

УДК 621.396.97

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ  
В СИСТЕМЕ DAB+**

КУЗНЕЦОВА А.С.

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

**THE PECULIARITIES OF DAB+ DIGITAL SOUND BROADCASTING  
NETWORKS CONSTRUCTION**

KUZNETSOVA A.S.

Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov

***Аннотация.** Рассматриваются особенности формирования сигналов цифрового звукового вещания в системе DAB+, а также принципы построения и работы передающих сетей с использованием указанной системы.*

***Abstract.** The peculiarities of digital sound broadcasting signals forming in DAB+ system as well as transmitting DAB+ networks construction and operation principles are considered.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Система DAB+ разработана на базе технологии DAB (Digital Audio Broadcasting), обеспечивающей высококачественное цифровое радиовещание на автомобильные, переносные и стационарные приемники в диапазонах частот 174 240 МГц и 1452 1492 МГц.

Исходная система DAB основывалась на технологии кодирования источника MPEG-1 Audio Layer II, которая на момент создания системы была новейшей разработкой для цифрового кодирования звука. С тех пор технология MPEG-1 Audio Layer III, более известная как mp3, стала лидером на рынке музыкальных проигрывателей и потокового радио. Однако на сегодняшний день, даже оставаясь наиболее успешной технологией на рынке, mp3 уже была превзойдена по эффективности и показателям работы технологией MPEG-4 AAC. Ее появление привело к введению дополнительной технологии кодирования звука в системе DAB, которая позволяет повысить эффективность работы при более низких скоростях цифрового потока – появлению системы DAB+ [1].

Еще одним важным нововведением стала дополнительная возможность передачи видео/мультимедийной информации, позволившая системе стать цифровой системой мобильного телевидения, названной DMB (Digital Multimedia Broadcasting).

**ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ**

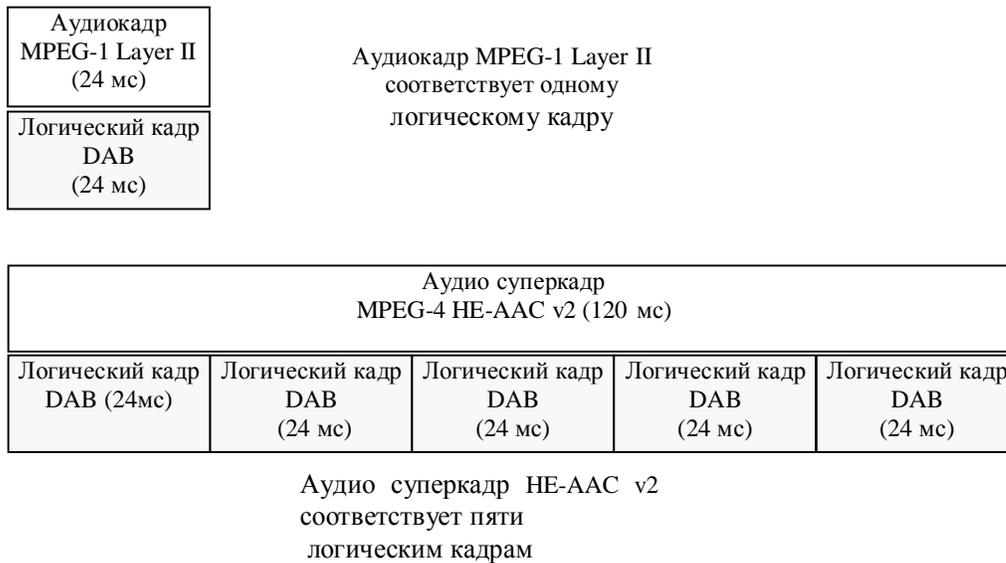
Как для DAB+, так и для DMB, технической основой остается система DAB. Другими словами, метод формирования сигнала передачи остается тем же, только добавлены новые приложения, новые транспортные протоколы и второй уровень помехоустойчивого кодирования [1, 2].

Одной из сильных сторон технологии DAB является не только то, что несколько различных приложений может передаваться в пределах одного мультиплекса, но также и возможность использования различных транспортных протоколов и индивидуальных скоростей сверточного кода для каждого из субканалов.

В связи с тем, что для кодирования звука используется алгоритм MPEG-4 HE-AAC v2, влияние ошибок в битах цифрового потока более существенно по сравнению с алгоритмом MPEG-1 Audio Layer II. Иными словами, нужна большая степень защиты цифрового потока при передаче по реальным каналам вещания. Сочетание внутреннего сверточного кода, являющегося элементом исходной DAB технологии, и внешнего блочного кода Рида-Соломона было выбрано как наиболее подходящее решение [1, 2].

Изначально система DAB разрабатывалась на основе структуры MPEG Layer II, что отразилось на том, что логические кадры DAB цифрового потока были одинаковой длины (24 мс) с аудиокадрами MPEG-1 Layer II (частота дискретизации 48 кГц и объем выборки 1152 отсчёта). В системе DAB+ при применении алгоритма кодирования звука AAC возможно использование четырех значений частоты дискретизации: 48, 32, 24 и 16 кГц при выборке из 960 отсчетов [2]. В этом случае аудиокадр или AAC блок доступа (Access Unit – AU) может иметь длину 20, 30, 40 или 60 мс соответственно. Для обеспечения структуры потока, подобной принятой в системе DAB, и упрощения задач синхронизации блоки доступа AU группируются в суперкадры длиной 120 мс, что эквивалентно 5 логическим кадрам базовой системы DAB (рис. 1).

Обобщенная структурная схема, отображающая изменения в процессе формирования мультиплексного сигнала в системе DAB+ относительно базового варианта системы, приведена на рис. 2 [2].



**Рисунок 1** – Соотношение логических кадров для Layer II и DAB+



**Рисунок 2** – Применение внешнего кодера и перемежителя при формировании цифрового сигнала в системе DAB+

Применяемая структура потока (рис. 3) состоит из суперкадров, соответствующих фиксированному количеству блоков доступа AU. Каждый блок доступа содержит данные PAD (Programme Associated Data) аналогично MPEG Layer II аудиокадрам. Требуемая дополнительная защита от ошибок реализуется с помощью виртуального перемежения и кодирования Рида-Соломона (120, 110,  $t = 5$ ). Добавление десяти байтов проверки на четность на 110 байт информационных данных (что эквивалентно введению избыточности равной 8,3 %) дают возможность исправления до пяти ошибочных байтов в общих 120 [1].

**Варианты формирования мультиплекса**

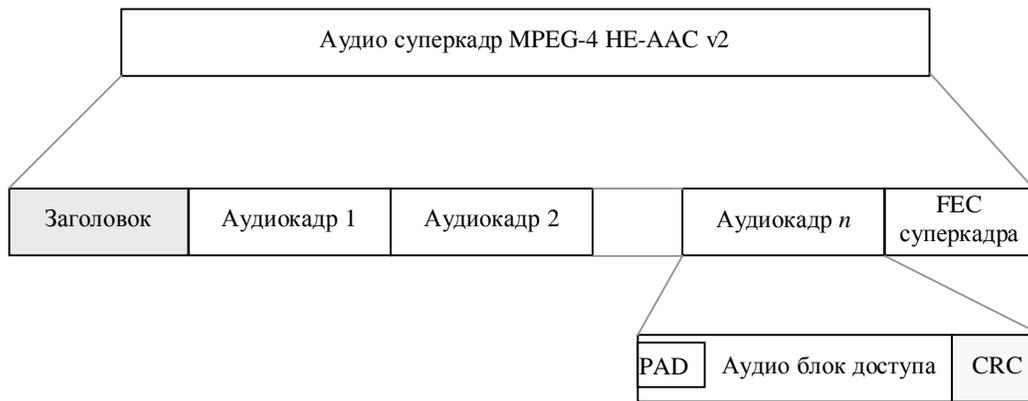
Если в системе DAB передавалось в составе мультиплекса, например, 9 программ с использованием кодера MPEG-1 Layer II, то при той же скорости передачи в основном служебном канале системы DAB+ может передаваться 28 программ, которые, однако, не могут быть декодированы приемниками с MPEG Layer II декодером.

Благодаря гибкой структуре технологии DAB, вещательные программы, кодированные в соответствии со стандартом MPEG-1 Layer II, могут передаваться в общем мультиплексе с программами, кодированными в соответствии с HE-AAC v2.

В качестве переходного варианта от передачи в соответствии со стандартом MPEG-1 Layer II к стандарту HE-AAC v2 в составе мультиплекса может передаваться 5 услуг в стандарте MPEG-1 Layer II и 11 программ с кодированием в стандарте HE-AAC v2.

Еще одним вариантом использования емкости мультиплекса может быть передача трех программ звукового вещания в стандарте MPEG-1 Layer II, 8 программ в стандарте MPEG-4 HE-AAC v2 и двух программ мобильного ТВ с использованием системы DMB [1].

Аналогично системе DAB доставка сигнала от главного служебного мультиплексора к передающим станциям осуществляется посредством ETI интерфейса.



FEC суперкадра: Код Рида-Соломона с возможностью обнаружения и исправления до 5 байт в пределах 120 байтов RS (120, 110, t = 5), материнский код RS (255, 245, t = 5)

Рисунок 3 – Структура суперкадра при передаче аудиосигналов в системе DAB+

### Передающие сети цифрового вещания в системе DAB+ CRC

Требуемая зона покрытия вещанием может обеспечиваться либо одной передающей станцией, либо с помощью одночастотной синхронной сети [3].

При планировании покрытия вещанием в системе DAB+ рекомендуется пользоваться значениями соответствующих параметров планирования, принятых для системы DAB [4].

Однако, следует отметить, что процессе стандартизации выполнялось моделирование системы, и для типовых моделей каналов приема был определен выигрыш в значениях отношения с/ш от 1,7 до 6,7 дБ для новой системы по сравнению с существующей системой, использующей MPEG-1 Layer II.

Полевые испытания, проведенные в Великобритании и Австралии, подтвердили результаты моделирования. Они показали, что площади зоны покрытия вещательной службы, использующей HE-AAC v2, несколько больше по сравнению с использующей MPEG-1 Audio Layer II [1].

При определении покрытия в одночастотной синхронной сети учитывается, что сигналы, приходящие в любую точку в пределах зоны покрытия могут складываться конструктивно, реализуя эффект, получивший название «сетевое усиление» [3, 5]. С другой стороны, передатчики в данной сети могут создавать взаимные помехи, если предельно допустимые значения задержки между сигналами превышены. Это будет зависеть от структуры сети (напр., расстояний между передатчиками) и параметров сигнала (напр., длительности защитного интервала), так же как и от соотношения значений напряженности поля сигналов и его соответствия требуемому защитному отношению. Подобное явление получило название «внутрисетевая помеха» (self-interference) [5].

Если приемник находится на участке между двумя станциями, работающими в одночастотной сети, сигнал на его входе будет представлять собой сумму сигналов, излучаемых станциями:

$$S'(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \{S_{ik} \cos[2p(f_0 + f_k)t] - S_{qk} \sin[2p(f_0 + f_k)t]\} + \sum_{k=0}^{N-1} \{dS_{ik} \cos[2p(f_0 + f_k)(t - \tau)] - dS_{qk} \sin[2p(f_0 + f_k)(t - \tau)]\}, \quad (1)$$

где  $S_{ik}, S_{qk}$  – амплитуды синфазной и квадратурной компоненты передаваемого сигнала,  $f_k = k\Delta f; \Delta f = 1/T_u$ ,

$T_u$  – длительность полезной части COFDM символа,

$N$  – количество несущих в COFDM символе,

$d$  – соотношение амплитуд радиосигналов на входе приемника,

$\tau$  – разность времени поступления радиосигналов от двух передатчиков к точке приема.

После ряда преобразований получим:

$$S'(t) = \sqrt{1 + 2d\cos[2\pi(f_0 + f_k)\tau] + d^2} \times \sum_{k=0}^{N-1} \{S_{ik} \cos[2\pi(f_0 + f_k)t + f] - S_{qk} \sin[2\pi(f_0 + f_k)t + f']\}, \quad (2)$$

где

$$f = -\text{arcctg} \frac{1 + d\cos[2\pi(f_0 + f_k)\tau]}{d\sin[2\pi(f_0 + f_k)\tau]},$$

$$f' = -\text{arctg} \frac{d\sin[2\pi(f_0 + f_k)\tau]}{1 + d\cos[2\pi(f_0 + f_k)\tau]}.$$

Таким образом, сложение сигналов от двух передатчиков приведет к значительным изменениям амплитуды в полосе частот сигнала, равной 1,5 МГц. Некоторые частотные составляющие будут усиливаться, в то время как другие – ослабляться. В частности, при неблагоприятных условиях приема в значительной части полосы сигнал может быть искажен.

На приемной стороне такой результирующий сигнал более трудно декодировать и его возникновение может привести к необходимости повышения отношения с/ш для достижения верного декодирования. Для более помехоустойчивых вариантов системы это сказывается в меньшей степени, чем для менее помехоустойчивых вариантов.

Увеличение требуемого значения с/ш также зависит от типа используемого приемного устройства. Низкий класс качества приемника может также отрицательно сказаться при приеме подобных сигналов [5].

Если уровни сигналов, приходящих на вход приемника, одинаковы ( $d \approx 1$ ), в этом случае изменение амплитуды сигнала на входе приемника будет определяться множителем

$$M = \sqrt{2 + 2\cos[2p(f_0 + f_k)\tau]}. \quad (3)$$

При  $\tau = 0$  значение  $M = 2$ . При определенных значениях  $\tau$  множитель  $M$  обращается в 0. Так, например, при  $f_0 + f_k = 223,436$  МГц амплитуда соответствующей частотной составляющей в спектре сигнала будет равна 0 при  $\tau = (2n + 1) \cdot 2,238 \cdot 10^{-9}$  с. Если  $f_0 + f_k = 224,436$  МГц, соответствующее значение  $\tau = (2n + 1) \cdot 2,228 \cdot 10^{-9}$  с.

На основании подсчета видим:

– амплитуды частотных составляющих будут изменяться от максимального значения до нуля при перемещении приемника на достаточно малое расстояние (приблизительно 0,34 м для выбранного примера). По мере перемещения приемника в сторону одной из передающих станций ( $d \neq 1$ ) изменения амплитуды будут происходить во все меньших пределах;

– при использовании в сети передатчиков с одинаковой мощностью и выравниванием во времени передаваемых сигналов, сигналы номинально равной амплитуды будут приходить в точки

приема, расположенные на одинаковом расстоянии от передатчиков. В окрестности таких точек, в зависимости от разности времени распространения радиоволн от передатчиков, сигналы будут усиливаться и ослабляться, и из-за относительно малой задержки во времени при ослаблении сигналов это будет происходить в пределах довольно большого интервала частот. Значительное количество несущих COFDM символа может быть искажено, и прием неудовлетворителен.

К методам снижения влияния рассмотренного эффекта можно отнести:

изменение мощности передатчиков сети таким образом, чтобы при равных амплитудах в точке приема разность времени прохождения сигналов была значительной. Хотя это и не предотвратит воздействие эхо-сигнала, искажения COFDM несущих по всей полосе частот сигнала удастся избежать;

введение искусственной задержки при передаче;

изменение характеристик передающих станций таким образом, чтобы переместить зону искажений в не критичную область.

#### Список использованной литературы:

- 1 Herrmann F. The evolution of DAB / F. Herrmann, L.A. Erismann, M. Prosch // EBU Technical review. – July 2007. – 18 pp.
- 2 ETSI TS 102 563 v1.2.1 Digital Audio Broadcasting (DAB); Transport for Advanced Audio Coding (AAC) audio.
- 3 Аналоговое и цифровое радиовещание / [А.В. Выходец, С.Н. Ганжа, А.С. Кузнецова, А.А. Выходец]; под ред. А.В. Выходца. – Одесса : ВМВ, 2011. – 312 с.
- 4 Recommendation ITU-R BS.1660-5 Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band, 2011.
- 5 Network Aspects for DVB-H and T-DMB – EBU Tech 3327, December 2009.