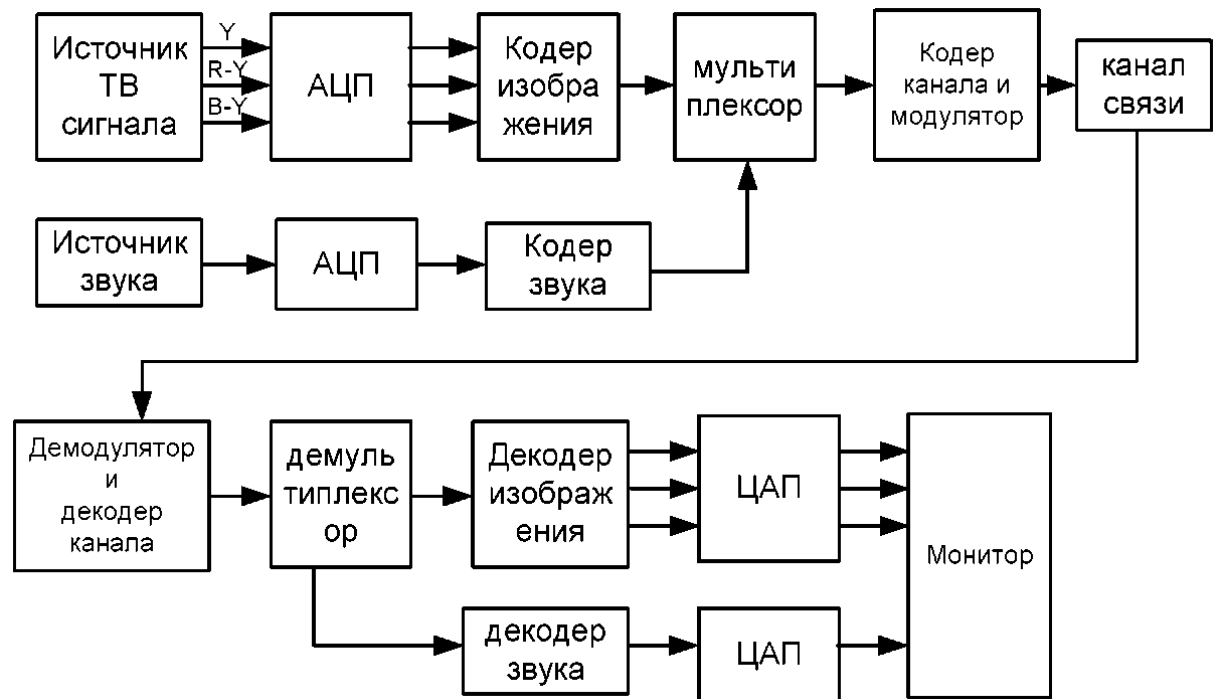
2 Структурная схема цифровой телевизионной системы

Структурная схема
полностью цифровой телевизионной системы



Структурная схема цифровой телевизионной системы

Источником телевизионного сигнала является передающая камера или видеомаягнитофон. В цифровой телевизионной системе используется компонентное кодирование, при котором отдельно преобразуются в цифровую форму яркостные и цветоразностные сигналы.

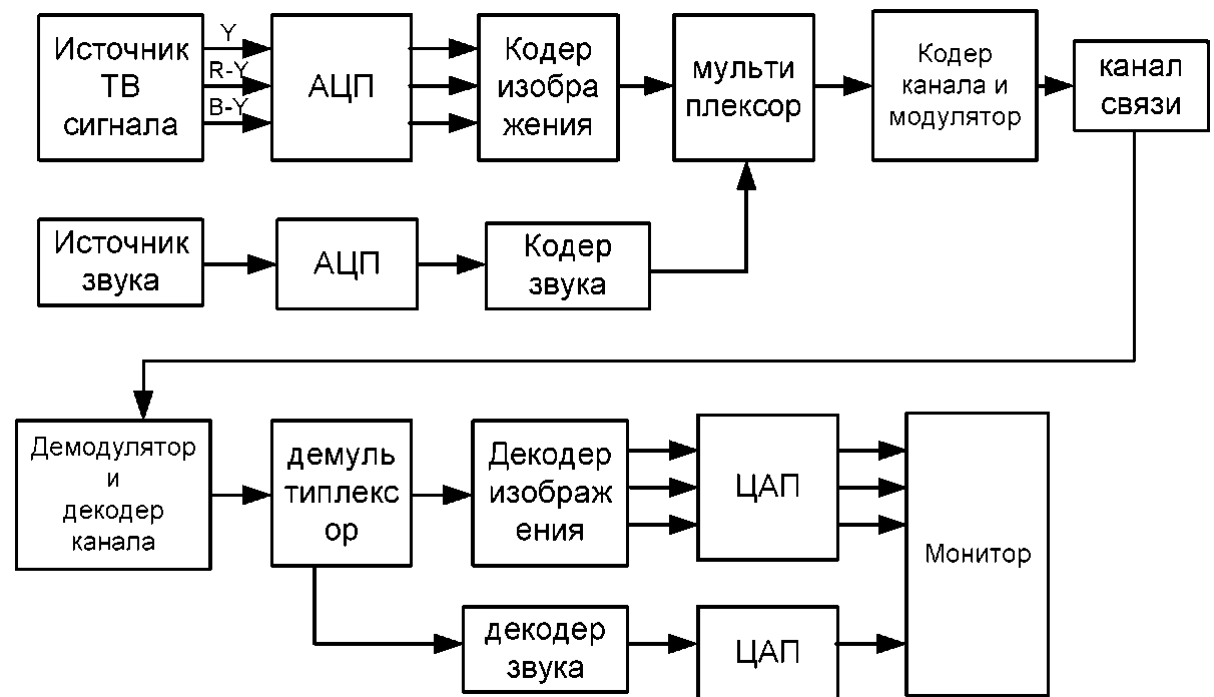


Структурная схема цифровой телевизионной системы

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Далее цифровой сигнал поступает на блок канального кодирования и модуляции. Здесь осуществляются помехоустойчивое кодирование сигнала и модуляция несущей..

Сигнал цифровой телевизионной системы на несущей частоте передается по каналу связи и поступает в приемник.

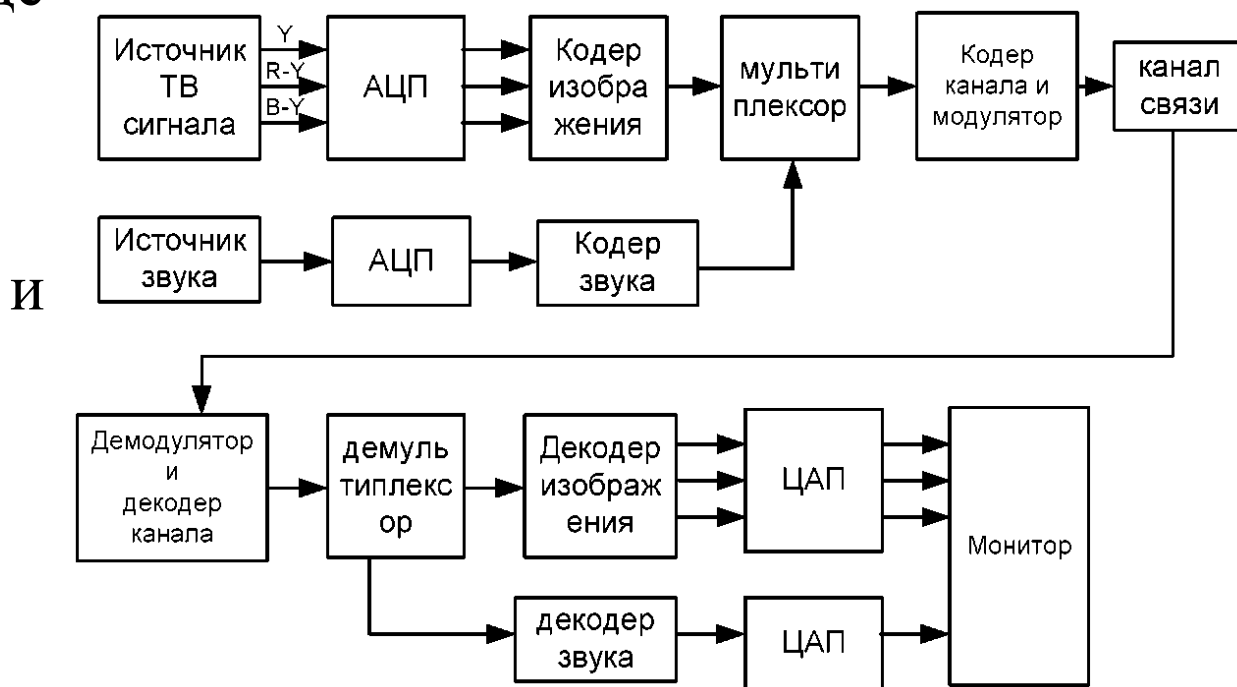


Структурная схема цифровой телевизионной системы

Здесь производится демодуляция несущей и декодирование помехоустойчивого кода.

Затем из общего потока данных выделяются цифровые сигналы изображения и звука, поступающие на соответствующие декодеры.

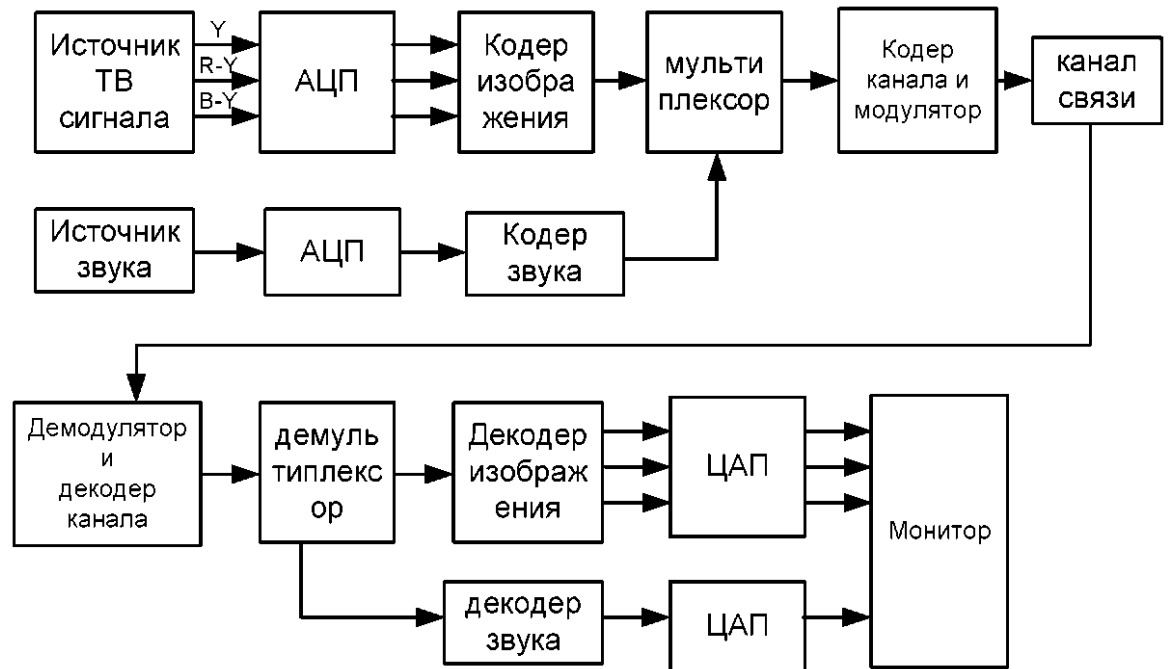
На выходе декодера изображения получают яркостный и цветоразностные сигналы.



Структурная схема цифровой телевизионной системы

После преобразования в аналоговую форму эти сигналы поступают на монитор, на котором воспроизводится цветное телевизионное изображение.

Декодированный сигнал звука также преобразуется в аналоговую форму и поступает на усилитель низкой частоты монитора.



Структурная схема цифровой телевизионной системы

Так как параметры радиочастотного канала связи в цифровой телевизионной системе остаются такими же, как в стандартных аналоговых телевизионных системах, высокочастотная часть телевизионного приемника, включающая селектор каналов и усилитель промежуточной частоты изображения, в принципе остается такой же, как в обычных современных телевизорах.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Наиболее важная и специфическая часть цифровой телевизионной системы – кодер и декодер изображения.

Совокупность этих методов, обеспечивающая необходимую степень сжатия потока информации, определяется стандартом *MPEG-2*, который определяет только наиболее важные принципы построения системы, оставляя простор для выбора ряда ее параметров.

В цифровой телевизионной системе используется два основных метода кодирования:

- внутрикадровое кодирование, основанное на использовании дискретного косинусного преобразования в блоках изображения размером 8×8 элементов с последующим квантованием коэффициентов этого преобразования;

- межкадровое кодирование с предсказанием и компенсацией движения.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Часть кадров должна обязательно передаваться только с внутрикадровым кодированием.

В стандартах *MPEG-1* и *MPEG-2* принято разделение последовательности кадров на группы по 15 кадров в каждой.

В группе есть кадры трех типов:

- *I*-кадры, которые передаются с внутрикадровым кодированием и являются опорными для декодирования остальных кадров;

- *P*-кадры, которые передаются с межкадровым кодированием путем предсказания с компенсацией движения по предшествующему *I*-кадру или *P*-кадру;

- *B*-кадры, которые формируются в приемной части системы путем интерполяции по ближайшим к ним как спереди, так и сзади *I*-кадрам и *P*-кадрам.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Порядок следования кадров в передаваемой последовательности:

I V V P V V P V V P V V P V V I V V P V ...

Кадры разделяются на макроблоки 16×16 элементов.

Для *P*-кадров для каждого макроблока передается вектор движения, показывающий смещение макроблока по сравнению с его положением в предыдущем *I*- или *P*-кадре.

Для *V*-кадров для каждого макроблока передаются два вектора смещения: относительно предыдущего *I*- или *P*-кадра и относительно последующего, это необходимо для выполнения интерполяции *P*-кадров в приемной части телевизионной системы.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Стандарт *MPEG-1* предназначен только для систем с построчной (прогрессивной) разверткой, при которой каждый кадр состоит из одного поля.

Стандарт *MPEG-2* предназначен для телевизионного вещания с чересстрочной разверткой. В нем возможны кадровый и полевой режимы работы, в которых макроблоки выделяются или в целом кадре, то есть включают строки, как первого, так и второго поля, или в одном из двух полей.

Таким образом, кодер изображения имеет два режима работы:

- внутрикадровый, в котором кодируются *I*-кадры,
- межкадровый, в котором кодируются *P*-кадры и находятся векторы смещения для *P*-кадров и *B*-кадров.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Структурная схема кодера изображения стандарта *MPEG-2* в передающей части системы



Структурная схема цифровой телевизионной системы

На структурной схеме наличие двух режимов отображается с помощью переключателя, направляющего на блок внутрикадрового кодирования **ВКК** непосредственно входной сигнал в режиме внутрикадрового кодирования (положение 1), или разностный сигнал с вычитателя, представляющий собой ошибку сделанного с учетом оценки движения предсказания передаваемого кадра, что соответствует межкадровому кодированию (положение 2).



Структурная схема цифровой телевизионной системы

В блоке ВКК выполняются операции внутрикадрового кодирования, в основном совпадающие со стандартом *JPEG*, при котором выполняются:

- разбиение кодируемого изображения на блоки 8×8 элементов,
- дискретное косинусное преобразование (ДКП) в каждом блоке с получением матрицы 8×8 коэффициентов ДКП,
- квантование этих коэффициентов,
- считывание полученных квантованных коэффициентов в зигзагообразном порядке,
- кодирование получаемых последовательностей чисел с помощью кодов с переменной длиной кодового слова.



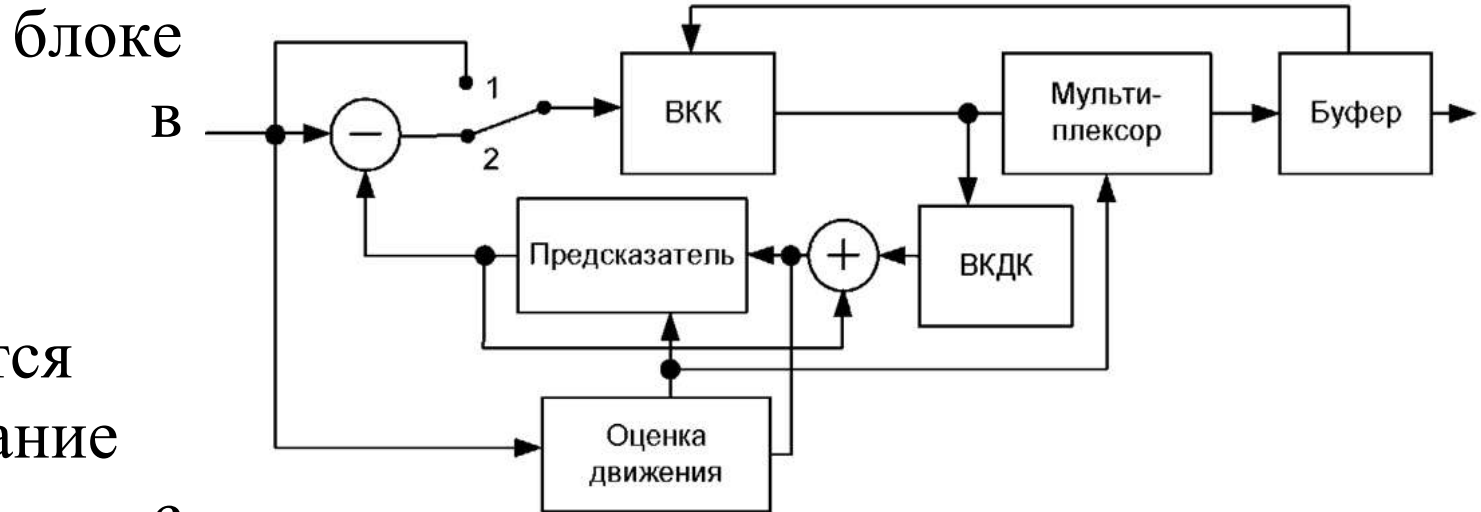
Структурная схема цифровой телевизионной системы

Сжатие данных происходит в первую очередь за счет квантования, при котором различные пространственно-частотные составляющие квантуются с разным шагом, в зависимости от заметности их квантования для человека.

В соответствии с принципами построения кодеров двоичной импульсно-кодовой модуляцией с ОС для предсказания в режиме межкадрового кодирования используется не сам предыдущий входной кадр, а результат внутрикадрового декодирования (ВКДК), формируемый соответствующим блоком.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

В блоке ВКДК обратном порядке выполняются декодирование кодов



с переменной длиной кодового слова, формирование матрицы коэффициентов ДКП каждого блока, восстановление исходного количества бит всех коэффициентов, обратное дискретное косинусное преобразование (ОДКП), объединение блоков 8×8 элементов в единое изображение.

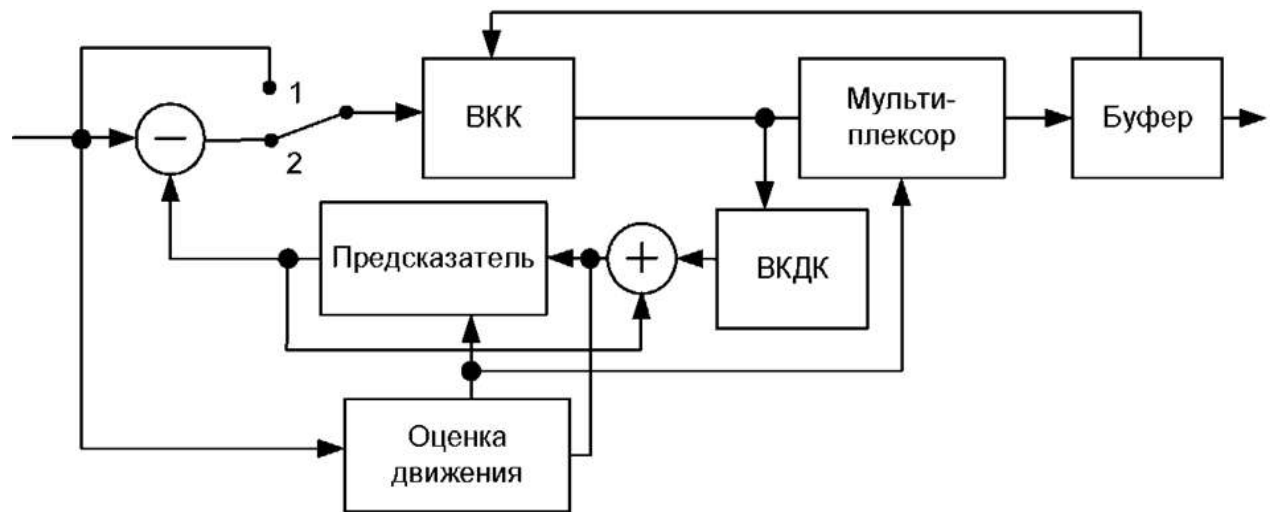
Структурная схема цифровой телевизионной системы

Мультиплексор объединяет данные, поступающие с выхода блока **ВКК**, и векторы движения макроблоков, поступающие с блока оценки движения.

Важную роль в работе кодера изображения играет **Буфер**, представляющий собой ЗУ достаточного объема со схемами управления.

Основная функция **Буфера** — согласование неравномерного во времени потока данных

на выходе **кодера** изображения со строго постоянной скоростью передачи двоичных символов в канале связи.



Структурная схема цифровой телевизионной системы

Неравномерность потока данных на выходе кодера изображения обусловлена, в первую очередь, наличием разных типов кадров:

- при передаче **I**-кадра поток информации будет самым большим, так как происходит передача изображения только с внутрикадровым кодированием.

- при передаче **P**-кадров поток информации меньше, так как передается разность предсказанного и действительного кадров, а также векторы движения, имеющие относительно небольшой объем данных.

- при передаче **B**-кадров передаются только векторы движения, и поток информации будет наименьшим.

Буфер работает по принципу «первым вошел - первым вышел». Запись данных в буфер производится по мере их поступления с блока ВКК.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Считывание данных из буфера осуществляется с постоянной скоростью, определяемой скоростью передачи двоичных символов в канале связи.

Степень заполненности буфера будет колебаться во времени, возрастая при увеличении потока данных с блока **ВКК** и уменьшаясь при уменьшении этого потока.

Помимо различия типов кадров на степень заполнения буфера может влиять характер передаваемого изображения:

- если в изображении много мелких деталей, возрастает количество и уровень высокочастотных составляющих пространственно-частотного спектра, то есть количество отличных от нуля коэффициентов ДКП, что приводит к увеличению потока данных на выходе блока ВКК.

- при передаче «гладких» изображений количество отличных от нуля коэффициентов ДКП уменьшается, так как изображение имеет в основном низкочастотные составляющие пространственно-частотного спектра.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Для оптимизации работы системы желательно поддерживать уровень заполнения буфера приблизительно постоянным:

- если буфер переполняется, то будет происходить потеря части данных, то есть ухудшение качества изображения на выходе системы;

- если буфер полностью опорожняется, то по каналу связи приходится передавать «пустые» блоки, что приводит к снижению эффективности его использования.

Чтобы избежать обоих нежелательных случаев в кодере изображения, имеется обратная связь с буфера на квантователь в блоке **ВКК**.



Структурная схема цифровой телевизионной системы

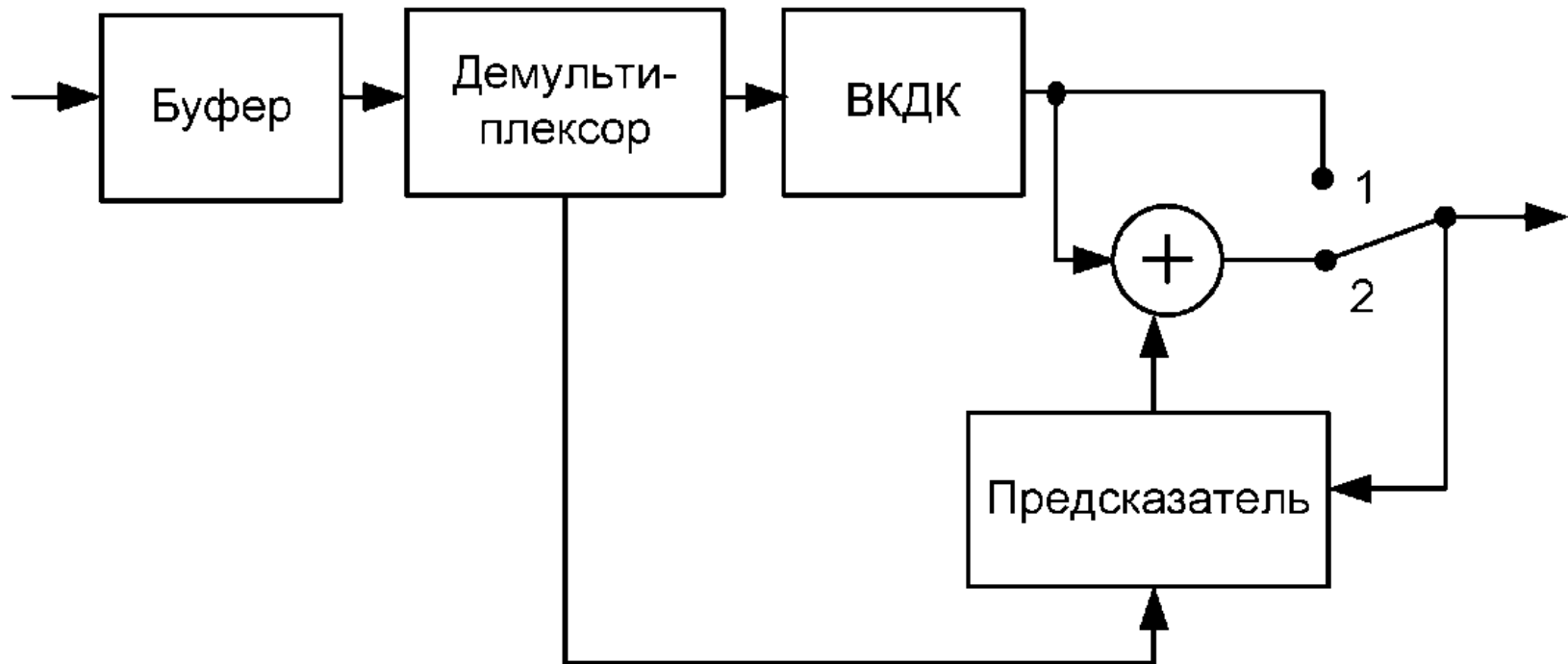
Сущность действия обратной связи заключается в том, что:

- если передается мелкоструктурное изображение, и заполнение буфера увеличивается, то под воздействием обратной связи увеличивается шаг квантования коэффициентов ДКП. При этом количество бит на каждый коэффициент уменьшается, и величина потока данных поддерживается примерно постоянной;
- при передаче «гладких» изображений квантование становится более точным.

Такой метод соответствует свойствам человеческого зрения: на мелкоструктурных изображениях меньше заметны неточности в передаче уровней яркости, так как в первую очередь воспринимаются контуры деталей. Изменение шага квантования может осуществляться или после кодирования каждого кадра с учетом его типа, или в пределах одного кадра после кодирования каждой его части.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Структурная схема декодера изображения стандарта *MPEG-2* в приемной части системы



Структурная схема цифровой телевизионной системы

Буфер на входе декодера выполняет функцию согласования постоянной скорости передачи двоичных символов в канале связи с процессами в декодере, при которых данные из буфера считываются неравномерно во времени.

Поток данных, поступающий с **Буфера**, разделяется в демультимплексоре на кодированные сигналы изображения и векторы движения.

В блоке внутрикадрового декодирования (**ВКДК**) осуществляются, декодирование кода с переменной длиной кодового слова, восстановление количества уровней квантования, обратное дискретное косинусное преобразование, сборка изображения из принятых блоков.

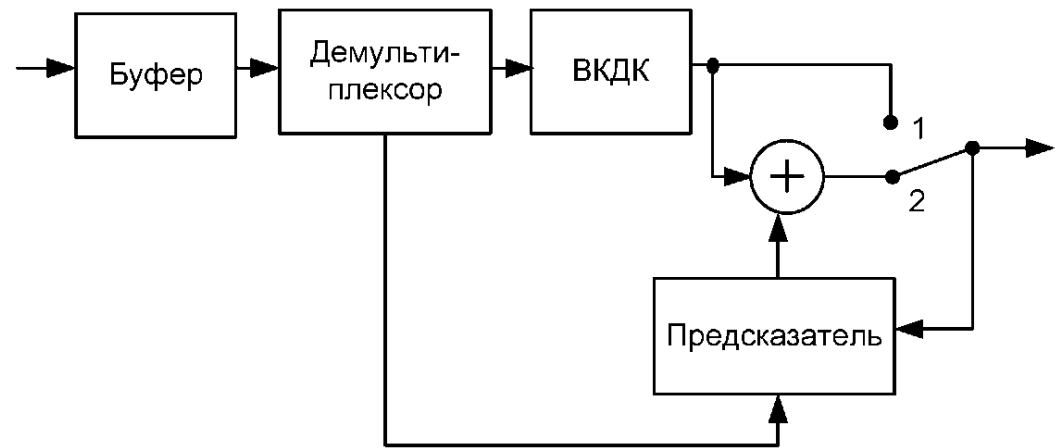
Структурная схема цифровой телевизионной системы

Так же как и в кодере, в декодере два режима работы:

- при приеме **I**-кадров на выходе блока **ВКДК** формируется цифровой сигнал самого кадра, коммутатор при этом находится в положении 1, и сигнал с блока **ВКДК** направляется на выход;

- при приеме **P**-кадров и **B**-кадров коммутатор находится в положении 2. В этом случае формирование выходного сигнала происходит путем сложения поступающих с блока **ВКДК** значений

межкадровых разностей с предсказанным кадром, формируемым на основе ранее принятых кадров блоком предсказателя.



Структурная схема цифровой телевизионной системы

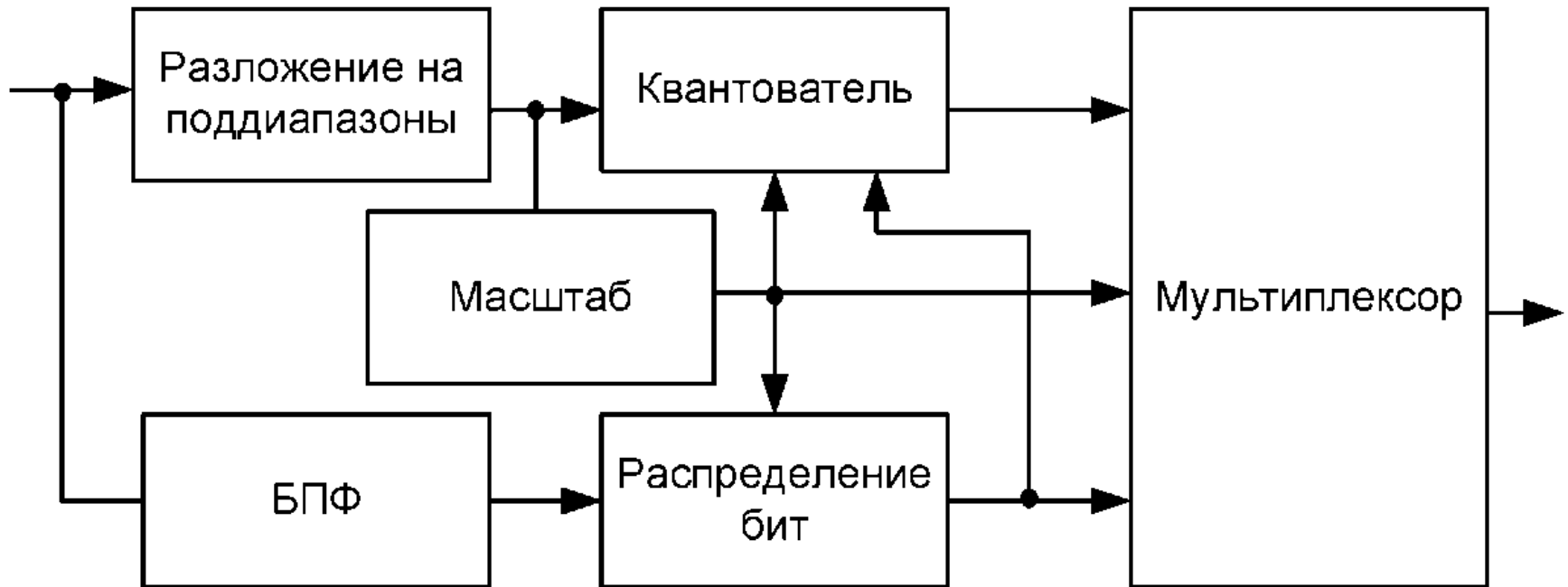
На этот блок предсказателя поступают с мультиплексора принятые в общем потоке данных векторы движения, с помощью которых осуществляется компенсация движения.

Кодирование и декодирование яркостного и цветоразностных сигналов осуществляется отдельно, а получаемые при кодировании потоки данных объединяются в общий поток.

Стандарт *MPEG-2* определяет методы кодирования не только видеосигнала, но и звука.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Структурная схема кодера звука *MPEG-2* в передающей части системы



Структурная схема цифровой телевизионной системы

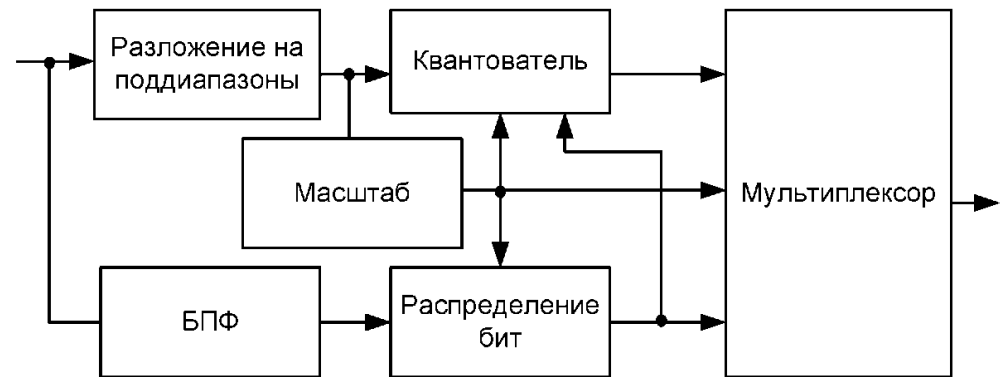
Дискретизация звукового сигнала в АЦП осуществляется с частотой 32,0, 44,1 или 48,0 кГц.

Цифровой сигнал поступает на блок **разложения на поддиапазоны**, содержащий набор цифровых полосовых фильтров.

Количество частотных поддиапазонов равно 32.

В каждом поддиапазоне отсчеты

звукового сигнала группируются в блоки по 12 или по 36 отсчетов в зависимости от типа кодера. В блоке вычисления масштаба определяется максимальное значение сигнала в каждом блоке, и устанавливается соответствующий масштабирующий коэффициент.



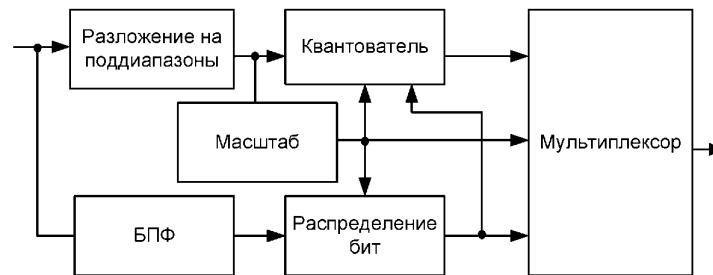
Структурная схема цифровой телевизионной системы

В блоке **БПФ** выполняется быстрое преобразование Фурье полного звукового сигнала.

Для БПФ берутся участки звукового сигнала по 512 или по 1024 отсчета.

По результатам обработки полученного частотного спектра в блоке распределения бит определяются параметры квантования сигнала в разных частотных поддиапазонах.

В тех поддиапазонах, в которых искажения звука, вызываемые квантованием, менее заметны для слушателя или маскируются большим уровнем сигнала в других поддиапазонах, квантование делается более грубым.



Структурная схема цифровой телевизионной системы

Благодаря этому удастся существенно уменьшить количество передаваемой информации.

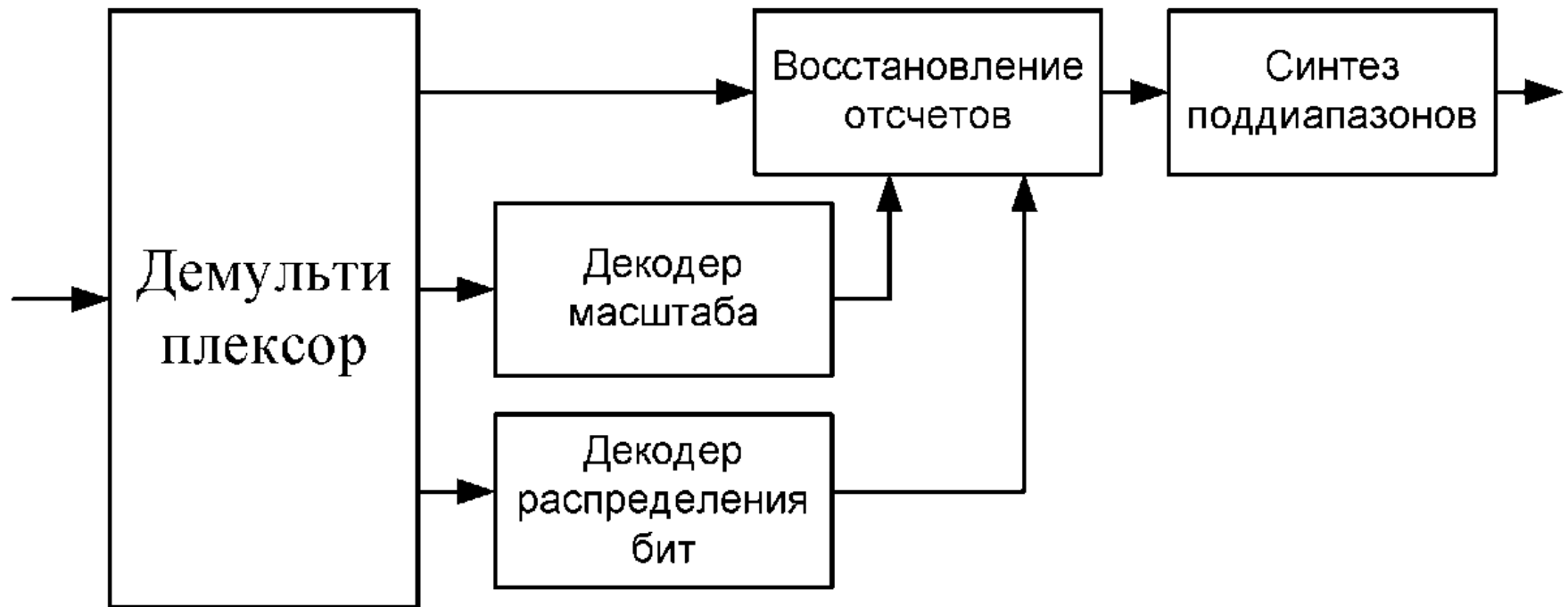
Затем выполняется квантование с различным шагом квантования для разных частотных поддиапазонов и с учетом масштабирующего коэффициента.

В мультиплексоре объединяются данные с выходов квантователя, блока вычисления масштабирующего коэффициента и блока определения распределения бит.

В приемной части системы восстановление звука осуществляется в обратной последовательности.

Структурная схема цифровой телевизионной системы

Структурная схема декодера звука *MPEG-2* в приемной части системы



Литература

Основы телевидения : учебное пособие / сост.: В.А. Глушков, А.В. Смирнов. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 88 с.