

# Цифровое звуковое радиовещание. Состояние и перспективы

**В.Г. Дотолев**, начальник отдела НТЦА ЭМС ФГУП НИИР; v.dotolev@niir.ru

**А.В. Лашкевич**, заместитель начальника отдела НТЦА ЭМС ФГУП НИИР; a.lashkevich@niir.ru

УДК 621.397+391.83

**Аннотация.** Рассматриваются системы наземного цифрового звукового радиовещания в различных диапазонах радиоволн. Внедрение цифровых технологий в звуковом радиовещании позволяет эффективнее использовать радиоспектр, обеспечивать передачу звуковых программ более высокого качества, а также предоставлять потребителям ряд дополнительных услуг. Показано, что существующие и разрабатываемые системы цифрового звукового радиовещания ориентированы для применения в различных диапазонах частот в соответствии с условиями распространения радиоволн и особенностями использования радиочастотного спектра в этих диапазонах.

**Ключевые слова:** цифровое звуковое радиовещание, DAB, DRM, HD Radio.

## ВВЕДЕНИЕ.

На протяжении последних 20 лет в радиовещательной службе происходит перевод телевизионного и звукового радиовещания с аналоговых на цифровые технологии формирования и распространения сигналов. Успешно внедряются существующие стандарты цифрового телевидения, развиваются современные виды услуг, разрабатываются новые стандарты.

С цифровым звуковым радиовещанием (ЦЗРВ) дело обстоит несколько иначе. Во введении отчета МСЭ-R «Особенности реализации внедрения и перехода на цифровое наземное звуковое и мультимедийное вещание» [1] говорится: «Вместе с переходом на цифровое телевизионное вещание, которое сейчас успешно осуществляется, уместно еще раз подумать, почему у администраций наблюдается противоречивый интерес или противоречивый спрос у слушателей в отношении полного перехода к цифровому звуковому радиовещанию. Некоторые администрации решительно поддержали переход, другие придерживались осторожного подхода, а некоторые выразили мало интереса».

В чем же основные особенности ЦЗРВ и зачем оно нужно, ведь традиционное аналоговое радиовещание вроде бы справляется со своей задачей? Главным отличием ЦЗРВ от известного нам аналогового звукового радиовещания систем с амплитудной модуляцией (AM) на длинных, средних и коротких волнах (ДВ, СВ, КВ) и фазовой модуляцией в диапазоне ультракоротких волн (УКВ ЧМ или FM) является возможность повысить качество передаваемого звукового сигнала, а также добавить к нему мультимедийную информацию — картинки, текст,

образы WEB-страниц и даже (в некоторых системах) видео.

Важным преимуществом ЦЗРВ является почти полное отсутствие слышимых помех, устойчивость приема в условиях многолучевого распространения радиосигнала и большая спектральная эффективность (в соответствующих режимах модуляции). Наличие нескольких вариантов модуляции и кодирования сигнала в цифровых системах предоставляет вещателям возможность в широких пределах управлять уровнем капитальных затрат на развитие сети, количеством и качеством передаваемой информации.

Спектральное уплотнение и сжатие цифрового звукового сигнала по алгоритмам с потерями (MPEG3, AAC и др.) позволяет разместить в том же частотном спектре большее количество программ. Недостаток частот для УКВ ЧМ (FM) вещания в крупных городах и на прилегающих территориях не позволяет увеличивать количество радиопрограмм в аналоговом стандарте, равно как и улучшать их качество за счет, например, расширения полосы частот. Таким образом, развитие аналогового радиовещания во многих регионах практически остановилось и переход к цифровым системам вещания становится объективной необходимостью.

Вместе с тем прием программ ЦЗРВ имеет ряд отличительных особенностей, о которых важно знать. При низком уровне полезного сигнала или наличии помех в аналоговом радиовещании появляются искажения и шумы, однако при крайней необходимости можно продолжить прослушивание радиопрограммы и разо-

## Системы цифрового наземного звукового радиовещания

Характеристики	DRM	IBOC (HD Radio)	DAB	ISDB-T family	RAVIS	T-DMB, ATDMB
Типы вещания: • звуковое; • мультимедийное; • телевизионное	+	+	+	+	+	+
Полосы частот	НЧ, СЧ, ВЧ (режимы А, В, С, D), ОВЧ (режим Е)	СЧ, ОВЧ	ОВЧ, УВЧ	ОВЧ, УВЧ	ОВЧ (I, II диапазоны)	ОВЧ, УВЧ
Ширина канала	4,5; 5; 9; 10; 18; 20 кГц (modes А, В, С, D); 100 кГц (mode E)	а) 5, 10, 20, 30 кГц б) 70, 100, 140, 170, 200 кГц в) 400 кГц	1,712 МГц	$1/14 \times n$ ( $n \geq 1$ ): а) 6 МГц б) 7 МГц в) 8 МГц	а) 100 кГц б) 200 кГц в) 250 кГц	1, 712 МГц
Виды приема: • фиксированный; • портативный в помещении; • портативный вне помещения; • мобильный	+	+	+	+	+	+
Одночастотные сети	возможны	возможны	возможны	возможны	возможны	возможны

брать речь диктора на фоне помех. В известных сегодня системах ЦЗРВ при понижении уровня сигнала ниже минимально допустимого уровня прием прекращается совсем. Несмотря на то, что этот расчетный уровень значительно ниже уровня беспомехового приема аналогового стереосигнала, как правило, он выше уровня приема аналогового радио на пределе разборчивости речи при кратковременных изменениях уровня сигнала. Это означает, что цифровое радиовещание предъявляет повышенные требования к качеству радиопланирования и для того, чтобы учесть кратковременные изменения уровня сигнала в ряде случаев требуется установить больше передающих станций для цифрового радиовещания, чем для аналогового.

В статье дается анализ существующих систем ЦЗРВ, их особенностей и проблем внедрения. Поскольку цифровые технологии позволяют одновременно транслировать в одном радиоканале не только звуковые программы, но и другие данные, представляя дополнительные услуги, то в настоящее время, объединяя все услуги в один пакет, применяется термин «звуковое и мультимедийное вещание». Ниже это будет учтено.

Особенности распространения радиоволн и условия использования радиочастотного спектра различных диапазонов частот привели к тому, что появились две категории систем звукового вещания: системы для НЧ-диапазонов (ниже 30 МГц) — НЧ, СЧ и ВЧ (длинные, средние и короткие волны) и для ОВЧ-диапазона — выше 30 МГц.

### СИСТЕМЫ ЗВУКОВОГО И МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ВЕЩАНИЯ НА ЧАСТОТАХ НИЖЕ 30 МГц

Уникальной особенностью полос радиочастот ниже 30 МГц является распространения радиоволн на большие расстояния вокруг поверхности Земли, далеко за пределы зоны прямой видимости передающей радиостанции. Радиовещание с АМ в диапазонах частот НЧ, СЧ и ВЧ, развивавшееся с 30 годов прошлого века, позволяло по-

крыть большие территории на расстояниях в десятки, сотни и даже тысячи километров, обеспечивая местное, региональное, национальное и международное звуковое радиовещание.

На современном этапе, на фоне широкого развития радиовещания в ОВЧ-диапазоне и глобальной сети интернет интерес к АМ-вещанию на этих частотах у радиовещательных компаний стал падать. Это вызвано, в том числе и тем, что радиотрансляционные станции в этих диапазонах включают в себя, как правило, сложные и дорогие антенные сооружения, передатчики больших мощностей. Потребление электроэнергии и эксплуатационные расходы у таких радиостанций достаточно велики. Кроме того, полосы частот НЧ, СЧ и ВЧ имеют относительно малую информационную емкость, и по этой причине ширина канала радиовещания жестко ограничена (от 5 до 10 кГц), что не позволяет представлять большой спектр услуг и высокое качество звука.

Появление технологий ЦЗРВ, способных кардинально повысить качество звука, снизить требуемые мощности передатчиков, сохраняя при этом возможность охвата больших территорий, вновь подняло интерес к вещанию на ДВ, СВ и КВ и привело к разработке систем ЦЗРВ в этих диапазонах. Краткие сведения по существующим системам ЦЗРВ в различных частотных диапазонах представлены таблице [2].

Как следует из таблицы, для вещания на частотах ниже 30 МГц разработаны только две системы наземного ЦЗРВ: DRM и IBOC/HD Radio. Вещание в диапазоне ВЧ (короткие волны) возможно только в одной системе DRM. Однако надо учитывать, что в некоторых случаях вещание на КВ имеет преимущество перед вещанием в других диапазонах.

Радиовещание на КВ можно использовать для временного покрытия вещанием и оповещением труднодоступных и малонаселенных районов. Высокая степень живучести сетей КВ в сравнении с другими видами связи обусловлена тем, что в качестве транспортной среды

передачи сигнала используется ионосфера, которая сохраняет свои свойства по распространению радиоволн в многообразных условиях. Такая сеть может базироваться на стационарных защищенных и быстро разворачиваемых подвижных объектах. Также КВ-вещание традиционно применяется во всем мире для иновещания.

**Система DRM.** Система ЦЗРВ в полосах частот ниже 30 МГц DRM создана в двух вариантах: для реализации в полосах частот ниже и выше 30 МГц, поэтому можно говорить о семействе стандарта DRM. Первый стандарт (DRM30) был разработан для реорганизации звукового радиовещания в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ, обеспечив гораздо более качественный звук и надежность вещания. Качество звука с DRM30 воспринимается как близкое к FM-качеству на большинстве домашних, портативных и автомобильных приемниках.

Переход на стандарт DRM30 приводит к значительной экономии затрат на электроэнергию (вплоть до половины или четверти потребностей обычным АМ-передатчиков) в сочетании с качеством звука. Поэтому DRM предлагает вещателям, ведущим международное, национальное и региональное вещание, возможность сократить расходы, упростить их работу и привлечь новую аудиторию к высококачественным программам. Преимущества экономии и качества особенно привлекательны при модернизации национальных сетей аналогового вещания. DRM имеет потенциал для «оживления» полос, ранее использовавшихся для вещания с АМ [1].

Различные варианты технических параметров, доступных с применением технологией DRM, позволяют:

- масштабирование и согласование охвата территорий для распределения местных, региональных, национальных и международных программ в соответствии с требованиями вещателей;
- работу в одночастотных сетях (где это необходимо) для обеспечения оптимального решения по покрытию;
- функционирование только в цифровом режиме или в сочетании с существующей аналоговой передачей в режиме «одновременной передачи» в ОВЧ-диапазоне;
- предоставление в диапазоне ОВЧ, если используется модель мультиплексированного вещания, мини-мультиплексов, обеспечивающих дополнительный программный контент, стереовещание (на разных языках) или одновременно и то, и другое;
- обеспечение системы раннего предупреждения и оповещения информацией, представляемой в форме аудио- или текстовых сообщений;
- предоставление потоков данных для мультимедийных приложений, которые могут расширить спектр услуг, предлагаемых вещательными компаниями, и соответственно принести пользу слушателю.

Кроме того, доступны различные дополнительные

услуги аудио и данных. Это особенно полезно при реализации DRM30 в диапазонах ДВ, СВ и КВ, где характеристики передачи могут быть выбраны таким образом, чтобы обеспечивать надежность (качество) или стереофоническое вещание на двух языках, а также разнообразные услуги передачи данных.

Возможны несколько типов дополнительного контента (по отдельности или в комбинации), в том числе:

- электронные программные гиды;
- полный речевой текст или комментарий к программе;
- веб-страницы и ссылки на контент программы;
- выделенные новостные потоки или экстренные сообщения во время кризиса, стихийных бедствий, экстремальных погодных условий;
- дополнительный контент для рекламодателей (текстовые или веб-материалы для дополнения голосовой рекламы, более подробной информацией о продуктах, местных поставщиках, ценах, заказе и т.д.);
- специфические информационные услуги для клиентов (например, информация о фондовом/товарном/валютном рынке).

Технические характеристики семейства системы DRM представлены в Рек. МСЭ-R (BS.1514-2 для DRM30) [3] и более подробно в стандартах ETSI. В июне 2015 г. ETSI опубликовала пересмотренный стандарт ETSI ES 201 980 v 4.1.1 [4]. Эта версия V4.1.1 определяет также контент, который должен транспортироваться в специфичном для DRM протоколе RSCI.

Как было сказано выше, отличительной особенностью цифровых систем, в том числе DRM30, является пороговое свойство приема сигналов. Переход от уверенного приема к его отсутствию происходит очень резко при снижении уровня сигнала ниже порога примерно на 0,5 дБ. В связи с этим, при планировании вещания особое внимание должно быть обращено на расчет зоны обслуживания, в том числе с учетом возможных помех. Многочисленные исследования условий приема сигналов DRM30 [6, 7–18] привели к разработке в МСЭ-R специальной Рекомендации по параметрам планирования для ЦЗРВ на частотах ниже 30 МГц [5].

**Внедрение DRM30.** Особенности распространения радиоволн диапазонов ДВ, СВ и КВ позволяют обеспечивать вещание на большие территории. Добиться этого наземными средствами радиовещания в более высокочастотных участках радиоспектра очень дорого. Радиовещание на частотах ниже 30 МГц необходимо прежде всего для стран с большими территориями. Поскольку коммерческое вещание на большие, а тем более малонаселенные территории, экономически маловыгодно, обеспечение населения всей страны вещанием и оповещением в непредвиденных ситуациях является большой государственной задачей, гарантирующей информационную безопасность и развитие вещания в этих диапазонах.

Переход с аналогового на цифровой формат вещания в НЧ-диапазонах может потребовать значительных капиталовложений. (Для России это существенный фактор, поскольку существовавшая для АМ-вещания передающая инфраструктура в значительной степени утрачена.) Кроме того, этот переход нельзя осуществить одновременно, выключив аналоговые передатчики и включив цифровые, так как приемная сеть исключительно аналоговая. Требуется время и определенные мероприятия для «цифровизации» приемной сети. Следовательно, необходима разработка стратегии такого перехода, а также определенный период совместного вещания аналогового и цифрового сигналов. Многочисленные эксперименты по исследованию возможностей DRM30 и условий его внедрения, проводимые в различных странах [7–18], преследовали, в том числе и определение возможных подходов к решению этой задачи.

В настоящее время наиболее полная программа по внедрению вещания DRM осуществляется в Индии, которая находится на пути к завершению создания общенациональных радиовещательных сетей DRM и установки новых СВ и КВ передатчиков общей мощностью 8 000 кВт, способных охватить 600 млн человек. По состоянию на февраль 2018 г. Всеиндийское радио (AIR) имело 39 работающих передатчиков DRM:

- 35 передатчиков на СВ, из которых два транслируют только DRM, а 33 — аналоговое вещание и DRM попеременно (25 из них передают DRM ежедневно в течение 1 ч);
- четыре передатчика на КВ.

Строительство сетей DRM продолжается и планируется постепенный переход к чисто цифровому вещанию в этих диапазонах волн. Разработан отечественный приемник, в том числе в автомобильном варианте.

В ряде стран (Дания, Италия, Франция, Испания, Мексика, Бразилия, ЮАР и Вьетнам) проведены многочисленные эксперименты в вещании на DRM30, но о государственных программах, как в Индии, не известно. В России также проводились испытания на СВ и КВ, в том числе исследование возможности организации синхронного вещания на КВ. Результаты испытаний показали хорошие потребительские свойства DRM. На их основании было признано целесообразным внедрять ЦЗРВ в России. В качестве первого шага распоряжением Правительства РФ от 28 марта 2010 г. № 455-р выбрана система DRM. Решением ГКРЧ от 20 января 2009 г. № 09-01-05 выделены полосы частот в СВ и КВ диапазонах волн для создания сетей цифрового звукового вещания DRM в Российской Федерации.

Системный проект «Сеть государственного наземного радиовещания Российской Федерации» был разработан ОАО «Российский институт мощного радиостроения» (РИМР) при участии ФГУП НИИР. Однако до реализации этого проекта дело так и не дошло. Регулярное вещание на КВ осуществляют два с лишним десятка передатчиков в разных странах, как правило, для иновеща-

ния. Сегодня регулярного вещания на DRM в России не ведется. До 2019 г. работало несколько КВ-передатчиков из Москвы и Калининграда на Европу и из Иркутска на Юго-Восточную Азию [19]. В расписании коротковолнового DRM-вещания на 2019 г. российских передатчиков нет [20].

В общем КВ-вещание с АМ также переживает не лучшие времена. Объемы вещания в мире падают, ниша, занимаемая этим видом радиовещания, пока ничем не заполняется. В первую очередь речь идет об иновещании. В мире, разрываемом противоречиями, что диалектически неизбежно, всегда была, есть и будет потребность в получении информации из первоисточников, минуя различного рода опосредующие звенья. Например, в период Югославских войн очень важно было, наряду с другими источниками информации, слушать передачи Белградского радио, которые выходили в эфир по вечерам — дважды по 1 ч.

Конечно, КВ-радиовещание должно развиваться на новом качественном уровне. Прежде всего, необходимо отказаться от «классической» АМ с устранением всех присущих ей недостатков. Правда, нужно заметить, что это сдерживается наличием многочисленного парка радиоприемников, рассчитанных на прием именно АМ-сигналов. Тем не менее, существует DRM-вещание на КВ, в котором широко применяются технологии OFDM. Есть все основания полагать, что у этого направления большое будущее.

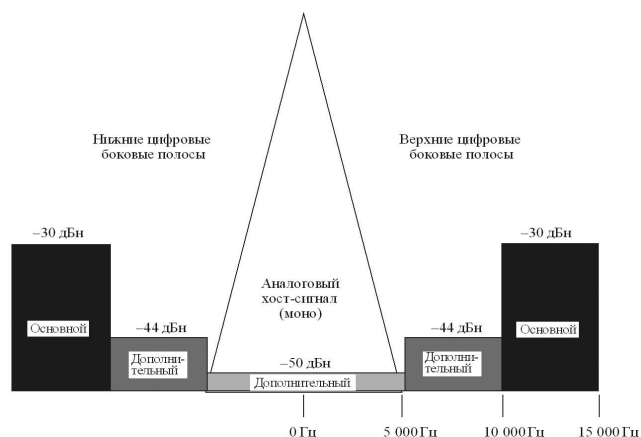
**Система HD Radio (IBOC).** В США в качестве системы ЦЗРВ рассматривается собственная разработка — HD Radio (прежнее название — IBOC), предназначенная для вещания в полосах как ниже, так и выше 30 МГц. Отличительной особенностью системы является возможность работы в одном канале с действующей аналоговой станцией. Гибридный режим системы HD Radio позволяет вводить цифровой сигнал наряду с существующим аналоговым, что дает возможность модернизировать передающие станции во время обычного цикла замены оборудования и избежать значительных капитальных затрат.

Для регуляторов такое свойство системы предоставляет возможность внедрения нового цифрового радиовещания без необходимости выделять новый частотный канал для вещания, перепланировать существующие частотные присвоения или выдавать новые лицензии. Регуляторные органы могут разрешить переводить действующие аналоговые станции на цифровые без принятия дополнительных регламентарных мер.

Система HD Radio предлагает вещателям множество режимов, удовлетворяющих потребности своего местного рынка. Системы для СЧ и ОВЧ позволяют работать в гибридных и полностью цифровых режимах. Гибридные режимы включают цифровой сигнал наряду с аналоговым. Цифровые несущие с низким энергопотреблением вводятся в канал аналогового сигнала так, чтобы избежать помех аналоговому сигналу хост-станции и станций соседних каналов. Полностью цифровые режимы исклю-

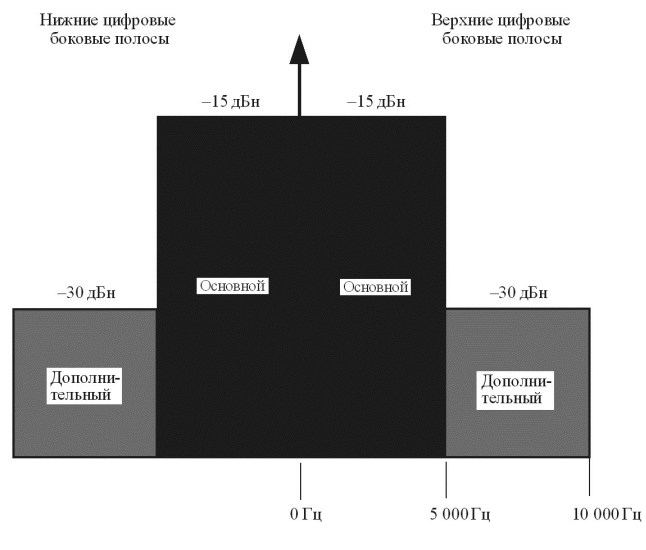
**Рисунок 1**

Спектральная плотность мощности системы HD Radio (IBOC) в гибридном режиме на СВ



**Рисунок 2**

Спектральная плотность мощности системы IBOC DSB в полностью цифровом режиме на СВ



чают аналоговый сигнал и содержат только цифровую передачу. Характеристики системы HD Radio (IBOC) для вещания СВ диапазоне можно найти в Рек. МСЭ-R BS.1514 [3].

На средних волнах HD Radio может работать в обоих режимах: гибридном и полностью цифровом. В гибридном цифровой сигнал с аудио контентом и данными передается в боковых полосах по обе стороны от аналогового хост-сигнала, а также ниже его (рис. 1). Уровень мощности каждой поднесущей OFDM фиксируется относительно центральной несущей. Несущие OFDM или цифровые несущие отстоят примерно на  $\pm 14,7$  кГц от AM-несущей.

В системе используется многоуровневый аудиокодек для сжатия цифрового звукового потока, в котором сжатый аудиосигнал разделяется на два отдельных информационных потока: «основной» и «дополнительный»

(иногда обозначаются как «базовый» и «расширенный»). Кодек распределяет звук в «основной» и «дополнительный» потоки, и система назначает потоки различным частям спектра. «Основной» поток передает монофонический звук цифрового качества, а «расширенный» — повышенное качество звука или стереозвук по выбору вещателя. Система распределяет «основной» поток по наиболее устойчивым частям канала, а дополнительный — по остальному спектру. Такая структура сигнала позволяет в какой-то степени смягчить пороговый эффект приема сигнала, обеспечивая более плавный переход от высококачественного сигнала к его отсутствию, сохраняя (при ухудшении условия приема) возможность приема аудиоинформации с пониженным качеством.

В гибридном режиме пропускная способность основного аудиопотока составляет примерно 20 кбит/с, а дополнительного добавляет около 16 кбит/с. Возможности цифрового сигнала гибридного HD Radio в диапазоне СВ ограничены передачей одного цифрового сигнала с аудиопрограммой, копирующей аналоговую [21].

Полностью цифровой режим предусматривает улучшенные показатели цифрового приема и запускается после отключения аналогового сигнала. Конструктивные особенности HD Radio позволяют бесконфликтно (или менее конфликтно) перейти на полностью цифровое вещание при достижении значительного проникновения цифровых приемников на рынок после продолжительного периода работы в гибридном режиме. Решение о переключении конкретной радиостанции с аналогового на цифровое вещание может приниматься локально в зависимости от загрузки спектра и наличия цифровых приемников в данном районе.

Принципиальное различие между гибридным и полностью цифровым режимом состоит в отключении аналогового сигнала и увеличении мощности несущих, ранее располагавшихся под аналоговым сигналом (рис. 2). Дополнительная мощность полностью цифрового сигнала повышает устойчивость приема, а «ступенчатая» форма оптимальна для работы в условиях сильных помех по соседнему каналу.

В полностью цифровом режиме применяется тот же многоуровневый кодек и те же методы FEC с идентичными скоростями (т.е.  $\sim 20$  кбит/с для основного аудиопотока и около 16 кбит/с для дополнительного), что и в гибридном режиме. Это упрощает конструкцию приемника, который должен поддерживать оба режима. Гибридный цифровой сигнал HD Radio способен передавать до четырех цифровых аудиопрограмм (одна реплицирует аналоговую службу) вместе с аналоговой.

**Внедрение HD Radio.** Информация о внедрении HD Radio в СВ-диапазоне крайне ограничена и пока представляется только США. Известно о работе радиостанции WWFD, имеющей лицензию компании Hubbard Communications и вещающей на частоте 820 кГц во Фредерике (штат Мэриленд), недалеко от Вашингтона

(округ Колумбия, 72 км к югу) и в Балтиморе (штат Мэриленд, 80 км к востоку). Станция обслуживает местное население свыше 250 000 человек в городских, пригородных и сельских районах. В конце 2017 г. были пересмотрены планы работы и произведен перевод гибридного в полноценное цифровое вещание. 16 июля 2018 г. WWFD перешла на полностью цифровое вещание под экспериментальным контролем Федеральной комиссии по связи (FCC).

### СИСТЕМЫ ЗВУКОВОГО И МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ВЕЩАНИЯ НА ЧАСТОТАХ ВЫШЕ 30 МГц

В полосе частот 174–230 МГц (диапазон III, метровые волны) может работать цифровое звуковое и мультимедийное вещание. Преимущество этого диапазона – значительно большая информационная емкость по сравнению с диапазонами ниже 30 МГц и даже с полосами частот УКВ ЧМ (FM) радиовещания, что позволяет передавать программы с контентом более высокого качества. Немаловажно отсутствие конфликтов и помех со станциями УКВ ЧМ-радиовещания, которые благодаря использованию разных диапазонов радиочастот могут беспрепятственно продолжать работу одновременно с цифровым радиовещанием.

В этом диапазоне, как и в диапазоне УКВ ЧМ, распространение радиоволн происходит главным образом в пределах прямой видимости, с незначительным огибанием препятствий. При некоторых условиях возможен загоризонтный прием за счет отражения сигнала от тропосферы или прохождения сигнала над водой, однако такой прием, как правило, возможен лишь в отдельные промежутки времени.

Диапазон III (174–230 МГц) ранее использовался для аналогового ТВ-вещания, а для FM радиовещания не применялся. В связи с этим в диапазоне III, как правило, не удается получить такие же размеры зоны обслуживания, как и в УКВ ЧМ-радиовещании (полосы частот 74–108 МГц). Это приводит к необходимости применения большего числа передающих станций. Однако в сетях цифрового вещания радиостанции, передающие одни и те же программы, могут работать на одной частоте, формируя так называемые одночастотные сети.

**Система T-DAB.** В странах Европы для ЦЗРВ применяется система семейства DAB (T-DAB/DAB+). Система T-DAB разрабатывалась и внедрялась в Европе с 1992 г., стандарт DAB+ создан позднее и имеет улучшенные технические и потребительские характеристики. В одном мультиплексе DAB+ могут располагаться от 4 до 20 цифровых радиостанций, однако с увеличением числа передаваемых радиопрограмм существенно падает качество звука.

На данный период сети T-DAB развернуты в ряде европейских стран. Некоторые страны Европы ужеключили (Норвегия) или планируют отключить (Швейцария) аналоговое радиовещание. В связи с экономическими трудностями в начале 90-х годов Россия не

участвовала в разработке данного стандарта. По этой причине он не стыкуется с принятой в РФ сеткой вещательных каналов шириной 8 МГц, что вызывает дополнительные сложности при его внедрении.

Технологически системы DAB/DAB+ относятся к системам ЦЗРВ первого поколения. Ради сокращения занимаемой полосы радиочастот разработчикам системы пришлось пойти на ряд компромиссов. При низкой скорости потока на звуковую программу из передаваемого сигнала вырезаются высокие звуковые частоты, в приемнике они восстанавливаются. В связи с этим музыкальные композиции в области высоких частот могут звучать несколько однообразно. Максимальная скорость потока звукового сигнала в стандарте DAB+ ограничена 176 кбит/с на программу, на практике ради увеличения числа программ в мультиплексе вещатели используют еще меньшие скорости потока (72–112 кбит/с). Для начала 2000-х годов этого было достаточно, но сегодня слушатель привык к более качественному звуку.

Основным достоинством системы DAB+ является сложившаяся экосистема приемного оборудования. Приемники DAB+ встроены в большинство современных автомобильных магнитол, хотя могут быть и не активированы как опция (если автомобиль поставлялся не в страны Европы). Немаловажно и то, что система DAB (не DAB+) за давностью разработки уже может использоваться без лицензионных ограничений.

В России приняты Решения ГКРЧ, открывающие возможности для внедрения систем DAB/DAB+ в полосе частот 174–230 МГц. Основным сложным моментом во внедрении данной технологии является размер зон обслуживания (дальность приема), который на практике уступает размерам таких же зон аналоговых станций диапазона FM. Это может означать необходимость в нескольких передатчиках DAB там, где для охвата FM-радиосигналом требовался только один. Кроме того, оглядываясь на опыт внедрения цифрового ТВ, радиовещатели совершенно не стремятся «упаковываться» в мультиплексы, т.е. фактически теряют доступ к имеющимся у них радиочастотам.

В полосах радиочастот от 30 до 174 МГц может работать (кроме системы HD Radio) и технология DRM (DRM+), имеющая принципиально отличную от T-DAB+ концепцию внедрения. Вместо относительно широкополосного «мультиплекса» в DRM+ передается сигнал с шириной полосы частот всего 100 кГц, что позволяет размещать сигнал между FM радиостанциями, работающими на соседних частотах. Также возможно более плотное размещение сигналов DRM+ по сравнению с аналоговым FM радиовещанием в свободных участках полос частот. Таким образом, каждый радиовещатель будет (как и сейчас) иметь собственную «частоту» и сможет контролировать свои расходы и строить сеть с нужным ему охватом. В России принято решение ГКРЧ о внедрении системы DRM+ в диапазонах 65,9–74 и 87,5–108 МГц.

Пропускная способность канала в стандарте DRM+ меняется от 37 до 186 кбит/с и возрастает с уменьшением помехоустойчивости и дальности приема при равной мощности передатчика. Таким образом, как и в стандарте DAB+, в DRM можно передавать только цифровой звук с высокой степенью сжатия и соответствующими искажениями в звуковом канале. При этом режимы модуляции с большим размером зоны охвата (высокой дальностью прима) обеспечивают скорости цифрового потока не более 59 кбит/с, что исключает возможность передачи музыкальных программ звукового радиовещания.

**Система HD Radio (IBOC).** В диапазоне ОВЧ работает описанная выше система HD Radio (ранее IBOC). Система позволяет УКВ радиовещателям переходить на цифровое вещание без использования нового спектра, или новых назначений каналов. Как и на более низких полосах частот, HD Radio предназначена для работы в боковых полосах внутри позиции частотной сетки действующей станции аналогового УКВ ЧМ-радиовещания. Это усложняет систему и накладывает ограничения на ее технические характеристики. В проведенных тестах система HD Radio по ряду параметров (даже после отключения дублируемой аналоговой радиостанции и перехода в режим использования всего спектра) уступала системам, изначально работающим в выделенном канале (таким как DAB и DRM+). Поэтому в течение длительного времени проводится работа по улучшению работы аппаратуры и технических характеристик системы. Характеристики системы для ОВЧ-радиосистемы HD Radio можно найти в Рек. МСЭ-R BS.1114.

Система HD Radio была запущена в США, Мексике, Панаме и на Филиппинах. По состоянию на октябрь 2017 г. в США в цифровой форме вещали около 2400 станций в СЧ и ОВЧ (доступные данные о вещании на СЧ приведены выше). Эти станции также передают более 1 700 цифровых многоканальных программных каналов, что в общей сложности составляет 4 100 цифровых программных каналов. В основном HD Radio применяется в странах Северной и Южной Америки.

**Система РАВИС.** В полосах радиочастот от 30 до 230 МГц может использоваться разработанная в России система мультимедийного радиовещания стандарта РАВИС. Как и DRM+, система РАВИС подходит для применения принципа «один вещатель — одна частота» и вписывается в существующую сетку радиочастотных каналов УКВ ЧМ и ОВЧ ЧМ радиовещания. При этом РАВИС позволяет изменять ширину полосы частот, параметры модуляции и кодирования в радиоканале в более широких пределах, чем стандарт DRM+. За счет использования большей ширины блока частот система РАВИС в несколько раз превосходит по пропускной способности стандарт DRM+ и позволяет передавать программы ЦЗРВ с качеством, значительно превышающим ограниченное параметрами стандартов качество

звука в системах T-DAB+ и DRM+.

Гибкость системы РАВИС может быть использована для расширения охвата вещательной станции при сохранении высокого качества звукового вещания без увеличения мощности передатчика. Это — важное преимущество ввиду огромной территории России и высоких требований к технико-экономической эффективности при строительстве сетей радиовещания на большой территории. Важным достоинством системы РАВИС также является возможность ее дальнейшего совершенствования для более полного соответствия требованиям отечественного медиа-рынка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время Россия стоит перед выбором стратегии развития радиовещания на ближайшие десятилетия. С точки зрения анализа технико-экономических параметров для стран с большой территорией, малой плотностью населения и низкими доходами домохозяйств (соответственно и низкими расходами на связь) важнейшим вопросом остается себестоимость строительства и дальнейшая эксплуатация сетей вещания или связи. Именно технико-экономические параметры определяют перспективность внедрения или развития той или иной системы для охвата значительной по размерам территории.

Важная особенность существующих технологий радиосвязи состоит в том, что сети мобильного и фиксированного ШПД не могут соревноваться с цифровым радиовещанием по скорости развертывания, охвату территории и себестоимости доставки мультимедийного и информационного контента одновременно большому числу потребителей. Сбалансированный подход в развитии систем радиосвязи означает необходимость развития не только сетей мобильного и фиксированного ШПД, но и технологий цифрового радиовещания.

Внедрение технологий цифрового радио наряду с развитием технологий фиксированного и мобильного ШПД способно открыть принципиально новые возможности в рамках цифровой информационной среды для всего населения России при весьма скромных затратах на создание сети цифрового радиовещания с огромным охватом. Важно учитывать, что эффективно могут быть использованы действующие антенно-мачтовые сооружения, антенные системы и даже передающее оборудование, имеющееся на объектах радиовещания и высвобождающееся с отключением аналоговых ТВ-программ в диапазонах метровых длин волн.

Для успешного внедрения систем цифрового звукового вещания крайне важно консолидировать усилия промышленности в направлении разработки и массового выпуска универсального мультисистемного приемника цифровых систем радиовещания и связи, основанного на открытой платформе и допускающего программную модернизацию для внедрения новых улучшенных стандартов радиовещания и дополнитель-

ных услуг. Сложность состоит в том, что радиоэлектронная промышленность сегодня не готова финансировать подобные НИОКР без более-менее гарантированного рынка сбыта. А рынок сбыта без фактического внедрения системы (которая никому не нужна без готового приемника) не появится. Разрубить этот порочный круг способно только комплексное решение регулятора, фактически некий вид госпрограммы по созданию рынка цифрового радиовещания практически с нуля.

Практика внедрения цифрового ТВ-вещания показывает, что системы цифрового вещания первого поколения не получают широкого распространения за пределами экономически развитых стран. В развивающихся странах, как правило, находят признание цифровые системы радиовещания 2-го поколения, поскольку их усовершенствованные варианты позволяют обеспечивать лучшие технико-экономические параметры, чем системы 1-го поколения, а для развивающихся рынков именно сочетание затрат и полезного эффекта имеет первостепенное значение. Такая же судьба, по всей видимости, ждет и системы цифрового звукового и мультимедийного радиовещания.

В настоящее время ситуация с цифровым радиовещанием сильно напоминает внедрение цифрового телевидения первых поколений (DVB-T, ATSC 1.0 и др.), освоенных наиболее экономически развитыми странами. Не исключено, что для начала массового внедрения цифрового радиовещания в большинстве стран мира необходимы системы цифрового радиовещания следующих поколений.

Основная проблема систем цифрового радиовещания 1-го поколения — отсутствие иерархической многоуровневой модели кодирования сигнала. Весь контент в радиоканале кодируется исходя из худших возможных

условий приема, определенных разработчиками системы как минимально допустимые. Это приводит к низкой скорости передачи информации во всей зоне обслуживания сети и исключает возможность внедрения современных иммерсивных форматов звука и мультимедиа. По этой же причине субъективно воспринимаемое качество звуковых программ и мультимедийного контента в действующих системах звукового радиовещания с точки зрения современного потребителя остается невысоким. Попытка увеличить скорость цифрового потока (при отсутствии иерархической многоуровневой модуляции во всей зоне обслуживания цифрового радиовещания) привела бы к неприемлемому для радиовещателей удорожанию создаваемых сетей.

Кроме того, для разработки современных систем цифрового радиовещания с иерархической модуляцией/кодированием необходима подготовка специализированной элементной базы (интегральных схем), которая не может быть проведена коллективом энтузиастов, а требует серьезной НИОКР и поиска для такой работы заинтересованного заказчика.

Нужно учитывать и то, что за окном 21 век: слушатель/потребитель требует большей интерактивности и дополнительных информационных услуг, бесшовного перехода в сеть интернет при нахождении в зоне обслуживания сетей ШПД. Поэтому должны быть сделаны определенные шаги в направлении гибридизации вещания, интеграции с услугами ШПД. Эти требования делают еще более актуальной необходимость создания прорывных разработок в области «интеллектуального» радио, которые в максимальной степени смогут придать новый импульс как отечественному, так и возможно, даже мировому рынку цифрового мультимедийного радиовещания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Report ITU-R BS.2384-1. Implementation considerations for the introduction and transition to digital terrestrial sound and multimedia broadcasting. ITU. – Geneva, 2019.
2. Report ITU-R BT.2295-2. Digital terrestrial broadcasting systems. ITU. – Geneva, 2017.
3. Рекомендация МСЭ-Р BS.1514-2. Система цифрового звукового радиовещания в диапазонах радиовещания ниже 30 МГц. ITU. – Женева, 2011.
4. Стандарт ETSI ES 201 980 v4.1.1 (2014-01).
5. Рекомендация МСЭ-Р BS.1615-1. Параметры планирования для цифрового звукового радиовещания на частотах ниже 30 МГц. ITU. – Geneva, 2011.
6. [http://www.rcc.org.ru/about/document/05/11/04/Protokol\\_4\\_RG\\_RV/P\\_7\\_](http://www.rcc.org.ru/about/document/05/11/04/Protokol_4_RG_RV/P_7_)
7. МСЭ-Р, Док. 3J/25. – Испания, 2008.
8. МСЭ-Р, Док. 6E/175. – Испания, 2005.
9. МСЭ-Р, Док. 6E/54. – Франция, 2004.
10. МСЭ-Р, Док. 6E/403. – Мексика, 2006.
11. МСЭ-Р, Док. 6E/390, ABU. – Вьетнам, 2006.
12. МСЭ-Р, Док. 6/353. – Италия, 2007.
13. Murphy A. The Plymouth Digital Radio Mondiale (Drm) Trial Long-term Reception Results // A. Murphy // Research White Paper WHP 174. – BBC, 2009.
14. МСЭ-Р, Док. 6A/10. – Индия, 2008.
15. МСЭ-Р, Док. 3J/140. – Бразилия, 2010.
16. Medium Wave DRM Trials in Brasil-Initial Results // SBMO/IEEE MTT-SW International Microwave and Optoelectronics Conference Natal, Brazil. – November 2011.
17. МСЭ-Р, Док. 6A/228. Measurements of DRM coverage area in the medium-frequency band in the day-time, night-time and in the fading zone. – Russia, 2013.
18. МСЭ-Р Док. 6A/307-E Tests of single frequency DRM radio networks in the SW range. – Russia, 2013.
19. <http://www.hfcc.org/drm>
20. [https://klingenfuss.org/s\\_bc\\_drm.pdf](https://klingenfuss.org/s_bc_drm.pdf)
21. <https://nabanet.com/wp-content/uploads/2017/08/NABA-Position-Paper-HD-Radio-Technology-2017-02-14.pdf>
22. Recommendation ITU-R BS.1114-11. Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz. ITU. – Geneva, 2019.

Получено 25.02.19