

# Система мобильного мультимедийного вещания AVIS

(Семинар «Переход от аналогового к цифровому вещанию».  
Бюро развития электросвязи МСЭ совместно с МТУСИ, 09-11.12.2008)

Дворкович В.П., Зам. директора ФГУП ГРЧЦ, д.т.н., проф.  
Дворкович А.В., Начальник Управления ФГУП ГРЧЦ, д.т.н.

## Введение

Особые достижения 90-х годов прошлого и начала XXI-го века связаны с разработкой стандартов и активным внедрением в большинстве стран мира систем цифрового телерадиовещания. В Российской Федерации предусматривается широкое внедрение европейской системы цифрового телевидения DVB-T (в верхней части диапазона метровых волн и в диапазоне дециметровых волн) и цифрового радиовещания DRM (в диапазонах длинных, средних и коротких волн).

Все используемые стандарты эфирного вещания предусматривают передачу информации без нарушения стандартизованных частотных планов.

Однако до 2000-х годов исследовательские и вещательные организации не озаботились проблемами цифровизации каналов стереофонического звукового радиовещания (диапазон частот 87,5 – 108 МГц используется для FM-вещания, а в диапазоне частот 66-74 МГц в России и странах СНГ еще применяется разработанная в СССР система УКВ-ЧМ вещания).

Первое в мировой практике предложение по реализации подобной системы было изложено в патенте Российской Федерации №2219676 с приоритетом от 08.11.2000 г. [1], в котором в соответствии с описанием предусматривалась возможность трансляции информационного телевидения, содержащего динамические цветные изображения со стереофоническим звуковым сопровождением. Результаты создания модели системы и ее натурных испытаний впервые были изложены в журнале «Broadcasting. Телевидение и радиовещание», 2005, №5 [2].

На прошедшей в марте 2006 года в Женеве объединенной конференции МСЭ-Р на Рабочих группах 6М и 6Е 6-й группы изучения от России был представлен вклад «Повышение эффективности использования VHF-диапазона частот» (ITU-R документы 6Е/336-Е и 6М/133-Е), в котором была описана система мобильного узкополосного мультимедийного вещания AVIS [3]. Как указано в документе эта система позволяет повысить эффективность использования VHF диапазона, в частности, диапазона 87 – 108 МГц, предоставляя возможность в одном канале шириной 200 или 250 кГц передавать до 10 программ стереозвука высокого качества или изображение размера CIF (352\*288) с соответствующим стереофоническим звуковым сопровождением.

Дальнейшее развитие этой системы отражено во вкладе России, представленном на Рабочей группе 6М (ITU-R документ 6М/150-Е) [4] на конференции 6-й группы изучения МСЭ-Р в Сеуле (Южная Корея) в августе 2006 г. На конференции Рабочей группы 6Е 6-й Исследовательской комиссии МСЭ-Р в мае 2008 г. описание системы AVIS (ITU-R документ 6/48-Е) было внесено в Отчет ВТ.2049-2 [5].

На конференции Рабочих групп 6А и 6В 6-й Исследовательской Комиссии МСЭ-Р в октябре-ноябре 2008 г. был представлен вклад России «Эксплуатационные требования к цифровым системам наземного звукового и мультимедийного вещания для мобильного приема в полосах частот I и II ОВЧ диапазона» - Предложения по предварительному проекту новой рекомендации МСЭ-Р BS.[XXXX], описывающей требования к цифровым системам наземного звукового и мультимедийного вещания в ОВЧ диапазоне (ITU-R документ 6А/86-Е, 6В/47-Е) [6]. На конференции было принято решение либо о коррекции старой рекомендации, либо о разработке новой рекомендации на базе вклада России.

## Краткая характеристика системы AVIS

### 1. Канал передачи данных

Работу подвижных систем связи в ОВЧ диапазоне в городских условиях с плотной застройкой определяют несколько характеристик сигнала, к которым относятся: затухание вдоль трассы, распределение амплитуд, многолучевость и спектр задержек, размытие спектра и доплеровский сдвиг, пространственная и частотная корреляция. Одно из наиболее полных обобщений теоретических и экспериментальных исследований содержится в [7].

Напряженность поля ОВЧ диапазона частот в городе при передающей антенне, расположенной выше среднего уровня крыш домов, спадает с увеличением расстояния по степенному закону с показателем от -1,5 до -2. Эти потери связаны не только с поглощением, но и за счет рассеяния радиосигнала.

При движении в городе наблюдаются два вида замираний:

- быстрые, определяемые интерференцией лучей в точке приема и имеющие распределение Релея или Райса, например, как указано в [8];

- медленные, связанные с затенениями от жилых массивов, модулирующие релейский поток и обладающие логонормальным распределением со стандартным отклонением от 1дБ (в пригородах) до 4,5дБ (в центре города).

Прием сигнала в движущемся транспорте, особенно на магистралях, где скорость движения достигает 150 км/час и даже более, возникает размытие спектра и доплеровский сдвиг радиосигналов. При наличии на трассе значительного числа подвижных переотражателей размытие спектра сигналов достигает величин 20-30 Гц и даже более.

И диапазоне ОВЧ расчетный интегральный масштаб частотной корреляции для многих городских районов современной застройки, согласующийся с экспериментальными данными, составляет 0,8 – 0,9 МГц.

В связи с этим следует полагать, что условия приема сигналов в движущемся транспорте при современной городской застройке и использовании радиоканала с полосой 0,2 – 0,25 МГц будут комфортными лишь в случае, если дискретность частот OFDM будет существенно больше величины размытия спектра сигнала.

Диапазон частот, используемый для вещания AVIS, позволяет локализовать вещание, то есть на одной и той же частоте в разных городах передавать различные программы. При этом радиус покрытия передатчиком остаётся достаточно велик для обеспечения приема в отдалённых пунктах, где другим способом невозможно осуществить вещание.

### 2. Архитектура системы

На рис.1 и рис.2 приведены структурные схемы передающего и приемного устройств системы в части передачи видеoinформации со стереофоническим звуковым сопровождением. Здесь не приведены дополнительные составляющие структурной схемы, реализующие ряд служебных функций.

В системе AVIS использованы стандарты аудио и видеокомпрессии AAC и AVC.

Стандарт аудиокомпрессии HE-AAC (MPEG-4 Part 3 Audio) позволяет передавать по низкоскоростным каналам как моно, так и стереофонический звуковой сигнал высокого качества [9, 10]. При эффективной реализации этот стандарт обеспечивает передачу монофонического сигнала хорошего качества при скорости потока от 16 кбит/с, стереофонического сигнала высокого качества при скорости потока от 24 кбит/с, стереофонического сигнала CD-качества при скорости потока от 32 кбит/с, многоканального (5.1) сигнала при скорости потока от 128 кбит/с. Стандарт видеокомпрессии AVC (ITU-T Rec. H.264, MPEG-4 Part 10 AVC) является в настоящее время наиболее эффективным из стандартизованных видеокодеков [11]. Применение ряда

новых технологий и использование модифицированных старых методов позволило поднять эффективность компрессии на 30 – 50 % по сравнению с MPEG-4 Part 2 Video.

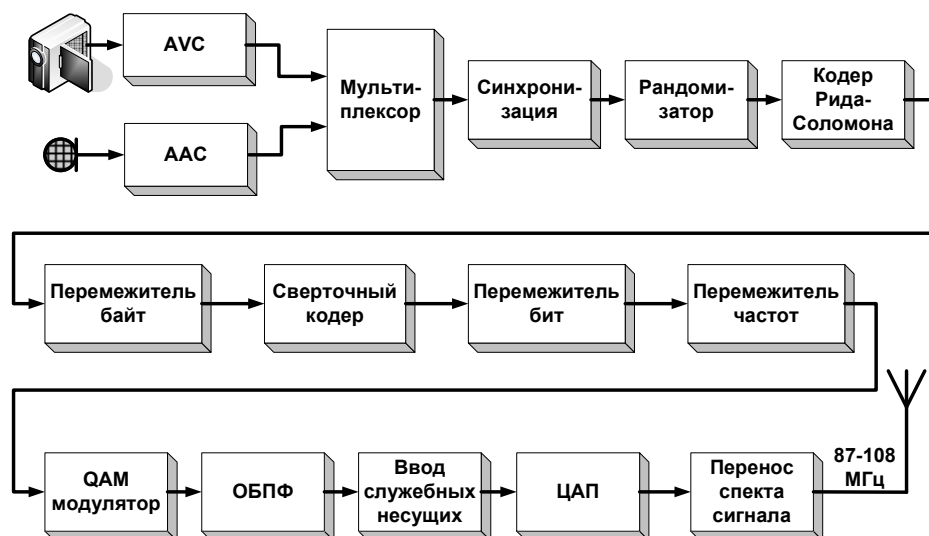


Рис. 1. Функциональная схема передающего устройства

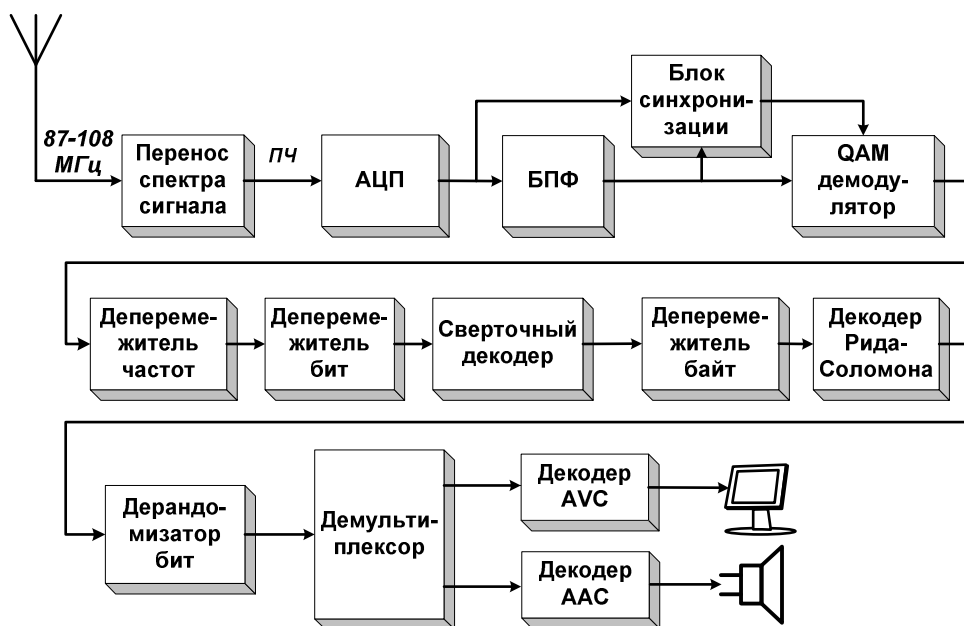


Рис. 2. Функциональная схема приемного устройства

Работы по созданию эффективных кодирующих устройств связаны с разработкой алгоритмов быстрой и эффективной обработки информации, реализуемых в рамках построения системы AVIS [12-15].

Исследования разработанных программных кодеков звука (AAC) и видео (AVC) показали их высокую эффективность – качество воспроизведения звука соответствует качеству FM-вещания при потоке от 24 Кбит/с., а CD качеству – при потоке от 32 кбит/с, воспроизведение же цветных динамических изображений соответствует качеству домашнего видеомэгнифона (VHS) при цифровом потоке 320-384 Кбит/с. Вместе с видеoinформацией или вместо нее может передаваться несколько стереофонических звуковых программ.

Система канального кодирования и OFDM-модуляции выполняет адаптацию сигналов от выхода транспортного мультиплексора к наземным характеристикам канала. Поток данных подвергается следующим операциям:

- синхронизации транспортного потока;
- адаптивному мультиплексированию транспортных потоков и рандомизации распределения энергии;
- внешнему кодированию (блочный код Рида-Соломона);
- внешней компоновке;
- внутреннему кодированию (сверточное кодирование переменной длины);
- внутренней компоновке (битовый перемежитель и частотный перемежитель);
- отображению и модуляции;
- передаче OFDM сигнала.

Подсистема помехоустойчивого канального кодирования в AVIS предполагает использование следующих вариантов скоростей сверточного кода: 1/2, 2/3 и 3/4.

### 3. Параметры передачи OFDM.

В модели AVIS используется OFDM модуляция с применением двух видов однородных созвездия QPSK и 16-QAM, защитные интервалы имеют длину 1/4 или 1/8 длины полезной длительности символа.

Передаваемый сигнал организован в виде кадров. Каждый кадр имеет длительность  $T_F$  и состоит из 136 символов OFDM. Четыре кадра составляют один суперкадр. Каждый символ передается с длительностью  $T_S$ . Он состоит из частей: полезной, длительность которого  $T_U$ , и защитного интервала с длительностью  $\Delta$ . Защитный интервал является циклическим продолжением полезной части  $T_U$  и вводится перед ней. Символы в кадре OFDM пронумерованы от 0 до 135. Все символы содержат информацию о данных и опорную информацию.

Некоторые пилотные несущие передают дополнительную опорную информацию, не зависящую от полезных данных, и используются для оценки канала и коррекции амплитудных и фазовых искажений. Пилотные ячейки передаются на "усиленном" уровне мощности.

Числовые значения параметров

Таблица 1

Параметр	Значение
Число несущих $K$	279
Длительность $T_u$	1092 $\mu$ s
Частотный интервал $\Delta F = 1/T_u$	915,527 Гц
Длительность символа $T_S = T_g + T_u$ при $T_g = T_u/8$	1 229 $\mu$ s
Длительность символа $T_S = T_g + T_u$ при $T_g = T_u/4$	1365 $\mu$ s

Коэффициенты нормализации

Таблица 2

Тип модуляции	Нормализующий коэффициент
QPSK	$c = z/\sqrt{2}$
16-QAM	$c = z/\sqrt{10}$

Каждая пилотная ячейка может быть либо постоянной, либо рассеянной пилотной ячейкой. Положение постоянных пилотных ячеек не зависит от номера символа, в то время как положение рассеянных пилотных ячеек зависит от номера символа в кадре. Возможно, что некоторая пилотная ячейка одновременно является и постоянной и рассеянной пилотной ячейкой. Диаграмма ввода пилотных ячеек и номера постоянных пилотных ячеек показаны на диаграмме рис.3 и в Таблице 3.

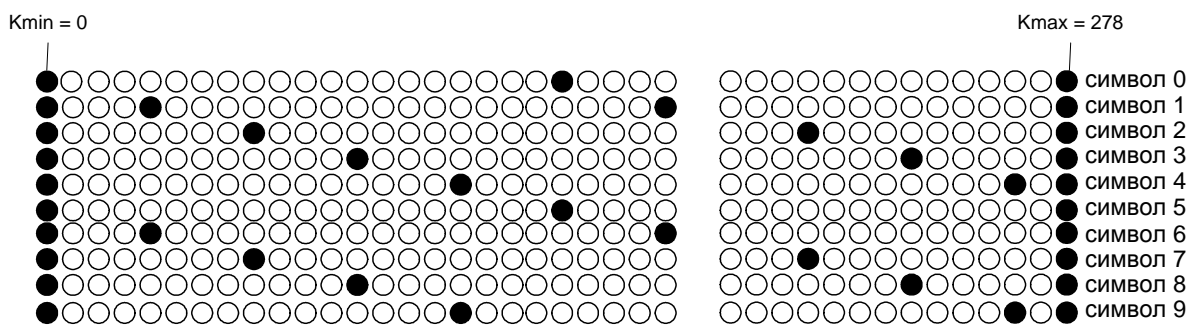


Рис. 3. Кадровая структура

Номера повторяющихся пилотных несущих Таблица 3

0, 48, 54, 87, 141, 156, 192, 201, 255, 278

#### 4. Скорости передачи данных, основные параметры

В таблице 4 приведены варианты максимально возможных потоков передаваемой информации при ширине канала 250 кГц для всех комбинаций защитного интервала, QAM-созвездия и скорости сверточного кода, возможное количество стереофонических звуковых программ CD-качества или предпочтительно передаваемые видео/аудио форматы.

Потребности вещателей в пропускной способности варьируют от пяти до семнадцати высококачественных аудио программ или динамических цветных видеопрограмм со стереофоническим звуковым сопровождением и возможным дополнительным сервисом передачи данных. Чтобы удовлетворить всем интересам, система обеспечивает скорости передачи данных в диапазоне от 170 кбит/с до 560 кбит/с. Возможны два адекватных варианта, представленные двумя созвездиями QPSK и 16-QAM со скоростями сверточного кода 1/2, 2/3 или 3/4.

Предпочтительные аудио/видео форматы при ширине канала 250 кГц Таблица 4

Тип QAM-созвездия	Скорость сверточного кода	Защитный интервал					
		1/4			1/8		
		Поток, кбит/с	Видео формат, кадров/с	Сtereo звуковой-формат	Поток, кбит/с	Видео формат, кадров/с	Сtereo звуковой-формат
QPSK	1/2	170	-	5*32 кбит/с	190	-	6*32 кбит/с
			QCIF, 12.5	24 кбит/с		QCIF, 12.5	24 кбит/с
QPSK	2/3	220	-	6*32 кбит/с	250	-	7*32 кбит/с
			QVGA, 12.5	32 кбит/с		QVGA, 12.5	32 кбит/с
QPSK	3/4	250	-	7*32 кбит/с	280	-	8*32 кбит/с
			QVGA, 12.5	32 кбит/с		QVGA, 12.5	32 кбит/с
16-QAM	1/2	330	-	10*32 кбит/с	370	-	11*32 кбит/с
			CIF, 12.5	32 кбит/с		CIF, 12.5	32 кбит/с
16-QAM	2/3	450	-	14*32 кбит/с	490	-	15*32 кбит/с
			CIF, 25	32 кбит/с		CIF, 25	32, стерео
16-QAM	3/4	500	-	15*32 кбит/с	560	-	17*32 кбит/с
			CIF, 25	32 кбит/с		CIF, 25	32 кбит/с

Примечание: N\*32 кбит/с означает, что возможно передать N стереофонических звуковых программ с потоком 32 кбит/с каждой.

### 5. Иерархическая модуляция и разнесение приема

Применение иерархической модуляции на стороне передатчика может обеспечить передачу основной (QPSK) и уточняющей информации (16-QAM). Такой вариант передачи позволит осуществить приём основной информации даже тогда, когда дополнительная информация не может быть принята из-за большого уровня помех в канале. Например, в качестве основной информации можно передавать звук и видео, а в качестве дополнительной информации – уточняющей информации для повышения качества воспроизведения видеоинформации. Существующие видеокодеки предоставляют возможность такого разделения видео потока.

Для повышения эффективности приема возможно использование разнесенного приема. Применение нескольких штыревых антенн на движущемся транспорте не представляет никаких проблем, тем более, что используются радиочастоты с длиной волны порядка 3-х метров.

### 6. Результаты моделирования работы системы и результаты ее натурных испытаний

Для испытаний основных характеристик системы была создана модель AVIS и проведены ее натурные испытания [16-18].

В Таблице 5 приведены граничные значения отношения сигнал/шум, являющиеся граничными условиями устойчивой работы системы при модуляции 16-QAM, для различных моделей канала.

Помехоустойчивость системы Таблица 5

Распределение помехи в канале по	Сигнал/шум, дБ
Гауссу	13,5
Гауссу и Райсу	14
Гауссу и Релею	17

На рис.4 а), б) и в) приведены формы 16-QAM созвездий при наличии помех в канале. На рис. 4 а) шум распределён по Гауссу, б) – по Гауссу и Райсу, в) – по Гауссу и Релею. При этом отношение сигнал/шум соответствует граничному значению для данного типа канала (см. табл. 5).

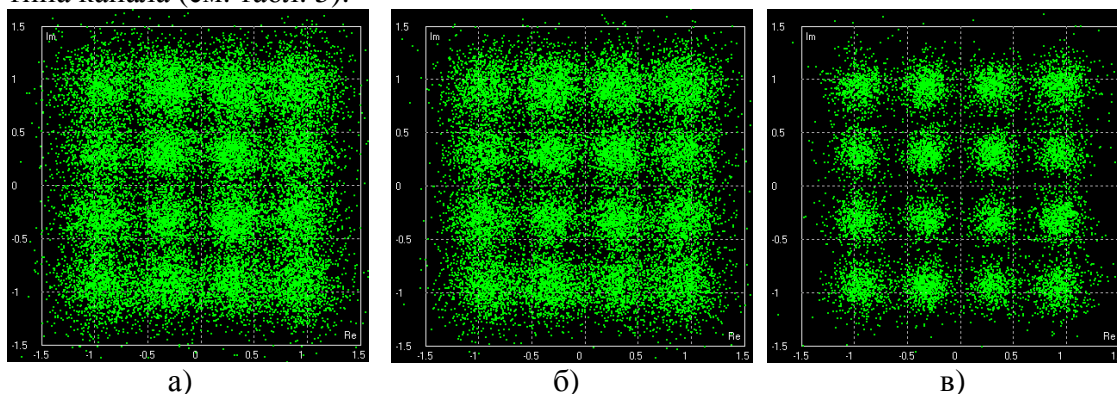


Рис. 4. Формы QAM созвездий при наличии помех

На рис.5 а) и б) приведены формы 16-QAM созвездий при сдвиге частоты, равном 25 Гц. При этом на рис. 5 а) нет дополнительных помех, кроме ухода частоты, а на рис. 5 б) добавляется влияние гауссовой помехи с отношением сигнал/шум 16 дБ.

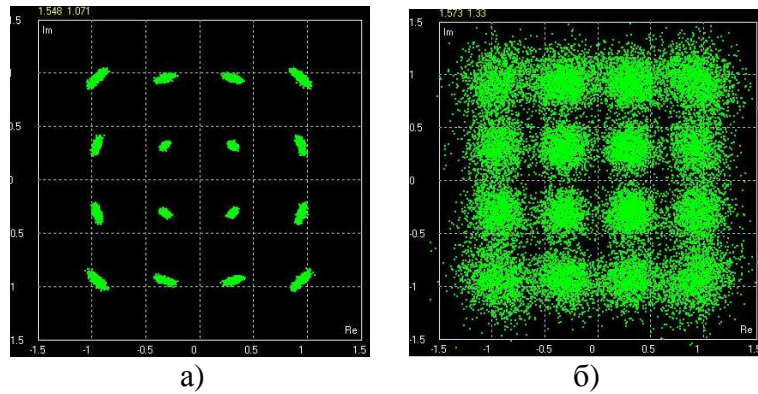


Рис. 5. Формы 16-QAM созвездий при сдвиге частот, равном 25 Гц.

При натурных испытаниях системы использовался московский передатчик канала «Русское Радио» мощностью около 200 Вт. Максимально удаленная точка при устойчивом приеме находилась от передатчика на расстоянии 21,5 км.

Приемник системы был размещён в легковой автомашине, прием осуществлялся с помощью штыревой антенны длиной 43 см., расположенной на крыше автомобиля. Трек движения автомобиля фиксировался с помощью установленной в машине системы глобального позиционирования (GPS).

На рис.6 приведена форма спектра радиосигнала (на промежуточной частоте 10,7 МГц) для ширины канала 250 кГц.

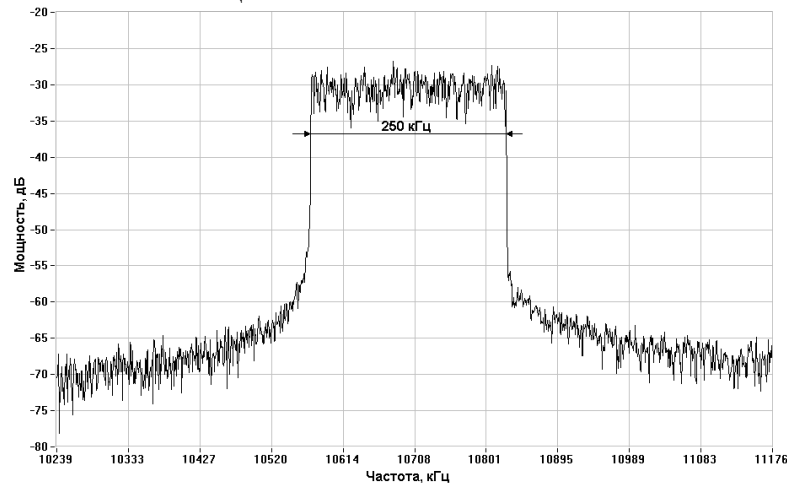


Рис.6. Спектр радиосигнала системы AVIS

На рис. 7 приведен кадр из видеопоследовательности, воспроизводимой на экране приемного устройства для реализованного режима работы системы.



Рис. 7. Кадр цветного динамического изображения, передаваемого по системе AVIS

## **7. Информация об альтернативной системе DRM – консорциума**

Результатами исследований по созданию системы AVIS заинтересовались в DRM – консорциуме, и его организации начали проводить разработку альтернативной системы DRM+, параметры которой изложены во вкладке DRM в ITU-R (Document 6E/413-E, August 2006) [19, 20]. Следует признать, что системы AVIS и DRM+ технически мало отличаются друг от друга. Отличием можно считать только использование в DRM+ нестандартной полосы частот в 100 кГц, а также возможность применения вместо разнесенного приема принципа разнесенной передачи.

При всех положительных свойствах системы DRM+, можно посчитать не очень рациональным нестандартную разбивку используемого диапазона частот, поскольку возникнут сложности при ее внедрении, увеличатся частотные потери за счет увеличения числа межсигнальных интервалов. Применение разнесенной передача в больших мегаполисах зачастую оказывается невозможной в связи с тем, что множество передатчиков обычно устанавливаются в одном месте на специальных башнях. Создать же несколько таких сооружений практически невозможно.

Важным отличием AVIS является возможность передачи динамической видеoinформации, что представляется существенным преимуществом создания новых цифровых систем в ОВЧ диапазоне частот.

### **Заключение**

Учитывая, что

- во всем мире существует возрастающая потребность в средствах высококачественного наземного звукового и мультимедийного вещания на носимые, автомобильные, переносные и стационарные приемники;
- имеются ограничения услуг аналогового звукового вещания в ОВЧ диапазоне по выполнению таких требований;
- переполненность ОВЧ диапазона вызывает общее увеличение уровня помех и ограничивает количество программ, которое возможно передавать;
- успехи совершенствования кодирования источника (звука и видео), канального кодирования, модуляции и улучшенной цифровой обработки сигналов продемонстрировали техническую реализуемость цифрового звукового и мультимедийного вещания без изменения частотных планов, установленных для аналогового вещания и современные методы кодирования видео и звука позволяют передавать в стандартном радиочастотном канале видеопрограммы различного разрешения или множество высококачественных звуковых программ;
- улучшенные системы цифрового звукового и мультимедийного вещания могут обеспечить большую эффективность использования спектра и энергетический КПД, а также лучшее качество работы в условиях многолучевости распространения, чем обычное аналоговое вещание,

переход на цифровые системы вещания обеспечит реализацию высокой эффективности использования I и II полос частот ОВЧ диапазона и обеспечит существенно большую надежность сервиса по сравнению с аналоговым вещанием, особенно при мобильном приеме.

В Таблице 6 приведен перечень основных технических характеристик систем звукового и мультимедийного наземного вещания (в частности, системы AVIS), предназначенных для приема на носимые, автомобильные, переносные и стационарные приемники.



Перечень основных технических характеристик систем в ОВЧ диапазоне Таблица 6

1	Рабочий диапазон частот	I и II полосы частот ОВЧ диапазона
2	Полоса радиочастотного канала	В соответствии с Рекомендациями МСЭ-Р
3	Сдвиг частоты между каналами	В соответствии с Рекомендациями МСЭ-Р
4	Эффективность использования спектра, бит/сек/Гц	Определяется системой
5	Тип мультимедиа (звук, видео, данные) с показателями качества: скорость передачи, бит/сек; разрешение, частота кадров видео и пр.	Определяется системой
6	Типичная конфигурация звука/видео: диапазон скоростей передачи звуковых и видео данных, многоязыковая поддержка, стерео/многоканальный звук	Определяется системой
7	Кодирование мультимедиа: звук, видео, формат прочих данных	Определяется системой
8	Гибкая конфигурация сервиса: звук/видео, вспомогательных и служебных данных	Любая комбинация вещания: звука, видео и данных в реальном масштабе времени. Электронная программа передач. Местное вещание с использованием одночастотных и многочастотных сетей.
9	Условный доступ	Определяется системой
10	Прямое обращение к сервису	Определяется системой
11	Быстрое обнаружение и выбор контента и сервиса	Электронная программа передач, обнаружение и выбор сервиса
12	Стабильный и надежный прием, контроль QoS в различных условиях приема	Переменное QoS и способность к восстановлению при ошибках Быстрая настройка
13	Топология сети	Сеть SFN для расширения зоны покрытия, местная сеть MFN для обеспечения местного сервиса. Возможность иерархической передачи.
14	Обеспечение интерактивности	Возможность использования несимметричного подключения обратных каналов
15	Функциональная совместимость с сетями мобильной связи	Поддержка сервиса передачи мультимедийных данных по сети мобильной связи
16	Поддержка эффективных и надежных механизмов доставки (транспорта) сервиса	Вид транспортного протокола определяется системой

### Литература

1. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Зубарев Ю.Б., Соколов А.Ю., Чернов Ю.А. Способ трансляции информационного телевидения // Патент РФ № 2219676, 08.11.2000
2. Дворкович В.П., Дворкович А.В., Иртюга В.А., Тензина В.В. Новая аудиовизуальная информационная система // Broadcasting. Телевидение и радиовещание, 2005, № 5

3. ITU-R Document 6E/336-E, 6M/133-E Increase of the Band 8 (VHF) Utilization Efficiency, 3 March 2006
4. ITU-R Document 6M/150-E Technical Report: Digital Mobile Narrowband Multimedia Broadcasting System AVIS, 14 August 2006
5. ITU-R Report BT.2049-2. Broadcasting of multimedia and data applications for mobile reception. Appendix 5. Digital Mobile Narrowband Multimedia Broadcasting System AVIS (audiovisual information system).(Doc.6/48-E 22 May 2008).
6. ITU-R Document 6A/86-E, 6B/47-E. Service requirements for digital terrestrial sound and multimedia broadcasting for mobile reception in VHF bands I and II (Proposal of Preliminary Draft new Recommendation ITU-R BS.[XXXX] on Service Requirements for Digital Terrestrial Sound and Multimedia Broadcasting in VHF Band ). 8 October 2008.
7. Пономарев Г.А., Куликов А.Н., Тельпуховский Е.Д. Распространение УКВ в городе, Томск, МП «Раско», 1991
8. ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-06) – Digital broadcasting systems for television. Sound and data services; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. Annex B.
9. ISO/IEC 14496-2 – Information Technology -- Coding of Audio-Visual Objects -- Part 2: Visual, 2004
10. ISO/IEC 14496-3 – Information Technology -- Coding of Audio-Visual Objects -- Part 3: Audio, 2005
11. ITU-T Recommendation H.264 – Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services / ISO/IEC 14496-10 – Information Technology -- Coding of Audio-Visual Objects -- Part 10: Advanced Video Coding, 2005
12. Дворкович В.П., Мохин Г.Н., Нечепанов В.В., Дворкович А.В. Способ покрупного сжатия изображений // Патент РФ № 2122295, 20.11.1998 (приоритет от 29.04.1994)
13. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Соколов А.Ю. Способ поиска векторов движения деталей в динамических изображениях // Патент РФ № 2182727, 20.07.2000
14. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Мохин Г.Н., Соколов А.Ю. Способ цифровой обработки динамических изображений // Патент РФ № 2182746, 20.05.2002 (приоритет от 20.07.2000)
15. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Зубарев Ю.Б., Соколов А.Ю. Способ анализа векторов движения деталей в динамических изображениях // Патент РФ № 2137194, 10.09.1999 (приоритет от 15.07.1998)
16. Дворкович В.П., Дворкович А.В., Тензина В.В., Иртыга В.А., Рекубрятский В.А. Повышение эффективности использования VHF диапазона частот за счет перехода на цифровое вещание. Труды НИИР, 2007 .
17. Дворкович В.П. Создание и внедрение систем радиовещания DRM+. Проблемы и перспективы. Телерадиовещание. №3, 2007
18. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы в России. Современная электроника, 2008, №3
19. ITU-R Document 6E/413-E, Digital Radio Mondiale (DRM)--Narrowband digital broadcasting with the DRM System in bands I and II, 14 August 2006
20. Waal A., Heuberger A. DRM+ Современная система цифрового радиовещания для УКВ диапазона. Труды Российского научно-технического общества имени А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Выпуск: X-1, Москва, 2008