

## ЦИФРОВОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ: СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ТЕНДЕНЦИИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА

Ю.А. Ковалгин<sup>1</sup>, В. Сантуш<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация  
Адрес для переписки: svirgilio5@gmail.com

### Информация о статье

УДК 621.396

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Ковалгин Ю.А., Сантуш В. Цифровое радиовещание: состояние, перспективы, тенденции в использовании радиочастотного ресурса // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 1. С. 48-56.

**Аннотация:** Проанализировано состояние и варианты построения систем цифрового радиовещания DAB, DMB, DRM, ISDB-T<sub>SB</sub>, IBOC HD RADIO FM, RAVIS на рынке информационных технологий. Даны характеристики этих систем, рассмотрены перспективы и тенденции их продвижения на рынке информационных медиа технологий, а также возможности используемого радиочастотного ресурса.

**Ключевые слова:** цифровое радиовещание, тенденции использования радиочастотного ресурса.

## DIGITAL BROADCASTING: STATUS, PROSPECTS, TRENDS OF USING THE RADIO FREQUENCY RESOURCE

Y.A. Kovalgin<sup>1</sup>, V. Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunication,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

### Article info

Article in Russian

**For citation:** Kovalgin Y., Santos V. Digital broadcasting: status, prospects, trends of using the radio frequency resource // Proceedings of educational institutes of communication. 2017. Vol. 3. Iss. 1. PP. 48-56.

**Abstract:** The state and variants of construction of digital broadcasting systems DAB, DMB, DRM, ISDB-T<sub>SB</sub>, IBOC HD RADIO FM, RAVIS in the information technologies market are analyzed. The characteristics of these systems are given, the prospects and tendencies of their promotion in the market of information media technologies, as well as the possibilities of the radio frequency resource used, are considered.

**Keywords:** Digital broadcasting, trends in the use of radio frequency resources.

Несмотря на бурное развитие сетей Интернет, телевидения, мобильной связи, различных мультимедиа приложений, радиовещание остается одним из наиболее востребованных источников получения актуальной информации. Согласно статистике ООН, в мире насчитывается более 51 000 радиостанций и более 2,4 миллиарда радиоприёмников. В развитых странах возможность принимать программы радиостанций имеет, по меньшей мере, не менее 75% всех домохозяйств [1]. На удаленных, труднодоступных и малонаселенных территориях – это, пожалуй, часто единственное средство получения актуальной информации.

Потенциал радиовещания, перспективы его использования для объединения людей во всем мире был особо отмечен в феврале 2015 года во время празднования Всемирного Дня Радио, организованного совместно Европейским радиовещательным союзом (EBU) и ЮНЕСКО в Женеве [1].

В рекомендациях BS.1114-9 [2] и BS 1660-7 [3] ITU-R представлены особенности построения, технические характеристики и планирование сетей цифрового наземного радиовещания (см. таблицу). Заметим, что продвижение систем цифрового радиовещания идет гораздо медленнее, чем систем цифрового телевидения. Это первое важное заключение.

Таблица. Основные характеристики систем цифрового радиовещания, рекомендованные ITU-R для применения в диапазоне ОВЧ

| Наименование характеристики         | Значение характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                            |                                         |                                 |                   |                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------|
|                                     | T-DAB                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DRM+                                       | T-DMB                                   | ISDB-T <sub>SB</sub>            | IBOCHD RADIO FM   | PABIC                |
| 1. Полоса частот диапазона ОВЧ, МГц | 174–240                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 47–68; 65,8–74; 76–90; 87,5–107,9; 174–240 | 174–240                                 | 188–192                         | 87,5–108; 174–240 | 65,8–74; 87,5–108    |
| 2. Применение                       | Для цифрового наземного звукового радиовещания на автомобильные, переносные и стационарные приемники; для работы в условиях многолучевости; позволяет обеспечить массовое производство недорогих бытовых приемников. Может использовать одночастотные сети SFN, локальные сети, отдельные передатчики. |                                            |                                         |                                 |                   |                      |
| 3. Вид модуляции                    | COFDM                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | OFDM                                       | COFDM                                   | OFDM                            | OFDM              | OFDM                 |
| 4. Модуляция поднесущих частот      | DQPSK                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 4-QAM; 16-QAM                              | DQPSK                                   | DQPSK; QPSK; 16-QAM; 64-QAM     | QPSK              | QPSK; 16-QAM; 64-QAM |
| 5. Полоса частот радиоканала, кГц   | 1712                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 100                                        | 1540                                    | 429; 500; 571; 1278; 1500; 1713 | ≈ 400             | 100; 200; 250        |
| 6. Количество поднесущих частот     | 1536/TMI, 768/TMII, 384/TMIII, 192/TMIV                                                                                                                                                                                                                                                                | 213                                        | 1536/TMI; 384/TMII; 192/TMIII; 768/TMIV | 216–1728                        | 380–18; 456–1092  | 215; 439; 553        |
| 7. Разнос поднесущих частот, Гц     | 1000; 2000; 4000; 8000                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 444; 444                                   | 1535; 384; 192; 768                     | 992; 1984; 3968                 | 363; 373          | 444; 444             |

| Наименование<br>характеристики                                                    | Значение характеристики                                             |                                                                      |                                                  |                                                                                                                     |                                             |                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | T-DAB                                                               | DRM+                                                                 | T-DMB                                            | ISDB-T <sub>SB</sub>                                                                                                | IBOCHD<br>RADIO FM                          | PABIC                                                      |
| 8. Величина защитного интервала                                                   | 24.6 %                                                              | 1/9                                                                  | 246TMI;<br>62/TMII;<br>31/TMIII;<br>123/TMIV     | 1/4; 1/8; 1/16;<br>1/32                                                                                             | 1/20                                        | 1/8                                                        |
| 9. Скорость цифрового потока, Кбит/с                                              | 576–1152                                                            | 37-186                                                               | 1246/TMI;<br>312/TMII;<br>156/TMIII;<br>623/TMIV | 280-5300                                                                                                            | 48-96                                       | 80-900                                                     |
| 10. Стандарт кодирования аудиосигналов                                            | MPEG-1/2<br>Layer II;<br>MPEG-4<br>HEAAC v.2;<br>MPEG D<br>Surround | MPEG-4<br>HE-ACC<br>v.2;<br>MPEG-4<br>xHE-AAC;<br>MPEG D<br>Surround | MPEG-1<br>MPEG-2<br>AAC v2;<br>MPEG Surround     | MPEG-2<br>AAC;<br>MPEG-2<br>Layer 2;<br>MPEG-2<br>AAC, AC-3                                                         | iBiquity<br>HD Codec<br>HE-AAC,<br>Surround | H.264/AVC;<br>MPEG-4<br>HE-AAC<br>v.2;<br>MPEG<br>Surround |
| 11. Спектральная эффективность бит/с/Гц                                           | 0.34–0.67                                                           | 0,37–1,86                                                            | —                                                | 0,65–3,09                                                                                                           | 0,34–0,69                                   | 0,8–3,6                                                    |
| 12. Отношение сигнал/шум при радиоприеме, не менее, дБ                            | 4,5–8,3;<br>7–18                                                    | —                                                                    | —                                                | —                                                                                                                   | —                                           | —                                                          |
| 13. Скремблирование цифровых данных                                               |                                                                     |                                                                      |                                                  |                                                                                                                     |                                             |                                                            |
| 14. Защита от одиночных цифровых ошибок                                           | Сверточный код, временное                                           | Сверточное кодирование                                               | Сверточный код; скорость кода от 1/3 до 3/4      | Сверточный код, скорость кода: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, (материнский код =1/2). Код PC (204, 188), (Рида-Соломона). | Свёрточные коды Витерби, скорость кода 2/5  | БЧХ*, двоичный блочный код; LDPC**                         |
| 15. Защита от групповых ошибок                                                    | Временное перемежение цифровых данных в канале КОС                  |                                                                      |                                                  |                                                                                                                     |                                             |                                                            |
| 16. Защита от селективного затухания в радиоканале                                | Частотное перемежение ячеек модуляции                               |                                                                      |                                                  |                                                                                                                     |                                             |                                                            |
| 17. Возможность совместной передачи сигналов аналогового и цифрового радиовещания | Имеется                                                             |                                                                      |                                                  |                                                                                                                     |                                             |                                                            |
| 18. Условный доступ                                                               | Имеется                                                             |                                                                      |                                                  |                                                                                                                     |                                             |                                                            |
| 19. Доступ к технической информации                                               | Свободный                                                           |                                                                      |                                                  |                                                                                                                     |                                             |                                                            |

\* БЧХ – сокр. от Бозе-Чоудури-Хоквингема

\*\* LDPC – сокр. от англ. low density parity chek (код с малой плотностью проверок на четность)

Анализ имеющихся публикаций показывает, что наибольшее распространение в мире получают системы DAB (Digital Audio Broadcasting) и DRM (Digital Radio Mondiale). Система DAB (см. табл. 1) [4, 5] является одной из первых систем цифрового радиовещания (ЦРВ). Стандарт европейского института по стандартизации в области телекоммуникаций ETSI (European Telecommunications Standards Institute) на эту систему появился в 1997 году. Изначально она позиционировалась разработчиками только как система ЦРВ, предназначенная для передачи звуковых программ разного качества, сопутствующей им информации или просто цифровых данных.

Позже были разработаны, а затем стандартизованы более эффективные алгоритмы компрессии цифровых аудиоданных [9, 10, 11, 12]. Они были добавлены в новую вторую версию стандарта, получившую название DAB+ [13], появившуюся в 2006 году. В частности, были добавлены алгоритмы компрессии, реализованные в кодеке HE-AAC v.2 стандарта MPEG-4 ISO/IEC 14496-3 [8] и в стандарте MPEG D Surround [9]. Возможность использования алгоритма компрессии MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 Layer II осталась и в этой версии стандарта на систему DAB+. Из-за более высокой степени сжатия данные аудиосуперфрейма в системе DAB+ требуют дополнительной защиты от цифровых ошибок. Она реализуется в системе DAB+ с помощью кода Рида-Соломона. Цифровые данные аудиосуперфрейма кроме помехоустойчивого кодирования подвергаются также и временному перемежению битов.

В 2009 году появилось дополнение [13] к системе DAB, посвященное передаче видеoinформации (видеосервисов), что превращает ее уже в полноценную мультимедийную систему (T-DMB), ориентированную на мобильный прием программ радиовещания и телевидения. При передаче видеосервисов, включая и программы телевидения, возможно применение двух профилей сложности при компрессии цифровых аудиоданных:

- профиль 1 включает применение алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных MPEG-4 ER-BSAC (максимальная скорость передачи данных 128 кбит/с);

- профиль 2 включает применение алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных MPEG-4 HE-AAC v.2 (с использованием алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных AAC, SBR, PS), MPEG Surround ISO/IEC 23003-1. В обоих случаях при компрессии видеоданных используется стандарт MPEG-4 AVC (кодер H.264). Аудиоданные, сопутствующие видеопрограмме, передаются кодером ER-BSAC. При передаче цифровых данных видеосервиса, подаваемых на DAB-мультиплексор, используется потоковый режим работы. Транспортные механизмы не изменились [21]. В 2016 году появилась последняя версия стандарта на систему DAB [14].

Теперь несколько слов о продвижении технологии DAB/DMB на медиа рынке. С 2005 года по системе T-DMB началось вещание в Сеуле (Южная Корея). К началу 2006 года в мире насчитывалось уже 18 проектов по внедрению

технологии T-DMB на основе существующей наземной вещательной инфраструктуры T-DAB. В Европе [15] основные проекты были развернуты в Германии, Франции, Норвегии, Голландии, Финляндии, Англии и Италии. Лидером в этом процессе является ФРГ, где в июне 2006 г. работало уже 39 передатчиков T-DMB в 12 городах на основе применения транспортных механизмов системы DAB.

По данным [6] регулярное вещание по системам семейства DAB/DMB ведется в 21 стране, экспериментальное вещание еще в 18 странах.

В Австралии ведется передача более чем 210 звуковых программ по системе DAB+. Возможность приема сигналов ЦРВ имеет 64% населения. Продано примерно 1,7 млн. радиоприемников (в это число входят собственно радиоприемники для системы DAB+ и комбинированные устройства, которые содержат соответствующие радиоприемные модули).

В Дании регулярно передаются 15 звуковых программ DAB, 9 программ DAB+ и один цифровой поток данных. Возможность приема этих сигналов имеет 98% населения. Продано примерно 1,7 млн. радиоприемников ЦРВ.

В Германии передаются более 120 национальных, региональных и местных программ DAB+. В зоне уверенного приема сигналов ЦРВ проживает 91% населения. Продано около 2,7 млн. радиоприемников ЦРВ.

В Норвегии регулярно передаются 22 программы DAB. Обеспечено покрытие территории, на которой проживает 99,5% населения. Продано 1,166 млн. DAB-радиоприемников.

В Южной Корее передаются 19 программ T-DMB (включая телевизионные), две программы DAB, шесть цифровых потоков данных. Возможность приема сигналов ЦРВ имеет около 90% населения. Продано 62 млн. радиоприемников ЦРВ.

В Швейцарии передаются 80 программ DAB+, 20 программ DAB. Возможность приема сигналов ЦРВ имеет 94% населения. Продано 1,52 млн. соответствующих радиоприемников.

В Великобритании передаются в общей сложности 415 звуковых программ DAB. Зона покрытия сигналами ЦРВ охватывает 94% населения. В конце декабря 2014 года поступило сообщение [6, 7] о продаже двадцатимиллионного DAB-радиоприемника.

Напомним, что появилась система DAB в 1995 году, ее продвижение шло крайне медленно вплоть до 2002 года, затем ситуация резко изменилась. Сегодня можно считать, что продвижение в мире систем ЦРВ из семейства DAB можно является вполне успешным.

Несколько иная картина складывается для системы DRM (см. таблицу). Она была впервые стандартизована Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) в 2001 году [16]. Изначально она предназначалась для работы в радиовещательных диапазонах длинных (ДВ), средних (СВ) и коротких (КВ) волн, т.е. на участках частот до 30 МГц, выделенных ITU-R для

целей звукового вещания. В 2009 году была опубликована новая версия данного стандарта [13], в которой диапазон рабочих частот был расширен до 240 МГц. Для диапазона ОВЧ был добавлен режим работы E, а сама версия системы при работе в этом режиме в ряде публикаций получила название DRM+. В январе 2014 года была опубликована последняя версия данного стандарта [3]. В 2014 году появилась также и новая версия кодека, получившего название xHE-AAC [17], рекомендуемого для применения при низких скоростях цифрового потока, как это, например, имеет место в системе DRM (режимы A, B, C, D). Его возможности по компрессии цифровых аудиоданных наглядно демонстрирует также ролик [DRM-xHE-AAC-Demo\_v2\_20130913], имеющийся в сети интернет.

По совокупности признаков (области применения, функциональным возможностям, алгоритмам компрессии, цифровых аудиоданных, защите от ошибок, качестве звука, эффективности использования радиочастотного ресурса, экономии эксплуатационных расходов система DRM/DRM+) – это лучшая технология ЦРВ на сегодня, а значит и сделанный многими странами, включая и РФ, выбор в её пользу представляется вполне оправданным [22].

Что же касается американской платформы цифровых технологий (система IBOC HD Radio AM и FM, см. таблицу), то она получает развитие в основном в США и в ряде стран американского континента.

Система РАВИС (см. таблицу) [15], ориентированная на передачу как программ радиовещания, так и телевидения и позиционируемая разработчиками как мультимедийная аудиовизуальная цифровая система, отсутствует в последней рекомендации ITU-R BS.1114-9 (06/2015) [2]. Система РАВИС была включена в более ранние отчеты ITU-R при выполнении исследовательских работ в области цифрового телерадиовещания, как вклад Российской Федерации (отчеты ITU-R BT.2049; ITU-R BS.2214). Производство оборудования по данной системе в настоящее время не налажено, а это имеет решающее значение для её продвижения на рынке информационных технологий.

И наконец, в ряде стран проводятся работы по диверсификации радиоканала вещательного телевидения: исследуются возможности совместной передачи программ телевидения и радиовещания через общий канал вещательного телевидения. В качестве примера следует привести систему ISDB-T<sub>SB</sub> (см. таблицу), где в телевизионных каналах шириной 6, 7 или 8 МГц для передачи программ звукового вещания выделяется сегмент как одна четырнадцатая часть полосы частот телевизионного канала, полоса частот этого сегмента составляет 429 кГц (6/14), 500 (7/14), 571 (8/14). А также и работы, проводимые в Италии, Англии и России [6, 17, 19].

Каждая страна в зависимости от состояния инфраструктуры радиовещательной сети, экономических возможностей, опыта эксплуатации аналогового и цифрового оборудования, доступности и существующих условий для его использования выбирает свой путь перехода на ЦРВ. Однако здесь есть и некото-

рые общие закономерности. Чаще всего этот путь начинается в местах компактного проживания населения, в городских агломерациях, где востребованы, как правило, системы высококачественного цифрового радиовещания, рекомендуемые ITU-R для применения в диапазоне ОВЧ (30...300 МГц).

### Выводы

1) Анализ имеющихся публикаций, отчетов и рекомендаций ITU-R свидетельствует, что в мире активно продвигаются две платформы цифровых технологий радиовещания: европейская (это системы DAB, DRM) и американская (системы IBOC HD Radio AM, IBOC HD Radio FM). Все же наибольшее число стран ориентируется на европейскую платформу ЦРВ. При этом наибольшее распространение в настоящее время получают системы семейства DAB/DMB, что вполне оправданно с точки зрения качества, требуемого радиочастотного ресурса и востребованности населением. Продвижение системы DRM, несмотря на ее высокую эффективность, идет достаточно медленно, что, по-видимому, объясняется также и отсутствием массового производства недорогих приемников данного формата.

2) Работы по диверсификации радиоканала вещательного телевидения, проводимые в ряде стран, пока не вышли за рамки эксперимента. Исключение составляет лишь система ISDB-T<sub>SB</sub>, продвигаемая на медиа рынке рядом азиатских стран. Что же касается системы IBOC HD Radio AM и IBOC HD Radio FM, то выбор в их пользу сделан в США; сведения о ее применении в других странах в публикациях пока они отсутствуют.

3) В соответствии с рекомендацией ITU-R [17] для цифрового телевидения и радиовещания в диапазонах ОВЧ (30...300 МГц) и УВЧ (300...3000 МГц) выделены полосы частот: 47-68, 65,9-74; 76-90; 87,5...108, 174...240, 470...790 МГц. При этом в период постепенного перехода к цифровым технологиям в мире всё более отчетливо проявляется следующая тенденция использования полос частот, выделенных для цифрового телевидения и радиовещания:

- в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ рекомендуется использовать системы DRM и IBOC HD Radio AM;

- полосы частот 47-68; 65,9...74; 76-90; 87,5...108 МГц рекомендуется использовать только для передачи программ звукового вещания и сопутствующей им информации. Что же касается европейской платформы ЦРВ, то здесь рекомендуется для применения система DRM в режиме работы E; при этом возможна передача программ аналогового и цифрового радиовещания в смежных радиоканалах без взаимных помех, что важно для практики;

- полоса частот 470...790 МГц в мире используется для передачи программ цифрового телевидения в основном для стационарного их радиоприема;

- полосе частот 174...240 МГц в переходный период рекомендуется использовать для передачи программ телерадиовещания и различной сопутствующей им информации. Для работы в этой полосе частот рекомендуются транс-

портные механизмы системы DAB, которая постепенно трансформируется в мультимедийную систему DAB/DMB, рекомендуемую ITU-R для одновременной передачи аудио- и визуальной информации при возможности мобильного радиоприема.

4) В период перехода к «цифре» достаточно разумным шагом представляется возможность использования полосы частот 174...240 МГц для отработки технологий мобильного приема программ телевидения и радиовещания на основе применения стандартов DAB/DAB+/DMB и DRM+. Это позволит уточнить параметры каждого из мультиплексов, определиться с составом и качеством передаваемых программ, включая и форматы видео- и звуковых сигналов, на основе использования стандартного передающего и приемного оборудования, оценить востребованность этих новых технологий населением в условиях мобильного радиоприема.

5) В конечном итоге, после завершения переходного периода полоса частот 174...240 МГц, скорее всего, будет отдана последней версии стандарта DAB/DMB, а полосы частот 65,9...74 МГц и 87,5...108 МГц – формату DRM+ как это и требует рекомендация ITU-R BS.1660-7 (10/2015) [3]. При этом полосе частот 174...240 МГц можно использовать для совместной передачи программ телевидения и радиовещания с ориентацией на мобильный прием передаваемых программ в формате DAB/DMB.

#### Список использованных источников

1. Новости – МСЭ. Специальный отчет о переходе на цифровое радиовещание. 2015. № 2.
2. Рекомендация МСЭ-R BS.1114-9 (06/2015). Системы наземного цифрового звукового радиовещания на автомобильные, переносные и стационарные приемники в диапазоне частот 30-3000 МГц.
3. Recommendation ITU-R BS.1660-7(10/2015) Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band.
4. Кацнельсон Л.Н. Системы звукового и мультимедийного цифрового радиовещания: научно-техническое издание. СПб: Линк, 2011. 348 с.
5. ETSI ETS 300401. Radio Broadcasting System: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers. May 1997.
6. Кацнельсон Л.Н. Системы цифрового радиовещания DAB, DAB+, DMB. Современное состояние // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. 2015. № 1. С. 25.
7. WORLD DAB. Defining the future of digital radio. URL: <https://www.worldddab.org/>.
8. Кацнельсон Л., Козлова Л. Еще раз про IBOC и DAB // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. 2008. № 4. С. 44-47.
9. ISO/IEC FCD 14496-3 Subpart 1. Information Technology – Very Low Bitrate Audio-Visual Coding. Part 3: Audio. 1998-05-10 (ISO/JTC 1/SC 29, N 2203).
10. ISO/IEC 13818-3: 1998. Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information. Part 3: Audio.
11. International Standard ISO/IEC 13818-7. Information technology-Generic coding of pictures and associated audio information. Part 7: Advanced Audio Coding (AAC). 1997 (E).
12. ISO/IEC 23003-1:2007 «Information Technology – MPEG Audio Technologies. Part 1: MPEG Surround». International Standards Organization. Geneva. Switzerland (2007).

- 
13. ETSI TS 102 428 V1.2.1 (2009-04). Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User application specification.
  14. ETSI EN 300 401 V2.1.1 (2016-10). Radio Broadcasting System; Digital Audio Broadcasting to mobile, portable and fixed receivers
  15. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). М.: Техносфера. 2012. 1008 с
  16. ETSI ES 201 980 V3.2.1 (2012-06). Digital Radio Mondiale (DRM) system Specification.
  17. ETSI ES 201980 V4.1.1 (2014-01). Digital Radio Mondiale (DRM) system Specification.
  18. Горегляд В.Д., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В. О возможности диверсификации радиоканала наземного цифрового телевидения // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. 2015. № 1. С. 26-29.
  19. Горегляд В.Д., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В., Соколов С.А. Диверсификация радиоканала вещательного телевидения // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. 2015. № 6. С. 42-46.
  20. Горегляд В.Д., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В., Соколов С.А. О выборе системы цифрового радиовещания для России // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. 2015. № 8. С. 42-47.
  21. Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В. Эволюция эфирной системы цифрового радиовещания DAB, рекомендованной ITU-R для применения в полосе частот 174-240 МГц диапазона ОВЧ. Часть 1 // «Broadcasting». Телевидение и радиовещание. 2016. № 8. С. 33-36.
  22. Владыко А.Г., Ковалгин Ю.А., Мышьянов С.В. Первые шаги стандарта DRM+ в Российской Федерации // Электросвязь. 2016. № 5. С. 60-66.