

ЦИФРОВОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ — ПОСЛЕДНИЙ ШТРИХ ЦИФРОВОГО ПОРТРЕТА?

И. Шахнович

...Для России крайне важна скорейшая разработка и начало осуществления программы внедрения сетей наземного цифрового звукового радиовещания, иначе ей грозят как отставание в удовлетворении социальных потребностей общества, так и неконкурентоспособность отечественного оборудования на мировом и внутреннем рынках...

Концепция внедрения наземного цифрового звукового вещания в России в части использования радиочастотного спектра.

— М.: Госкомсвязи России, 1998

Человечество в своем развитии стремится тратить как можно меньше средств за все более качественные и разнообразные продукты — и оно, естественно, право. Если телевидение — то чтоб ощущения, как в современном кинотеатре. Если телефон — то непременно мобильный, да еще и с высокой скоростью передачи данных. Если радио — то по качеству звучания никак не хуже CD. Технически это стало реальным благодаря технологическому чуду конца прошлого века — возможности цифровой обработки аналоговых сигналов в массовой продукции.

Серьезный инструмент повышения качества передаваемого аудиосигнала — цифровые форматы записи. Но возникает проблема. Как известно, качество записи на CD, рассматриваемое как эталонное, это 16-разрядная линейная оцифровка аналогового сигнала с частотой выборки 44,1 кГц на один канал. Современные алгоритмы компрессии способны сжать этот 1,5-Мбит/с поток в несколько (свыше 10) раз. Например, Musicam, ставший основой для знаменитого MPEG Audio Layer 2, — до 192 Кбит/с. Чтобы транслировать такой поток, нужна достаточно широкая спектральная полоса. Где ее взять, и не одну, поскольку программ вещания достаточно много?

Единого подхода к решению подобной проблемы нет. На сегодня в мире (если забыть про Японию с ее восточной спецификой) сложилось три основных технологии цифрового радио. Это — европейская система Eureka-147, продвигаемая в США концепция IBOC и система низкочастотного (до 30 МГц) цифрового вещания DRM.

“ЭВРИКА”

История европейского стандарта цифрового вещания (Digital Audio Broadcasting — DAB) началась в 1987 году — с официальной даты рождения проекта Eureka-147. Разумеется, работы в области цифрового радио велись и до этого — например, одной из составных частей нового стандарта стала разработка германского института IRT (Institut für Rundfunktechnik) 1981 года. В 1988 году в Женеве на Всемирной административной радиоконференции (WARC — World Administrative Radio Conference) уже демонстрировался первый образец оборудования для мобильного приема. В феврале 1995 года

был опубликован европейский стандарт ETS 300 401, его вторая редакция вышла в марте 1997 года. Однако чаще его называют по имени проекта Eureka-147. Впоследствии, в 2000 и 2001 годах, спецификация ETS 300 401 уточнялась. Уже с 1995 года в европейских странах началось опытное цифровое вещание, с 1997 года — опытная коммерческая трансляция DAB-программ.

Что такое Eureka-147? В его основе [1] два основных механизма: кодирование аудиосигнала по методу Musicam (MPEG Audio Layer 2, используемому в известных стандартах MPEG 1 и 2) и разделение каналов посредством ортогональных несущих (OFDM) — как в уже рассмотренной нами европейской системе цифрового телевидения DVB [2]. Общая схема передачи достаточно стандартна для современных коммуникационных технологий (рис. 1): аудиосигнал сжимается MPEG-кодеком, к нему добавляются информационные данные (название программы, курс валюты, прогноз погоды и т.п.) и служебная информация. Вся информация кодируется — сначала выравнивается амплитуда сигнала посредством умножения на заданную псевдослучайную последовательность, затем применяется сверточное защитное кодирование, после чего происходит временное перемежение информации. Кодированные таким образом каналы мультиплексируются в один основной сервисный канал. К пакетам этого канала добавляется служебная информация — параметры мультиплексирования, информация о кодировании и т.д. Вместе с пакетами синхронизации вся информация образует кадр передачи, который транслируется посредством нескольких OFDM-символов (терминология стандарта ETS 300 401). OFDM-символ после квадратурной модуляции и обратного быстрого Фурье-преобразования представляет собой сигнал, которым можно непосредственно модулировать радионесущую. Полный сигнал эквивалентен низкоскоростной модуляции большого числа (от 1536 до 192) ортогональных несущих. Схема в чем-то аналогична телевизионному цифровому стандарту DVB.

В полосе 1,536 МГц транслируется цифровой поток порядка 1,5 Мбит/с. Передача возможна в четырех режимах — моно, двухканальном моно, стерео и объединенном стерео (joint stereo). В последнем случае высокочастотные составляющие (выше 2 кГц) стереосигнала передаются в одном потоке, без разделения.

Кодек MPEG Audio Layer 2 предусматривает два режима кодирования аудиосигнала — с частотой выборки 24 и 48 кГц (от 8 до 160 и от 32 до 384 Кбит/с). Соответственно с частотой выборки исходный сигнал кодируется в диапазоне 11,3 и 20,3 кГц. Максимальная разрядность выборки — 16 бит. В соответствии с алгоритмом весь частотный диапазон делится на 32 одинаковых субканала. В каждом из них разрядность оцифровки сигнала (импульсно-кодовой модуляции — ИКМ) определяется на основе психоакустической модели восприятия, в соответствии с которой восприимчивость уха к раз-

личным частотам неодинакова – следовательно, различна и разрядность кодирования. Кроме того, возможен и учет маскирования сигнала в одной полосе сигналом в другой – но это требует достаточно громоздких вычислений. Не углубляясь в механизм кодирования, отметим, что на выходе кодека формируется поток так называемых DAB-аудиокадров, включающих 1152 ИКМ-выборки аудиоинформации, связанные с ней данные и служебную информацию. Общая длительность кадра – 24 мс при частоте сканирования 48 кГц. Значения выборок в каждом субканале нормируются с помощью так называемого фактора масштабирования (Scale Factor, SF) – одинакового для каждых 12 выборок. Число бит в каждой выборке различно и зависит от номера субканала, выбранной скорости сжатия и частоты сканирования. Число бит в выборке субканала, фактор масштабирования и другая служебная информация передается в полях Bit allocation, SF, SCFS, а также в заголовке кадра (рис.2).

В кадрах MPEG Audio Layer 2 за полем аудио-выборок следует зарезервированное поле служебной информации. В DAB-аудиокадрах, структурно аналогичных MPEG, эти поля заняты двумя байтами "фиксированных данных, связанных с программой" (Fixed Programme Associated Data, F-PAD) и контрольной суммой фактора масштабирования. Кроме того, по желанию пользователя может быть добавлено поле "дополнительных связанных с программой данных" (Extended PAD, E-PAD). Размер этого поля произволен – чем больше E-PAD, тем меньше поле аудиоданных.

Транспортный механизм стандарта ETS 300 401 предусматривает три основных информационных потока, формирующих кадр передачи (рис.3):

- основной сервисный канал Main Service Channel (MSC), служащий для передачи аудиоинформации и данных;
- быстрый информационный канал Fast Information Channel (FIC), несущий служебную и вспомогательную информацию;
- канал синхронизации, используемый при демодуляции (кадровая синхронизация, контроль частоты, оценка состояния канала, идентификация передатчика).

Быстрый информационный канал FIC состоит из так называемых быстрых информационных блоков (Fast Information Block, FIB). Каждый FIB включает 240 бит полезной информации и 16-битную контрольную сумму CRC – всего 256 бит. Поле полезной информации, в свою очередь, может быть разбито на сегменты (Fast Information Groups, FIGs) произвольной длины. Основное назначение FIC – передача многочисленной служебной информации, а также поддержка различных информацион-

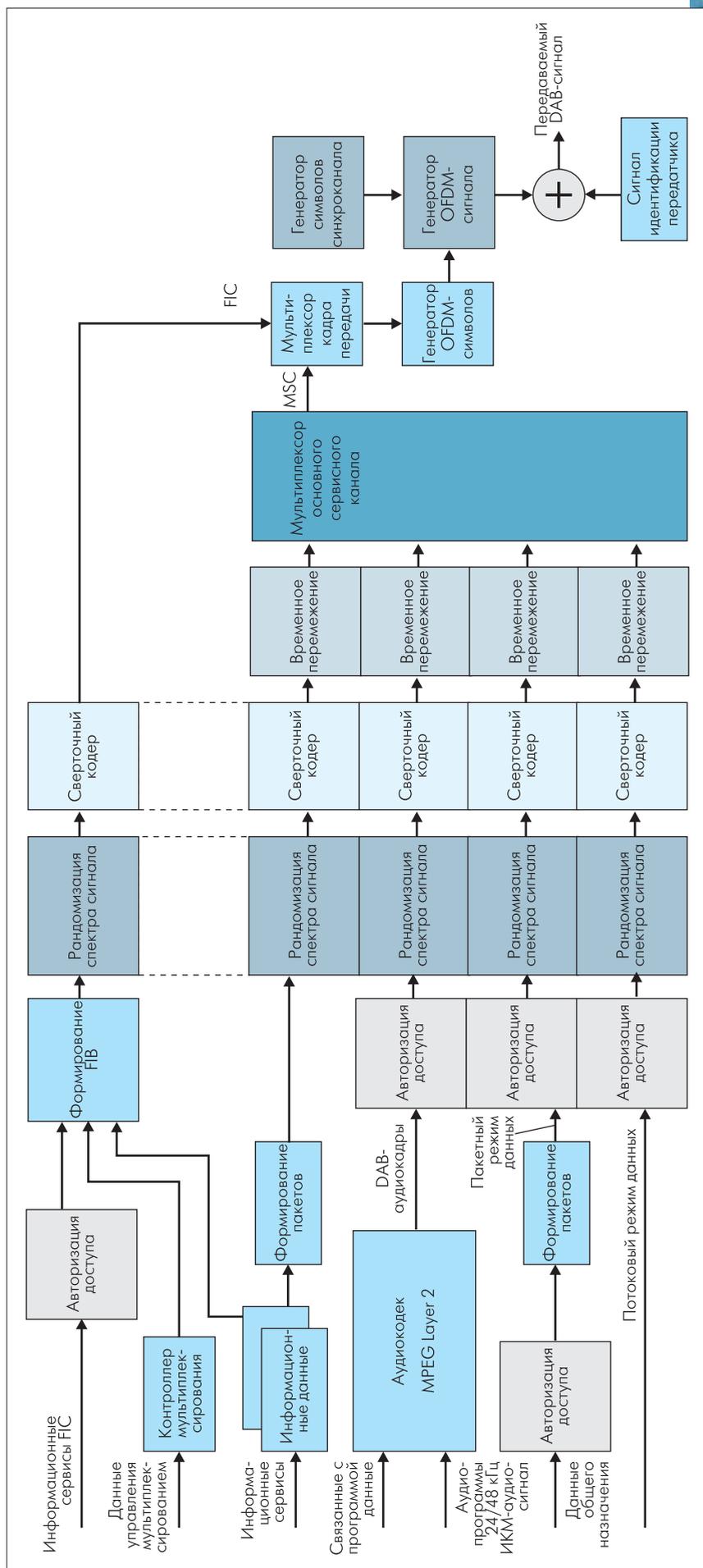


Рис.1. Функциональная схема передающего узла стандарта ETS 300 401 (Eureka-147)

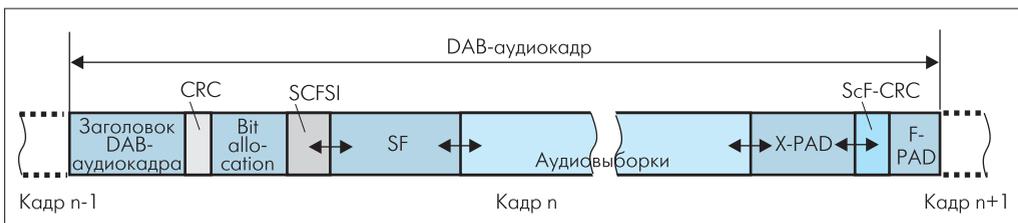


Рис.2. Структура DAB-аудиокадра

ных сервисов (индикация времени, радиотекст, меню программ, пэйджинг и т.п.). По этому же каналу передается информация о мультиплексировании различных программ и сервисов в кадре передачи.

Основной сервисный канал MSC состоит из Common Interleaved Frames (CIF) – общих вложенных кадров, по 55296 бит каждый. Минимальный адресуемый элемент CIF – 64-бит Capacity Unit (CU). Всего в CIF 864 CU. CIF подразделяется на субканалы. Каждый из них включает целое число последовательных CU. Субканалу соответствует определенная радиопрограмма (сервис). Очевидно, что допустимое число программ и дополнительных сервисов (субканалов) в кадре передачи зависит от скорости кодирования аудиосигнала. Практика показала, что в одной полосе возможно транслировать до шести программ с качеством аудиосигнала на уровне CD.

По основному сервисному каналу передаются не только аудиоданные, но и информация общего назначения. Стандартом предусмотрено два режима передачи данных – потоковый и пакетный. Скорость данных в первом режиме кратна 8 Кбит/с, во втором зависит от размера и частоты следования пакетов. Пакетный режим позволяет в одном субканале передавать несколько различных сервисов, поскольку размер пакета невелик – от 24 до 96 байт.

Стандарт Eureka-147 задумывался как максимально универсальный – для наземного, кабельного и спутникового вещания, для одночастотных глобальных сетей и локальных зон. Поэтому в нем предусмотрено четыре режима передачи, каждый из которых оптима-

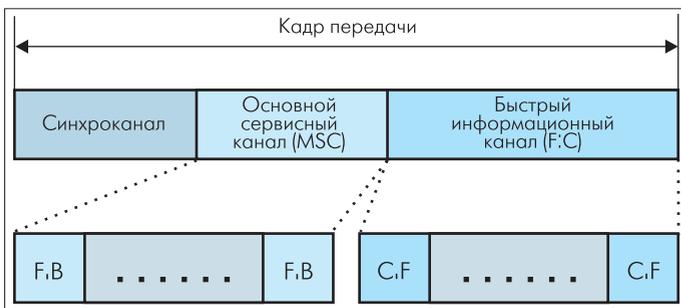


Рис.3. Структура кадра передачи

лен для определенного применения. Назначение этих режимов рассмотрим ниже, сейчас лишь отметим, что структура и длительность кадра передачи в каждом из них различны (табл. 1).

В MSC все данные кодируются, причем независимо для каждого подканала. Прежде всего, информация может быть защищена от несанкционированного доступа. Для этого используется перемно-

Таблица 1. Структура кадра передачи в зависимости от режима передачи

Режим передачи	Длительность кадра, мс	Число FIB в кадре	Число CIF в кадре
1	96	12	4
2	24	3	1
3	24	4	1
4	48	6	2

жение информации на некоторую псевдослучайную последовательность (ПСП), ключом является 8-байтное контрольное слово – единожды заданное или периодически из-

меняемое и передаваемое в приемники. Система контроля доступа может и не использоваться. Однако это – инструмент авторизации программ, взимания абонентской платы за их прослушивание, а при желании – за каждый сервис в отдельности.

Далее все данные кодируются с целью энергетического сглаживания сигнала – чтобы его спектр был как можно более ровным, шумоподобным. Для этого используется умножение на ПСП, которую формирует генератор с задающим полиномом вида $P(x)=x^9+x^5+1$ (рис.4). Инициализирующее слово – $1FF_{16}$.

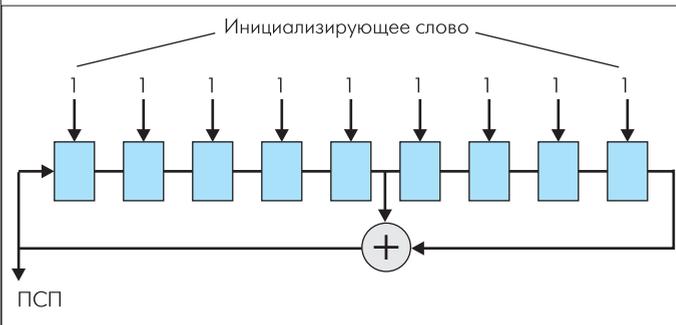


Рис.4. Генератор ПСП для рандомизации спектра сигнала

После выравнивающего кодирования начинается сверточное избыточное кодирование, при котором объем информации существенно – на 25–300% – возрастает, а вместе с ним – и степень защиты от ошибок передачи. Схема сверточного кодера приведена на рис.5. Каждому входному биту соответствуют четыре выходных. Однако используют не обязательно все четыре, поэтому скорость кодирования может варьироваться – от 8/9 до 8/32 (число входных/выходных бит). Существенно, что различные информационные поля кодируются с разной скоростью. Кроме того, скорости кодирования аудиоинформации в MSC и данных в FIC различны. В итоге наиболее защищенной оказывается служебная управляющая информация, наименее – поля аудиовыборок, что естественно – потери управляющей информации могут носить фатальный характер. Скорость кодирования в FIC – 1/3, т.е. вместо исходных 256 бит FIB образуются $3 \times 256 = 768$ бит.

После сверточного кодирования данные в MSC – и только в нем – подвергаются временному перемеживанию (перемешиванию). В этом канале вся информация структурирована в виде логических кадров – пакетов информации, связанных с исходными блоками данных длительностью 24 мс (DAB-аудиокадры либо блоки

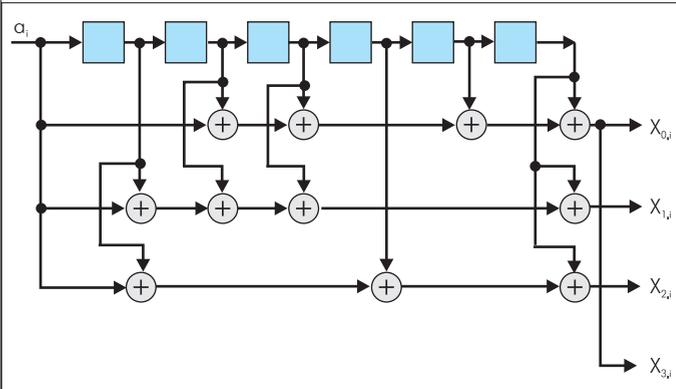


Рис.5. Сверточный кодер



Табл.2. Параметры режимов передачи Eureka-147

Режим передачи	Длительность кадра, мс	Длительность NULL-символа, мкс	Длительность защитного интервала, мкс	Номинальное максимальное расстояние между передатчиками, км	Номинальный частотный диапазон, МГц	Длительность информационной части символа, мкс	Общая длительность символа, мкс	Число ортогональных несущих
1	96	1297	246	96	до 375	1000	1246	1536
2	24	324	62	24	до 1500	250	312	384
3	24	168	31	12	до 3000	125	156	192
4	48	648	123	48	до 1500	500	623	768

данных). Число бит в логическом кадре зависит от стадии и скорости кодирования. Информация из каждых 16 логических кадров перемешивается по определенному закону и распределяется по 16 последовательным пакетам данных. Благодаря этому, если из-за длительной помехи какой-либо пакет пропадет, исчезнет лишь часть информации каждого из 16 логических кадров, которую можно будет восстановить с помощью сверточного декодирования.

В MSC все процедуры кодирования выполняются независимо для каждого аудиопотока или информационного сервиса. И только после временного перемеживания пакеты мультиплексируются в CIF. Каждому потоку в CIF выделяется субканал, занимающий целое число 64-битных CU. Информация о схеме мультиплексирования (начальный адрес и размер субканала, скорость кодирования) передается в FIC. После формирования CIF в соответствии с выбранным режимом передачи (см. табл.1) мультиплексор формирует кадр передачи (рис.6).

Информация кадра передачи транслируется в виде последовательности OFDM-символов. Первые два OFDM-символа кадра принадлежат каналу синхронизации. Это так называемый NULL-символ (уровень сигнала равен 0) и символ, несущий информацию о фазе дифференциальной QPSK-модуляции в следующем OFDM-символе. Информация из FIB и CIF группируется в виде битовой последовательности и разбивается на OFDM-символы. Каждому символу соответствует число бит, вдвое большее, чем число несущих в выбранном режиме передачи (табл.2). Например, для первого режима передачи одному OFDM-символу соответствуют $2 \times 1536 = 3072$ бита. Поскольку размер кодированного FIB – 768 бит, в этом режиме передачи одному OFDM-символу соответствует 4 кодированных FIB, или 3 OFDM-символа на все 12 пакетов быстрого информационного канала. В основном сервисном канале размер пакета FIC – 55296 бит, или 18 OFDM-символов на пакет в первом режиме передачи (всего 72 пакета на 4 CIF кадра передачи).

Далее последовательность OFDM-символов кадра, за исключением первых двух из синхроканала, подвергается квадратурной мо-

дуляции QPSK. Каждым двум битам двоичного OFDM-символа ставится в соответствие QPSK-символ, который в комплексном виде может быть записан как

$$q_{l,n} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2p_{l,n}) + i(1 - 2p_{l,n+k})],$$

где $n = 0, 1, 2, \dots, K-1$ – номер несущей, $l = 2, \dots, L-1$ – текущий номер OFDM-символа (всего L символов в кадре), $p_{l,n}$ – n -й бит l -го OFDM-символа, K – число ортогональных несущих в заданном режиме передачи. Иными словами, два бита раскладываются на квадратурные составляющие одной несущей.

Далее происходит частотное перемешивание – последовательные QPSK-символы распределяются по K несущим по определенному закону. В результате помеха в полосе нескольких соседних несущих повредит лишь малую часть информации из разных информационных блоков. Итоговая последовательность QPSK-символов попадает в дифференциальный QPSK-модулятор со сдвигом фазы на $\pi/4$ – поэтому и необходим второй символ синхроканала с информацией о фазе. К модулированной последовательности добавляются два символа из синхроканала, и последовательность поступает в генератор OFDM-сигнала, в котором формируется аналоговый сигнал. Отметим, что передаваемые OFDM-символы разделены защитным временным интервалом, что избавляет от помех, связанных с многолучевым распространением (переотражениями), неизбежным в городских условиях, – переотраженный сигнал попадает в защитный интервал и не интерферирует с основным.

К основному DAB-сигналу может быть добавлен так называемый сигнал-идентификатор передатчика, размещаемый в NULL-символах некоторых кадров передачи. Его основное назначение – передавать информацию о географическом положении передатчика.

Спектр DAB-сигнала в любом режиме передачи занимает полосу порядка 1,5 МГц (рис.7). Параметры режимов передачи выбраны так, что первый режим оптимален для одночастотных наземных сетей вещания в УКВ-диапазоне, режимы 2 и 4 ориентированы

для наземной трансляции в УКВ-, а также в L-диапазоне (1452–1492 МГц) в локальных и одночастотных глобальных сетях. Режим 3 лучше всего подходит для кабельного и спутникового вещания, а также для гибридных спутниково-наземных сетей.

Мы столь подробно остановились на Eureka-147, поскольку это европейский, следовательно наиболее близкий для России, стандарт. Кроме того, это единственный на сегодня стандарт цифрового радиовещания, действительно обеспечивающий CD-качество программ. На этом можно было бы поставить точку, если бы не

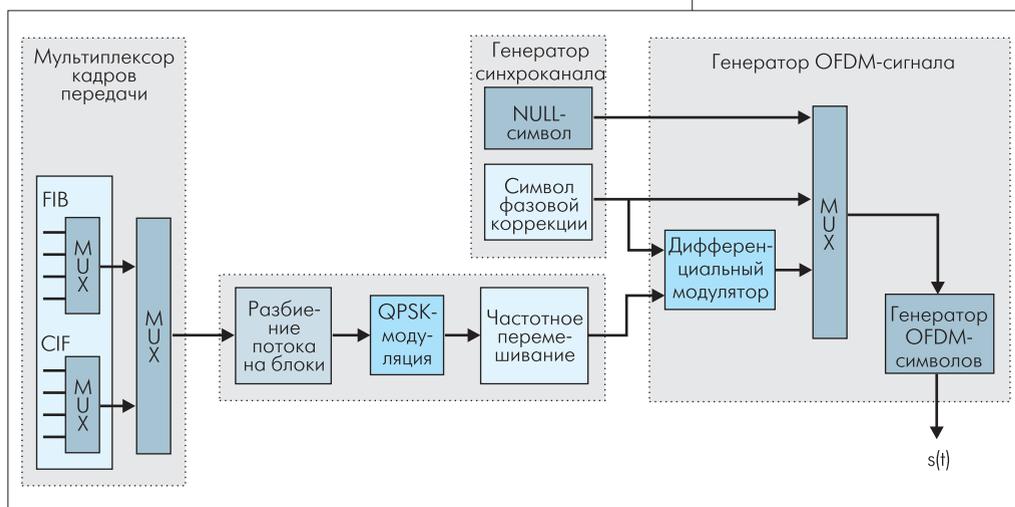


Рис.6. Функциональная схема формирования радиосигнала

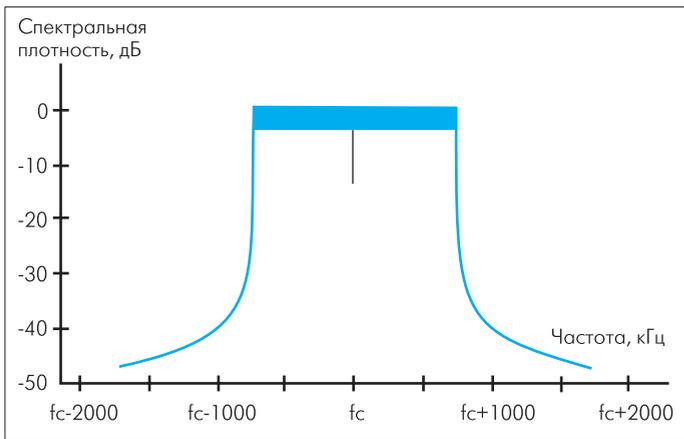


Рис.7. Теоретический спектр DAB-радиосигнала в первом режиме передачи

важнейший вопрос – в каком диапазоне организовывать вещание? Ведь стандарт рассчитан на диапазоны в пределах от 30 МГц до 3 ГГц. И в России, и в США в этой части радиоспектра свободных полос нет – они заняты действующими в полосе 87,5–108 МГц FM-радиостанциями или зарезервированы под военные и им подобные нужды. Быстрого отказа от FM-вещания не предвидится, поскольку цены DAB-приемников – несколько сот долларов. А в США – сотни коммерческих FM-радиостанций. Поэтому Федеральная комиссия связи США FCC не дала добро на внедрение Eureka-147. Там пошли своим путем, развивая систему iDAB на базе технологии IBOC (In Band On Channel).

ИБОС – В ТЕСНОТЕ, ДА НЕ В ОБИДЕ?

США исторически доминируют во многих направлениях научно-технического прогресса. Судьбы многих мировых технологий и стандартов решались игроками из Нового Света. Но в последнее время Европа все активнее вмешивается в Игру, что заокеанским компаниям, очевидно, не по вкусу. Видимо, это – основная причина неприятия в США европейского стандарта, заведомо превосходящего по качеству и возможностям продвигаемую в США технологию IBOC ("в полосе совмещенного канала").

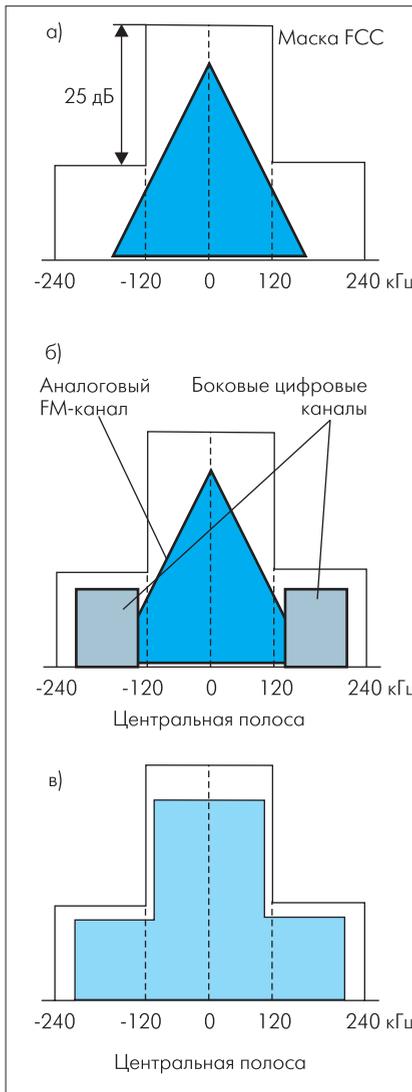


Рис.8. Спектр сигналов IBOC в диапазоне FM-вещания: а – аналоговый, б – гибридный, в – цифровой режимы

Основная идея IBOC – сделать переход от аналогового вещания к цифровому плавным, без выделения дополнительных каналов. Рассматриваются два диапазона: занятые сегодня под вещание с амплитудной модуляцией (AM) длинные, средние и короткие волны; и УКВ-диапазон с частотной модуляцией (FM) 87,5–108 МГц. В каждом из них предусмотрено два режима вещания – гибридный и полностью цифровой. В первом случае происходит одновременное аналоговое и цифровое вещание, во втором – только цифровое.

В FM-режиме основная полоса каналов занимает около 240 кГц, еще по 120 кГц – две боковые. По правилам FCC, уровень сигнала в боковых полосах должен быть на 25 дБ ниже, чем в основной (рис.8). В гибридном режиме сигналы цифрового вещания передают в боковых полосах, в цифровом – в основной и боковых. Теоретически возможная скорость цифрового потока в боковых полосах – 64 Кбит/с, в основной полосе – 96–128 Кбит/с.

В AM-вещании модулируется несущая с частотой 9/10 кГц. Реальная ширина спектральной полосы основного сигнала – порядка 20 кГц, еще по 10 кГц занимают боковые полосы (рис.9). В гибридном режиме полоса цифрового потока перекрывает полосу аналогового вещания, но с меньшим уровнем сигнала. В цифровом режиме сигнал занимает всю полосу в соответствии с разрешенным шаблоном. Скорость передачи в гибридном режиме – от 20 до 48 Кбит/с, в полностью цифровом – до 64 Кбит/с.

Чтобы в столь узких полосах, особенно в AM-диапазонах, достичь осязаемого качества вещания, необходим совершенный аудиокодек. Система IBOC основывалась на технологии кодирования PAC (Perceptual Audio Coding) компании Lucent Technologies. Одно из его важнейших свойств в том, что информация разбивается на отдельные потоки – основной и дополнительные. Если ширина канала не позволяет передавать всю информацию, транслируется только основной поток с некоторой потерей качества аудиосигнала. Если появляется возможность передавать дополнительные потоки, качество повышается. При PAC-кодировании при скоростях потока 128–96 Кбит/с качество декодированного сигнала мало отличается от оригинала – стереосигнала с CD-диска (16 бит, частота

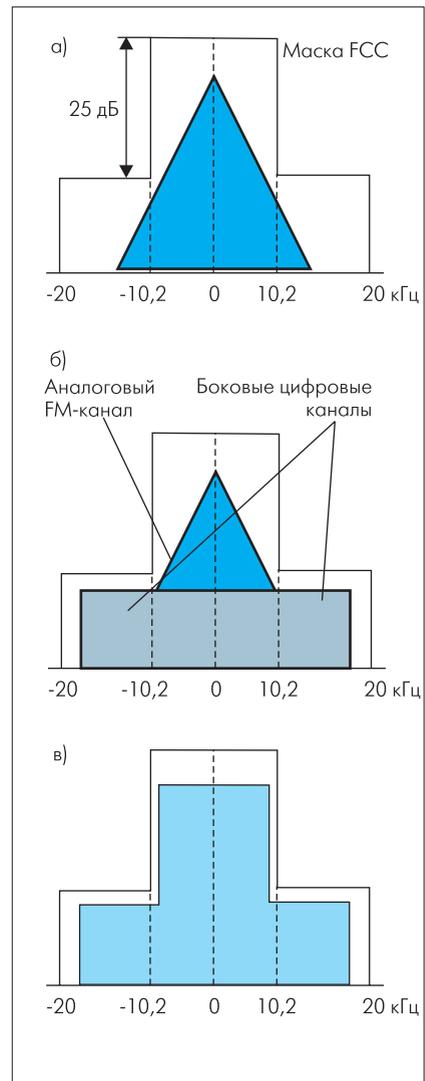


Рис.9. Спектр сигналов IBOC в диапазоне AM-вещания: а – аналоговый, б – гибридный, в – цифровой режимы



та выборки – 44,1 кГц). Но такие скорости возможны лишь при полностью цифровом FM-режиме. В AM-режимах при скорости потока 48 Кбит/с качество цифрового вещания примерно соответствует хорошему приему аналогового FM-стерео.

Развитие технологии цифрового вещания в США сегодня сосредоточено в образованной в августе 2000 года корпорации iBiquity Digital. Эта компания родилась в результате совместной двухлетней работы корпораций USADR (USA Digital Radio) и Lucent Digital Radio. USDAR возникла в 1991 году как альянс компаний CBS, Gannett и Westinghouse Electric. С 1998 года она преобразована в независимую компанию. Именно ей принадлежат ключевые патенты на технологию IBOC. Lucent Digital Radio появилась также в 1998 году как подразделение Lucent Technologies в союзе с фирмой Pequot Capital Menegement. Компания развивала собственную версию DAB на основе технологии аудиокодирования PAC.

Существенная особенность технологии цифрового вещания в США – возможность передавать одну и ту же программу в цифровом и аналоговом виде с некоторым временным сдвигом. Когда цифровой сигнал пропадает, приемник незаметно для слушателя переходит на воспроизведение аналогового сигнала. Это позволяет успешно бороться с так называемым клифф-эффектом, проявляющимся в цифровых вещательных системах в виде периодов неразборчивости сигнала. По мнению специалистов компании iBiquity, переход на полностью цифровое вещание нецелесообразен, пока число IBOC-приемников не составит по меньшей мере 85%.

Система вещания IBOC строится на технологии модуляции с использованием ортогональных несущих COFDM. Структура передат-

чика приведена на рис. 10. Аудиосигнал параллельно транслируется в цифровом и аналоговом виде. В цифровом тракте происходит аудиокодирование, защитное кодирование и перемежение, после чего цифровая последовательность поступает на OFDM-модулятор. Аналоговый сигнал с задержкой поступает в стандартный аналоговый тракт и после обработки смешивается с цифровым сигналом OFDM-модулятора. Суммарный сигнал после фазово-амплитудной модуляции попадает в стандартный передающий модуль.

Основное достоинство американской системы по сравнению с европейской – это более дешевое оборудование, прежде всего – приемники. Еще несколько лет назад стоимость DAB-ресивера для Eureka-147 составляла около 1000 долл., в то время как для IBOC-приемников назывались цифры порядка 100 долл. Но ситуация стремительно меняется, и хотя цены на приемники Eureka-147 все еще достаточно высоки, однако они уже достигли уровня 300–400 долл., и тенденция к их снижению продолжится.

Кроме наземных систем вещания, важную роль в США отводят спутниковому цифровому радиовещанию. Здесь реально конкурируют две системы – компаний Sirius Satellite Radio и XM Satellite Radio. С технической точки зрения эти спутниковые системы во многом уникальны. Поскольку они предназначены в основном для работы с автомобильными приемниками и ориентированы на потребительский рынок, их приемники должны быть дешевле, чем когда бы то ни было выпущенный ресивер спутниковых сигналов. Приемные антенны могут быть только ненаправленными, с низким усилением, поскольку дорогостоящие системы слежения антенны за спутником неприемлемы.

В системе XM оба спутника находятся на обычной геостационарной орбите в точках стояния 85° и 115° западной долготы. Под именами Rock и Roll они были выведены на орбиту соответственно в марте и мае 2001 года. По заявлению представителей компании, это "наиболее мощные спутники в индустрии развлечений", что помогает компенсировать относительно малый коэффициент усиления приемной антенны на автомобиле.

Оба спутника транслируют идентичные сигналы в разных частотных диапазонах. Их пространственное положение таково, что при идеальных условиях приемник будет "видеть" и принимать сигналы от обоих спутников. Поэтому затенение одного из них не приведет к пропаданию сигнала. Кроме того, сигналы транслируются не синхронно, а с некоторой временной задержкой (до 4–5 с), поэтому если оба спутника на короткое время исчезнут из поля зрения приемника, передача все равно не прервется.

В системе компании Sirius Satellite Radio задействовано три спутника на сильно вытянутых эллиптических орбитах. Период обращения спутников – примерно 16 часов, поэтому в зоне видимости с территории США всегда находятся два из них. В среднем угол возвышения спутников составляет 60°, что больше угла возвышения (45°) спутников на геостационарной орбите системы XM. В результате в системе Sirius вероятность экранирования спутника наземным препятствием ниже, а само по себе постоянное перемещение спутников – не проблема, поскольку приемные антенны практически все направлены.

Поскольку для передачи отведены лишь два частотных канала, только два из трех спутников могут одновременно передавать сигналы – иначе два спутника работали бы в одном частотном диапазоне и создавали взаимные помехи. Поэтому у опускающегося за горизонт спутника ретранслятор выключается, у поднимающегося – включается. При этом возможен кратковременный (порядка миллисекунд) перерыв приема от двух спутников, однако третий – наиболее высокий спутник – продолжает вещание, поэтому подобный перерыв практически незаметен.

Как в системе XM, так и в системе Sirius предусмотрена сеть наземных ретрансляторов для обслуживания таких недоступных для спутников участков, как туннели или "городские каньоны". В отличие от применяемой при вещании со спутников четырехпозиционной квадратурной модуляции QPSK с временным разделением каналов (TDM), наземные ретрансляторы используют COFDM/TDM-

модуляцию. В системе XM со спутниками на геостационарной орбите ретрансляторы (всего 1500) принимают сигналы с помощью неподвижных направленных антенн с высоким коэффициентом усиления. Это необходимо, поскольку переизлучаемый ретранслятором сигнал очень близок по частоте к принимаемому со спутника, но гораздо более мощный. Поэтому он не должен попадать на приемную антенну. В системе Sirius для узконаправленной антенны понадобилась бы система слежения. Вместо этого выбран более дешевый метод передачи сигналов на 105 наземных ретрансляторов – от геостационарных связных спутников, которые работают в другом частотном диапазоне (Ku, 12–14 ГГц).

Вещание на приемники ведется в диапазоне около 2,3 ГГц, общая скорость информационного потока (до кодирования) – 4 Мбит/с в XM и 4,4 Мбит/с – в Sirius, что соответствует примерно 50 музыкальным программам (по 64 Кбит/с) и 50 новостным. Аудиосигнал кодируется PAC-алгоритмом, для защиты от ошибок используется кодер Рида-Соломона и сверточное кодирование со скоростью 1/2.

Многие известные компании, например Pioneer, Alpine, Sony, Blaupunkt, Clarion, Delphi-Delco Electronics System, уже производят приемники для спутниковой системы XM. Причем цена такого приемника на 150 долл. выше обычного AM-FM. Для системы Sirius приемники производят такие компании, как Kenwood, Clarion, Alpine, Jensen, Panasonic и Visteon. Компания Sirius Satellite Radio имеет соглашения на установку трехдиапазонных (AM/ЧМ/SAT) приемников в автомобили Ford, Chrysler, BMW, Mercedes, Mazda, Jaguar и Volvo, а также в тяжелые грузовые автомобили Freightliner и Sterling.

DRM – УЗКОПОЛОСНОЕ ДОПОЛНЕНИЕ К "ЭВРИКЕ"?

Еще одна система, заслуживающая пристального внимания, – это DRM (Digital Radio Mondiale, всемирное цифровое радио). DRM – это действительно международный консорциум, объединяющий свыше 70 известных исследовательских, производственных и вещательных компаний и организаций всего мира. Его цель – создание стандарта цифрового радиовещания в полосе ниже 30 МГц. При этом преследуются такие цели, как значительное улучшение качества звука, снижение помех и сохранение зоны обслуживания при значительном – до шести раз – уменьшении мощности передатчика. Поскольку ширина полосы цифрового вещательного сигнала в

DRM эквивалентна полосе аналогового, для перехода на цифровое вещание дополнительного спектрального диапазона не требуется.

Образованный в 1996 году, этот консорциум уже стал реальным игроком в мире цифрового вещания – многие ведущие производители уже демонстрируют опытные образцы DRM-оборудования. DRM признан как ITU (Рекомендация ITU-R BS.1514), так и европейским институтом стандартов ETSI. Массовый старт новой системы запланирован на будущий год. Но не в США.

Система DRM также использует OFDM-модуляцию

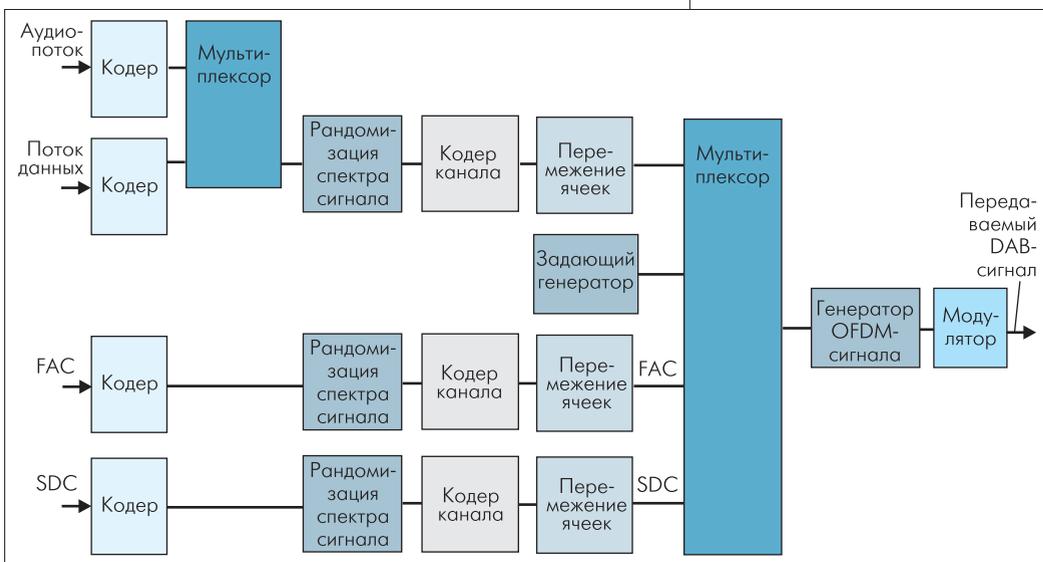


Рис. 10. IBOC-передатчик

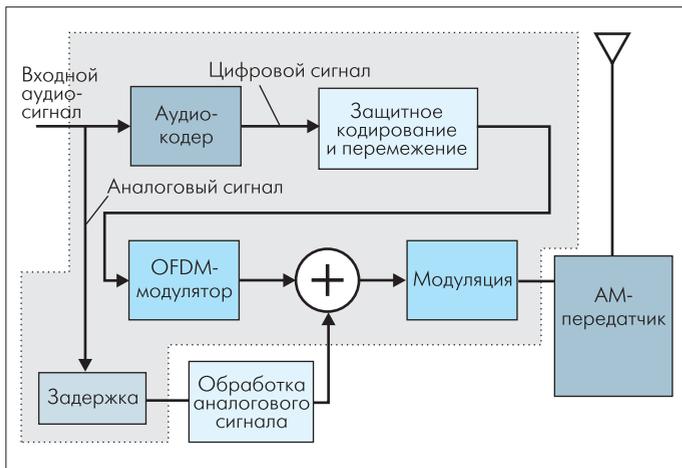


Рис.11. Передающая система DRM

(порядка 200 несущих) с предварительной 16- и 64-позиционной квадратурной амплитудной модуляцией (16- и 64-QAM), защитное сверточное кодирование и временное перемежение информации. Для аудиокодирования принят алгоритм AAC (Advanced Audio Coding) – низкоскоростной алгоритм, применяемый в группе стандартов MPEG-4 (изначально создавался для аудиокодирования в MPEG-2). Кроме того, для кодирования речи предусмотрен низкоскоростной алгоритм CELP. Механизм AAC дополнен алгоритмом Spectral Band Replication (SBR) компании Coding Technologies (Германия), позволяющим существенно улучшить качество принимаемого аудиосигнала без существенного увеличения скорости потока. Ограничение скорости цифрового потока при кодировании приводит к сужению спектра аудиосигнала – пропадают верхние частоты. Алгоритм SBR позволяет восстанавливать высокочастотную составляющую сигнала по переданной низкочастотной, крайне незначительно увеличивая необходимую скорость потока аудиоданных. Так, если после сжатия кодером ACC верхняя частота передаваемого аудиосигнала – 6 кГц, то SBR поднимает ее до 15 кГц.

В DRM предусмотрено три информационных канала (рис.11) – Main Service Channel (MSC), Fast Access Channel (FAC) и Service Description Channel (SDC). По MSC передаются оцифрованные аудиосигналы и информационные данные (всего до четырех различных потоков), через FAC – оперативная служебная информация, SDC используется для передачи относительно редко обновляемой служебной информации. Передача через MSC и FAC происходит кадрами длительностью 400 мс, через SDC – кадрами по 1,2 с [3].

Таким образом, сегодня существует несколько систем цифрового радио, которые можно рассматривать как стандарты, что и подтверждает в своих недавних рекомендациях ITU. Причем если Eureka-147 ориентирована на широкополосные одночастотные трансляционные сети и в ряде случаев требует пересмотра сложившегося распределения частот, то системы DRM и IBOC изначально предназначены для работы в уже существующих диапазонах. Недаром наряду с развитием систем Eureka-147 многие европейские производители и радиовещатели (например, BBC) уделяют серьезное внимание DRM. Действительно, традиционное AM-вещание в диапазоне средних и коротких волн умирает, поскольку никого не устраивает по качеству. Цифровое же вещание позволит использовать достоинства распространения волн в этих диапазонах с качеством, конечно не CD, но уж по крайней мере традиционного FM-вещания. Сколько при этом будут стоить приемники – вопрос.

“ЭВРИКА” – ВЫБОР РОССИИ?

WACR-92 отвела полосу частот 1452–1492 МГц для спутникового цифрового радиовещания (кроме США, России, Белоруссии и Украины). В этой же полосе возможно создание и наземных сетей. Но до 2007 года эти частоты не могут быть использованы на первичной основе. Система Eureka-147 же сегодня развивается весьма активно, и не только в Европе, но и в Австралии, Канаде и Израиле. Аудитория DAB-слушателей во всем мире оценивается свыше 284 млн. человек. Поскольку цифровое радиовещание ориентировано прежде всего на автотранспорт, системы ретрансляции строят вдоль крупнейших автотрасс. Сегодня под непрерывный аккомпанемент DAB-станций можно проехать от Женевы до Мюнхена (468 км), в Норвегии из Порсгунда в Трондхейм (800 км), из Лондона в Ньюкасл (459 км) и т.д.

Кроме собственно передачи звуковых программ, DAB Eureka-147 может обеспечить и различные информационные сервисы, в том числе – низкоскоростное мобильное видео (MPEG-2), трансляцию различных картинок (вспомним, что явилось толчком и экономическим фундаментом развития Интернета), различную текстовую новостную и справочную информацию. Все это делает цифровое вещание мощным конкурентом пресловутого третьего поколения (3G) сотовой связи в области информационных услуг и мобильного видео. Конечно, DAB не интерактивна, но разнообразие сервисов DAB в известной мере компенсирует этот недостаток. Причем лицензии на DAB-вещание в той же Великобритании (порядка 50 тыс. фунтов) несопоставимо дешевле миллиардных 3G-лицензий сотовой связи.

Наступление эры цифрового радио неизбежно и в нашей стране. “Концепция внедрения наземного цифрового звукового вещания в России в части использования радиочастотного спектра” существует с 1998 года. В феврале текущего года Министерство РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций передало в Правительство проект постановления “О мерах по обеспечению внедрения цифрового телевизионного и звукового вещания в Российской Федерации”. Он предусматривает разработку в 2002–2003 годах программ внедрения телевизионного и звукового вещания, частотного плана для этого вещания по всей территории РФ, положения о конкурсе на право использования радиочастотного спектра для наземного телерадиовещания, а также ряда государственных стандартов. Предусматриваются и меры по созданию соответствующей аппаратуры.

Видимо, в России, ориентирующейся на систему Eureka-147, одна из наиболее сложных проблем – поиск частотного ресурса. В качестве наиболее вероятного указывают на так называемый III вещательный диапазон – 174–230 МГц. Однако все может упереться в основную проблему – где взять деньги на разработку нормативных документов, разработку оборудования и развертывание сетей. Да и есть ли сегодня в России массовый потребитель для цифрового радио с очень недешевыми по нашим меркам приемниками?

ЛИТЕРАТУРА

1. ETS 300 401. Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers. – European Telecommunications Standards Institute, 2001.
2. Конкурирующие стандарты цифрового телевизионного вещания. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №1, с. 17–19.
3. Draft New Recommendation ITU-R BS. System for Digital Sound Broadcasting in the Broadcasting Bands Below 30 Mhz. – ITU, Document 6/63-E, 25 October 2000.