

# ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ DRM-ПЕРЕДАТЧИКА НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ АУДИОКОНТЕНТА В ДИАПАЗОНЕ НИЗКИХ И СРЕДНИХ ЧАСТОТ

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

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: virgilio5@gmail.com

## Информация о статье

УДК 621.396

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Ковалгин Ю.А., Сантуш В. Влияние режима работы DRM-передатчика на качество передачи аудиоконтента в диапазоне низких и средних частот // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 56–63. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-1-56-63

**Аннотация:** На основе анализа первичных документов ITU-R и накопленного авторами опыта рассмотрено влияние алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных, вида модуляции поднесущих частот в OFDM-блоке и скорости кода, а также отношения сигнал/шум при радиоприеме на качество передаваемого аудиоконтента. Даны рекомендации по выбору перечисленных параметров.

**Ключевые слова:** режимы работы DRM, передатчик, качество аудиоконтента, скорость цифрового потока, алгоритмы компрессии.

## Введение

Как это следует из стандарта [1–3] при работе в режимах устойчивости скорость цифрового потока в системе DRM (от англ. Digital Radio Mondiale) на частотах ниже 30 МГц в канале пользователя MSC (от англ. Main Service Channel) может изменяться в следующих пределах:

- для режима А: от 6,2 до 71,4 кбит/с;
- для режима В: от 4,8 до 56,1 кбит/с;
- для режима С: от 9,1 до 45,44 кбит/с;
- для режима D: от 6,0 до 30,6 кбит/с.

Скорость цифрового потока зависит от полосы частот радиоканала (от типа занятости спектра), вида модуляции и скорости кода [4, 5]. Для диапазонов НЧ и СЧ стандартом рекомендуются режимы устойчивости А и В.

В соответствии с рекомендациями ITU-R следует различать:

- каналы студийного качества с полосой частот 20...20000 Гц;
- каналы высококачественного радиовещания с полосой частот 40 (31,5)...15000 Гц;
- каналы среднего качества с полосой частот 50...10000 Гц;

– узкополосные каналы с полосами частот 50...7000 Гц и 70...5000 Гц.

В системах, реализующих высококачественное ЧМ-радиовещание в диапазоне ОВЧ, полоса частот канала звука составляет 40...15000 Гц (система с пилот-тоном) и 31,5...15000 Гц (система с полярной модуляцией).

Предположим, что допустимое в канале пользователя MSC значение скорости цифрового потока при выбранном режиме устойчивости (А, В, С или D) и типе занятости спектра (полосе частот радиоканала) используется для передачи высококачественного звукового сигнала с полосой частот 40 (31,5)...15000 Гц. В полосе частот радиоканала системы DRM на частотах ниже 30 МГц возможно добиться качества аудиоконтента при воспроизведении близкого к обеспечиваемому в условиях ЧМ-радиовещания за счет выбора соответствующих алгоритма компрессии и скорости цифрового потока.

Данная работа посвящена выбору характеристик DRM-передатчика, которые обеспечивают воспроизведение аудиоконтента близкое по качеству к радиовещанию с частотной модуляцией.

### Влияние алгоритмов компрессии аудиосигналов на качество передачи аудиоконтента

Компрессия цифровых аудиоданных выполняется в контент-сервере [6] системы DRM в соответствии со стандартом MPEG-4 ISO/IEC 14496-3 [7] с помощью кодеров MPEG-4 HE-AAC v.2 (от англ. High Efficiency Advanced Audio Coding) или его улучшенной версии MPEG-4 xHE-AAC (от англ. Extended High Efficiency Advanced Audio Coding). Основным отличием кодеров MPEG-4 xHE-AAC и MPEG-4 HE-AAC v.2 является автоматическая установка всех внутренних параметров кодирования в первом для обеспечения максимально достижимого качества звуча-

ния при кодировании. Применяемые в стандарте MPEG-4 ISO/IEC 14496-3 алгоритмы компрессии цифровых аудиоданных (на примере структурной схемы кодера стандарта MPEG-4) представлены на рисунке 1. Рисунок 2 показывает возможные сочетания алгоритмов компрессии и для каждого из них возможные пределы изменения скоростей цифровых потоков. На рисунке 3 даны результаты тестирования этих кодеков отдельно для речевых (см. рисунок 3а) и музыкальных (см. рисунок 3б) сигналов. При тестировании использована шкала оценки качества MUSHRA (таблица 1).

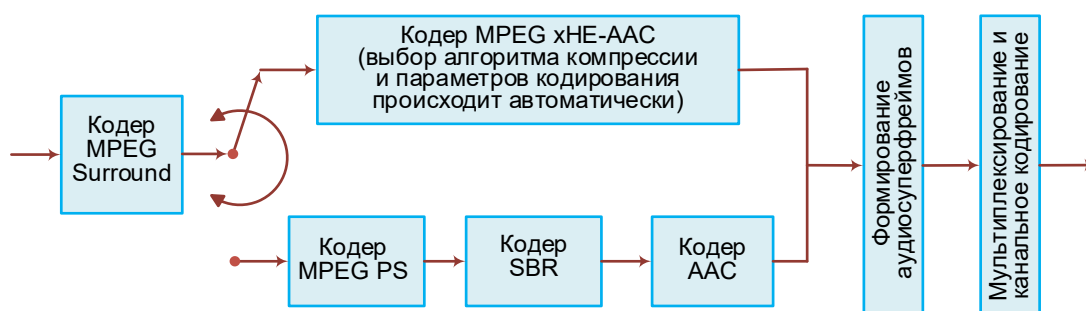
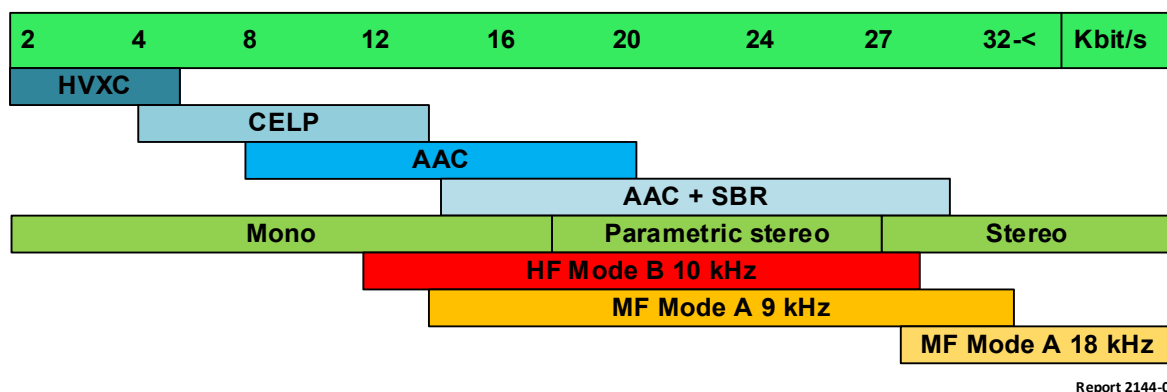


Рис.1. Структурная схема кодера системы DRM



Report 2144-01

Рис.2. Возможные пределы изменения скорости цифровых потоков для алгоритмов компрессии аудиоданных

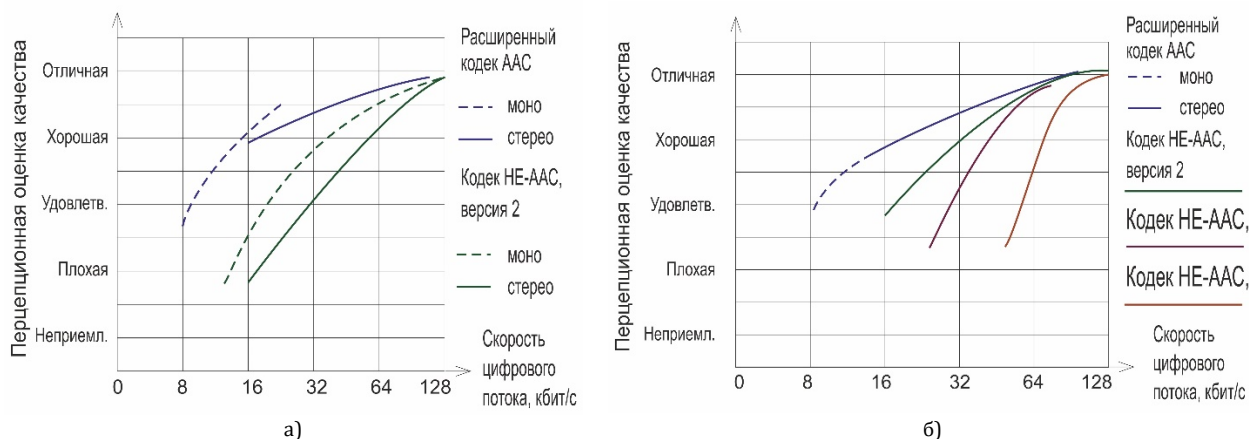


Рис. 3. Качество алгоритмов компрессии цифровых речевых (а) и музыкальных (б) аудиоданных [1, 8]

ТАБЛИЦА 1. Градации шкалы оценки качества

Значения шкалы оценки, %	Субъективная оценка качества
100–80	Отличное
80–60	Хорошее
60–40	Удовлетворительное
40–20	Плохое
20–0	Неприемлемое

Заметим, что кодер MPEG-4 xHE-AAC обеспечивает более высокое качество аудиосигнала при низких скоростях цифрового потока в сравнении с кодером MPEG-4 HE-AAC v.2 [1] (см. рисунок 3). Это различие становится наиболее заметным при скоростях цифрового потока ниже 32 кбит/с. При скоростях цифрового потока от 64 кбит/с и выше оба кодера обеспечивают примерно одинаковое качество, соответствующее оценке «Отличное».

Для системы DRM при работе на частотах ниже 30 МГц (режимы устойчивости А, В, С, D) и при полосе частот радиоканала 10 кГц (если это сеть радиовещания) важно выбрать такое сочетание алгоритмов компрессии, которое обеспечивает передачу аудиоконтента с качеством примерно эквивалентным тому, которое достигается при ЧМ-радиовещании, т. е. способны передать звуковой сигнал с полосой частот 40...15000 Гц с искажениями еще незаметными обычным радиослушателям при слуховом восприятии.

Рассмотрим с этой точки зрения имеющиеся в стандарте MPEG-4 ISO/IEC 14496-3 алгоритмы. Не все они могут быть использованы в системе DRM на частотах ниже 30 МГц для организации высококачественного радиовещания.

DRM-контент-сервер содержит следующие алгоритмы компрессии цифровых аудиоданных [3]:

- MPEG-4 AAC, который применяется для кодирования высококачественных звуковых сигналов сложной структуры; при скорости цифрового потока около 32 кбит/с искажения, вызванные компрессией цифровых аудиоданных, еще остаются практически незаметными для большинства слушателей при кодировании сигнала с полосой частот 40...15000 Гц;

- MPEG-4 SBR (*от англ. Spectral Band Replication*), применяемый для кодирования высокочастотной части спектра звукового сигнала с целью дополнительного уменьшения скорости цифрового потока; обычно используется совместно с алгоритмом компрессии MPEG-4 AAC (AAC+SBR) (при кодировании высокочастотной части звукового сигнала с полосой частот 6000...15000 Гц он обеспечивает скорость цифрового потока около 2 кбит/с); данный алгоритм применяется также совместно и с алгоритмами CELP (CELP+SBR) и HVXC (HVXC+SBR) (в последнем случае не обеспечивается качество передачи аудиоконтента эквивалентное ЧМ-радиовещанию);

- AAC+SBR, кодируется монофонический сигнал; в этом случае возможны три значения верхней частоты канала звука: 10875 Гц (при скорости цифрового потока 14...18,46 кбит/с), 13125 Гц (при скорости цифрового потока 18,48...22,46 кбит/с), 15375 Гц (при скорости цифрового потока 22,48...28,46 кбит/с); в стандартной конфигурации скорость цифрового потока в данном случае обычно лежит в пределах 17...21 кбит/с;

- AAC+SBR, кодируется стереофонический сигнал; совместное использование алгоритмов компрессии AAC+SBR обеспечивает минимальное значение скорости цифрового потока при кодировании сигналов обычной стереофонии (формат 2/0); в этом случае возможны два значения верхней частоты звука: 13125 Гц (при скорости цифрового потока 26,48...28,48 кбит/с) и 15375 Гц (при скорости цифрового потока 28,48 кбит/с);

- MPEG-4 PS (*от англ. Parametric Stereo*), который может использоваться совместно с алгоритмами AAC+SBR+PS или AAC+PS; применение алгоритмов AAC+SBR+PS позволяет снизить скорость цифрового потока при кодировании стереосигнала формата 2/0 с полосой частот 40...15000 Гц до 24 кбит/с, правда, за счет незначительного снижения качества; при использовании технологии MPEG-4 HE-AAC скорость цифрового потока должна быть повышена до 32 кбит/с;

- MPEG-D Surround; применяется для кодирования сигналов многоканальной стереофонии; в режимах устойчивости А, В, С и D не используется;

- MPEG-4 CELP (*от англ. Code Excited Linear Prediction*), применяемый для кодирования речи, обеспечивает передачу речевых сигналов со скоростью 3,86...14 кбит/с; в данном алгоритме компрессии полосы частот канала звука составляют 100...3800 Гц и 50...7000 Гц; в сочетании с алгоритмом SBR полоса частот канала звука расширяется до 14 кГц; совместное применение алгоритмов CELP+SBR в нашем случае возможно;

- MPEG-4 HVXC (*от англ. Harmonic Vector eXcitation Coding*), который предназначен для кодирования речевых и музыкальных сигналов с простой структурой, обеспечивает передачу со скоростью 2...6,56 кбит/с; при частоте дискретизации 8 кГц полоса частот канала звука равна 100...3800 Гц; при использовании совместно с алгоритмом SBR полоса частот канала звука расширяется до 8 кГц; его применение не обеспечивает высококачественную передачу звуковых сигналов с полосой частот 40...15000 Гц.

Алгоритмы компрессии, обеспечивающие передачу высококачественных звуковых сигналов (с полосой частот 40...15000 Гц) приведены в таблице 2. Здесь же указаны и требуемые для этого скорости цифровых потоков. После помехоустойчивого кодирования скорость цифрового потока соответственно возрастает.

ТАБЛИЦА 2. Возможные минимальные скорости цифровых потоков в системе DRM на частотах ниже 30 МГц при передаче высококачественных звуковых сигналов радиовещания

Алгоритмы компрессии	Минимальное значение скорости цифрового потока, кбит/с	Минимальное значение скорости цифрового потока после помехоустойчивого кодирования (кбит/с) при скорости кода				
		0,5	0,6	0,62	0,71	0,78
кодер MPEG-4 xHE-AAC	8 (моно)	16	13,33	12,9	11,3	10,25
	16 (стерео)	32	27	26	23	20,5
сочетание алгоритмов AAC+SBR (верхняя частота канала звука 15375 Гц)	18,48...22,46 (моно)	37...45	31...37	30...36	26...32	24...29
	28,48 (стерео)	57	47	46	40	36,5
сочетание алгоритмов AAC+SBR+PS (верхняя частота канала звука 15000 Гц)	24 (стерео)	48	40	38,7	33,8	30,8

Из данных, имеющих в публикациях, следует:

– наиболее высокое качество при низких скоростях цифрового потока обеспечивает кодер MPEG-4 xHE-AAC, при этом качество воспроизведения остается при доступных низких скоростях цифрового потока все же несколько хуже, чем при ЧМ-радиовещании;

– с учетом канального кодирования (кодер MPEG-4 xHE-AAC) при передаче монофонического сигнала минимальное значение скорости цифрового потока лежит в пределах от 16 кбит/с (при скорости кода 0,5 и наилучшей защите от одиночных ошибок) до 10,25 кбит/с (при скорости кода 0,78 и наихудшей защите от одиночных ошибок); при стереопередаче имеем значения 32 и 20,5 кбит/с, соответственно;

– кодер MPEG-4 HE-AAC v.2 при сочетании алгоритмов компрессии AAC+SBR после канального кодирования при стереопередаче дает значения скорости цифрового потока около 57 кбит/с (при скорости кода 0,5) и около 36,5 кбит/с (при скорости кода 0,78);

– сочетание алгоритмов AAC+SBR+PS в кодере MPEG-4 HE-AAC v.2 после канального кодирования дает соответственно несколько меньшие скорости цифрового потока: 48 и 30,8 кбит/с, правда, за счет некоторого понижения качества;

– при типе занятости спектра 4,5 и 5,0 кГц система DRM не обеспечивает качество звучания близкое к ЧМ-радиовещанию, но и в этом случае оно остается по-прежнему существенно выше, чем при АМ-радиовещании;

– при типе занятости спектра 9 и 10 кГц организация радиовещания с качеством близким к ЧМ-радиовещанию возможна при соответствующем выборе режимов работы DRM-передатчика;

– использование полос DRM-радиоканала двойной ширины (18 и 20 кГц) требует проведения дополнительных исследований по изучению проблемы электромагнитной совместимости, по этой причине здесь не рассматривается.

Все же совместное применение алгоритмов компрессии AAC+SBR и AAC+SBR+PS является наиболее предпочтительным при полосе частот радиоканала не превышающей 9 или 10 кГц.

#### Влияние отношения сигнал/шум на границе зоны обслуживания передатчика на качество воспроизведения аудиоконтента

Допустимые стандартом значения скоростей цифрового потока в канале пользователя MSC для различных режимов работы DRM-передатчика приведены в таблице 3 [4].

ТАБЛИЦА 3. Скорости цифрового потока при работе в различных режимах устойчивости и различных типах занятости спектра, кбит/с

Модуляция	Уровень защиты	Скорость кода	Режимы устойчивости и типы занятости спектра			
			земная волна		пространственная волна	
			A/2 (9 кГц)	A/3 (10 кГц)	B/2 (9 кГц)	B/3 (10 кГц)
16-QAM	0	0,5	13125	14760	10222,5	11665
	1	0,62	16412,5	18452,5	12777,5	14565
64-QAM	0	0,5	19695	22142,5	15332,5	17477,5
	1	0,6	23625	26570	18402,5	20975
	2	0,71	27892	31367,5	21720	24750
	3	0,78	30910	34770	24075	27450

Наибольшее значение скорости цифрового потока (см. таблицы 2 и 3) обеспечивает режим устойчивости А. Однако, даже в этом случае модуля-

ция 16-QAM позволяет при наименьшей скорости кода передать только высококачественный монофонический сигнал. Переход к модуляции 64-QAM



позволяет уже организовать высококачественное стереофоническое радиовещание, но при скорости кода не менее 0,78, что соответствует наименьшей помехозащищенности.

В режиме устойчивости В (см. таблицы 2 и 3) полноценная передача высококачественного стереофонического сигнала с полной полосой частот (40...15000 Гц) каждого канала звука практически невозможна. Однако, и это важно, он имеет в два раза большую длительность защитного интервала, обеспечивая наилучшую защиту от многолучевости в темное время суток.

Можно сказать, что в диапазонах НЧ и СЧ в светлое время суток предпочтительным является использование режима устойчивости А, а в темное время суток – для оценки возможности использование режима устойчивости А – необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований.

ТАБЛИЦА 4. Требуемое SNR при вероятности появления битовой ошибки BER = 10<sup>-4</sup> для различных моделей канала, дБ

Модуляция	Уровень защиты	Скорость кода	Режимы устойчивости и типы занятости спектра			
			Модель канала 1		Модель канала 2	
			А/2 (9 кГц)	В/3 (10кГц)	А/2 (9 кГц)	В/3 (10кГц)
16-QAM	0	0,5	8,6	9,3	9,4	10,2
	1	0,62	10,7	11,3	12,5	13,1
64-QAM	0	0,5	14,1	14,7	14,9	15,6
	1	0,6	15,3	15,9	16,3	16,9
	2	0,71	17,1	17,7	19,2	19,7
	3	0,78	18,7	19,3	22,0	22,3

В режиме устойчивости В (см. таблицу 4) и типе занятости спектра 10 кГц передача монофонического сигнала с качеством, близким к ЧМ-радиовещанию при модуляции 16-QAM, практически невозможна, для этого необходима модуляция 64-QAM; передача монофонического сигнала с качеством, близким к ЧМ-радиовещанию, возможна при модуляции 64-QAM и скорости кода не менее 0,6, что требует SNR не менее 16,9 дБ; передача стереосигнала (с качеством несколько хуже, чем при ЧМ-радиовещании) возможна при модуляции 64-QAM и скорости кода не менее 0,78; реализация такого режима требует SNR не менее чем 22,3 дБ (модель канала 2).

Итак, если мы на границе зоны обслуживания обеспечим SNR при полосе частот радиоканала 10 кГц не хуже 10,7 дБ (режим устойчивости А) и 16,9 дБ (режим устойчивости В), то при соответствующем выборе алгоритма компрессии и режима работы DRM-передатчика окажется возможной передача монофонического сигнала с качеством близким к ЧМ-радиовещанию; при передаче стереофонического сигнала выполнение этого последнего условия будет возможно при SNR на границе зоны

При работе DRM-передатчика в режиме устойчивости А (таблица 4), типе занятости спектра 9 кГц, модуляции 16-QAM, скорости кода 0,5 можно обеспечить монофоническое звучание близкое (но все же несколько худшее) к качеству ЧМ-радиовещания; реализация данного режима возможна при отношении сигнал/шум (SNR, от англ. Signal-to-Noise Ratio) при радиоприеме не менее 10,7 дБ. Качество примерно равное ЧМ-радиовещанию при передаче монофонического сигнала обеспечивается при модуляции 64-QAM и скорости кода 0,6, что требует SNR в зоне обслуживания не менее 15,3 дБ. Передача стереофонического сигнала с качеством, близким к ЧМ-радиовещанию, становится в данном случае возможной только при модуляции 64-QAM, скорости кода не менее 0,78, что требует уже SNR 18,7 дБ (модель канала 1, земная волна).

обслуживания не менее 18,7 дБ (режим устойчивости А) и 22,3 дБ (режим устойчивости В).

Заметим, что в соответствии с [9] при амплитудной модуляции для качественного радиоприема в диапазоне НЧ необходимо иметь минимальное значение напряженности поля  $E_{\min} = 66$  дБ (мкВ/м), а в диапазоне СЧ соответственно  $E_{\min} = 60$  дБ (мкВ/м).

В отличие от этого при цифровом радиовещании в формате DRM эти значения для диапазонов НЧ и СЧ в зависимости от вида модуляции и уровня защиты равны [4]:

$$\text{DRM } (E_{\min}) 31,5 \text{ дБ } (30,5 + 1) + 8,6 \text{ дБ } (S/N) = 40,1 \text{ дБ,}$$

$$\text{DRM } (E_{\min}) 24,5 \text{ дБ } (23,5 + 1) + 18,7 \text{ дБ } (S/N) = 43,2,$$

без учета уровня атмосферных и промышленных шумов (режим устойчивости А, модель канала 1).

В режиме устойчивости В (модель канала 1):

$$\text{DRM } (E_{\min}) 31,5 \text{ дБ } (30,5 + 1) + 9,3 \text{ дБ } (S/N) = 40,8 \text{ дБ,}$$

$$\text{DRM } (E_{\min}) 24,5 \text{ дБ } (23,5 + 1) + 19,3 \text{ дБ } (S/N) = 43,8 \text{ дБ,}$$

также без учета уровня атмосферных и промышленных шумов, что по-прежнему остается существенно ниже, чем при АМ-радиовещании.

### Максимально возможное расстояние между DRM-передатчиками в одночастотной сети

Так как в светлое время суток наиболее предпочтительным является режим устойчивости А, то в этом случае радиоприем оказывается возможным при меньшем минимально требуемом SNR. Кроме того, и доступная скорость цифрового потока при одном и том же типе модуляции и скорости кода также больше, что позволяет при всех прочих условиях обеспечить передачу аудиоконтента с более высоким качеством. В светлое время суток имеет место только земная волна, максимальное расстояние между передатчиками одночастотной сети не должно превышать 798 км. В темное время суток появляется пространственная волна. Величина задержки пространственной волны является функцией расстояния до передатчика и частоты [4, 10].

При работе передатчика в режиме устойчивости А в диапазоне НЧ задержка пространственной волны по данным [12] на расстояниях до 1000 км не превышает 0,2 мс, что ведет к незначительному уменьшению расстояния между самыми удаленными передатчиками одночастотной сети до 738 км.

При работе DRM-передатчика в режиме устойчивости А в диапазоне СЧ при расстояниях до 500 км задержка для первого луча пространственной волны не превышает 1,5 мс [10]. Это при длительности защитного интервала 2,66 мс приводит к уменьшению расстояния для наиболее удаленных передатчиков одночастотной сети до 350 км, в то время как при наличии только земной волны это расстояние составляет 798 км, т. е. уменьшается в два раза, что весьма значительно. Это говорит в пользу использования при работе в диапазоне НЧ и в темное время суток режима устойчивости А.

При работе DRM-передатчика в режиме устойчивости В появление пространственной волны приводит к уменьшению расстояния для наиболее удаленных передатчиков одночастотной сети до 1250 км. Это существенно больше максимального расстояния между передатчиками одночастотной сети, работающими в режиме устойчивости А. Однако применение режима устойчивости В существенно уменьшает пропускную способность канала MSC, что требует, в свою очередь, при сохранении прежнего качества аудиоконтента, изменения модуляции и скорости кода, следствием чего является более высокое требуемое SNR на границе зоны обслуживания при организации высококачественного радиовещания.

Все изложенное выше позволяет рекомендовать при типе занятости спектра 10 кГц указанные в таблице 5 режимы работы DRM-передатчика.

Уточнение характеристик, влияющих на качество работы сети цифрового радиовещания в целом, следует все же предоставить вещателям, исходя из существующей в каждом регионе электромагнитной обстановки.

Если в зоне обслуживания DRM-передатчика при типе занятости спектра 10 кГц обеспечивается SNR не хуже 18,7 дБ (режим устойчивости А) или 22,3 дБ (режим устойчивости В), то (при соответствующем выборе вида модуляции поднесущих частот и скорости кода) становится возможной передача в одном радиоканале двух монофонических программ с качеством чуть хуже, чем при ЧМ-радиовещании, или одной стереофонической программы с качеством практически не отличающимся от обеспечиваемого при ЧМ-радиовещании.

ТАБЛИЦА 5. Рекомендуемые режимы и параметры DRM-передатчика (тип занятости спектра 10 кГц) при качестве аудиоконтента как при ЧМ-радиовещании

Режим устойчивости	Звуковой формат	Вид модуляции поднесущих частот	Скорость кода, не менее	Требуемое SNR, не менее, дБ	Наибольшее допустимое расстояние между передатчиками одночастотной сети, км
А/3 (10 кГц), земная волна	Моно	16-QAM / 64-QAM	0,62 / 0,6	10,7 / 15,3	738
	Стерео	64-QAM	0,78	18,7	
В/3 (10 кГц), пространственная волна	Моно	64-QAM	0,6	16,9	1250
	Стерео	64-QAM	0,78	22,3	

### Оценка радиуса зоны обслуживания DRM-передатчика при работе в диапазонах НЧ и СЧ

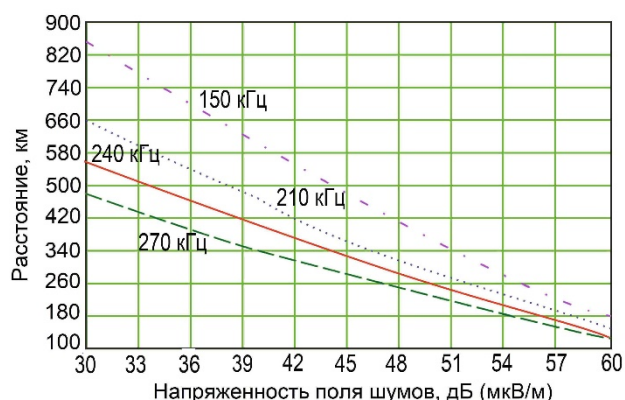
SNR на границе зоны обслуживания, как известно, определяется уровнем внешнего шума и мощностью передатчика. Если для передатчика мощностью 1 кВт SNR на границе зоны обслуживания составляет 0 дБ (мкВ/м), то в этом случае значение мощности передатчика при условии, что  $P_{\text{пер}} > 1$  кВт, будет определять при выбранных параметрах его работы (режима устойчивости, вида модуляции, скорости кода, алгоритма компрессии) SNR,

и, в конечном итоге, требуемое качество передаваемого контента.

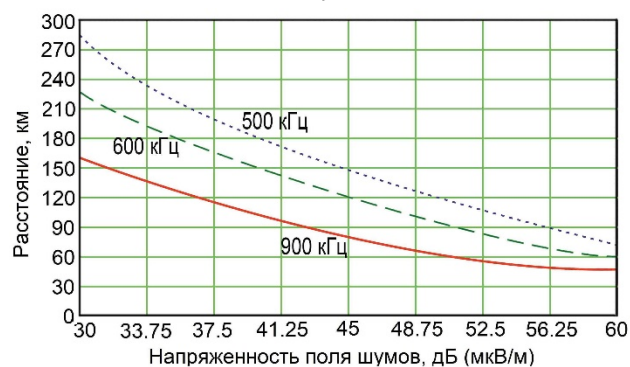
Имея данные о распределении уровней внешних шумов по обслуживаемой территории, а также числовые массивы изменения напряженности поля передатчика мощностью 1 кВт [11], определим для него расстояние до точки, в которой SNR равно 0 дБ (мкВ/м). Выполненные расчеты для различных значений несущих частот при проводимости почвы  $\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$  См/м и диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon = 22$  представлены в таблице 6 и на рисунке 4.

ТАБЛИЦА 6.

Напряженность поля шумов, дБ(мкВ/м)	Значение несущей частоты, кГц							
	150	210	240	270	500	600	900	1000
60	180	150	130	120	70	60	45	35
55	260	220	190	170	90	70	48	45
50	360	280	250	220	120	95	60	60
45	480	350	320	280	150	120	80	70
40	600	460	400	340	180	150	100	80
35	700	550	480	400	200	180	130	110
30	850	650	560	500	280	230	160	150



а)



б)

Рис. 4. Зависимость напряженности поля шумов от расстояния при SNR = 0 для НЧ (а) и СЧ (б)

Требуемые для радиоприема на расстоянии  $r$  от передатчика мощности передатчиков определяются выражением  $P = 10^{\text{SNR}/10}$  и составляют 12, 34, 49, 74 и 170 кВт при SNR равном 10,7, 15,3, 16,9, 18,7 и 22,3 дБ (таблица 5), соответственно. Видно, что требуемая мощность передатчика существен-

#### Список используемых источников

1. ETSI ES 201 980 V4.1.1 (2014–01). Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification.
2. Final draft ETSI ES 201 980 V3.1.1 (2009–06). Digital Radio Mondial (DRM); System Specification.
3. Rec. ITU-R BS.1514-1 (10/2002). System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz.
4. Рекомендация МСЭ-R BS. 1615–1 (05/2011). Параметры планирования для цифрового звукового вещания на частотах ниже 30 МГц. Серия BS. Радиовещательная служба (звуковая).
5. Report ITU-R BS.2144 (05-2009). Planning parameters and coverage for Digital Radio Mondiale (FRM) broadcasting at frequencies below 30 MHz. BS Series. Broadcasting service (sound).
6. Fraunhofer DRM ContentServer™ R6 – Features, Editions & Product Lines (2015–08–04).

но возрастает с повышением качества передаваемого контента.

#### Выводы

1. При построении сети цифрового радиовещания в формате DRM в диапазоне НЧ наиболее предпочтительным является режим устойчивости А. При этом в одночастотной сети расстояние между наиболее удаленными передатчиками не должно превышать 738 км. Выбор вида модуляции и уровня защиты позволяет в полосе частот радиоканала 10 кГц (А/3) обеспечить передачу двух монофонических программ с качеством несколько худшим, чем при ЧМ-радиовещании, или одной стереофонической программы с качеством, не уступающим ЧМ-радиовещанию. Однако это становится возможным при SNR на границе зоны обслуживания не менее 18,7 дБ; при SNR 10,7 дБ возможна передача только монофонического сигнала, однако с качеством, практически не уступающим ЧМ-радиовещанию.

2. Режим устойчивости В обеспечивает лучшую защиту от многолучевости, вызванной появлением пространственной волны. При этом в одночастотной сети расстояние между наиболее удаленными передатчиками не должно превышать 1250 км. При типе занятости спектра 10 кГц (В/3) передача монофонического сигнала с качеством, близким к ЧМ-радиовещанию, возможна только при модуляции 64-QAM и скорости кода не менее 0,6. Это требует соотношения SNR не менее 16,9 дБ. Передача стереосигнала в данном случае (с качеством несколько худшим, чем при ЧМ-радиовещании) возможна при модуляции 64-QAM и скорости кода не менее 0,78. Реализация такого режима требует соотношения SNR в зоне обслуживания не менее чем 22,3 дБ.

3. Повышение качества передаваемого контента требует существенного увеличения мощности передатчика, что значительно снижает энергетический выигрыш при переходе от аналогового к цифровому радиовещанию. Учет этого фактора важен в диапазонах низких и средних частот, где особенно велик уровень атмосферного шума.

4. Все же выбор вида модуляции и скорости кода, определяющих качество передачи аудиоконтента, предоставить вещателям, исходя из сложившейся в каждом регионе электромагнитной обстановки.

7. ISO/IEC FCD 14496-3 Subpart 1. Information Technology – Very Low Bitrate Audio-Visual Coding. Part 3: Audio (1998–05–15).
8. Hidaka T., Ozawa K. ISO/IEC JTC1 SC29/WG11; Report on MPEG-2 subjective assessment at Kurihama // Signal Processing: Image Communication. 1993. Vol. 5. Iss. 1–2. PP. 127–157. DOI:10.1016/0923-5965(93)90032-0
9. Rec. ITU-R BS.703 (06/90) Characteristics of AM sound broadcasting reference receivers for planning purposes
10. Рекомендация МСЭ-R. P.1321-5 (07/2015). Факторы распространения радиоволн, влияющие на системы, использующие методы цифровой модуляции на НЧ и СЧ. Серия Р. Распространение радиоволн.
11. Варламов О.В. Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации. Дис. ... докт. техн. наук. М.: МТУСИ, 2017. 310 с.
12. Рекомендация МСЭ-R P.368-9 (02/2007). Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц.

\* \* \*

# INFLUENCE OF DRM-TRANSMITTER OPERATION MODE ON THE QUALITY OF AUDIO CONTENT TRANSMISSION IN THE LOW AND MEDIUM FREQUENCY RANGE

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

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

## Article info

Article in Russian

**For citation:** Kovalgin Y., Santos V. Influence of DRM-Transmitter Operation Mode on the Quality of Audio Content Transmission in the Low and Medium Frequency Range. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2019;5(1):56–63. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-1-56-63>

**Abstract:** Based on the analysis of the ITU-R primary documents and the experience gained by the authors, the influence of digital audio data compression algorithms, the type of modulation of subcarrier frequencies in the OFDM block and code rate, as well as the signal-to-noise ratio during radio reception on the quality of the transmitted audio content is considered. Recommendations on the choice of the listed parameters are given.

**Keywords:** DRM operation modes, transmitter, quality, audio content, speed, channel, code, compression algorithms.

## References

1. ETSI ES 201 980 V4.1.1. *Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification*. January 2014.
2. Final draft ETSI ES 201 980 V3.1.1. *Digital Radio Mondial (DRM); System Specification*. June 2009.
3. Rec. ITU-R BS.1514-1. *System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz*. October 2002.
4. Rec. MSE-R BS. 1615-1. *Parametry planirovaniia dlia tsifrovogo zvukovogo veshchaniia na chastotakh nizhe 30 MGts. Seriia BS. Radioveshchatelnaia sluzhba zvukovaia* [Planning parameters for digital audio broadcasting at frequencies below 30 MHz. BS series. Radio broadcasting service (sound)]. May 2011. (in Russ.)
5. Report ITU-R BS.2144. *Planning parameters and coverage for Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting at frequencies below 30 MHz. BS Series. Broadcasting service (sound)*. May 2009.
6. *Fraunhofer DRM ContentServer™ R6 – Features, Editions & Product Lines* (2015–08–04).
7. ISO/IEC FCD 14496-3 Subpart 1. *Information Technology – Very Low Bitrate Audio-Visual Coding. Part 3: Audio* (1998–05–15).
8. Hidaka T., Ozawa K. ISO/IEC JTC1 SC29/WG11; Report on MPEG-2 subjective assessment at Kurihama. *Signal Processing: Image Communication*. 1993;5(1–2):127–157. Available from: [https://doi.org/10.1016/0923-5965\(93\)90032-0](https://doi.org/10.1016/0923-5965(93)90032-0)
9. Rec. ITU-R BS.703. *Characteristics of AM sound broadcasting reference receivers for planning purposes*. June 1990.
10. Rec. MSE-R. P.1321-5. *Fakторы rasprostraneniia radiovoln vliiaushchie na sistemy ispolzuiuushchie metody tsifrovoy moduliatsii na NCH i SCH Seriia R Rasprostranenie radiovoln* [Propagation factors affecting systems using digital modulation techniques at LF and MF. Series R. The propagation of radio waves]. July 2015. (in Russ.)
11. Varlamov O.V. *Tekhnologiia sozdaniia seti tsifrovogo radioveshchaniia standarta DRM dlia Rossiiskoi Federatsii* [Technology for creating a digital broadcasting network DRM standard for the Russian Federation]. Ph.D. Dissertation. Moscow: Moscow Technical University of Communication and Informatics Publ.; 2017. 310 p. (in Russ.)
12. Rec. MSE -R P.368-9. *Krivye rasprostraneniia zemnoi volny dlia chastot mezhdru 10 kGts i 30 MGts* [Earth wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz]. February 2007. (in Russ.)