

## Лекция 10

### Приемная часть системы DRM

Упрощенная структурная схема приемной части системы DRM (радиоприемника DRM) представлена на рис. 1.

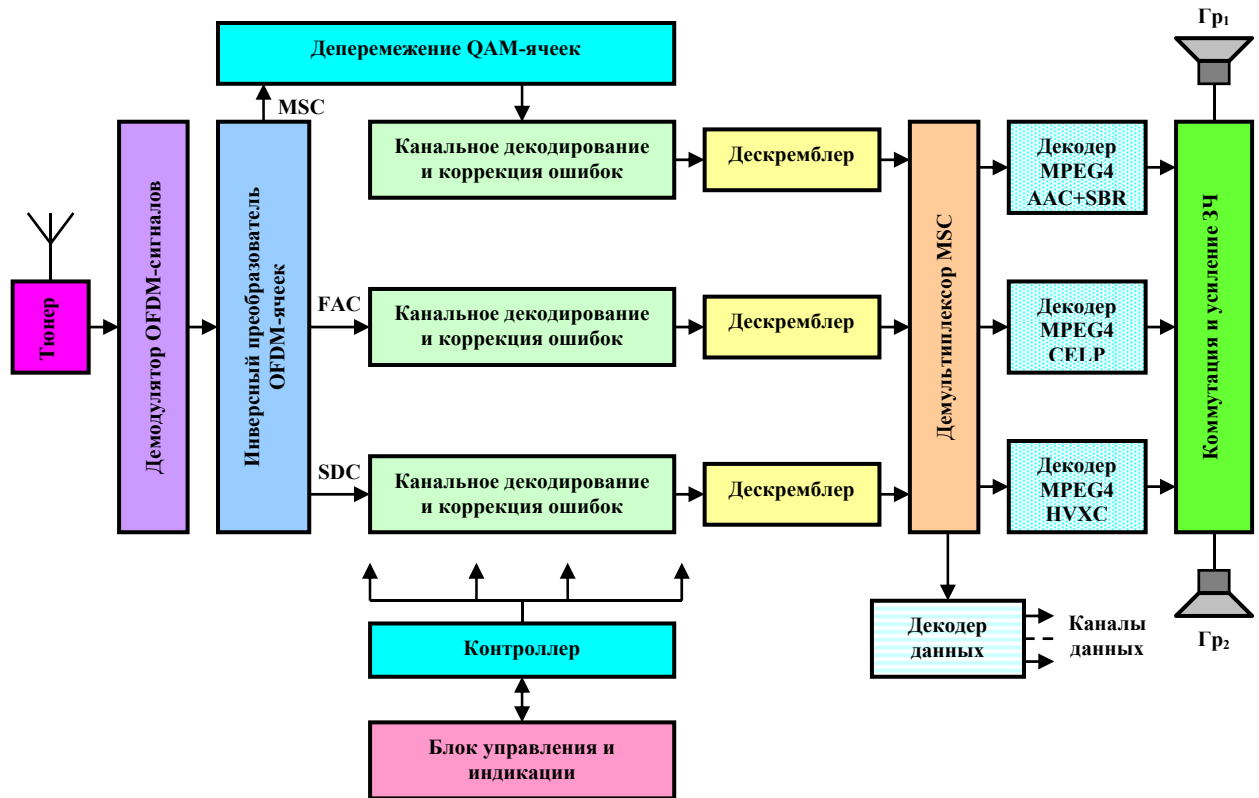


Рис. 1. Структурная схема радиоприемника системы DRM

Радиосигнал системы DRM, поступающий из ненаправленной приемной антенны, выделяется в блоке тюнера, после чего подается на вход демодулятора OFDM. С выхода демодулятора сигнал поступает на инверсный преобразователь OFDM-ячеек, на выходе которого восстанавливаются по отдельности каналы VSC, FAC и SDC. В канале MSC производится деперемеживание QAM-ячеек. Далее осуществляется канальная демодуляция, т.е. обратное преобразование QAM-ячеек и коррекция ошибок, возникающих при передаче сигнала DRM по реальному каналу связи. После этого производится дескремблирование (дерандомизация) цифровых сигналов, передаваемых в каналах MSC, FAC и SDC. Затем выполняется демультимплексирование данных канала MSC, т.е. разделение мультимплексированного потока на отдельные звуковые (речевые) каналы и каналы данных. Передаваемые в них цифровые потоки декодируются в предназначенных для этого декодерах. Информация, передаваемая в каналах данных, может отображаться на дисплее пользователя и/или поступать на выход приемника для дальнейшего использования. Системный контроллер соединен с блоком управления и индикации. Он управляет приемником в соответствии с командами пользователя и информацией, передаваемой в каналах FAC и SDC.

## **СИСТЕМА цифрового радиовещания DAB+**

В 2007 году был опубликован нормативный документ ETSI (Technical Standard TS 102 563) на систему DAB+. Здесь для компрессии звуковых сигналов использован более современный и более эффективный метод кодирования MPEG4 HE AAC v2 (HE - High Efficiency) - такой же, как используется в системе DRM.

Метод **MPEG4 HE AAC v2** основан на трех алгоритмах обработки звукового сигнала:

- **MPEG4 AAC (Advanced Audio Coding** - усовершенствованное кодирование звука);

- **SBR (Spectral Band Replication** - копирование спектральных полос). Применение технологии SBR в сочетании с технологией MPEG4 AAC позволяет расширить диапазон воспроизводимых звуковых частот в высокочастотной области. Метод SBR основан на том, что высокочастотные составляющие спектра звукового сигнала, подавленные в случае необходимости на передающей стороне, могут быть приблизительно воссозданы на приемной стороне при использовании имеющейся связи между низкочастотными и высокочастотными спектральными составляющими. Это достигается путем передачи от кодера к декодеру SBR некоторой дополнительной информации.

- **PS (Parametric Stereo** - параметрическое стерео). Позволяет передавать вместо двухканального стереофонического сигнала один монофонический, образованный из исходных сигналов стереопары, и некоторую дополнительную информацию, которая затем используется декодером для восстановления исходного стереосигнала. Применение метода PS позволяет снизить требования к скорости передачи цифрового звукового сигнала при сохранении стереоэффекта.

Система DAB+ имеет перед системой DAB следующие преимущества:

- технология MPEG4 HE AAC v2 обеспечивает равноценное субъективное качество воспроизведения при значительно меньших (примерно в 3 раза) скоростях цифрового потока в сравнении с технологиями MPEG1 Audio Layer 2 и MPEG2 Audio Layer 2 (MPEG2 Audio Layer 2), которые применяются в системе DAB;

- увеличено количество радиопрограмм, передаваемых в одном ансамбле DAB+, что выгодно и для радиовещателей, и для пользователей;

- повышена эффективность использования радиочастотного диапазона;

- радиоприемники системы DAB+ обладают обратной совместимостью с системой DAB;

- сохранены все функции, предусмотренные при передаче данных PAD (Program Associated Data – данные связанные с программой) в системе DAB;

- обеспечена совместимость со всеми программами, содержащими мультимедийную информацию;

- возможна передача звуковых данных в формате MPEG Surround;

- звуковые программы, кодированные методами MPEG4 HE AAC v2 и MPEG Audio Layer 2, могут сосуществовать в одном ансамбле DAB+.

В стандарте TS 102 563 определен способ передачи звукового сигнала, кодированного с помощью технологии MPEG4 HE AAC v2. Для защиты цифровых данных используются коды Рида-Соломона и система перемежения. Схема формирования звуковых программ в системе DAB+ показана на рис. 2.

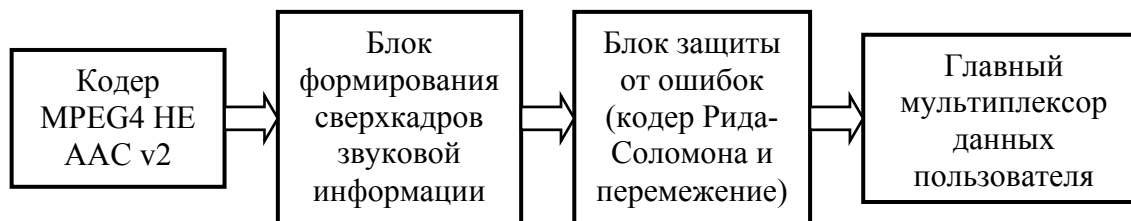


Рис. 2. Схема формирования звуковых программ в системе DAB+

### Кодирование звуковых сигналов

Для кодирования звуковых сигналов в системе DAB+ применяется технология MPEG4 HE AAC v2.

Используются следующие частоты дискретизации: 48, 32, 24 и 16 кГц. Каждый кадр звуковых данных (единица доступа, Access Unit - AU) при этом имеет длительность 20, 30, 40 и 60 мс. Для обеспечения совместимости и синхронизации транспортных механизмов передачи звукового сигнала, кодированных методами MPEG4 HE AAC v2 и MPEG Audio Layer 2, единицы доступа AU сгруппированы в сверхкадры. Длительность каждого сверхкадра равна 120 мс. Информацию, которая в нем содержится, передают в логических кадрах, определенных для системы DAB (длительность каждого логического кадра равна 24 мс).

В системе DAB+ метод MPEG4 HE AAC v2 используется со следующими дополнительными ограничениями:

- разрешены следующие значения частот дискретизации на выходе декодера MPEG4 HE AAC: 32 и 48 кГц. При использовании для кодирования метода AAC+SBR в той части звукового сигнала, которая кодирована методом MPEG4 AAC (ядро AAC), должны быть применены частоты дискретизации 16 и 24 кГц. Если метод SBR не применяется, то в ядре AAC следует использовать частоты дискретизации 32 и 48 кГц соответственно;

- количество отсчетов звукового сигнала на один звуковой канал и один звуковой кадр (единица доступа - AU) должно быть равно 960. Это необходимо для согласования длин AU, что позволяет обеспечить построение сверхкадра звуковой информации с длительностью 120 мс, используя целое число таких AU;

- скорость передачи звукового сигнала ограничена таким образом, что в пределах максимальной пропускной способности используемого субканала MSC, которая в данном случае равна 192 кбит/с, примерно 175 кбит/с отводится для передачи звукового сигнала (без учета данных PAD);

- сверхкадры звуковой информации, длительность которых всегда равна 120 мс, формируются их AU. Эти AU кодируются вместе таким образом, что каждый сверхкадр имеет постоянную длину, и обмен битами между AU возможен в пределах данного сверхкадра.

Количество AU в одном сверхкадре может быть различным:

- два (технология SBR применяется, частота дискретизации ядра AAC равна 16 кГц;

- три (технология SBR применяется, частота дискретизации ядра AAC равна 24 кГц;

- четыре (технология SBR не применяется, частота дискретизации ядра AAC равна 32 кГц;

- шесть (технология SBR не применяется, частота дискретизации ядра AAC равна 48 кГц.

Размер сверхкадра определяется пропускной способностью используемого субканала MSC, которая кратна величине 8 кбит/с.

### Метод копирования спектральных полос (SBR)

Метод SBR (Spectral Band Replication - копирование спектральных полос) - это технология, позволяющая улучшить качество воспроизведения звукового сигнала при передаче его по низкоскоростным цифровым каналам.

Известно, что подавление высокочастотных составляющих в спектре звукового сигнала (рис. 3) приводит к искажению его тембра, который при этом становится глухим и тусклым, а речевой сигнал, кроме того, - менее разборчивым и понятным.

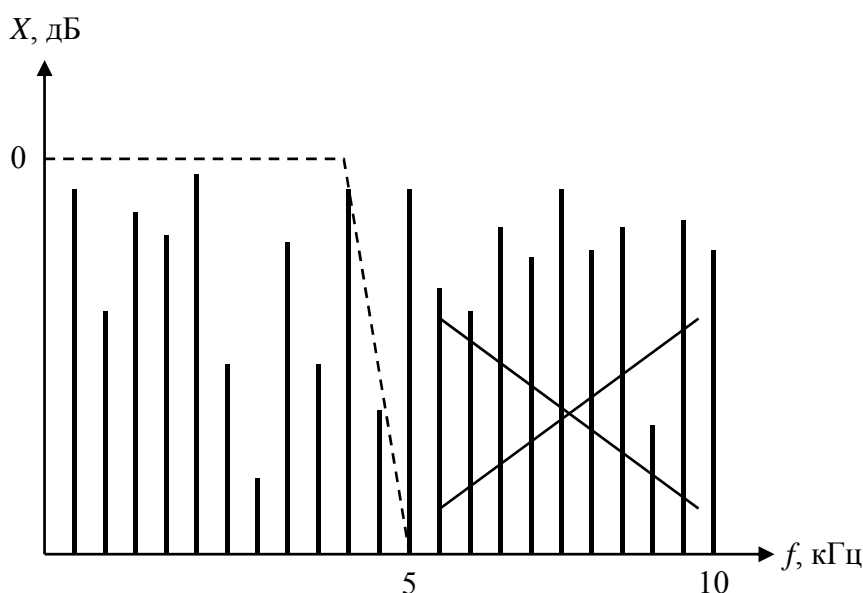


Рис. 3. Подавление ВЧ-составляющих в спектре звукового сигнала

Однако, если существуют ограничения на максимальную скорость передачи данных, то приходится использовать низкие частоты дискретизации и, как следствие, ширина спектра в полном соответствии с теоремой Котельникова ( $F_{\max} \leq f_d/2$ ), также уменьшается. Например, при частоте дискретизации  $f_d = 16$  кГц максимальная частота спектра звукового сигнала  $F_{\max} \leq 8$  кГц.

Технология SBR позволяет расширить полосу воспроизводимых частот сверх указанного предела. Основана она на том, что подавленные на передающей стороне высокочастотные составляющие могут быть приблизительно восстановлены на приемной стороне путем анализа и выявления связи между низкочастотными и высокочастотными составляющими спектра исходного звукового сигнала. Информация о наличии и характере такой связи передается приемному устройству. Тогда приемное устройство производит копирование части низкочастотных составляющих спектра и реконструирует высокочастотную часть спектра с учетом полученной информации (рис. 4). Слуховое восприятие звукового сигнала при этом улучшается, если огибающая восстановленной высокочастотной части спектра существенно не отличается от огибающей спектра исходного звукового сигнала. Другими словами, дополнительная информация,

передаваемая от кодера к декодеру, позволяет приемнику формировать огибающую высокочастотной части спектра звукового сигнала.

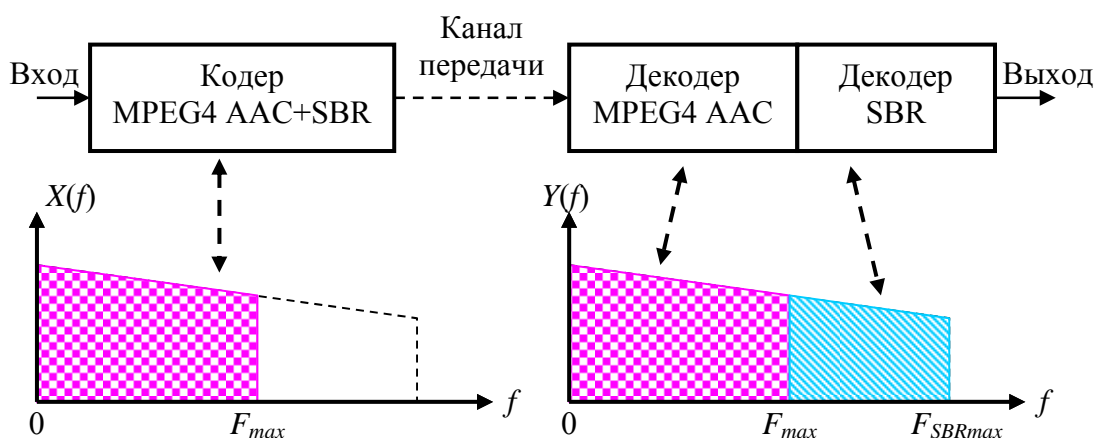


Рис. 4. Кодирование и декодирование цифровых звуковых сигналов при использовании технологии MPEG4 AAC+SBR

При этом важно обеспечить нужное соотношение между гармоническими и шумоподобными компонентами в воссозданной высокочастотной части спектра звукового сигнала. Для этого на приемной стороне системы производится селективное дополнение высокочастотной части спектра реконструированного звукового сигнала шумоподобными компонентами.

При использовании технологии SBR на передающей стороне системы цифрового радиовещания значения необходимых параметров звукового сигнала во временной и частотной областях квантуют и кодируют методом дельта-модуляции. Затем эту информацию повторно кодируют при помощи кодов Хаффмана и передают на приемную сторону. Кроме того, в кодере SBR производится адаптивное группирование субполосных отсчетов звукового сигнала во временной и частотной областях. Информацию о частотных диапазонах и временных интервалах, действительных для каждого кадра (частотно-временные параметры), также передают на декодер приемника.

При кодировании границы временных интервалов выбирают в соответствии со свойствами звукового сигнала. Более длинные интервалы используют для квазистационарных сигналов, а более короткие - для быстро изменяющихся. Временные и частотные параметры, определяющие шумоподобные спектральные составляющие звукового сигнала, передают аналогичным образом.

На передающей стороне формируют звуковые кадры, каждый из которых содержит две части, относящиеся к алгоритмам MPEG4 AAC и SBR соответственно.

Структурная схема декодера MPEG4 AAC+SBR показана на рис. 5.

Цифровой поток поступает с выхода декодера MPEG4 AAC на вход 32-полосного анализирующего банка фильтров. В каждой из 32 субполос образуются группы из 30 отсчетов звукового сигнала. В результате на выходе анализирующего банка фильтров формируется кадр, содержащий 960 отсчетов. Такие кадры поступают на устройство задержки, которое необходимо для согласования по времени сигналов низкочастотных и высокочастотных субполос, а также на устройство реконструкции высокочастотных составляющих спектра.

На это же устройство поступает необходимая информация с блока деформатирования цифрового потока SBR.



Рис. 5. Структурная схема декодера MPEG4 AAC+SBR

Декодер Хаффмана преобразует принятые кодовые слова в квантованные данные, на основе которых можно восстановить огибающую спектра звукового сигнала. Информация с выходов декодера Хаффмана и устройства управления частотно-временными параметрами поступает на вход блока расчета коэффициентов усиления. Эти коэффициенты необходимы для формирования огибающей высокочастотной части спектра звукового сигнала в блоке регулировки усиления.

Синтезирующая фильтрация задержанных отсчетов низкочастотных субполос и высокочастотных субполосных отсчетов, прошедших процедуру регулировки усиления, выполняется при помощи 64-канального банка фильтров. Отсчеты низкочастотных субполос поступают на низшие 32 канала синтезирующего банка фильтров, а высокочастотных - на остальные 32 канала, соответствующие высоким частотам. На выходе синтезирующего фильтра формируется 1920 отсчетов звукового сигнала на каждый принятый звуковой кадр MPEG4 AAC+SBR.

Эффективность метода SBR можно оценить на представленном ниже примере кодирования монофонического звукового сигнала. Для этого случая получены следующие данные:

- скорость передачи звукового сигнала - 22 кбит/с;
- длительность звукового кадра - 40 мс;
- частота дискретизации MPEG4 AAC - 24 кГц;
- частота дискретизации SBR - 48 кГц;

- частотный диапазон при использовании MPEG4 AAC - 0...6 кГц;
- частотный диапазон, полученный за счет применения SBR - 6...15,2 кГц;
- средняя скорость потока данных SBR - 2 кбит/с.

При кодировании звукового сигнала методом MPEG4 AAC в данном случае можно обеспечить диапазон воспроизводимых частот от 0 до 6 кГц. Применение дополнительно технологии SBR позволяет расширить диапазон воспроизводимых частот 6 до 15,2 кГц. При этом общая скорость передачи цифрового потока данных составляет примерно 22 кбит/с.

### **Параметрическое стереокodирование звуковых сигналов**

Для улучшения характеристик стереокodирования звукового сигнала при низких скоростях цифрового потока применяют метод кодирования, который называется Parametric Stereo (PS) или параметрическое стерео. PS-кодирование частично базируется на существующей структуре сигнала SBR. Средства PS могут быть использованы, если применена конфигурация MPEG4 AAC+SBR (MPEG High Efficiency AAC Profile).

Цель разработки метода PS состоит в передаче стереофонических звуковых сигналов на таких низких скоростях цифрового потока, при которых невозможно обеспечить передачу традиционных двухканальных стереосигналов с требуемым качеством. Метод PS предназначен в основном для передачи стереофонических сигналов при скоростях цифрового потока от 18 до 26 кбит/с, хотя он может применяться при любых скоростях цифрового потока.

При PS-кодировании вместо звуковой информации левого L и правого R каналов стереосигнала передается их сумма M (L+R), т.е. центральный или монофонический сигнал (M — «Middle» — середина) и разность S («Side» — дополнение) между сигналами обоих стереоканалов (L-R) — один из видов так называемого матричного стереокodирования M/S.

Идея PS-кодирования состоит в передаче данных, описывающих стереообраз, как дополнительной информации к монофоническому сигналу, образованному из сигналов стереопары. Объем дополнительной информации относительно невелик в сравнении той информацией, которая потребовалась бы для передачи стереофонического сигнала с заданным качеством, и общая скорость цифрового потока возрастает незначительно в сравнении со скоростью передачи моносигнала.

В процессе кодирования используются два параметра для описания стереообраза: Pan (Panorama - панорама) и SA (Stereo Ambience - стереоокружение). Параметр Pan содержит информацию о частотно-селективных разностях уровней в левом и правом стереоканалах. Параметр SA несет частотно-селективную информацию о стереоокружении, которая не может быть описана только на основе оценки распределения энергии между левым и правым стереоканалами.

При M/S-представлении большинства стереосигналов реверберация, как правило, представлена в разностном сигнале S. Поэтому информация SA добавляется именно к нему.

Кроме значений параметров Pan и SA, содержат и другую информацию, необходимую для синтеза стереосигнала на приемном конце.

## **MPEG Surround**

Стандарт на систему кодирования MPEG Surround (или MPEG-D) был опубликован в 2007 году (ISO/IEC 23003-1). Известен также как Spatial Audio Coding (SAC). Этот стандарт описывает методы кодирования многоканальных звуковых сигналов путем представления их в виде монофонических или стереофонических сигналов с добавлением небольшого количества дополнительной информации, содержащей пространственные характеристики исходных сигналов.

Кроме того, MPEG Surround включает в себя бинауральный режим, обеспечивающий ощущение пространственности при воспроизведении многоканального сигнала с помощью стереотелефонов.