

УДК 004.421, 004.932

## «ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА», МИРОВАЯ ПРАКТИКА РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В РОССИИ

*Дворкович А.В., д.т.н., чл.-корр. РАН, директор физтех-школы радиотехники и компьютерных технологий МФТИ, e-mail: dvork-alex@yandex.ru;*

*Дворкович В.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой мультимедийных технологий и телекоммуникаций МФТИ, e-mail: v.dvorkovich@mail.ru;*

*Седова М.А., директор по развитию и внедрению системы РАВИС, e-mail: sedovamarina2017@yandex.ru.*

## «DIGITAL ECONOMY», WORLDWIDE PRACTICE OF THE DEVELOPMENT OF HIGHLY EFFICIENT DIGITAL TV AND RADIO BROADCASTING SYSTEMS AND THE PROBLEMS OF ITS IMPLEMENTATION IN RUSSIA

*Dvorkovich A.V., Dvorkovich V.P., Sedova M.A.*

*Digital information technologies under wide use and implementation should provide the high efficiency of «digital economy» utilization, that actualizes the modern trends of TV and radio broadcasting and communication. The variants of highly efficient digital TV and sound broadcasting and videoconferencing development based on the latest advances in multimedia coding and transmission technology have been analyzed. The results of the new broadcasting systems development allow to state positively about the possibilities of principal change of the information presentation quality. Broadcasting systems don't realize such functional possibilities up to now. Taking into account these world achievements, it should be mentioned that they are not deployed in Russia. Insufficient attention is paid to the implementation of digital TV technologies of standard and high definition, deployment of national broadcasting systems that provide sharp increase of radio spectrum usage efficiency, etc.*

**Key words:** digital economy, digital TV and radio broadcasting, videoconferencing, multimedia encoding, quality of service QoS, quality of experience QoE.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, цифровое телерадиовещание, видеоконференцсвязь, кодирование мультимедиа, качество сервиса QoS, качество восприятия QoE.

### Введение

Стратегическая важность реализации «Цифровой экономики» в России отражена в Указе Президента РФ Путина В.В. № 203 от 09.05.2017 [1] и в Программе «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28.07.2017 [2].

Широко применяемые и внедряемые в настоящее время технологии используют широкополосные ресурсы гигагерцового диапазона частот и могут применяться только в больших городах, поскольку не обеспечивают качественное функционирование системы на огромных территориях РФ.

Из Указа Президента РФ Путина В.В. № 203 необходимо выделить следующие основные аспекты, имеющие непосредственное отношение к реализации «Цифровой экономики»:

– «Принять меры поддержки **традиционных** средств распространения информации, и в первую очередь – **радио** на всей территории РФ».

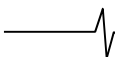
– Все Интернет-технологии таковыми не являются. Радио всегда было для большинства населения тради-

*Широко применяемые и внедряемые цифровые информационные технологии должны обеспечить высокую эффективность использования «цифровой экономики», реализующей современные тенденции радиотелевизионного вещания и связи. Проведен анализ работ по развитию вариантов высокоэффективных систем цифрового телевизионного и звукового радиовещания и видеоконференцсвязи, разработки которых основаны на использовании последних мировых достижений технологий кодирования и передачи мультимедийного контента. Результаты создания новых вариантов систем телерадиовещания позволяют с уверенностью сказать о возможностях принципиального изменения качества воспроизводимой информации. До настоящего времени эти системы не обеспечивали таких функциональных возможностей. Учитывая эти новые мировые достижения, следует отметить, что они не реализуются в России, где недостаточно внимания уделяется внедрению даже цифровых технологий телевидения стандартной и высокой четкости, реализации отечественных разработок телерадиовещания, обеспечивающих резкое повышение эффективности использования частотно-го пространства, и др.*

ционным, любимым и бесплатным сервисом. Интернет-технологии и технологии мобильной связи для доставки мультимедийного контента таковыми не являются.

– «Обеспечить насыщение рынка доступными, качественными и легальными сервисами российского производства».

– «**Ключевым направлением** повышения конкурентоспособности отечественных информационных техно-



логий является **радиотехника** и внедрение отечественных информационных технологий, формирование представления о внедрении инноваций как о **приоритетном пути технологического развития**».

Указ № 203 подчеркивает необходимость: «...развивать различные образовательные технологии, в том числе дистанционные, при реализации образовательных программ», «создать различные технологические платформы для дистанционного обучения в целях повышения доступности качественных образовательных услуг».

Кроме того, рекомендуется «стимулировать фундаментальные и прикладные научные исследования в сфере информационных технологий, выполняемых научно-техническими организациями, а также разработку высокотехнологического оборудования в этой сфере».

Указ Президента РФ Путина В.В. № 203 требует «осуществить интеграцию российских стандартов в сфере информационных технологий в соответствующие международные стандарты».

Непосредственное отношение к проблемам реализации «Цифровой экономики» имеет также Указ Президента РФ Путина В.В. № 208 от 13.05.2017 [3], который указывает на одну из основных угроз экономической безопасности – «стремление развитых государств использовать свои преимущества в уровне развития экономики, высоких технологий, в том числе информационных, в качестве инструмента глобальной конкуренции».

Внедрение отечественных информационных технологий должно создать противодействие этим угрозам и защищать национальные интересы, поскольку имеет место «слабая инновационная активность, отставание в области разработки и внедрения новых и перспективных технологий, в том числе технологий цифровой экономики в условиях, когда уже существующие Интернет-технологии не работают или неэффективны технически или экономически, например, в удаленных и труднодоступных районах».

Мы гордимся работами выдающихся ученых России и Советского Союза по созданию систем радио и телевидения. Всех этих уникальных ученых не перечислить, но всем специалистам известны имена А.С. Попова, Б.Л. Розинга, И.Л. Зворыкина, Г.В. Брауде, С.В. Новаковского, С.И. Катаева, П.В. Шмакова и многих, многих других [4, 5].

С сожалением можно утверждать, что в последние годы участие отечественных ученых в развитии цифрового телерадиовещания следует считать незначительным.

Во всем мире активно ведутся работы по развитию новых вариантов систем телевизионного вещания, обеспечивающих повышение качества передаваемой информации и зрительского восприятия. К этим работам относятся технологии телевидения ультравысокой четкости (ТУВЧ), расширенного динамического диапазона (HDR), повышенной скорости передачи и воспроизведения кадров видеoinформации (HFR), многоканального звукового сопровождения с эффектом погружения и пр.

Такие технологии обеспечивают зрителю более широкий диапазон цветов и яркостей, более плавные движения деталей изображения без мельканий, более

естественный звук и т.д., создавая эффект вовлечения зрителя в демонстрируемую сцену.

Выбранные на диаграмме МКО точки основных цветов определяют цветовую модель RGB:  $R_1G_1B_1$  и белый цвет  $C$  определяют исходную цветность системы приемника стандарта NTSC;  $R_2G_2B_2$  и белый цвет  $D_{65}$  соответствуют исходной цветности систем приемников стандартов PAL и SECAM;  $R_3G_3B_3$  и белый цвет  $D_{65}$  характеризуют цветности приемников HDTV (рис. 1).

Каждый элемент (пиксел), представленный с помощью трех основных цветов RGB, определяется 24 битами (по 8 бит на красную, зеленую и синюю составляющие) для стандартного ТВ или 36 битами для HDTV/UHDTV (4K или 8K).

В табл. 1 даны координаты основных цветов систем цветного и цифрового телевидения [6].

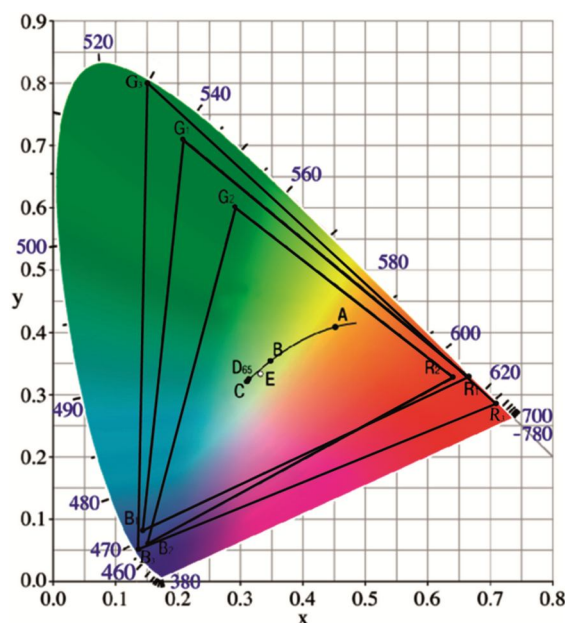


Рис. 1. Таблица цветностей МКО

Таблица 1. Координаты RGB цветов аналоговых и цифровых систем телевидения

Основные цвета	Системы телевизионного вещания					
	NTSC		PAL/SECAM		UHDTV	
	x	y	x	y	x	y
Красный R	0,67	0,33	0,64	0,33	0,708	0,292
Зеленый G	0,21	0,71	0,29	0,60	0,170	0,797
Синий B	0,14	0,08	0,15	0,06	0,131	0,046
Белый	0,310	0,316	0,313	0,329	0,3127	0,3290

На рис. 2 приведены варианты используемых яркостей воспроизводимых изображений (под рисунком приведены типы некоторых дисплеев) [7]. Как следует из этого рисунка, дисплеи стандартного ТВ обеспечивают изменение яркостей от 0,1 до 100 кд/м<sup>2</sup>. Последние же реализации дисплеев (Dolby Research YDR Display) увеличивают этот диапазон в сотни раз (от 0,005 до 20 000).

На рис. 3 приведены варианты многоканального звукового сопровождения телевидения [8].

Ниже приведена таблица отключений аналогового вещания в Европе за 2015 год, где указано, что практически все страны выполнили эту задачу, за исключением Украины [9]. Только Россия определена пустой графой в табл. 2.

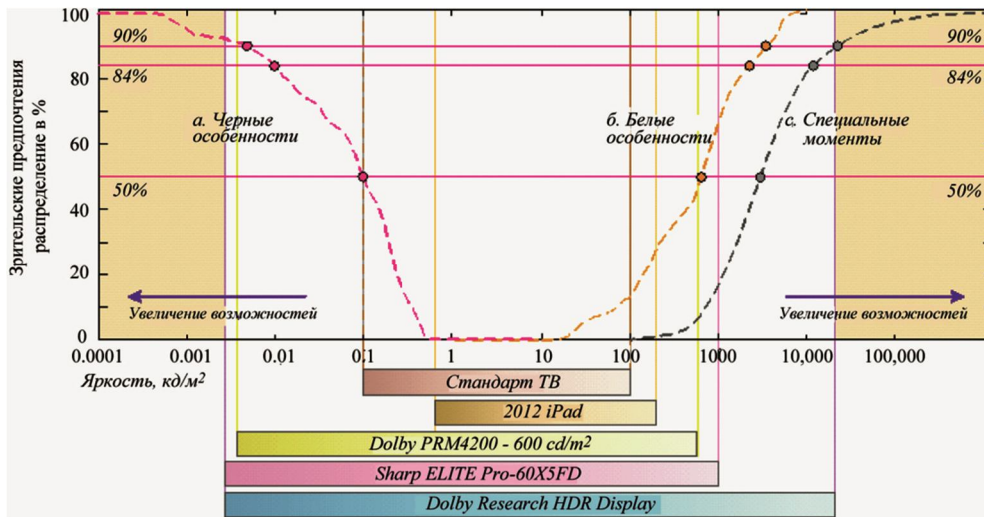


Рис. 2. Варианты используемых яркостей ТВ изображений (от стандартного ТВ до HDR)

Звуковая система	Высший слой	Средний слой	Нижний слой
<b>H(9+10+3)</b>	TrFL, TrFC, TrFR, TrBC, TrBL, TrBR, TrBS	FL, FC, FR, BL, BC, BR	LFE1, LFE2, LFE3
Высший слой 3/3/3 (ТОН)	TrFL, TrFC, TrFR, TrBC, TrBL, TrBR, TrBS	FL, FC, FR, BL, BC, BR	LFE1, LFE2, LFE3
Средний слой 5/2/3	TrFL, TrFC, TrFR, TrBC, TrBL, TrBR, TrBS	FL, FC, FR, BL, BC, BR	LFE1, LFE2, LFE3
Нижний слой 3/0/0.2	TrFL, TrFC, TrFR, TrBC, TrBL, TrBR, TrBS	FL, FC, FR, BL, BC, BR	LFE1, LFE2, LFE3
<b>G(4+9+0)</b>	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1
Высший слой 2/0/2	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1
Средний слой 5/2/2	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1
Нижний слой 0.0/0.1	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1
<b>F(3+7+0)</b>	LH, LH, LH, LH, LH, LH, LH	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1, LFE2
Высший слой 2/0/1	LH, LH, LH, LH, LH, LH, LH	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1, LFE2
Средний слой 3/2/2	LH, LH, LH, LH, LH, LH, LH	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1, LFE2
Нижний слой 0/0/0.2	LH, LH, LH, LH, LH, LH, LH	LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1, LFE2
<b>V(0+5+0)</b>		LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1
Высший слой 0/0/0		LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1
Средний слой 3/0/2		LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1
Нижний слой 0/0/0.1		LcL, LcR, LcC, LcS, LcB, LcD	LFE1

Рис. 3. Различные стандарты звукового сопровождения телевидения

После 17 июня 2015 года не обеспечивается защита от помех для службы аналогового ТВ вещания соседних стран, что создает существенные сложности для ТВ вещания по всей протяженности границ России.

В табл. 3 приведен процент охвата населения цифровым телевидением в некоторых странах [10]. В табл. 4 приводятся ориентировочные годы завершения аналогового телевизионного вещания в ряде стран (приведенная для России дата была бы успехом полного перехода в России на цифровое телевидение) [10].

Следует заметить, что в России уже принят 51 государственный стандарт по цифровому вещанию (1 – в 2004 г., 3 – в 2012 г., 6 – в 2011 г., по 7 – в 2015 и 2016 г.г., по 8 – в 2011 и 2013 г.г. и 11 – 2014 г.), однако, в основном, они ориентированы на документы ISO, ITU, ETSI, их качество оставляет желать лучшего.

Некоторые ГОСТы предполагают использование стандартов, не предусмотренных для внедрения в Рос-

сии (например, DVB-H). В то же самое время не проводятся мероприятия по внедрению рассмотренных выше новейших технологий. По этой причине не следует удивляться тому, что аналоговое телевидение в России существует до сих пор.

Таблица 2. Даты официального перехода на цифровой формат в Европе

Страна	Дата запуска	Формат компрессии	Факт завершения
Великобритания	1998	MPEG-2	Завершено
Швеция	1999	MPEG-2	Завершено
Испания	2000/2005	MPEG-2	Завершено
Финляндия	2001	MPEG-2	Завершено
Швейцария	2001	MPEG-2	Завершено
Германия	2002	MPEG-2	Завершено
Бельгия	2002	MPEG-2	Завершено
Нидерланды	2003	MPEG-2	Завершено
Италия	2004	MPEG-2	Завершено
Франция	2005	MPEG-2 / MPEG-4 AVC	Завершено
Чехия	2005	MPEG-2	Завершено
Дания	2006	MPEG-2 /MPEG-4 AVC	Завершено
Эстония	2006	MPEG-4 AVC	Завершено
Австрия	2006	MPEG-2	Завершено
Словения	2006	MPEG-4 AVC	Завершено
Норвегия	2007	MPEG-4 AVC	Завершено
Литва	2008	MPEG-4 AVC	Завершено
Венгрия	2008	MPEG-4 AVC	Завершено
Украина	2008	MPEG-4 AVC	2014
Латвия	2009	MPEG-4 AVC	Завершено
Португалия	2009	MPEG-4 AVC	Завершено
Хорватия	2009	MPEG-2	Завершено
Польша	2009	MPEG-4 AVC	Завершено
Словакия	2009	MPEG-2	Завершено
Ирландия	2011	MPEG-4 AVC	Завершено
Россия	2012	MPEG-4 AVC	

Изменения систем телевизионного вещания связаны с реализацией лучших проектов цифрового телевидения. Так, в этом году в Германии запланирована так называемая «вторая цифровая трансформация» – переход от вещания DVB-T с кодированием видео по стандарту H.264 к DVB-T2 с кодированием видео H.265.

Таблица 3. Процент охвата населения цифровым телевидением

Страна	Процент охвата населения
Германия	90 %
Гонконг	99 %
Япония	95 %
Кения	58 %
Малайзия	98 %
Намибия	70 %
Сенегал	90 %
ЮАР	88 %
Испания	98 %
Танзания	25 %
Таиланд	95 %
Великобритания	98,5 %

Таблица 4. Даты перехода на цифровое телевидение в ряде стран (включая Россию)

Страна	Дата перехода
Австралия	2013
Финляндия	2007
Франция	2011
Германия	2008
Гана	2017
Индонезия	2018
Италия	2012
Япония	2011
Кения	2015
Малайзия	2020
Маврикий	2013
Намибия	2015
Нидерланды	2006
Нигерия	2016
Польша	2013
Россия	2018
Руанда	2014
ЮАР	2017
Южная Корея	2012
Испания	2010
Тайвань	2012
Танзания	2014
Таиланд	2020
Уганда	2015
Великобритания	2012
США	2009
Вьетнам	2020

В Китае внедряется принятый в 2006 году стандарт DTMB [11]. Разработан усовершенствованный вариант стандарта DTMB-A [12], несовместимый с DTMB. Его внедрение пока не запланировано.

Стандарт DTMB-A использует несколько передовых технологий канального кодирования и кадровой структуры, которые обеспечивают быструю синхронизацию, высокую чувствительность приема, повышенную устойчивость при многолучевом приеме, высокую спектральную эффективность и гибкость для будущих расширений стандарта. Полоса OFDM сигнала составляет 7,56 МГц в стандартном режиме и 70/9 МГц в расширенном режиме.

Система DTMB-A поддерживает двухантенную разнесенную передачу. Доступные скорости передачи данных варьируются в диапазоне от 5 до 50 Мбит/с для полосы 7,56 МГц.

Лабораторные и полевые испытания подтвердили превосходную производительность системы как при

фиксированном, так и при мобильном приеме в сложных условиях передачи.

Решение некоторых проблем эффективной обработки изображений HDTV в России изложено в энциклопедических трудах [13, 14], дополненных теоретическими исследованиями по применению многоканальных и комбинированных вейвлет-фильтров [15].

Для повышения эффективности преобразования изображений предложено производить разделение сигналов при помощи трехполосных, четырехполосных или пятиполосных фильтров и последующим дополнительным вейвлет-преобразованием отдельных высокочастотных областей.

В этом случае вейвлет-преобразование выполняется по стандартной схеме: сначала преобразованию подвергаются все строки изображения, в результате чего формируются 3-5 областей, затем такое же преобразование применяется ко всем столбцам полученных коэффициентов, в результате чего создается 9-25 областей. Затем производятся дополнительные преобразования отдельных высокочастотных областей с другими вейвлет-фильтрами [15].

На рис. 4 приведено преобразование изображения на 25 областей с использованием пятиполосного вейвлет-фильтра (рис. 5).

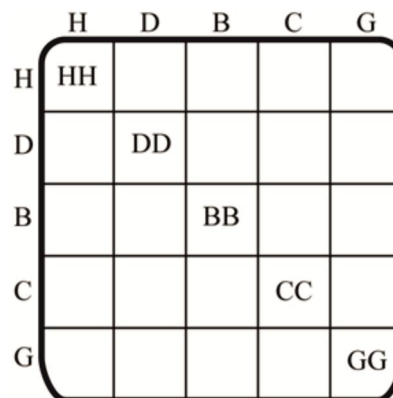


Рис. 4. Разбиение изображения на 25 поддиапазонов

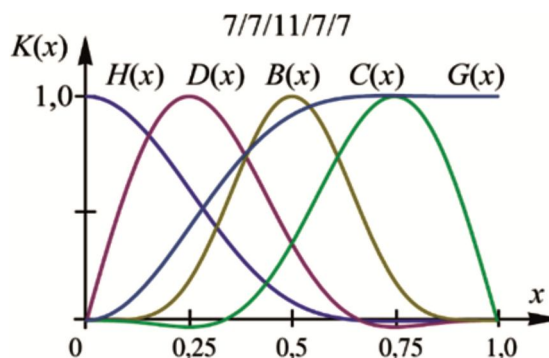


Рис. 5. Пятиполосный вейвлет-фильтр

Если учесть, что объем преобразованного в цифровой формат изображения сверхвысокой четкости составляет порядка 70 Гбит, то каждая область преобразованного изображения исходно имеет в среднем объеме менее 3 Гбит, а дискретное преобразование и квантование каждой из 25 областей позволяет дополнительно уменьшить эту информацию в среднем не менее, чем в 100 раз. Следовательно, объем цифровой информации

каждой из областей составит в среднем порядка 30 Мбит. К тому же следует заметить, что такие преобразования могут эффективно осуществляться многопроцессорными системами.

На рис. 6 приведено изображение, преобразованное комплексными вейвлет-фильтрами на 16 поддиапазнов с применением трехполосного вейвлет-фильтра (рис. 7) и последующим разбиением ряда областей стандартным двухполосным вейвлет-фильтром.

HH		BHH		GHH
		BHG		GHG
HVH	HVG	BBHH	BBGH	GV
		BBHG	BBGG	
HGH	HGG	VG		GG

Рис. 6. Разбиение изображения на 16 областей

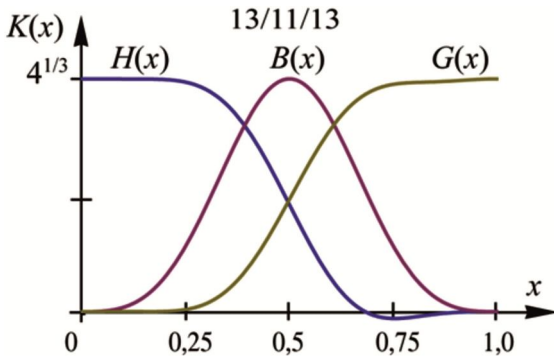


Рис. 7. Трехполосный вейвлет-фильтр

На рис. 8 в качестве примера приведено преобразованное на 16 поддиапазнов эталонное изображение «Залив». Анализируя это преобразованное изображение, можно заметить, что в среднечастотных и высокочастотных областях остается малый объем информации.

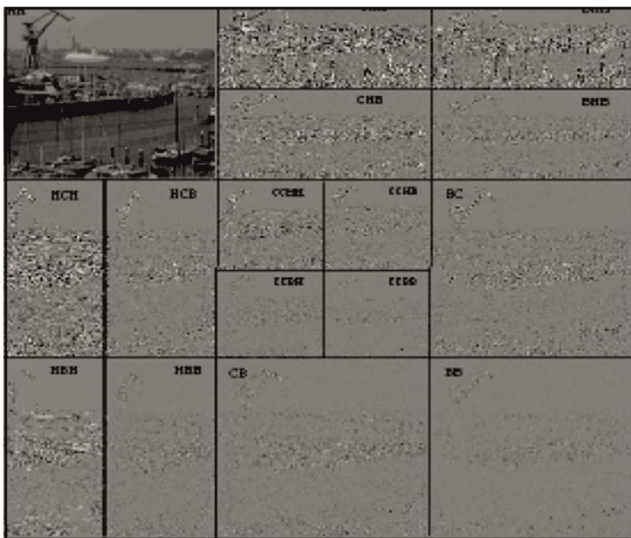


Рис. 8. Разбиение изображения «Залив» с применением комбинированных вейвлет-преобразований

На рис. 9 и 10 приводятся варианты обработки динамических изображений с использованием трехполосного трехуровневого преобразования поддиапазона HH. В данном случае изображение низкочастотной составляющей уменьшается по сравнению с исходным изображением в  $9 \times 9 = 729$  раз.

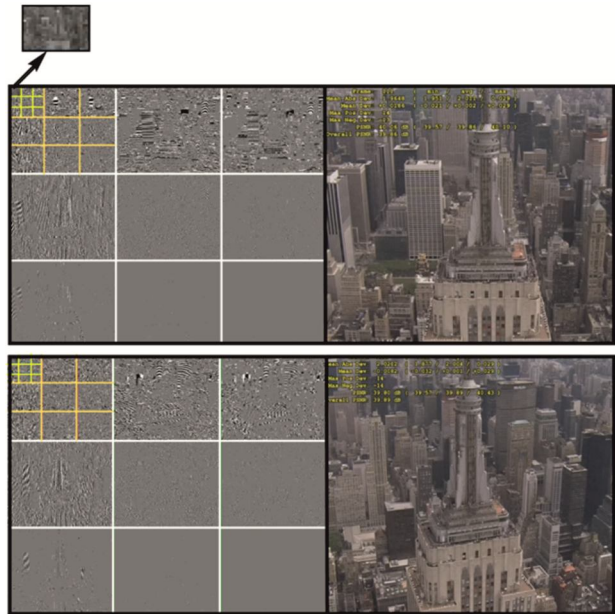


Рис. 9. Динамическое изображение «Город»

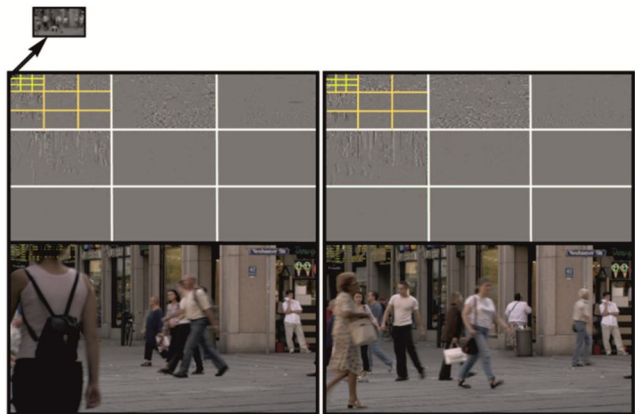


Рис. 10. Динамическое изображение «Движение в городе»

Постепенно происходит и внедрение цифрового звукового вещания, которое в настоящее время предусматривает формирование и передачу в I-III ОВЧ диапазонах мультимедийной информации, содержащей кроме трансляции стереофонического звукового вещания различного качества также передачу статических и динамических видеосигналов и других дополнительных цифровых данных.

В табл. 5 приведены основные характеристики четырех стандартов цифрового радио, внедряемых в ряде стран [16].

В системе DAB в едином мультиплексе (1,536 МГц) передается 6 основных программ, а также дополнительные данные, связанные с программами. Стереофонический звук MPEG Layer II со скоростью потока 192-256 кбит/с обеспечивает высокое качество, а со скоростью 128 кбит/с – нормальное качество. Услуги данных – текст, рисунки, web, радиогид, сообщения, информация о потоке. На рынке имеется более 350 моделей приемников, начиная от 25 \$.

Таблица 5. Основные характеристики систем цифрового радио

Характеристики	DAB/T-DMB/AT-DMB	HD Radio	DRM+	РАВИС
Полосы частот (МГц)	VHF III (174-230)	VHF II (87,5-108)	VHF I-III (47-230)	VHF I, II (66-74, 87,5-108)
Ширина канала	1,712 МГц	400 кГц	100 кГц	250/200/100 кГц
Передача данных	0,576-1,728 Мбит/с DMB: 0,864-2,304 Мбит/с	147-294 кбит/с	37-186 кбит/с	196-888/155-703/75-341 кбит/с
Спектральная эффективность, бит/с/Гц	DAB/DMB: 0,38-1,13 AT-DMB: 0,56-1,88	0,55-4,1	0,39-1,9	0,77-3,64
Данные, тип сервиса	Аудио, данные T-DMB, AT-DMB: видео	Аудио, данные	Аудио, данные	Видео, аудио, данные
Количество несущих	192/384/768/1536	25-27/38-191	213	553/439/215
Длительность сегмента	156/312/623/1246 мкс	5,504/2,752 мс	2,25 мс	2,25 мс
Метод модуляции	4-DQPSK	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	4-QAM, 16-QAM	4-QAM, 16-QAM, 64-QAM
Канальное кодирование	Сверточный код (1/4-3/4)+ +турбокод (1/4-1/2), RS(204,188,8)	Сверточный код (2/11-5/6), RS(255,191,32)	Сверточный материнский код 1/6, 7 уровней	LDPC + BCH 1/2, 2/3, 3/4

DAB+ использует метод компрессии звука HE-AAC v2, мультиплекс включает от 12 до 18 каналов; скорость потока 64 кбит/с обеспечивает стереозвук хорошего качества, 48 кбит/с – нормального качества. Имеются несколько типов приемников и доступные чипсеты. Этот вариант стандарта внедряется в ряде стран в Европе и в Австралии. Норвегия полностью перешла на цифру в 2017 г.

T-DMB – мультимедийное радиовещание, использует стандарт H.264/AVC для кодирования видео и BSAC или HE-AAC v2 для звука. Обеспечивается передача 4 каналов со скоростью до 256 кбит/с. Имеется около 150 моделей приемников. Главным образом используется в Южной Корее.

HD Radio – метод передачи цифровых радиовещательных сигналов одновременно с традиционным радиовещательным сигналом (технология IBOC, 397,2 кГц). Активно применяется в США и Канаде. В ОВЧ диапазоне работает несколько тысяч радиостанций, все новые автомобили оснащаются приемниками, принимающими HDRadio. Фирма iBiquity (владелец торговой марки HD Radio и технологии IBOC) предпринимает большие усилия по распространению своей системы в мире много лет, но пока их усилия тщетны.

DRM+ – это расширение стандарта DRM30 на ОВЧ-диапазоны частот. DRM+ использует логическую структуру стандарта DRM, изменены только параметры OFDM модуляции для ширины полосы 96 кГц. Способ кодирования аудиоинформации – xHE-AAC.

DRM+ поддерживает скорость передачи данных от 40 до 186 кбит/с. В мультиплексе могут передаваться до 4 программ, например, возможна передача 2 музыкальных программ со скоростью 64 кбит/с и передача двух речевых программ или дополнительных данных со скоростью 24 кбит/с.

В формате DRM+ при модуляции 16-QAM мощность передатчика цифрового сигнала может быть на 12 дБ меньше мощности передатчика ЧМ сигнала при одинаковой зоне охвата. При QPSK модуляции разница мощности может составлять до 20 дБ. Регулярное вещание DRM+ не ведется.

Эксперименты по вещанию DRM+ проводились во многих странах мира, например, в Великобритании, Франции, Италии, Бразилии, Индии и др. В настоящее время имеется несколько вариантов коммерческих приемников.

*РАВИС – единственное инновационное предложение России в телекоммуникационной сфере.*

Принцип создания отечественной системы цифрового телерадиовещания РАВИС был обоснован патентами РФ на телерадиовещание через узкополосный канал связи [17, 18].

Основные преимущества системы РАВИС отражены в отечественных стандартах [19-23] и документах международных организаций [16, 24, 25], характеризующих международное признание системы. Система РАВИС обеспечивает:

- повышение эффективности использования диапазона ОВЧ (более чем в 10 раз);
- повышение качества звукового вещания, введение новых мультимедийных сервисов, в том числе видео;
- организацию системы локального и общероссийского оповещения;
- существенное снижение энергопотребления эфирного вещания;
- создание единой системы мобильного вещания при сохранении частотных распределений (не реализуется ни одной ТВ системой);
- организацию местного телевидения или радиовещания в малых городах и поселках, возможность работы без мультиплекса;
- реализацию высокоэффективных систем специального применения;
- интегрирование России в общемировую систему цифровых телекоммуникаций на базе российского стандарта и взаимодействие с другими стандартами радиовещания.

В сравнении с действующими системами цифрового радиовещания DAB/T-DMB/AT-DMB, HD Radio и DRM+, система РАВИС строго соответствует установленным в России частотным характеристикам и имеет существенные как технические, так и экономические преимущества.

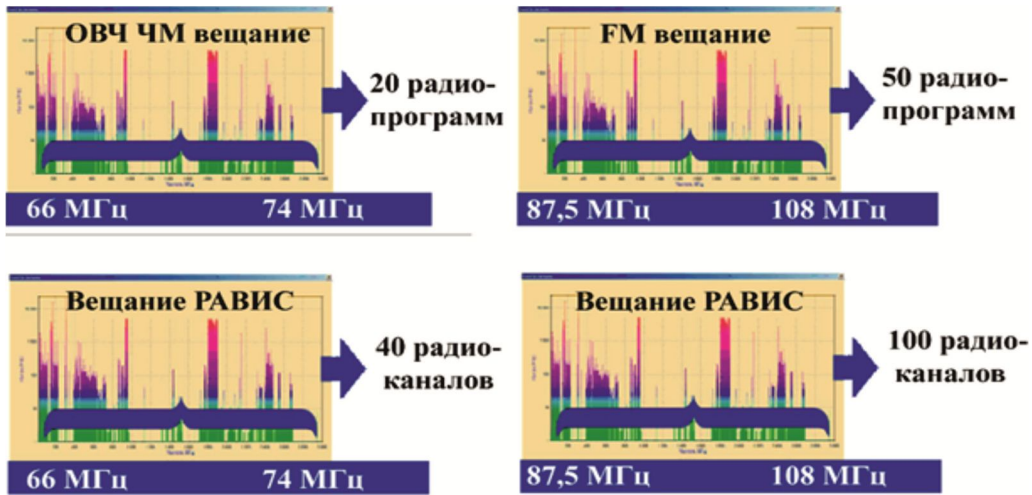


Рис. 11. Спектральная эффективность применения системы RAVIS

Рис. 11. иллюстрирует повышение эффективности использования частотного спектра. В одном радиоканале системы RAVIS может передаваться 10-20 стереофонических звуковых программ, либо до 8 многоканальных (5.1) звуковых программ, либо видеопрограмма и до 6 звуковых стереопрограмм.

На рис. 12 и 13 приведены примеры реализации одночастотных сетей в городе и вдоль железных и шоссейных дорог.

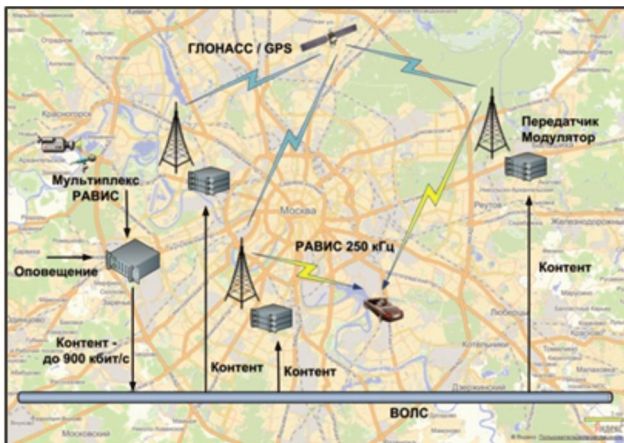


Рис. 12. Пример одночастотной сети с доставкой контента по кабельной сети

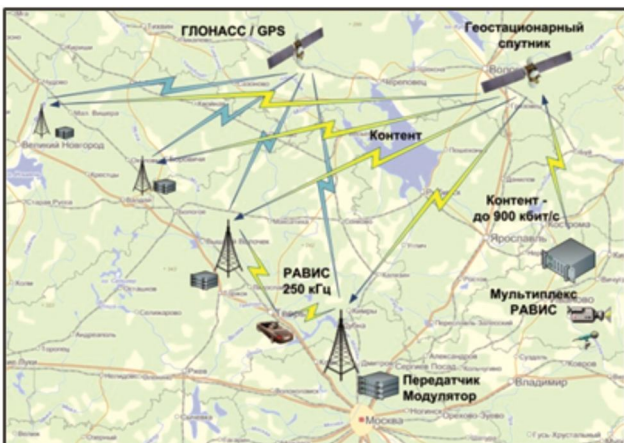


Рис. 13. Пример одночастотной сети с доставкой контента через спутник

Рис. 14 и 15 иллюстрируют работу системы RAVIS при фиксированном и мобильном варианте приема.

Разработка модели отечественной цифровой системы проводилась в 2003-2005 г.г. из средств Российского фонда технологического развития (РФТР).

В результате, осенью 2005 г. появились первые публикации в журналах, а в феврале 2006 г. – первые вклады России в МСЭ, после чего, по просьбе председателя консорциума DRM летом 2006 г. был сделан доклад на Техническом комитете DRM. Эти события совпадают по времени с началом активной разработки «конкурирующей» системы DRM+, более узкополосной и менее эффективной.

Работа по развитию системы RAVIS была положительно оценена в газете Россия № 1 от 17 января 2008 г.

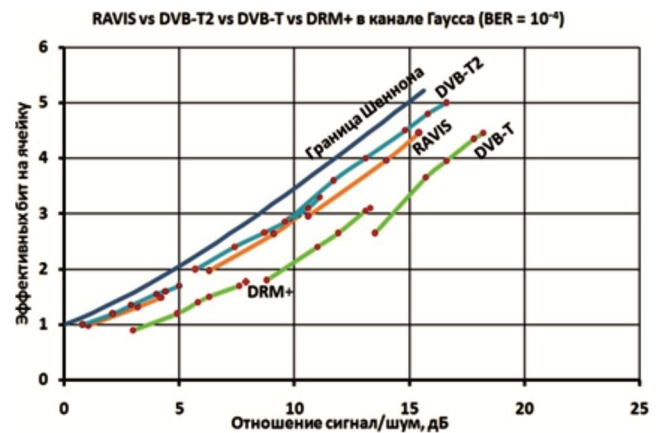


Рис. 14. Сравнение систем RAVIS, DVB-T, DVB-T2 и DRM+

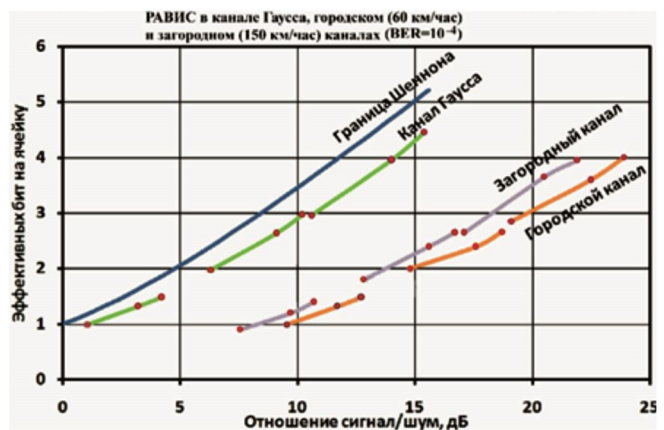


Рис. 15. Эффективность системы RAVIS при мобильном приеме

К сожалению, в то время «Министерство информатизации и связи России... не обеспечивало финансирование внедрения тех или иных разработок...».

Далее продолжение НИР осуществлялось в 2008-2009 г.г. по контракту с Федеральным Агентством по науке и инновациям. Работа была высоко оценена Заказчиком, было предложено подать документы для последующей реализации в рамках НИОКР. Однако, реализация этого предложения оказалась невозможна из-за ликвидации этого Федерального Агентства.

Международный симпозиум по цифровому радиовещанию (октябрь 2009 г.) принял Меморандум об объединении внедрения RABIS и DRM+, но консорциум DRM в дальнейшем от этих планов отказался.

19 августа 2009 г. ГКРЧ выделила частоты для организации тестовых испытаний системы RABIS, и такие испытания были проведены в Москве и Сочи. Результаты показали высокую эффективность системы, и в 2010 г., по докладу о результатах испытаний, ГКРЧ приняла рекомендацию Минпромторгу РФ включить в перечень ОКР разработку опытных образцов аппаратуры RABIS: «Разработка базовой технологии создания унифицированных модулей». Выполнение работ осуществлялось разработчиками RABIS в ГРЦ и ОАО «НПК НИИДАР».

Однако во внедрении системы RABIS Минкомсвязи было не заинтересовано, разработчикам системы в то время было сказано: «наука не нужна!», и хотя цифровая система радиовещания «имеет некоторые преимущества», но «оптимальным на сегодняшний день следует считать сохранение системы аналогового радиовещания как основы бизнес-модели».

Тем не менее, благодаря Никифорову Н.А., министру информатизации и связи, 16 октября 2015 г. ГКРЧ приняла решение о создании опытных зон для тестирования системы RABIS в городах Ижевске, Казани, Калининграде и Краснодаре.

За подписью министра Никифорова Н.А. были направлены письма руководителям регионов с предложением о запуске двух программ: передачи ТВ в городской транспорт и многопрограммной передачи звука мобильному потребителю. Было согласовано ТЗ и требуемый объем финансирования – около 10 млн. руб. на каждый город. Но необходимые средства до сих пор так и не выделены.

Это приводит к тому, что Россия лишается уникальных возможностей, которые создало бы для рынка внедрение технологии RABIS:

- развитие рынка вещания для мобильных абонентов;
- выход на рынок компонентов для мультимедийных автомобильных приемников;
- выход на рынок компонентов для бытовой аудио-видео аппаратуры;
- выход на рынок компонентов для смартфонов;
- выход на рынок компонентов для GPS/ГЛОНАСС навигаторов;
- выход на рынок дорожного информирования о пробках, дорожной ситуации, рекламы на дорожных цифровых картах;
- развитие рынка систем оповещения МЧС;
- развитие рынка систем специального применения;

– развитие отечественного производства и создание новых рабочих мест.

Одной из важных задач внедрения видеотелекоммуникационных систем в России является создание их метрологического обеспечения [26-28].

На рис. 16 приведена фотография одного из разработанных измерительных комплексов цифрового вещательного телевидения.

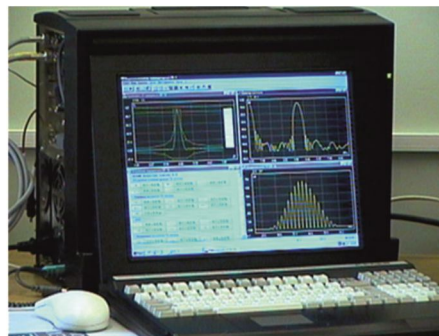


Рис. 16. Комплексы измерительные цифрового вещательного телевидения КИ-ТВМ и КИ-ЦВТ

Реализацию использования дистанционных телекоммуникационных систем можно пояснить на примере разработки телемедицинского комплекса МТМК.

Телемедицинские технологии, использующие видеоконференцсвязь, на протяжении последних лет доказали свою высокую эффективность.

Телемедицинский терминал видеоконференцсвязи должен обладать возможностью передачи в дуплексном режиме двух видеопотоков и непосредственного подключения медицинской диагностической аппаратуры по портам LAN, IEEE-1394, IEEE-802.11, USB, COM, Bluetooth, S-Video, RCA.

Комплексы должны быть оснащены необходимым и достаточным количеством медицинской диагностической аппаратуры и расходных материалов. При этом, набор медицинских диагностических методик и технических средств их реализации может различаться в зависимости от задач и условий применения.

Мобильный переносной телемедицинский комплекс на базе отечественных средств видеоконференцсвязи и отечественной медицинской диагностической аппаратуры может быть уже сейчас применён и для решения задач ведомственной медицины.

На рис. 17 приведена фотография опытного образца мобильного телемедицинского комплекса [29]. В качестве аппаратной вычислительной платформы выбран стандарт промышленных системных компьютерных плат mini-ITX, выпускаемых серийно многими известными компаниями на основе различных наборов системной логики (Intel, ATI, VIA, NVIDIA) и центральных процессоров (Intel, AMD, VIA). Выбор этого стандарта позволяет проводить модернизацию МТМК по мере выпуска более производительных процессоров с меньшим потреблением энергии без существенной переработки конструкторской документации.

Дисплей комплекса, смонтированный в крышке корпуса-чемодана, представляет собой 15-дюймовый сенсорный монитор разрешения XGA с вандалоустойчивым экраном из закалённого стекла. Это позволяет оператору



ру запускать программу видеоконференцсвязи, а также управлять ею простым касанием к пиктограмме на экране без пользования другими манипуляторами.



Рис. 17. Внешний вид телемедицинского комплекса

Важнейшей проблемой повышения эффективности современных разработок является анализ качества передаваемого и воспроизводимого мультимедийного контента.

До сих пор не существует единых методик оценки качества сервиса (QoS) и качества восприятия (QoE). В связи с этим проводятся разработки интеллектуальной методики оценки QoE с применением методов машинного обучения, позволяющей в автоматическом режиме оценивать качество восприятия на основе объективных параметров. Рассматриваются наборы анализируемых показателей, способы их получения и подходы к анализу.

Разрабатываемая методика обеспечит возможность оценивать QoE на основе различных наборов объективных данных, модульность методики позволяет адаптировать её в зависимости от специфики и возможностей исследуемых систем. При этом применяется вейвлет-анализ сетевого трафика, создаются математические модели особенностей контента.

В перспективе такой подход может стать универсальной методикой оценки качества восприятия мультимедийного контента.

## Заключение

Рассмотренные в данной статье технические решения по внедрению современных телекоммуникационных технологий, включая отечественную систему РАВИС, должны способствовать реализации Указов Президента РФ № 203 от 9 мая 2017 г. «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы» и № 208 от 13 мая 2017 г. «О стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года».

Принимая во внимание стратегическую, идеологическую и научно-исследовательскую необходимость внедрения цифровой технологии РАВИС в РФ, считаем целесообразным принять следующие неотложные меры:

– Включить развертывание системы цифрового мультимедийного радиовещания РАВИС в реализацию программы «Цифровая экономика РФ», как одного из приоритетных направлений стратегического развития

страны в телекоммуникационной области до 2018 и на период до 2025 годов.

– В рамках реализации программы «Цифровая экономика РФ» реализовать бюджетное финансирование опытных зон системы мультимедийного вещания РАВИС в городах Ижевске, Казани, Калининграде и Краснодаре, обеспечив выделение частот в утвержденных ГКРЧ диапазонах для каждой опытной зоны и обеспечив выдачу разрешений на вещание.

## Литература

1. «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы». Указ № 203 Президента РФ Путина В.В. от 9 мая 2017 г.
2. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.
3. «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». Указ № 208 Президента РФ Путина В.В. от 13 мая 2017 г.
4. Лейтес Л.С. Очерки истории отечественного телевидения. 2-е издание. М: Останкино, 2017, 223 с.
5. Лейтес Л.С. Телевидение России. Знаменательные факты, научно-техническая библиография, биографии известных ученых и специалистов техники телевидения. Справочник. М: Изд-во «Первый том», 2017, 580 с.
6. Report ITU-R BT.2380-0. Television colorimetry elements (07/2015).
7. Report ITU-R BT.2390-1. High dynamic range television for production and international programme exchange (10/2016).
8. Report ITU-R BS.2159-7. Multichannel sound technology in home and broadcasting applications (02/2015).
9. DIGITAG Digital Television Action Group. DTT Technology Information. DigiTAG - The Digital Terrestrial Television Action Group, 2015.
10. DIGITAG Digital Television Action Group. Guide to Digital Switchover. Focus Africa and Asia. DigiTAG - The Digital Terrestrial Television Action Group, 2013.
11. Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System (in Chinese). Chinese National Standard GB20600-2006.
12. Frame Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television/Terrestrial Multimedia Broadcasting-Advanced (in Chinese). Tsinghua University. National Engineering Lab. for DTV (Beijing) (DTVNEL).
13. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) – М: Техносфера, 2012. – 1007 с.
14. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Измерения в видеоинформационных системах (теория и практика) – М: Техносфера, 2015. – 873 с.
15. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Оконные функции для гармонического анализа сигналов. Издание второе, переработанное и дополненное – М.: Техносфера, 2016. – 208 с.
16. Report ITU-R BT. 2295-1. Digital terrestrial broadcasting systems (07/2015).
17. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Зубарев Ю.Б., Соколов А.Ю., Чернов Ю.А. Способ трансляции инфор-

мационного телевидения // Патент РФ № 2219676, приоритет от 08.11.2000.

18. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Иртюга В.А. Способ мобильного узкополосного цифрового мультимедийного радиовещания // Патент РФ № 2441321, 27.01.2012, приоритет от 26.07.2010.

19. 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.

20. ГОСТ Р 55686-2013. Аудиовизуальная информационная система реального времени (РАВИС). Цифровой модулятор. Основные параметры и технические требования.

21. ГОСТ Р 55687-2013. Аудиовизуальная информационная система реального времени (РАВИС). Контрольный радиоприемник. Общие технические требования.

22. ГОСТ Р 55688-2013. Аудиовизуальная информационная система реального времени (РАВИС). Формирова-

тель контента. Структура и протоколы передачи данных.

23. ГОСТ Р 55689-2013. Аудиовизуальная информационная система реального времени (РАВИС). Нормы и методы метрологического обеспечения.

24. Report ITU-R BT.2049-7. Broadcasting of multimedia and data applications for mobile reception (02/2016).

25. Report ITU-R BS.2214-2. Planning parameters for terrestrial digital sound broadcasting systems in VHF bands (10/2016).

26. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.35.002.A № 57904. Комплексы измерительные телевизионные КИ-ТВМ.

27. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.35.002.A № 57905. Комплексы измерительные телевизионные КИ-ТВМ-Э.

28. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.35.002.A № 57903. Комплексы измерительные цифрового вещательного телевидения КИ-ЦВТ.

29. Мобильный телемедицинский комплекс МТМК, Реклама НПФ «САД-КОМ», 2017.

## НОВЫЕ КНИГИ

**Брюханов Ю.А. Цифровые цепи и сигналы / Учебное пособие – М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 3-изд. перераб. и доп., 2017 г. – 160 с.: ил.**

Приведен математический аппарат для анализа сигналов и цепей дискретного времени. Изложены спектральная теория периодических и непериодических цифровых сигналов, теория цепей дискретного времени. Подробно рассмотрены частотные свойства и временные характеристики базовых нерекурсивных и рекурсивных линейных цепей (цифровых фильтров) первого и второго порядков. Изложены методы изменения частоты дискретизации цифровых сигналов: децимация и интерполяция, а также способы их реализации. Уделено внимание теории случайных сигналов и процессов дискретного времени, протекающих в цифровых цепях. Рассмотрены эффекты квантования в цифровых сигналах и цепях.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Радиофизика», «Радиотехника» и «Информационные технологии и системы связи».

**Афанасьев А.А., Рыболовлев А.А., Рыжков А.П. / Учебное пособие для вузов – М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 2017 г. – 356 с.: ил.**

Изложены базовые теоретические и практические вопросы в области анализа, синтеза и экспериментального исследования систем цифровой обработки сигналов (ЦОС). Приведены основные методы расчета характеристик устройств ЦОС, показаны особенности их анализа в различных условиях функционирования, даны основные подходы к синтезу систем ЦОС, рассмотрены основные происходящие в них физические процессы. Изложенные теоретические сведения сопровождаются практическими примерами решения прикладных задач.

Для студентов вузов, обучающихся по укрупненной группе направлений подготовки 11.00.00 – «Электроника, радиотехника и системы связи»

