

УДК 78:681.8

## НОВАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ – WFS КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ИСКУССТВА ЗВУКОРЕЖИССУРЫ

Чабушкин В.А.

*НОУ ВПО «Санкт-Петербургский Гуманитарный университет профсоюзов», г.Санкт-Петербург, Россия (192238, Санкт-Петербург, улица Фучика, 15), e-mail: vchabushkina@gmail.com*

---

Развитие новых систем пространственного звуковоспроизведения открывает перед звукорежиссером новые горизонты творческой интерпретации звуковой картины. В статье рассмотрены художественные приемы искусства звукорежиссуры для позиционирования элементов звуковой картины при использовании формата Wave Field Synthesis, которые позволяют передать слушателю более точный и убедительный пространственный звуковой образ. Возможность работать со звуковой картиной на уровне синтеза звукового поля, которая стала доступна звукорежиссеру в формате Wave Field Synthesis, обновила творческие инструменты для позиционирования точечных и протяженных объектов, а также дополнила творческую палитру искусства звукорежиссуры новыми средствами выразительности.

---

Ключевые слова: системы пространственного звуковоспроизведения, пространственный звук, WFS, Wave Field Synthesis, пространственные системы звуковоспроизведения, локализация, точечный источник звука, протяженный звуковой объект.

## WAVE FIELD SYNTHESIS IN CONTEXT OF CREATIVE AUDIO ENGINEERING

Chabushkin V.A.

*Saint-Petersburg University of Humanities and Social Sciences, Saint-Petersburg, Russia (192238, Saint-Petersburg, Fučík street, 15), e-mail: vchabushkina@gmail.com*

---

Development of new spatial sound reproduction systems opens up new horizons for audio engineer's creative interpretation of the sound image. The article describes the artistic techniques of creative audio engineering for positioning elements of the sound image by using the format Wave Field Synthesis, that allow the listener to convey a more detailed and convincing surround sound image. Ability to work with a sound image at the level of the sound field synthesis, which became available for an audio engineer in Wave Field Synthesis format, updated creative tools for positioning point and extended objects, as well as expanded a creative sound design palette with new means of expression.

---

Keywords: audio reproduction system, WFS, Wave Field Synthesis, spatial audio, audio point source, audio extended object.

Запись и воспроизведение звукового образа, доступного для слухового восприятия в другом (вторичном) пространстве и/или в другой момент времени, была и остается основной задачей звукорежиссера, начиная с первых опытов звукозаписи. Развитие технических средств записи, хранения и воспроизведения звуковой информации, произошедшие на рубеже XX и XXI веков, позволило звукорежиссеру эффективнее решать задачу передачи звуковой картины с минимальными потерями.

Точность воспроизведения *спектрально-временных характеристик* звукового сигнала достигла высокого уровня благодаря развитию аналоговых преобразователей и устройств обработки сигнала, систем кодирования и хранения информации в цифровой форме, цифровых процессорных устройств, как в аппаратном, так и в программном виде. С другой стороны, передача *пространственной* составляющей звуковой картины в наиболее

распространенных стереофонических форматах, таких как стереозвук, Dolby True HD, DTS, SDDS имеет серьезные ограничения (ограниченная зона стереоэффекта и др). Альтернативные системы пространственного звуковоспроизведения – Binaural Stereo, Ambisonics, Ambiophonia, WFS, VBAP – были созданы для устранения недостатков и обеспечения звукорежиссера и слушателя более надежными средствами для передачи пространственного звукового образа.

Теоретические основы новой пространственной системы Синтеза Волнового Поля (WFS), которая обеспечивает точное воспроизведение пространственной составляющей звукового образа, были описаны в статье [1]. Принцип практического создания пространственной звуковой картины в формате WFS изложен в статьях [2,3]. В основе синтеза волнового поля лежит принцип Гюйгенса, заключающийся в том, что фронт любой волны может быть сформирован с помощью непрерывно распределенных источников, излучающих вторичную волну, амплитуда и фаза которой определяются первичным источником. Для расчета излучаемого вторичными источниками сигнала используется интеграл Кирхгофа, который математически доказывает теоретическое утверждение Гюйгенса. При помощи интеграла Релея, в формате WFS рассчитывается сигнал для каждого отдельного громкоговорителя, образующего систему, что позволяет располагать вторичные источники – громкоговорители не только вдоль фронта звуковой волны, но в форме круговых и линейных массивов [2]. Громкоговорители должны располагаться на минимальном расстоянии друг от друга вдоль одной или нескольких стен, что позволяет во вторичном пространстве синтезировать звуковое поле в соответствии с заданными параметрами. Контроль звукового поля на уровне синтеза фронта первичного источника звука открывает перед звукорежиссером новые методы при построении звуковой картины. В данной статье предлагается обзор методов расширения художественной палитры звукорежиссера при работе с отдельными элементами звуковой картины с использованием новых возможностей системы WFS.

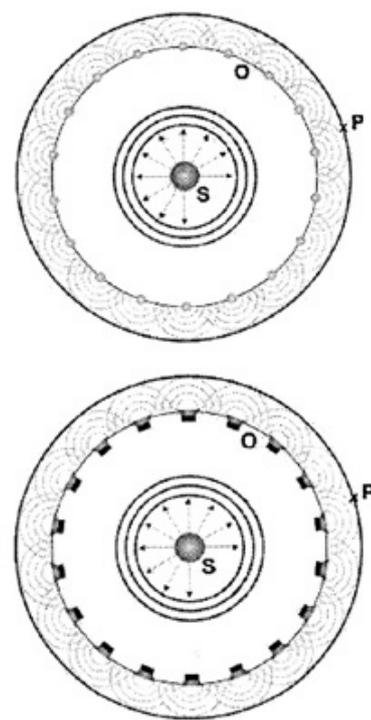


Рис. 1

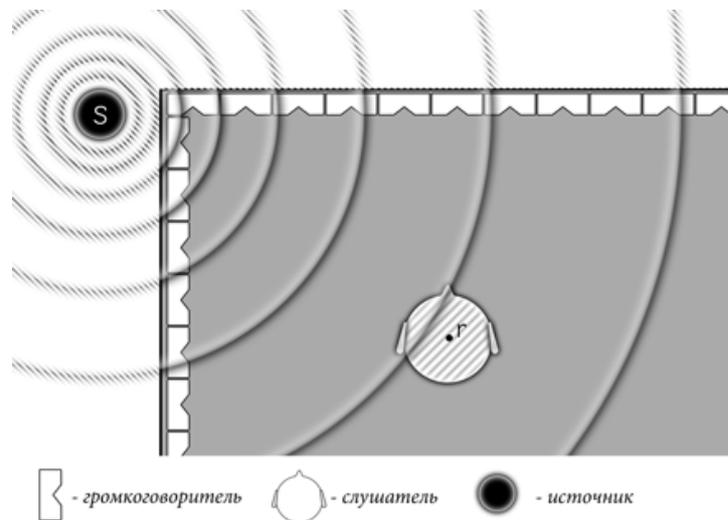


Рис. 2

Звуковая картина музыкального или художественного произведения, как объект творческой деятельности звукорежиссера, представляет собой ансамбль звуковых образов, коллективное звучание которых реализует художественный замысел. Каждый элемент звуковой картины имеет индивидуальную *спектрально-временную* характеристику – тембр, звуковысотность и пр.; и *пространственную* характеристику – положение в пространстве, направление и скорость движение, физические размеры и пр. В зависимости от физических размеров элементы звуковой картины можно разделить на *точечные звуковые объекты* и *протяженные звуковые объекты*. **Точечными звуковыми объектами** являются элементы звуковой картины, физическими размерами которых можно пренебречь при воспроизведении их во вторичном пространстве – протяженность этих объектов мала и не влияет на характер звукоизлучения. В формате WFS такие объекты представлены как ненаправленные монополюсные источники звука, излучающие сферические звуковые волны. Интеграл Кирхгофа позволяет рассчитать фронт сферической волны, излучаемый монополюсным звуковым источником  $S$  в заданной точке  $O$ . Слуховая система человека, воспринимающего звуковую информацию в произвольной точке  $r$ , анализирует структуру пришедших звуковых фронтов от звукового объекта  $S$ , в результате чего локализует звуковой объект в точке  $O$  (рис. 2).

Изменение структуры фронта волны, воспринимаемой слуховой системой человека, сообщает слушателю информацию об изменении взаимоположения слушателя и элемента звуковой картины  $S$ . При сохранении слушателем постоянного положения это создает впечатление движения звукового объекта относительно слушателя и звуковой картины в целом. Если заданные звукорежиссером параметры предполагают быстрое изменение положения звукового объекта в пространстве, воспринимаемый слушателем тембр

искажается в результате эффекта Доплера [3]. Создаваемое в пространстве звуковое поле одинаково хорошо воспринимается в любой точке пространства, поэтому позволяет слушателю, свободно перемещаясь во вторичном поле, приближаться или удаляться от стабильно зафиксированных в пространстве элементов звуковой картины. Такой подход не только отменяет ограничения зоны стереоэффекта, но и открывает перед слушателем возможность интерактивного взаимодействия со звуковой картиной.

Виртуальные монополюсные источники, как основной инструмент для создания пространственной звуковой картины, наилучшим образом подходят для воспроизведения небольших звуковых объектов, размещенных на планах от ближнего к дальнему. Для работы со сверхдальним и сверхближним планом, а также для воспроизведения протяженных звуковых объектов в процессе практического использования пространственного звуковоспроизведения был разработан ряд специальных техник, которые расширяют творческую палитру звукорежиссера.

При построении пространственной звуковой картины использование звукорежиссером **протяженных звуковых квази-объектов** позволяет создавать более сложную палитру звуковых образов. Протяженные звуковые квази-объекты применяются для передачи слушателю во вторичном помещении впечатления о значительных размерах воспроизводимого источника звука. Их использование необходимо как для адекватной передачи тембра таких музыкальных инструментов, как орган, фортепиано, так и для изменения звучания небольших источников звука, таких как вокальная речь, скрипка, что является одним из способов разнообразить звуковую картину, решить художественную задачу [1]. Для решения этой задачи в формате WFS был предложен метод, получивший название *Virtual Panning Spots(VPS)* – Виртуальные точки панорамирования [4]. Предложенный метод предполагает создание вторичных виртуальных громкоговорителей, воспроизводящих стереофонический сигнал, описывающий протяженный звуковой объект. Такой подход позволяет передать слушателю впечатление, о звучании протяженного звукового объекта, используя несколько сигналов, описывающих звучание объекта в дискретных точках. Эти сигналы могут быть получены в ходе мульти-микрофонной записи, где каждый микрофон обеспечивает сигналом отдельную точку VPS; или же на основе записи на один микрофон с применением устройств обработки сигнала для получения дополнительных псевдо-сигналов. Очевидным недостатком технологии VPS является то, что недостатки стереофонии до определенной степени справедливы и при таком методе воспроизведения протяженных звуковых объектов. Минимизировать неточность передачи пространственного образа позволяет свобода выбора числа виртуальных громкоговорителей и их расположение в пространстве, доступная звукорежиссеру при работе в формате WFS.

Разработка пространственной звуковой картины с применением виртуальных точек панорамирования чаще применяется при записи музыкальных ансамблей и оркестра, где необходимо достоверно передать особенность звукоизлучения крупных звуковых элементов.

При разработке звуковой картины звуковые планы являются базовым инструментом звукорежиссуры, позволяющим установить приоритеты для элементов звуковой картины. Традиционным подходом является размещение более важных элементов звуковой картины на ближнем плане, а второстепенные отдалить от слушателя. Важным преимуществом технологии синтеза звукового поля перед другими форматами пространственного звуковоспроизведения является расширение палитры звуковых планов, доступных звукорежиссеру. Возможность создавать звуковой образ не только расположенный за громкоговорителями относительно слушателя, но и перед ними стирает границу между художественным пространством, создаваемым объектом искусства и пространством в котором субъект воспринимает объект искусства.

Для того чтобы создать у слушателя впечатление, что элемент звуковой картины находится на *сверхблизком плане* – перед звуковоспроизводящей системой, необходимо рассчитать фронт звуковой волны для источника звука виртуально находящегося внутри помещения прослушивания. Классическая теория, изложенная Релеем, предполагает расчет звукового поля для пространства, не содержащего звуковые источники, поэтому для решения данной задачи доктор Эдвин Верхеен (Verhein) предложил [5] алгоритм вычислений на основе интеграла Релея, который позволяет синтезировать фронт волны монополюсного источника звука, находящегося внутри пространства для звуковоспроизведения. Для корректного восприятия положения сфокусированного объекта, расстояние от слушателя до воспроизводящего оборудования (т.е. громкоговорителей) должно превосходить расстояние между оборудованием и синтезируемым виртуальным звуковым источником.

В формате WFS звукорежиссер впервые получил возможность помещать звуковые объекты перед громкоговорителями, тем самым, создавая у слушателя впечатление, что элемент звуковой картины находится непосредственно внутри помещения для прослушивания. Расширенная палитра звуковых планов существенно обогащает творческие возможности звукорежиссера, позволяет активно задействовать в художественной практике пространство помещения для прослушивания.

Звуковые объекты, располагающиеся на значительном расстоянии от слушателя, образуют *сверхдальний план* звуковой картины. С увеличением расстояния до источника звука кривизна фронта звуковой волны уменьшается настолько, что фронт звуковой волны можно рассматривать не как расширяющуюся сферу, а как движение плоскости, перпендикулярной звуковому лучу. Так как площадь поверхности плоской звуковой волны

постоянна, интенсивность и звуковое давление в меньшей степени зависят от расстояния, а потеря энергии происходит лишь из-за вязкости среды, теплопроводности, турбулентности и т.д. Локализовать источник звука на основании звукового поля плоской волны невозможно, слушатель может лишь примерно указать направление прихода звуковой информации, что обуславливает особенность восприятия звуковых событий с большого расстояния.

На сегодняшний день все звуковые объекты, представленные в формате WFS, звукорежиссер реализует либо через точечные источники звука, либо через **источники плоской звуковой волны (ИПВ)**. В отличие от монопольных излучателей, воспроизводящих точечные звуковые объекты, рассмотренные ранее, источники плоских звуковых волн во вторичном поле представлены в виде параллельных фронтов звуковой волны. Хотя в реальном мире не существует феноменов представленных в виде плоских звуковых волн, звуковые явления, расположенные на значительном расстоянии от слушателя, можно приближенно рассматривать как источники плоских звуковых волн. У перемещающегося во вторичном поле слушателя, воспринимающего звуковой образ, воспроизведенный посредством ИПВ, возникает ощущение, что положения такого объекта движется синхронно с ним, что не позволяет точно локализовать такой звуковой образ.

Формирование звуковой картины с применением ИПВ применяется в синтетических видах искусства, таких как кино, театр, мультимедиа-искусство, для описания фонового звука или отдаленного звукового события, "непривязанного" к конкретному пространственному ориентиру. ИПВ также полезны для создания однородного звукового поля при передаче звуковой информации большому числу зрителей, например, закадрового дикторского голоса, объявлений, так как интенсивность сигнала, распространяющегося посредством плоских волн, почти не зависит от расстояния. В звукорежиссуре музыкального произведения плоские звуковые волны находят своё применение при создании музыкальных "ландшафтов" и воспроизведении вспомогательных музыкальных партий, традиционно позиционируемых на сверхдальний план. Использование виртуальных ИПВ позволяет вместо звучащих точек создавать нелокализуемые звуковые поля, что особенно востребовано в современной электронной музыке, где восприятие тембра свободно от ассоциации с конкретным музыкальным инструментом, соответственно и с точкой в пространстве. Звукорежиссер может комбинировать несколько источников плоских звуковых волн, излучающих под разными углами, чтобы "погрузить" слушателя в "бесшовную" неделимую звуковую атмосферу пространственной звуковой картины. Использование виртуальных монопольных источников сферических волн и источников плоских звуковых волн при построении звуковой картины, позволяет звукорежиссеру сочетать локализуемые звуковые образы и нелокализуемые звуковые фоны.

В XXI веке, когда влияние новых технологий стало основным фактором прогресса, дальнейшее развитие художественного языка звукозаписи во многом зависит от новых технических средств, доступных звукорежиссеру. В данной статье рассмотрена новая технология синтеза звукового поля – WFS, которая может быть использована для создания объектов звукового искусства. Новый подход при анализе и воспроизведении звукового поля позволяет звукорежиссеру по-другому взглянуть на привычные средства для передачи слушателю художественного образа элемента звуковой картины. Список новых и обновленных средств, перечисленный выше не является исчерпывающим, но служит иллюстрацией того, как наиболее традиционные и распространенные средства выразительности искусства звукорежиссуры могут быть трансформированы и дополнены благодаря технологическому прогрессу.

### Список литературы

1. Динов Виктор Григорьевич Звуковая Картина [Книга]. – Санкт-Петербург : [б.н.], 2012.
2. Berkhaut A.J. A holographic approach to acoustic control [Книга]. – [б.м.] : JAES 36, 1988.
3. Morrell Martin J. и Reiss Joshua D. AES 129th Convention [Конференция] // Inherent Doppler Properties of Spatial Audio. – 2010.
4. Theile Günther и Wittek Helmut Wave Field Synthesis – A Promising Spatial Audio Rendering Concept [Журнал]. - [б.м.] : Acoust. Sci. & Tech., 2004 г. – 25.
5. Verheijen Edwin Sound reproduction by WFS [Книга]. – Delft : [б.н.], 2010.

### Рецензенты:

Денисов А.В., д. искусствоведения, профессор, профессор кафедры теории и истории культуры Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, член Союза композиторов РФ, г.Санкт Петербург;

Мацевский И.В., д. искусствоведения, профессор, заведующий сектором инструментоведения Российского Института истории искусств, г.Санкт Петербург.