

УДК 621.396.97

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ  
КОДИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗВУКА В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО  
РАДИОВЕЩАНИЯ**

КОЛЬЦОВА А.С., БОЦЕЛЯ Д.И., СКУБИЙ В.В.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.  
Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский  
институт радио и телевидения»,  
65026, г. Одесса, ул. Бунина, 31  
tango@i.ua, synced.bt@gmail.com, sk.valerka@gmail.com*

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ  
КОДУВАННЯ ПРОСТОРОВОГО ЗВУКУ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО  
РАДІОМОВЛЕННЯ**

*Кольцова О.С., Боцеля Д.І., Скубій В.В.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.  
Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»,  
65026, Україна, м. Одеса, вул. Буніна, 31  
tango@i.ua, synced.bt@gmail.com, sk.valerka@gmail.com*

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF CONTEMPORARY  
SPATIAL AUDIO CODING APPROACHES WITHIN DIGITAL BROADCASTING  
SYSTEMS**

*Koltsova A.S., Botselya D.I., Skubiy V.V.*

*Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov  
1 Kovalska st., Odessa 65029, Ukraine  
State enterprise "Ukrainian scientific research institute of radio and television"  
31 Bunin st., Odessa 65026, Ukraine  
tango@i.ua, synced.bt@gmail.com, sk.valerka@gmail.com*

**Аннотация.** Одним из направлений развития звуковой радиовещательной службы является улучшение качества звучания передаваемого контента, а именно – возможность использования не только обычной для вещания двухканальной стереофонии, а и внедрение технологий пространственного (иммерсивного) звука. Учитывая актуальность такой тематики, в работе обсуждается вопрос относительно возможности передачи пространственного звука в современных системах цифрового радиовещания.

В настоящее время предложены усовершенствованные форматы передачи аудиоконтента, применение которых позволит достичь такого качества воспроизводимого звука, при котором у слушателя возникает впечатление, максимально близкое к эффекту «присутствия при звуковом событии». Достижение такого качества возможно несколькими способами: путём передачи аудиоконтента на основе каналов; путём передачи на основе звуковых объектов; на основе звуковой сцены или путём комбинирования этих подходов. Обзор указанных подходов, их достоинств и недостатков выполнен в данной работе. Также затронута тема целесообразности использования рассмотренных подходов в радиовещательной службе и определения оптимального формата передачи аудиоконтента с целью повышения качества звучания прослушиваемых радиовещательных программ.

Проведены расчёты относительно требуемых значений скорости передачи цифровых аудиоданных для некоторых форматов передачи пространственного звука. Полученные значения сравнивались со значениями скорости передачи аудиоданных, которые могут быть обеспечены в современных системах цифрового радиовещания, таких как DAB+, DRM30, DRM+ и HD Radio.

При определении необходимых значений скорости цифрового потока использовались данные результатов субъективно-статистических экспертиз, полученных различными исследовательскими группами, для чего был проанализирован ряд международных документов и публикаций.

**Ключевые слова:** аудиокодек – звуковой объект – звуковая сцена – цифровое радиовещание

**Анотація.** Одним з напрямків розвитку служби звукового радіомовлення є поліпшення якості звучання переданого контенту, а саме – можливість використання не тільки традиційної для мовлення двоканальної стереофонії, а й впровадження технологій просторового (імерсивного) звуку. З огляду на актуальність такої тематики, в роботі обговорюється питання щодо можливості передавання просторового звуку в сучасних системах цифрового радіомовлення.

Нині запропоновано удосконалені формати передавання аудіоконтенту, застосування яких дозволить досягти такої якості відтвореного звуку, за якої у слухача виникає враження, що є максимально близьким до ефекту «присутності при звуковій події». Досягнення такого рівня якості можливо декількома способами: шляхом передавання аудіоконтенту на основі каналів; шляхом передавання на основі звукових об'єктів; на основі звукової сцени або шляхом комбінування цих підходів. Огляд зазначених підходів, їх переваг і недоліків виконано в даній роботі. Також розглянуто питання доцільності використання розглянутих підходів для служби радіомовлення і визначення оптимального формату передачі аудіоконтенту з метою підвищення якості звучання програм радіомовлення.

Проведено розрахунки щодо необхідних значень швидкості передавання цифрових аудіоданих для деяких форматів передавання просторового звуку. Отримані значення порівнювалися зі значеннями швидкості передавання звукової інформації, які можуть бути забезпечені в сучасних системах цифрового радіомовлення, таких як DAB+, DRM30, DRM+ і HD Radio.

Під час визначення необхідних значень швидкості цифрового потоку використовувалися дані результатів суб'єктивно-статистичних експертиз, отриманих різними дослідницькими групами, для чого було проаналізовано ряд міжнародних документів і публікацій.

**Ключові слова:** аудиокодек – звуковий об'єкт – звукова сцена – цифрове радіомовлення

**Abstract.** One of the directions of the sound broadcasting service development is the improvement of the sound quality in transmitted content, namely, the possibility of application not only the conventional two-channel stereophonic broadcasting, but also the introduction of spatial (immersive) sound technologies. Considering the relevance of such problem, the issue of the possibility of transmitting spatial sound in modern digital broadcasting systems is discussed in the article.

Nowadays, several advanced audio content transfer formats have been proposed, and their application will allow to achieve such quality of reproduced sound, that the listener would have an impression as close as possible to the effect of “being present inside a sound event”. Achieving this quality is possible in several ways: by transmitting audio content based on sound channels; by sound object-based transmission; by sound scene-based transmission or by combining these approaches. Overview of these approaches, their advantages and disadvantages are fulfilled within this work. The feasibility of the considered approaches application in the broadcasting service and determining the optimal format of audio content to improve the sound quality while listening the broadcast programs are also considered.

Calculations of the required values of the digital audio data transmission rate for some spatial audio transmission formats are carried out. The values obtained were compared with the audio data rate values, that can be provided in contemporary digital broadcasting systems such as DAB+, DRM30, DRM+ and HD Radio.

For determining the values of the digital audio data transmission rate, the information from the results of subjective assessment trials, obtained by various research groups were used, a number of international documents and publications were analyzed for this purpose.

**Keywords:** audio codec – sound object – sound stage – digital broadcasting.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мы наблюдаем активное внедрение систем цифрового звукового вещания во многих странах мира [1, 2]. Постепенное усовершенствование технологий кодирования звука в таких системах позволило обеспечить возможность передачи все большего объема контента в существующих частотных каналах [3, 4].

Но, параллельно с запросом на повышение разнообразия контента, существует и запрос на повышение качества воспроизводимого звука. Наблюдается такая тенденция, что слушателям, привыкшим к обычной стереофонии, хотелось бы ощущать и «звуковое окружение». Поэтому разработка таких методов передачи звуковой информации, которые позволили бы

добиться качества звучания, максимально близкого к ощущаемому слушателем, «непосредственно присутствующим при звуковом событии», стала актуальным направлением развития современной звукотехники. Толчок этому дало появление ТВ систем сверхвысокой четкости и так называемых систем VR.

Требование к повышению качества звукового сопровождения высоко чёткого изображения отразилось и на технологии передачи звука в системах вещания в целом (а не только звукового сопровождения ТВ программ). И, таким образом, на сегодняшний день одним из направлений развития службы звукового вещания является передача и воспроизведение т.н. пространственного (иммерсивного или 3D) звука.

На решение такой задачи направлены перспективные технологии передачи звука, которые получили общее название NGA систем (Next Generation Audio).

Помимо реализации иммерсивного звука, при разработке этих систем также стремились достичь:

- поддержания увеличивающихся вариантов конфигурации систем воспроизведения;
- обеспечения адаптации входных сигналов к системам воспроизведения у слушателя;
- обеспечения возможности интерактивности для слушателя: например, настройка уровня сигнала, соответствующего только комментатору/диктору, без изменения звукового фона передачи).

Для реализации иммерсивного звука, предложены три фундаментальных подхода в NGA системах:

- на основе каналов (channel-based audio);
- на основе звуковых объектов (object-based audio);
- на основе звуковой сцены (scene-based audio).

Эти три подхода могут быть использованы как по отдельности, так и в сочетании друг с другом.

### ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗВУКА

При передаче аудиоконтента *на основе каналов* звуковые сигналы, записанные в первичном звуковом поле с помощью определенного количества микрофонов, микшируются в заранее установленное количество каналов и сопровождаются статическими метаданными на протяжении всей передачи. Каждый из этих каналов подлежит воспроизведению через отдельный громкоговоритель, расположенный в определенной точке пространства [5, 6].

Для реализации такого подхода в системах вещания была разработана технология MPEG Surround (ISO/IEC 23003-1), которая обеспечивает эффективный метод кодирования многоканального звука и позволяет передать «окружающий звук» при таких значениях скорости цифрового аудиопотока, которые обычно используются для кодирования моно- или стереосигналов [5, 7].

В рамках технологии использовано представление многоканального звукового сигнала  $N$  каналов в виде так называемого нисходящего смешения и дополнительных данных, которые используются на приеме для получения многоканального сигнала, близкого к исходному. Возможны несколько режимов работы кодера MPEG Surround, при которых из многоканального входного звукового сигнала формируется либо моно-, либо стереофоническое нисходящее смешение. Это нисходящее смешение кодируется с использованием стандартного базового кодека, например, MPEG-4 HE-AAC, рис. 1 [5, 7].

В дополнение к нисходящему смешению формируется описание параметров многоканального сигнала, определяющих пространственные характеристики звучания. Это описание добавляется как поток вспомогательных данных к потоку, сформированному базовым кодеком. Как правило, эти параметры представляют собой разность уровней/значений интенсивности и параметры, используемые для оценки корреляции/когерентности канальных сигналов и могут быть представлены в максимально компактном виде [7].



Рисунок 1 – Принцип передачи многоканального звукового сигнала

В обычных моно- или стереодекодерах вспомогательные данные не обрабатываются и воспроизводится звуковой моно- или стереосигнал, соответствующий нисходящему смещению.

Декодеры MPEG Surround сначала декодируют нисходящее смещение, а затем используют параметры, извлеченные из потока вспомогательных данных, для формирования высококачественного многоканального звукового сигнала.

Подход *на основе объектов* был предложен, чтобы избежать необходимости строго определенной конфигурации системы воспроизведения на приемной стороне, как это свойственно передаче на основе каналов, и обеспечить независимость от количества и размещения громкоговорителей на приемной стороне.

При таком подходе передаваемые сигналы соответствуют отдельным звуковым элементам, составляющим общую звуковую сцену. Например, в качестве объектов можно представить солистов в ансамбле, собеседников в разговоре. Отдельные объекты идентифицируются излучаемыми звуковыми сигналами и их пространственными координатами [8, 9]. Передача должна сопровождаться метаданными, описывающими параметры объекта (рис. 2).

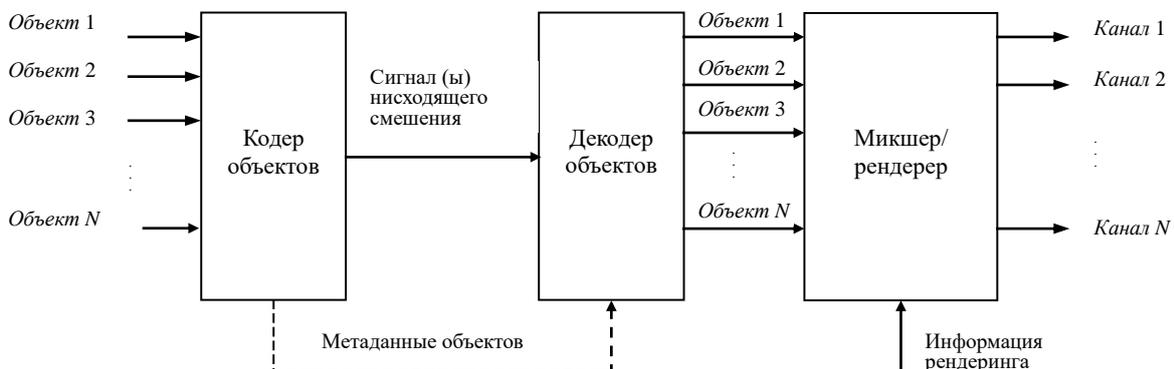


Рисунок 2 – Принцип пространственного кодирования объектов [9]

На приемной стороне для проигрывания аудиоконтента может использоваться произвольная система воспроизведения.

Одним из направлений исследований передачи пространственного звука является разработка и усовершенствование методов для преобразования исходного набора звуковых сиг-

налов и соответствующих метаданных в другую конфигурацию звуковых сигналов в соответствии с имеющимися метаданными контента, сведениями о системе воспроизведения и акустической обстановке прослушивания [10, 11].

Компонентом NGA системы, на которую возложена реализация такой задачи, получила название системы рендеринга. В рассматриваемом случае передачи на основе объектов его функция – воссоздание на приемной стороне объекта с определенным пространственным местоположением и уровнем сигнала.

Представление аудиоконтента на основе объектов обладает большей степенью реалистичности по сравнению с передачей на основе каналов, однако его эффективность с точки зрения использования для целей вещания ограничена. Прежде всего, она ограничена сложностью звуковой сцены. Для сцен, содержащих сотни отдельных источников, например, аплодисменты в концертном зале, становится невозможным представить каждый источник как отдельный объект. Резко возрастает необходимая скорость цифрового потока и сложность рендеринга [8]. Также трудно использовать эту технологию во время «прямых трансляций».

Поскольку абсолютно все звуковые сцены нельзя представить в виде набора отдельных четко локализованных точечных звуковых объектов, распределенный в пространстве окружающий звук удобно представить в виде каналов.

Наконец, подход *на основе звуковой сцены* предполагает работу с определенным набором сигналов, описывающих сформированное звуковое поле.

Представление звукового поля можно получить, если знать звуковое давление в каждой точке рассматриваемого пространства в любой момент времени. При подходе к передаче аудиоконтента на основе сцены пытаются осуществить нечто подобное – звуковая сцена представлена набором значений давления в некоторый момент времени, а также другие моменты времени, для которых производятся отсчеты (например, 48000 раз в секунду) [8].

Звуковое давление  $p$  в точке пространства является функцией ряда параметров –  $p(r, \theta, \varphi, t)$ ,

где  $r$  – расстояние от источника звука до точки наблюдения

$\theta, \varphi$  – углы, характеризующие взаимное расположение источника звука и точки наблюдения в вертикальной и горизонтальной плоскости соответственно.

Чтобы можно было передавать информацию о звуковом поле и смоделировать его на приемной стороне, значение давления представляется в виде суммы сферических гармоник, а передаче подлежат коэффициенты этих гармоник. По полученным коэффициентам может быть синтезировано значение звукового давления. Чем выше число коэффициентов, тем точнее модель звукового поля [8].

Передаваемые сигналы, соответствующие коэффициентам, получили название сигналов амбисоник. На практике применяется ограниченное число коэффициентов (16 либо 25).

Методы передачи иммерсивного звука описаны в стандарте MPEG-H 3D Audio (ISO/IEC 23008-3:2015). Стандарт разработан для поддержки кодирования как аудиоканалов, так и аудиообъектов, и аудиоконтента по технологии амбисоник высших порядков. Контент каждого типа может использоваться как отдельно, так и в сочетании с другими [5, 7, 8].

Структура кодека MPEG-H 3D Audio построена на основе MPEG стандарта унифицированного кодирования речи и звука USAC. Применение кодека USAC позволяет выполнять сжатие монофонических и многоканальных сигналов со скоростью от 8 кбит/с на канал и выше.

На приемной стороне помимо базового декодера потребуется набор рендереров для сигналов разного класса, которые преобразуют эти сигналы для подачи на громкоговорители [5].

Использование технологий NGA в производстве программ пока не является широко распространенным. По данным EBU в настоящее время в странах Европы всего несколько вещательных компаний приняли для регулярного использования технологии NGA и соответствующие методы подготовки контента [12].

В 2015 г. при содействии EBU десятью организациями, среди которых вещательные компании, производители оборудования для вещания и исследовательские организации, был создан проект ORPHEUS, в рамках которого была разработана полная технологическая цепочка производства программ на основе передачи звуковых объектов.

Одной из ключевых целей проекта было описание базовой архитектуры производства программ и их вещания. Такая архитектура была предложена и может использоваться вещательными компаниями в качестве руководства при подготовке собственных программ.

Такова вкратце основная стратегия развития службы звукового вещания на сегодняшний день. И хотя сегодня подобные технологии ещё крайне мало задействованы для регулярных передач, следует рассмотреть принципиальный вопрос: можно ли использовать подобные технологии в современных системах вещания для улучшения качества контента аудио-программ. Важная особенность, которая должна быть учтена – требуемые скорости потоков цифровых аудиоданных и возможности их передачи в существующих радиоканалах.

### ОЦЕНКА ТРЕБУЕМОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ АУДИОДАНЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ КОДИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗВУКА

Выполним оценку скорости передачи цифрового потока для различных форматов передачи аудиоконтента (табл. 1 – 3). Рассмотрим методы передачи на основе каналов и комбинирование передачи на основе каналов и на основе звуковых объектов («каналы + объекты»).

Оценку выполним для следующих подходов к передаче контента:

– при передаче многоканального звука использовалась методика формирования стереофонического двухканального нисходящего смешения и последующая его передача с помощью базового кодека HE-AAC (AAC + SBR), а также формирования дополнительных данных о пространственных параметрах. Для передачи таких данных потребуется увеличение скорости общего цифрового потока в пределах от 3 до 32 кбит/с [7, 13]. Передача дополнительной информации о пространственных параметрах со скоростью 32 кбит/с позволяет обеспечить максимально возможную прозрачность звучания.

Таким образом, результирующая скорость передачи аудиоданных будет составлять:

$$V_{\Sigma} = V_{he\_aac\_stereo} + V_{side\_chan}, \quad (1)$$

где  $V_{he\_aac\_stereo}$  – скорость, обеспечиваемая HE-AAC кодером для заданного качества звучания,

$V_{side\_chan}$  – скорость передачи дополнительной информации, ее величина зависит от типа нисходящего смешения (моно-, стерео- и т.д.), количества исходных сигналов, выбранных пространственных параметров;

– при комбинированной передаче «каналы + объекты» дополнительно к нисходящему смешению многоканального сигнала передавался еще один моносигнал с сопутствующими метаданными. Этот моносигнал формировался путем сведения всех сигналов, соответствующих отдельным объектам, и передавался вместе с дополнительной информацией, которая в соответствии с [9], требует для передачи 3 кбит/с на каждый объект и дополнительно 3 кбит/с на общий заголовок передаваемых дополнительных данных. В качестве базового кодека для кодирования моносигнала рассматривался HE-AAC.

В данном случае результирующая скорость:

$$V_{\Sigma} = V_{he\_aac\_stereo} + V_{side\_chan} + V_{obj\_mix} + V_{side\_obj}, \quad (2)$$

где  $V_{obj\_mix}$  – скорость передачи сигнала нисходящего смешения сигналов звуковых объектов,

$V_{side\_obj}$  – скорость передачи дополнительной информации о параметрах объектов.

Расчет осуществлялся с использованием экспериментальных данных, характеризующих для кодека HE-AAC соответствие скорости передачи аудиоданных и обеспечиваемого субъективного качества звука [14, 15]. Выбранные значения скорости соответствовали оценке 4,5 балла при максимально возможной оценке 5 баллов. Эти значения скорости приведены в табл. 1.

Для передачи дополнительной информации о пространственных параметрах в случае использования исходного формата 5.1 потребуется 8 кбит/с, в случае формата 7.1 потребуется 12 кбит/с.

В табл. 1 приведены результаты оценки

Таблица 1 – Значения скорости цифрового потока для передачи пространственного звука с использованием различных форматов (нисходящее смешение – двухканальный стереофонический сигнал)

Формат контента	Общее число каналов и объектов	Скорость передачи нисходящего смешения многоканального сигнала $V_{side\_obj}$ кбит/с	Скорость передачи дополнительных данных о пространственных параметрах $V_{side\_chan}$ кбит/с	Скорость передачи сигнала звуковых объектов $V_{obj\_mix}$ кбит/с	Скорость передачи дополнительных данных о параметрах объектов $V_{side\_obj}$ кбит/с	Общая скорость передачи $V_{\Sigma}$ кбит/с
2.0	2	48	–	–	–	48
5.1	6	48	8	–	–	56
7.1	8	48	12	–	–	60
2.0 + 3 obj	5	48	–	24	12	84
5.1 + 3 obj	9	48	8	24	12	92
7.1 + 3 obj	11	48	12	24	12	96

В табл. 2 внесены результаты расчетов для несколько иного подхода к передаче – использования монофонического нисходящего смешения для передачи многоканального звука при том же базовом кодере. При этом требуемый объем дополнительных данных о пространственных параметрах несколько увеличится.

Таблица 2 – Значения скорости цифрового потока для передачи пространственного звука с использованием различных форматов (нисходящее смешение – монофонический сигнал)

Формат контента	Общее число каналов и объектов	Скорость передачи нисходящего смешения многоканального сигнала $V_{he\_aac\_stereo}$ кбит/с	Скорость передачи дополнительных данных о пространственных параметрах $V_{side\_chan}$ кбит/с	Скорость передачи сигнала звуковых объектов $V_{obj\_mix}$ кбит/с	Скорость передачи дополнительных данных о параметрах объектов $V_{side\_obj}$ кбит/с	Общая скорость передачи $V_{\Sigma}$ кбит/с
2.0	2	24	4	–	–	28
5.1	6	24	12	–	–	36
7.1	8	24	16	–	–	40
2.0 + 3 obj	5	24	4	24	12	64
5.1 + 3 obj	9	24	12	24	12	72
7.1 + 3 obj	11	24	16	24	12	76

В таблице 3 отдельно представлены значения скорости передачи аудиоданных для двух вариантов системы амбисоник в случае кодирования её сигналов как отдельных монофонических с использованием кодека HE-AAC.

Таблица 3 – Значения скорости цифрового потока для передачи пространственного звука с использованием системы амбисоник высших порядков (НОА – High Order Ambisonic)

Формат контента	Общее число передаваемых сигналов	Скорость передачи отдельных сигналов амбисоник, кбит/с	Общая скорость передачи, кбит/с
НОА (3 порядок)	16	24	384
НОА (4 порядок)	25	24	600

Возвращаясь к ранее обозначенному вопросу о возможности передачи иммерсивного аудиоконтента по существующим вещательным каналам, проведем сравнение полученных значений скорости передачи аудиоданных (табл. 1–3) с возможными значениями скорости передачи цифровых данных в современных системах цифрового радиовещания (ЦРВ).

Возможные значения скорости передачи аудиоданных в различных системах ЦРВ приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Значения скорости передачи аудиоданных в современных системах ЦРВ

Система вещания	Ширина полосы радиоканала	Возможные значения скорости передачи аудиоданных, кбит/с
DAB+	1,54 МГц	576–1730
DRM+	100 кГц	37,3–186,4
HD Radio	400 кГц	48–300
DRM 30	9 (10) кГц	6,1–34,8
	18 (20) кГц	13–72

Сравнивая значения скорости цифровых потоков аудиоданных, соответствующих различным форматам передачи пространственного звука, и значения скорости передачи аудиоданных в современных системах ЦРВ, видим, что повышение качества передаваемого контента вещательных программ за счет применения NGA технологий возможно. На сегодняшний день определенные шаги в этом направлении уже сделаны, – например, передачи с использованием формата многоканального звука 5.1 ведутся в системах DAB+ и DRM+; уже предусмотрена передача многоканального звука в формате 5.1 и в системе DRM 30 [4] (при существенно меньшей стандартной полосе частот радиоканала).

Что касается передачи аудиоконтента с использованием системы амбисоник высших порядков – как видим, только с использованием системы DAB+ можно осуществить на сегодняшний день подобную передачу. Однако, исследования и разработки методов и форматов передачи сигналов амбисоник активно ведутся, подтверждением чему является принятие Европейским Институтом Стандартизации в области телекоммуникаций ETSI документа ETSI TS 103 589 “Формат передачи амбисоник высших порядков (НОА)” [16], в котором рассматривается технология передачи сигналов амбисоник в современных телекоммуникационных сетях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 www.worlddmb.org
- 2 www.drm.org
- 3 ITU-R Recommendation BS. 1114-10. Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable

and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz // ITU-R. – 2017 – 98 pp.

4 ETSI ES 201 980 V4.1.2 (2017-04). Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification. (Европейский стандарт Всемирное цифровое радио (DRM). Описание системы) // ETSI 2017. – 196 pp.

5 ITU-R Recommendation BS. 1196-6. Audio coding for digital broadcasting. // ITU-R. – 2017. – 38 pp.

6 ITU-R Recommendation BS. 2051-2. Advanced sound system for programme production. // ITU-R. – 2018. – 22 pp.

7 Herre J. MPEG Surround – The ISO/MPEG Standard for Efficient and Compatible Multi-Channel Audio Coding / J. Herre, K. Kjørning, J. Breebaart, C. Faller, S. Disch, H. Purnhagen, J. Koppens, J. Hilpert, J. Roden, W. Oomen, K. Linzmeier, K. Seng Chong // AES 122<sup>nd</sup> Convention. – May, 2007. – 23 pp.

8 Scene-based Audio: A novel paradigm for immersive and interactive audio user experience. // Qualcomm Technologies, Inc., 2015. – 21 pp.

9 Engdegard J. Spatial Audio Object Coding (SAOC) – The Upcoming MPEG Standard on Parametric Object Based Audio Coding / J. Engdegard, B. Resch, C. Falch, O. Hellmuth, J. Hilpert, A. Hoelzer, L. Terentiev, J. Breebaart, J. Koppens, E. Schuijers, W. Oomen // 124th Audio Engineering Society Convention 2008, Vol. 2, Amsterdam, NL, May 17-20, 2008. – 15 pp.

10 ITU-R Question 139-1/6. Methods for rendering of advanced audio formats // ITU-R. – 2018. – 2 pp.

11 Кривошеев М.И. Многоканальный звук в телевизионном вещании / М.И. Кривошеев, В.Г. Федунин // Телевизионное вещание. – 2016. – №1. – С.32–36.

12 EBU Technical Report TR042. Example of an end-to-end OBA broadcast architecture and workflow // EBU. – Geneva, May 2018 – 35 pp.

13 Gayer M. Latest Development in Low Bit-rate and High-quality Multi-channel Automotive Audio / M. Gayer, R. Bleidt // 36 AES International Conference: Automotive Audio, June, 2009 – 9 pp.

14 Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS. Technical paper. Extended HE-AAC – bridging the gap between speech and audio coding. – 2013. – 8 p.

15 Выходец А.А. Технология цифрового вещания DRM: предоставляемые услуги при усовершенствовании кодирования звука / А.А. Выходец, А.С. Кольцова // Цифрові технології. - № 20, 2016. – С. 76 – 82/

16 ETSI TS 103 589 V1.1.1 (2018-06). High Order Ambisonics (HOA) Transport Format. (Техническая спецификация. Формат передачи амбисоник высших порядков) // ETSI 2018. – 33 pp.