

Современное состояние и тенденции развития цифрового телевидения и радиовещания в мире

Current state and development trends of digital television and radio broadcasting in the world

Ковалгин / Kovalgin Y.

Юрий Алексеевич

(kovalgin@sut.ru)

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
член-корреспондент Международной академии наук
высшей школы.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ),

профессор кафедры радиосвязи и вещания.

г. Санкт-Петербург

Сантуш Виржилио / Santos Vergilio

Матеуш Жоао Душ

(svirgilio5@gmail.com)

СПбГУТ, аспирант.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: цифровое телевидение – digital television; цифровое радиовещание – digital broadcasting; тенденции развития – development trends; диапазон частот – frequency range.

Проанализировано современное состояние систем эфирного наземного телевидения и радиовещания в мире. Рассмотрены тенденции перехода на цифровые системы, рекомендуемые ITU-R для применения в данной области.

The current state of broadcasting terrestrial television and radio broadcasting systems in the world has been analyzed. The trends of transition to digital systems recommended by ITU-R for application in this field have been considered.

Введение и цель работы

Эфирное телевидение и радиовещание (ТРВ), несмотря на бурное развитие сети Интернет, кабельных систем, мобильной связи, по-прежнему продолжает оставаться основным источником информации для населения. Более того, наблюдается активный переход к системам цифрового ТРВ, рекомендованным ITU-R для применения. Это, в первую очередь, обусловлено дополнительными преимуществами, предоставляемыми цифровыми технологиями ТРВ. К числу этих преимуществ следует отнести [1,13]:

- повышение помехоустойчивости;

- возможность создания одночастотных сетей, что существенно экономит радиочастотный ресурс, повышает эффективность использования радиочастотного спектра;

- повышение качества изображения и звука, возможность перехода к объемному телевидению и многоканальной стереофонии;

- обеспечение защиты передаваемых программ и другой информации от несанкционированного доступа, что дает возможность создавать программы платного телерадиовещания;

- создание интерактивных систем ТРВ, при пользовании которыми зритель (слушатель) получает возможность воздействовать на передаваемую программу, заказывать интересующие его программы в удобное для себя время;

- повышение качества и числа программ, передаваемых в диапазонах длинных (ДВ), средних (СВ) и коротких (КВ) волн при существенной экономии электроэнергии радиопередающими устройствами;

- возможность мобильного приема программ ТРВ с высоким качеством как в мегаполисах и в местах компактного проживания населения, так и на удаленных и труднодоступных территориях с малой плотностью населения;

- возможность эфирного оповещения населения, правительственных организаций, спецслужб, государственных и коммерческих предприятий в условиях чрезвычайных ситуаций.

Итак, имеющая место тенденция глобального перехода на цифровое телевизионное и радиовещание обуслов-

лена не только нехваткой частотного ресурса, но и все возрастающими запросами общества в получении актуальной информации, необходимостью внедрения единых общемировых стандартов и систем цифрового ТВ в условиях глобализации, а также наличием присущих данной технологии вещания преимуществ.

Данная работа посвящена рассмотрению тенденций развития цифрового телевидения и радиовещания в мире на этапе перехода к цифровым технологиям в данной области.

Основная часть. Развитие аналогового телевизионного вещания в конечном итоге привело к распространению в мире трех основных стандартов цветного

телевидения: NTSC, SECAM и PAL [1]. Телевидение в данных форматах во многих странах смотрят до сих пор, спустя почти полвека с начала его появления (табл. 1). Системы NTSC, PAL и SECAM различаются в основном принципами формирования сигналов цветности, передаваемых на поднесущих частотах путем уплотнения спектра полного телевизионного сигнала монохромного телевидения, так и спектральными характеристиками сигналов яркости.

Система NTSC [1] используется в Северной и Центральной Америке, в ряде стран восточной части Южной Америки, а также в Японии, Южной Корее и в ряде стран Юго-Восточной Азии. Система SECAM [1,

Таблица 1

Распространение в мире систем аналогового телевидения, рекомендованных ITU-R для практического применения

Название системы	Распространение в мире (страны применения)				
B, G/PAL	Австралия Австрия Албания Алжир Бангладеш Бахрейн Бельгия Бруней Гана Германия Гибралтар Дания Босния и Герцеговина	Замбия Зимбабве Израиль Индия Индонезия Иордания Италия Исландия Йемен Камерун Катар Кения Кувейт	Либерия Люксембург Македония Малави Малайзия Мальдивы Мальта Мозамбик Монако Нигерия Нидерланды Новая Зеландия Норвегия	ОАЭ Оман Пакистан Папа Новая Гвинея Португалия Сербия Сингапур Сирия Словения Судан Сьерра-Леоне Таиланд	Танзания Тунис Турция Уганда Финляндия Хорватия Черногория Швейцария Швеция Шри-Ланка Экваториальная Гвинея Эфиопия
I/PAL	Ангола Ботсвана	Великобритания	Гонконг Ирландия	Лесото	Южная Африка
N/PAL	Аргентина	Парагвай	Уругвай		
D/PAL	Китай				
M/PAL	Бразилия				
D, K/PAL	КНДР	Румыния			
B,G/SECAM	Греция Египет Ирак	Иран Кипр Ливан	Ливия Маврикий Мавритания	Мали Марокко	Саудовская Аравия Тунис
D,K/SECAM	Афганистан Болгария	Венгрия Гвинея Джибути	Заир Конго	Мадагаскар Нигерия Сенегал	Того ЦАР Чад
L/SECAM	Люксембург	Монако	Франция		
M/NTSC	Антильские Острова Бермуды Бирма Боливия Доминиканская республика	Венесуэла Виргинские острова Гаити Гватемала Гондурас Канада	Колумбия Коста-Рика Куба Мексика Никарагуа Панама Перу	США Суринам Филиппины Чили Эквадор Ю. Корея Ямайка	Япония

Таблица 2

Состояние перехода на цифровое наземное эфирное телевизионное вещание

Наименование страны	Выбор стандарта ЦТВ	Статус перехода к ЦТВ	Наименование страны	Выбор стандарта ЦТВ	Статус перехода к ЦТВ
Албания	DVB-T2	Не завершён	Гана	DVB-T	Не завершён
Алжир	DVB-T2	Не завершён	Гвинея	DVB-T	Не завершён
Ангола	DVB-T2	Не завершён	Гвинея-Бисау	DVB-T2	Не завершён
Армения	DVB-T	Не завершён	Индия	DVB-T	Не завершён
Азербайджан	DVB-T2	Не завершён	Индонезия	DVB-T	Не завершён
Бахрейн	DVB-T2	Не завершён	Иран	DVB-T2	Не завершён
Беларусь	DVB-T2	Не завершён	Исламская Республика	DVB-T2	Не завершён
Бенин	DVB-T2	Не завершён	Кения	DVB-T2	Не завершён
Боливия	ISDB-T	Не завершён	Лесото	DVB-T2	Не завершён
Босния	DVB-T2	Не завершён	Мадагаскар	DVB-T2	Не завершён
Герцеговина	DVB-T2	Не завершён	Мали	DVB-T2	Не завершён
Ботсвана	DVB-T2	Не завершён	Маврикий	DVB-T	Не завершён
Бразилия	ISDB-T	Не завершён	Молдова	DVB-T2	Не завершён
Буркина-Фасо	DVB-T2	Не завершён	Мьянма	DVB-T2	Не завершён
Бурунди	DVB-T2	Не завершён	Намибия	DVB-T2	Не завершён
Камбоджа	DVB-T2	Не завершён	Нидерландские Антильские острова	DVB-T2	Не завершён
Камерун	DVB-T2	Не завершён	Нигер	DVB-T2	Не завершён
Кабо-Верде	DVB-T	Не завершён	Нигерия	DVB-T2	Не завершён
Чад	DVB-T2	Не завершён	Оман	DVB-T2	Не завершён
Конго	DVB-T2	Не завершён	Папуа-Новая Гвинея	DVB-T2	Не завершён
Кот-д'Ивуар	DVB-T2	Не завершён	Катар	DVB-T2	Не завершён
Куба	ISDB-T	Не завершён	Румыния	DVB-T2	Не завершён
Республика Конго	DVB-T2	Не завершён	Россия	DVB-T2	Не завершён
Египет	DVB-T2	Не завершён	Самоа	DVB-T2	Не завершён
Экваториальная Гвинея	DVB-T	Не завершён	Сенегал	DVB-T2	Не завершён
Сейшельские Острова	DVB-T	Не завершён	Тунис	DVB-T2	Не завершён
Сьерра-Леоне	DVB-T	Не завершён	Уганда	DVB-T2	Не завершён
Южный Судан	DVB-T	Не завершён	Украина	DVB-T2	Не завершён
Судан	DVB-T	Не завершён	Узбекистан	DVB-T2	Не завершён
Суринам	DVB-T2	Не завершён	Венесуэла	DVB-T	Не завершён
Таиланд	DVB-T	Не завершён	Вьетнам	DVB-T2	Не завершён
Того	DVB-T2	Не завершён	Замбия	DVB-T2	Не завершён
Уганда	DVB-T2	Не завершён	Зимба	DVB-T	Не завершён
-	-	-	Зимбабве	DVB-T2	Не завершён

2] применяется в России, в странах Восточной Европы и СНГ, во Франции, в большинстве стран Северной Африки и Юго-Западной Азии.

Система PAL [1] применяется в большинстве стран Западной и Северной Европы, в Индии, Китае, Австралии, Бразилии, Аргентине и ряде других стран.

Среди систем эфирного ЦТВ, рекомендованных ITU-R для применения, следует особо отметить две из семейства DVB: DVB-T и DVB-T2. Система DVB-T2 (табл. 2 и 3), пожалуй, является одной из самых распространенных систем ЦТВ, рекомендованных ITU-R для применения в диапазонах ОВЧ (30...300 МГц) и УВЧ (300...3000 МГц). Стандарт Европейского института по стандартизации в области телекоммуникаций ETSI (European Telecommunications Standards Institute) на систему DVB-T появился в 1996 году [1, 3, 4].

В феврале 2006 года (в рамках консорциума DVB) был создан исследовательский комитет Study Mission. Он должен был оценить потенциал различных технологий ЦТВ и приступить к разработке улучшенного стандарта, получившего название DVB-T2, реализующего дополнительно также и ряд коммерческих требований:

- возможность приема программ на существующие простые домовые антенны;
- переход на новый стандарт не должен требовать изменения инфраструктуры передающей сети;
- увеличение, как минимум на 30–50% пропускной способности по сравнению с системой DVB-T при идентичных условиях передачи;
- возможность работы передающих станций в одночастотной сети (SFN);
- реализация возможности сосуществования в одном РЧ-канале сервисов, передаваемых с разной степенью помехозащищенности;
- повышение гибкости использования полосы частот радиоканала, возможность его диверсификации;
- наличие механизма снижения пиковой мощности передаваемого сигнала к среднему значению и ряд других менее важных требований.

Перечисленные выше рекомендации были выполнены при разработке стандарта DVB-T2 к середине 2010 г. [3]. Решение о внедрении стандарта DVB-T2 уже приняли администрации Австрии, Великобритании, Германии, Дании, Индии, Испании, Италии, Казахстана, Словакии, Украины, Финляндии, Чешской республики, Швеции, Южной Африки, России, [1, 25,], и многих других стран (табл. 2).

Причем в ряде стран уже переход к ЦТВ завершён, табл.3.

В табл. 4 приведен список стран еще не определившихся с выбором системы ЦТВ. В ряде стран он ещё даже не начался (Бангладеш, Белиз, Центральная Африканская республика, Коморские острова, Эритрея, Ямайка).

Еще раз подчеркнём (табл. 2 и 3), что наибольшее распространение среди стран уже определившихся с выбором системы ЦТВ получает система DVB-T2, как имеющая в настоящее время наилучшие характеристики (табл. 5).

Переход от систем аналогового на цифровое телевидение, установленный Региональной конференцией радиосвязи, проведенной ITU-R в Женеве в 2006 году (РКР-06), должен был быть завершён к июню 2015 года [4]. Но в силу целого ряда причин (организационных, экономических и технических) позже этот срок был перенесен на 2020 год [4].

Наблюдаемое снижение стоимости оборудования сетей ЦТВ стандарта DVB-T2 года позволяет к 2020 году создать высокоэффективные системы доставки цифрового контента до пользователей. При этом ограниченный по объёму спектр высвобождается за счет перехода от аналогового к цифровому телевидению для других видов использования, в первую очередь для систем подвижной связи.

Обобщенная структурная схема системы DVB-T2 представлена на рис. 1. На входе (ах) системы могут поступать один или множество транспортных потоков MPEG-2 (Transport Stream - TS) и один или множество обобщенных потоков (Generic Stream - GS).

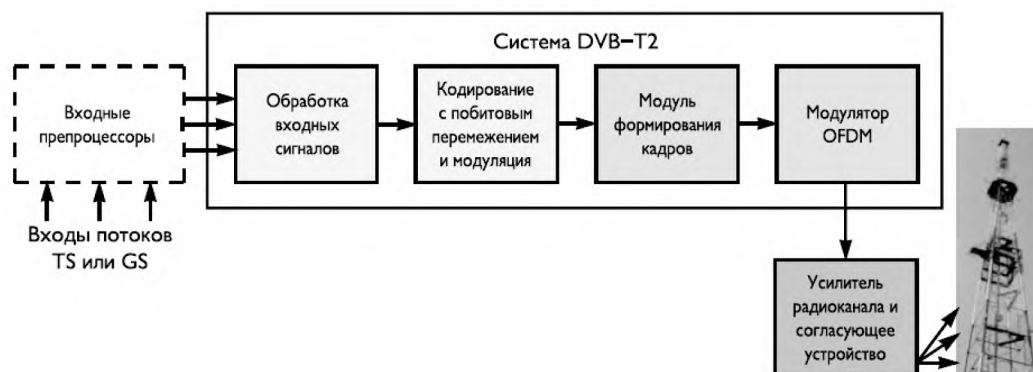


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы DVB-T2

Таблица 3

Список стран, завершивших переход на цифровое наземное телевизионное вещание

Страна	Стандарт	Состояние перехода к ЦТВ	Страна	Стандарт	Состояние перехода к ЦТВ
Андорра	DVB-T2	Завершён	Латвия	DVB-T	Завершён
Австралия	DVB-T	Завершён	Литва	DVB-T	Завершён
Австрия	DVB-T2	Завершён	Люксембург	DVB-T2	Завершён
Бельгия	DVB-T	Завершён	Малави	DVB-T	Завершён
Болгария	DVB-T	Завершён	Мальта	DVB-T2	Завершён
Канада	ATSC	Завершён	Мексика	ATSC	Завершён
Колумбия	DVB-T2	Завершён	Монако	DVB-T	Завершён
Хорватия	DVB-T2	Завершён	Нидерланды	DVB-T	Завершён
Кипр	DVB-T	Завершён	Новая-Зеландия	DVB-T	Завершён
Чешская Республика	DVB-T2	Завершён	Норвегия	DVB-T	Завершён
Дания	DVB-T	Завершён	Польша	DVB-T	Завершён
Эстония	DVB-T	Завершён	Португалия	DVB-T2	Завершён
Финляндия	ISDB-T	Завершён	Руанда (Республика)	DVB-T2	Завершён
Бывшая югославская Республика Македония	DVB-T2	Завершён	Сан – Марино	DVB-T2	Завершён
Франции	DVB-T2	Завершён	Саудовская Аравия	DVB-T2	Завершён
Грузии	DVB-T	Завершён	Сербия	DVB-T2	Завершён
Германии	DVB-T2	Завершён	Словакия	DVB-T2	Завершён
Греции	DVB-T2	Завершён	Испания	DVB-T2	Завершён
Венгрии	DVB-T2	Завершён	Швеция	DVB-T2	Завершён
Исландии	ATSC	Завершён	Швейцария	DVB-T2	Завершён
Исландии	DVB-T2	Завершён	Танзания	DVB-T2	Завершён
Израиля	DVB-T2	Завершён	Объединенные Арабские Эмираты	DVB-T2	Завершён
Италия	DVB-T2	Завершён	Соединенное Королевство,	DVB-T2	Завершён
Япония	ISDB-T	Завершён	США	ATSC	Завершён
Корея респ.	ATSC	Завершён	Ватикан	DVB-T	Завершён
			Замбия	DVB-T2	Завершён

Таблица 4

Перечень стран, еще не определившихся с выбором системы цифрового телевидения

Страна	Выбор стандарта ЦТВ	Статус перехода к ЦТВ	Страна	Выбор стандарта ЦТВ	Статус перехода к ЦТВ
Афганистан	Не определен	Не известен	Лаос	Не определен	Не известен
Антигуа	Не определен	Не известен	Лихтенштейн	Не определен	Не известен
Барбуда	Не определен	Не известен	Мальдивы	Не определен	Не известен
Аргентина	Не определен	Не известен	Маршалловы Острова	Не определен	Не известен
Багамские Острова	Не определен	Не известен	Мавритания	Не определен	Не известен
Бутан	Не определен	Не известен	Микронезия	Не определен	Не известен
Бруней	Не определен	Не известен	Науру	Не определен	Не известен
Чили	Не определен	Неизвестен	Непал (Республика)	Не определен	Не известен
Китай	Не определен	Не известен	Никарагуа	Не определен	Не известен
Коста-Рика	Не определен	Не известен	Ниуэ	Не определен	Не известен
Народный конгрессмен	Не определен	Не известен	Пакистан	Не определен	Не известен
Джибути	Не определен	Не известен	Палау	Не определен	Не известен
Доминика	Не определен	Не известен	Панама	Не определен	Не известен
Доминиканская Республика	Не определен	Не известен	Парагвай	Не определен	Не известен
Эквадор	Не определен	Не известен	Перу	Не определен	Не известен
Сальвадор	Не определен	Не известен	Сент-Китс	Не определен	Не известен
Гренада	Не определен	Не известен	Невис	Не определен	Не известен
Гватемала	Не определен	Не известен	Сент-Люсия	Не определен	Не известен
Гайана	Не определен	Не известен	Сент-Винсент	Не определен	Не известен
Гаити	Не определен	Не известен	Гренадины	Не определен	Не известен
Гондурас	Не определен	Неизвестен	Сингапур	Не определен	Не известен
Ирак	Не определен	Не известен	Соломоновы острова	Не определен	Не известен
Иордания	Не определен	Не известен	Сомали	Не определен	Не известен
Казахстан	Не определен	Не известен	Шри-Ланка	Не определен	Не известен
Кирибати	Не определен	Не известен	Сирия	Не определен	Не известен
Кувейт	Не определен	Не известен	Таджикистан	Не определен	Не известен
Тимор-Лешти	Не определен	Не известен	Тонга	Не определен	Не известен
Тринидад	Не определен	Не известен	Тобаго	Не определен	Не известен
Туркменистан	Не определен	Не известен	Тувалу	Не определен	Не известен
Уругвай	Не определен	Не известен	Вануату	Не определен	Не известен
Йемен	Не определен	Не известен	-	-	-

Входной препроцессор, не являющийся частью системы DVB-T2, формирует транспортные входные потоки, обеспечивает согласование входных сигналов с блоком их обработки в системе DVB-T2, содержащим один, если используется единичный входной поток SIS (режим типа «А»), или несколько модулей адаптации при наличии множества входных потоков MIS (режим типа «В»).

Подсистема входного интерфейса (рис. 2) преобразовывает входной поток во внутренний логический битовый формат. Входной интерфейс должен обеспечить чтение битов поля данных размера DFL (Data Field Length): $0 < DFL < (Kbch - 80)$, где $Kbch$ – число битов, поступающих на вход кодера БЧХ. Заголовок длиной 80 битов вставляется перед полем данных.

В случае если используется несколько входных потоков данных, в составе каждого из них имеются блоки синхронизации и компенсации задержки, возникающей при обработке цифровых данных. Для синхронизации вводится 2 или 3 байта в специальное поле ISSY (Input Stream Synchronisation), в котором передается значение счетчика тактовой частоты модулятора ($1/T$), где T – элементарный тактовый период. Требования, установленные стандартом, предусматривают постоянство скоростей цифровых потоков на выходе мультиплексоров передатчиков и на входе демultipлексоров приемников, а также постоянство сквозной задержки. В некоторых входных сигналах транспортных потоков может присутствовать большая доля нулевых пакетов. На передающей стороне нулевые пакеты удаляются, но таким образом, чтобы они могли быть вставлены в приемнике в точности на то же самое место, где они находились первоначально. С этой целью после каждого переданного пользовательского пакета UP (User Packet) вводится поле длиной в 1 байт – DNP (Delected Null-Packets), характеризующее удаленные нулевые пакеты [1]. В системах ЦТВ данные цифровых потоков надежно защищены от появления цифровых ошибок помехоустойчивым кодированием, временным

перемежением цифровых данных и перемежением ячеек модуляции (табл. 5). Можно сказать, что в мире идет процесс активного перехода на ЦТВ, который пока ещё в полной мере не завершен.

Что же касается систем цифрового радиовещания (ЦРВ), то здесь ситуация оказывается много сложнее: во многих странах наблюдается явное отставание по срокам перехода на «цифру» в диапазоне ОВЧ (30...300 МГц), предназначенном (согласно рекомендациям ITU-R) в основном для применения систем высококачественного стереофонического радиовещания.

В рекомендациях BS.1114-6 [22] и BS 1660-6 (08/2012) [23] ITU-R представлены особенности построения, технические характеристики и планирование сетей следующих систем цифрового наземного радиовещания:

T-DAB [10], для неё выделена полоса частот 174...240 МГц, ОВЧ III;

ISDB-TSB [26], 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 кГц (7/14), 571 кГц (8/14);

DRM+ (Digital Radio Mondiale, [8]), рекомендована ITU-R для применения в диапазонах НЧ (30...300 кГц), СЧ (300...3000 кГц), ВЧ (3...30 МГц) и ОВЧ (30...300 МГц), где для целей радиовещания ITU-R выделены определенные полосы частот;

IBOC HD Radio FM [9], рекомендована ITU-R для применения в диапазоне ОВЧ;

IBOC HD Radio AM [9], рекомендована ITU-R для применения в диапазонах НЧ, СЧ, ВЧ;

РАВИС [1, 24], российская аудиовизуальная информационная система реального времени, рекомендована ITU-R для применения в диапазоне ОВЧ.

Заметим, что технологии IBOC HD Radio FM и IBOC HD Radio AM объединены в рамках одного стандарта. Это же замечание относится и к системам DRM и DRM+. Из перечисленных выше систем ЦРВ лишь две явля-

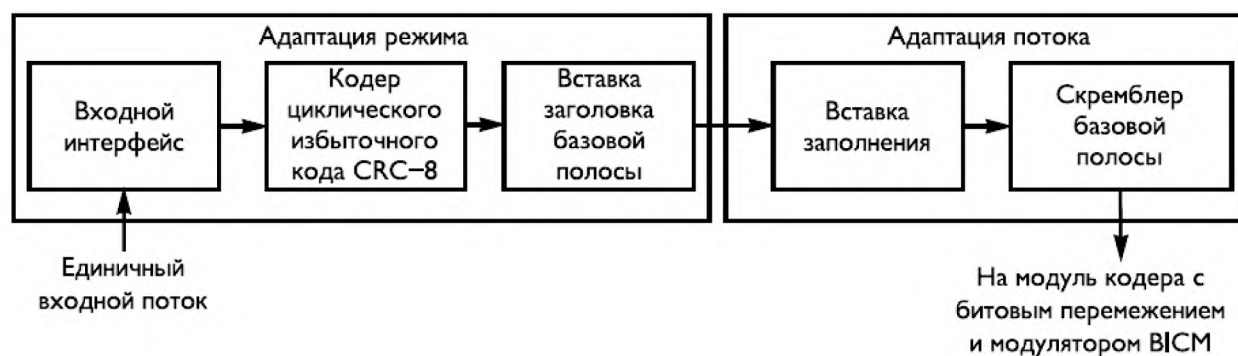


Рис. 2. Структура входного интерфейса стандарта DVB-T2

Таблица 5

Основные характеристики систем эфирного цифрового телевидения

Наименование характеристики	Система DVB-T2, ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04)	Система DVB-T ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01)
Количество несущих частот	2000, 4000, 8000, 32000	2000, 4000, 8000
1. Тип модуляции	OFDM	COFDM
2. Размерность ДПФ	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k	2k, 8k
3. Распределенные пилот-сигналы	1%, 2%, 4%, 8% от общего количества несущих частот	8% от общего количества несущих частот
5. Транспортный поток	MPEG-2 TS	MPEG-2 TS
6. Полоса пропускания, МГц	1,7; 5; 6; 7; 8; 10	6; 7; 8.
7. Постоянные пилот-сигналы	0,35% от общего количества несущих частот	2,6% от общего количества несущих частот
8. Ввод данных	MPEG-2 TS; Инкапсуляция Generic Flow (GSE)	MPEG-2 TS через ASI или IP
9. Интерфейс модулятора	T2-MI через ASI или IP	TS через ASI или IP
10. Коррекция ошибок (FEC)	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 5/6 Код LDPC (Low Density Parity CHECH) + BCH (Bose – Chaudhuri-Hocquenghem)	Сверточный код Рида-Соломона, скорость кода: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
11. Защитный интервал	1/4, 14/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
12. Длительность полезной части OFDM-символа, мкс	1024T, 2048T, 4096T, 8192T, 16384T, 32768T	1024T, 512T, 256T, 128T
13. Амплитуда постоянных пилот-сигналов	4/3 4/3 (4√2)/3	8/3 8/3 8/3
14. Модуляции несущих частот OFDM-с	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
15. Поворот сигнального созвездия, град./тип модуляции	29/QPSK; 16,8/16-QAM; 8,6/64-QAM; arctg(1/16)/256-QAM	Нет
16. Количество переданных битов на символ созвездия (для PLP I)	2, 4, 6, 8	2, 4, 6
17. Тип полезной нагрузки	GFPS, GCS, GSE, TS	MPEG-2 TS
18. Относительная скорость кодирования	2/3, 3/4, 4/5	3/4, 5/6, 7/8
19. Отношение «сигнал/шум», дБ	18,4, 20,6, 22	18,6, 20, 21,1
20. Скорость передачи, Мбит/с	40, 23, 45, 24, 48, 27	27, 14, 30, 16, 31, 67

ются наиболее универсальными, они рекомендованы ITU-R для применения во всех полосах частот, выделенных для радиовещания (диапазоны НЧ, СЧ, ВЧ, ОВЧ). Это системы DRM и IBOC HD Radio.

Основные характеристики систем ЦРВ, рекомендованных ITU-R для применения в диапазоне ОВЧ, приведены в табл. 6, а их распространение в мире – в табл. 7.

Из данных табл. 7 следует, что наибольшее распространение в настоящее время получила система DAB [6]. Она является одной из первых систем ЦРВ; стандарт европейского института по стандартизации в области телекоммуникаций ETSI (European Telecommunications Standards Institute) на эту систему появился в 1997 году.

Изначально система DAB позиционировалась разработчиками только как система цифрового радиовещания (ЦРВ), предназначенная для передачи звуковых программ разного качества, сопутствующей им информации или просто цифровых данных.

Система DAB удобна для применения в крупных мегаполисах, а также в районах с большой плотностью населения, где выгодно построение одночастотной сети. Однако это не исключает ее применения и на региональном уровне, и просто в качестве отдельно работающих радиостанций, что также предусмотрено стандартом. Позже были разработаны, а затем стандартизованы более эффективные алгоритмы компрессии цифровых аудиоданных [5, 16–19]. Они были добавлены в новую вторую версию стандарта, получившую название DAB+ [5], появившуюся в 2006 году. В частности, были добавлены алгоритмы компрессии, реализованные в коде HE-AAC v.2 стандарта MPEG-4 ISO/IEC 14496-3 [18] и в стандарте MPEG D Surround [19]. Возможность использования алгоритма компрессии MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 Layer II осталась и в этой версии стандарта на систему DAB+. Однако 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 (рис. 3).

Система DAB+ – это гораздо более гибкая технология, при её применении возможен мобильный прием на простую штыревую антенну самой разнообразной мультимедийной информации, включая и мобильное телевидение. Заметим, что последующая обработка цифровых данных субканалов в системе DAB+ не претерпела изменений по сравнению с системой DAB.

В 2009 году появилось дополнение [20] к системе DAB+, посвященное передаче видеoinформации (видеосервисов), что превращает ее уже в полноценную мультимедийную систему, ориентированную на мобильный прием программ радиовещания и телевидения (рис. 3) [6, 14].

По данным [14] регулярное вещание по системам семейства DAB/DMB ведется в 21 стране, экспериментальное вещание еще в 18 странах. 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 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.

В 2016 году появилась последняя версия стандарта на систему DAB [10].

Спецификация [19] превращает систему DAB/DAB+ по своим характеристикам в мультимедийную систему А (иначе T-DMB) [12, 20, 21]. В радиоканале шириной 1,54 МГц с использованием транс-

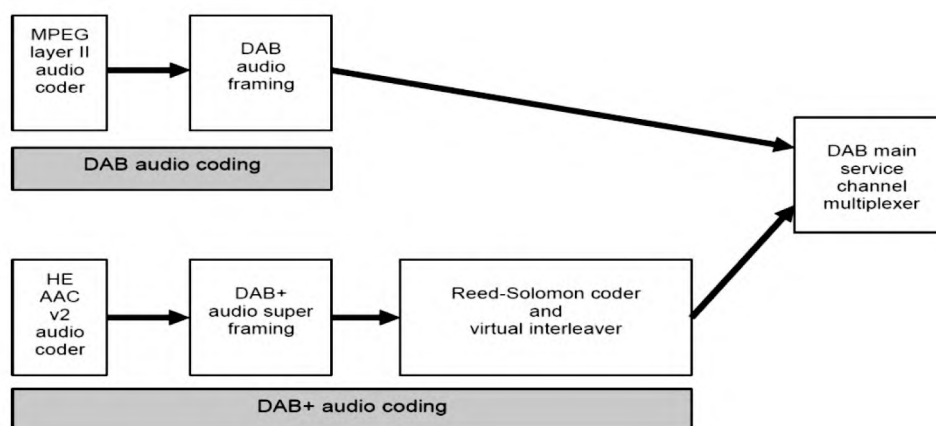


Рис. 3. К применению кодера HE-AAC v.2 в системе DAB+

Таблица 6

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

Наименование характеристики	Значение характеристики					
	T-DAB	DRM+	T-DMB	ISDB-T _{SB}	IBOC HD 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	380–418 456–1092	215, 439, 553
7. Разнос поднесущих частот, Гц	1000, 2000, 4000, 8000	444 4/9	1535, 384 192, 768	992, 1984, 3968	363,373	444 4/9
8. Величина защитного интервала	24.6%	1/9	246/TMI; 62/TMII; 31/TMIII; 123/TMIV	1/4, 1/8, 1/16 1/32	1/20	1/8
9. Скорость цифрового потока, кбит/с	576–1152	37–186	1246/TMI ; 312/TMII; 156/TMIII; 623/TMIV	280–5300	48–96	80–900

10. Стандарт кодирования аудиосигналов	MPEG-1/2 Layer II; MPEG-4 HE-AAC v.2 MPEG D Surround	MPEG-4 HE-AAC v.2 MPEG-4 xHE-AAC MPEG D Surround	MPEG-1 MPEG-2 AAC v2; MPEG Surround	MPEG-2 AAC MPEG-2 Layer 2, MPEG-2 AAC, AC-3	iBiquity HD Codec HE-AAC, Surround	H.264/AVC; MPEG-4 HE-AAC v.2, MPEG 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 7–18	–	–	–	–	–
13. Скремблирование цифровых данных	Имеется					
14. Защита от одиночных цифровых ошибок	Сверточный код, временное перемежение логических фреймов с глубиной 16 фреймов (384 мес)	Сверточное кодирование; перемежение битов; перемежение QAM ячеек	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 РС (204, 188), (Рида-Соломона).	Свёрточные коды Витерби, скорость кода 2/5	БЧХ, двоичный блочный код Бозе-Чоудури-Хоквингема, (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem multiple error correction binary block code); код LDPC, коды с малой плотностью проверок на четность (low density parity check).
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					

Распространение систем цифрового радиовещания, рекомендованных ITU-R
для применения в диапазоне ОВЧ

Состояние (статус)	Название системы цифрового радиовещания			
	DAB/DAB+	DRM/DRM+	IBOC HD RADIO FM	ISDB-T _{SB}
Регулярное радиовещание	Австралия	Австралия	США	Аргентина
	Бельгия	Дания	Аргентина	Бразилия
	Чешская Республика	Чешская Республика	Мексика	Боливия
	Дания	Тунис	Канада	Ботсвана
	Франция	Малайзия	Чешская Республика	Венесуэла
	Германия	Венгрия	Колумбия	Коста-Рика
	Гибралтар	Индия	Ямайка	Перу
	Гонконг	Канада	-	Парагвай
	Ирландия	США	-	Япония
	Италия	Эквадор	-	-
	Кувейт	Швейцария	-	-
	Мальта	Нидерланды	-	-
	Монако	Монголия	-	-
	Нидерланды	Филиппины	-	-
	Норвегия	Япония	-	-
	Польша	Н. Зеландия	-	-
	Словения	Норвегия	-	-
	Южная Корея	Корея	-	-
	Испания	Испания	-	-
	Швеция	Россия	-	-
	Швейцария	Мексика	-	-
	Великобритания	-	-	-
Экспериментальное радиовещание	Австрия	Бразилия	Китай	Уругвай
	Бахрейн	Франция	Польша	Чили
	Бруней-Даруссалам	Южная Африка	Чешская Республика	Никарагуа
	Китай	Ватикан	Сальвадор	Гондурас
	Китайский Тайбэй	Хорватия	Франция	Сальвадор
	Святейший Престол (Ватикан)	Германия	Германия	Гватемала
	Венгрия	Пакистан	Индонезия	Филиппины
	Индонезия	Ватикан	Филиппины	Шри Ланка
	Израиль	Румыния	Пуэрто-Рико	Молдова
	Латвия	Нигерия	Панама	Эквадор
	Малайзия	Белорус	Н. Зеландия	
	Монголия	-	Триндади	
	Мьянма	-	-	
	Новая Зеландия	-	-	
	Румыния	-	-	
	Словакия	-	-	
	Южная Африка	-	-	
	Таиланд	-	-	

Неопределившиеся страны	Тунис	-	-	
	Турция	-	-	
	Украина	-	-	
	Объединенные Арабские Эмираты	-	Доминиканская республика	
	Эстония	Мозамбик	-	
	Литва	Танзания	-	
	Российская Федерация	Замбия	-	
	Сербия	-	-	
	Сингапур	-	-	
	Шри Ланка	-	-	
	Вьетнам	-	-	

портных механизмов системы DAB могут быть переданы одновременно:

- несколько звуковых программ с разным уровнем качества, включая звуковые форматы 1/0, 2/0, 3/2, 5.1;
- несколько телевизионных программ с монофоническим или стереофоническим сопровождением;
- различных данных, актуальных сведений для бизнесменов, подвижных и неподвижных изображений, текстовой и графической информации и пр.

Система Digital Radio Mondiale (DRM, цифровое всемирное радио) – многофункциональная система цифрового радиовещания – была впервые стандартизована ETSI в 2001 году [8]. Она вначале 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 [14], в которой диапазон рабочих частот был расширен до частоты 240 МГц. В этой версии стандарта добавлен режим работы E, сама версия системы при работе в этом режиме в ряде публикаций получила название DRM+. В январе 2014 года была опубликована последняя версия данного стандарта (данные сайтов: www.itu.int, www.drm.org, www.dibeg.org).

К сожалению, пока нет массового производства приемников данного формата, распространение этой системы в мире идет гораздо более медленными темпами, но все же и здесь число стран, ориентирующихся на ее применение, достаточно велико (табл. 7). Особенно это актуально для стран с большой территорией и малой плотностью населения.

Что же касается стран Северной и Южной Америки, то в ряде них распространение получает американская система IBOC HD Radio (табл. 7).

Заключение

1. Все рекомендуемые ITU-R для применения в телевидении и радиовещании цифровые системы

имеют общие особенности в обработке и передаче цифровых данных изображения и звука, к числу которых следует отнести: компрессию цифровых данных, помехоустойчивое кодирование на уровне аудио и видеофрейма, рандомизацию цифровых данных, что необходимо для более равномерного распределения энергии сигнала в полосе частот радиоканала, канальное кодирование с разным уровнем защиты отдельных частей цифровых потоков, временное перемежение цифровых данных, перемежение по частоте ячеек модуляции при формировании OFDM-символов; многочастотную модуляцию OFDM или COFDM, но с отличающимися параметрами. Именно различие в этих деталях и определяет в конечном итоге их эффективность и выбор стран для применения. Немаловажную роль при этом играет и коммерческий фактор: доступность оборудования, его стоимость, успехи на рынке информационных технологий, политические аспекты.

2. Анализ публикаций отдельных авторов, отчетов и рекомендаций ITU-R свидетельствует, что в мире активно продвигаются две платформы цифровых технологий телевидения и радиовещания: европейская (системы DVB-T, DVB-T2, DAB, DRM) и американская (системы ISDB-TSB, IBOC HD Radio AM, IBOC HD Radio FM). Все же наибольшее число стран ориентируется на европейскую платформу цифрового ЦТРВ.

3. Наибольшее распространение в мире получают системы DVB-T2 и DAB, 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.

Литература

1. Дворкович, В. П. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) / В.П. Дворкович, А.В. Дворкович. – М.: Техносфера, 2012. – 1008 с.

2. Rep. ITU-R BT.2043 (2004) Television systems used in different countries/geographical areas.
3. ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04). Digital Audio Broadcasting (DVB); frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).
4. Специальный отчет о переходе на цифровое радиовещание [Электронный ресурс] // Новости-МСЭ. – 2015. – № 2. – Режим доступа: <https://itunews.itu.int/ru/Note.aspx?Note=5835>, свободный. – Загл. с экрана.
5. ETSI ETS 300401. Radio Broadcasting System; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers, May 1997.
6. Кацнельсон, Л. Н. Системы звукового и мультимедийного цифрового радиовещания: научно-техническое издание / Л.Н. Кацнельсон. – СПб.: Линк, 2011. – 348 с.
7. ETSI EN 300 401 V1.4.1 (2006-01). Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers.
8. ETSI ES 201 980 V3.2.1 (2012-06). Digital Radio Mondiale (DRM) system Specification.
9. National radio systems committee, NRSC-5-C, In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard, September, 2011.
10. ETSI EN 300 401 V2.1.1 (2016-10). Radio Broadcasting System; Digital Audio Broadcasting to mobile, portable and fixed receivers.
11. ETSI TS 102 428 V1.2.1 (2009-04). Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User application specification.
12. ETSI TS 102 427 V.1.1.1(2005-07) Digital Audio Broadcasting (DAB); Data Broadcasting - MPEG-2 TS streaming.
13. Смирнов, А. В. Цифровое телевидение (от теории и к практике) / А.В. Смирнов., Пескин А.Е. – М.: Техносфера, 2011. – 352 с.
14. Кацнельсон, Л. Н. Системы цифрового радиовещания DAB, DAB+, DMB. Современное состояние / Л.Н. Кацнельсон // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. – 2015. – № 1. – С. 25.
15. ISO/IEC 13818-3:1998. Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information. Part 3: Audio.
16. International Standard ISO/IEC 13818-7. Information technology – Generic coding of pictures and associated audio information. Part 7: Advanced Audio Coding (AAC), 1997 (E).
17. 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, N2203).
18. ISO/IEC 23003-1:2007, "Information Technology – MPEG Audio Technologies. Part 1: MPEG Surround," International Standards Organization, Geneva, Switzerland (2007).
19. ETSI TS 102 428 V1.2.1 (2009-04). Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User application specification.
20. Рекомендация МСЭ-R (02/2014). Радиовещание для приема на подвижные портативные приемники сигналов мультимедийных применений и применений передачи данных.
21. Report ITU-R BT.2049-7 (02/2016). Broadcasting of multimedia and data applications for mobile reception.
22. Рекомендация МСЭ-RBS.1114-6(1994-1995-2001-2002-2003-2004-2007). Системы наземного цифрового звукового радиовещания на автомобильные, переносные и стационарные приемники в диапазоне частот 30–3000 МГц.
23. Рекомендация МСЭ-R BS.1660-6 (08/2012). Техническая основа для планирования наземного цифрового звукового радиовещания в полосе ОВЧ.
24. ГОСТ Р 54309–2011. Аудиовизуальная информационная система реального времени (РАВИС). Процессы формирования кадровой структуры, канального кодирования и модуляции для системы цифрового наземного узкополосного радиовещания в ОВЧ диапазоне. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 39 с.
25. Report ITU-R BT.2140-7 (04/2014) Transition from analogue to digital terrestrial broadcasting.
26. ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01) Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.