



# О МНОГОКАНАЛЬНОМ ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИИ В КИНОТЕАТРАЛЬНОМ КИНЕМАТОГРАФЕ И НОВЫХ СТАНДАРТАХ ДЛЯ ЦИФРОВОГО КИНО (продолжение)

Д. Г. Чекалин,  
ОАО «НИКФИ»

■ Развитие цифровых технологий и их применение в кинематографе для звукозаписи позволило существенно повысить качество звуковоспроизведения, особенно в части шумоподавления и расширения динамического диапазона. Новые технологические возможности вызвали появление в начале 1990-х годов сразу нескольких новых цифровых звуковых киноформатов: Cinema Digital Sound (CDS), Dolby Stereo Digital, Sony Dynamic Digital Sound (SDDS) и Digital Theater Systems (DTS). Все новые системы задумывались и создавались для воспроизведения многоканального пространственного звучания в зрительном зале с целью имитации реального звукового поля для увеличения эффекта «присутствия» у зрителей.

Первым цифровым звуковым форматом для кино был разработанный «Optical Radiation Corporation» совместно с «Eastman Kodak» формат **Cinema Digital Sound (CDS)**, представленный в 1990 г. В этом формате звуковой сигнал записывался оптическим путём в виде пикселей очень малого размера на киноплёнке, специально разработанной для этого «Eastman Kodak». Благодаря высокому разрешению новой плёнки на месте обычной звуковой дорожки удалось разместить цифровую 6-канальную (5.1) фонограмму (рис. 6). В формате CDS звук записывается без сжатия, а для уменьшения объёма данных, вместо обычной 16-битной импульсно-кодовой модуляции (PCM) с линейной шкалой используется специальная, учитывающая особенности слухового восприятия человека, 12-битная логарифмическая шкала. Это позволило обеспечить превосходное звуковоспроизведение с динамическим диапазоном 90 дБ. Для повышения надёжности CDS была оснащена схемой обнаружения и коррекции ошибок.

Новый цифровой формат продемонстрировал беспрецедентное на тот момент качество звука на киноплёнке. «Optical Radiation Corporation» в формате CDS впервые реализовала в кино цифровое многоканальное звуковоспроизведение с независимыми отдельными широкодиапазонными звуковыми каналами и впервые представила технологию звуковоспроизведения по схеме 5.1, которая сейчас популярна в различных системах показа. За экраном размещаются громкоговорители трёх полнодиа-

пазонных фронтальных каналов: левый, центральный и правый. В зале устанавливаются громкоговорители двух полнодиапазонных каналов окружающего звука. Отдельно выделен канал сверхнизких частот. Новый формат с независимыми отдельными каналами не только повысил качество воспроизведения звука, но и позволил снять ограничения, вызванные и накладываемые матричным кодированием при создании и микшировании фонограмм в аналоговых форматах Dolby, что позволило расширить художественные и творческие возможности при записи звука к фильмам. Однако, несмотря на все неоспоримые преимущества нового формата, в нём было сделано всего несколько фильмов, основной причиной чему стала технологическая несовместимость с уже существующими звуковыми киноформатами. Цифровая оптическая звуковая дорожка формата CDS располагалась на 35-мм фильмокопии вместо аналоговой дорожки фотофонограммы на том же самом месте, что не давало возможности использования обычной аналоговой дорожки в качестве резервной в случае сбоя при воспроизведении цифровой фонограммы (как в более поздних цифровых форматах), а также требовало изготовления дополнительных прокатных фильмокопий для показа только в цифровых кинотеатрах с соответствующими дополнительными организационными и финансовыми затратами.

В последующих разработках ошибки были учтены, и традиционная оптическая аналоговая фонограмма в дальнейшем оставалась на киноплёнке на своём месте в неприкосновенности. В цифровых форматах Dolby Stereo Digital (и его модификация Surround EX) и SDDS цифровые звуковые дорожки также размещаются непосредственно на фильмокопии, однако из-за недостатка физического места на плёнке возможно размеще-



Звуковая дорожка CDS

Рис. 6. Расположение цифровой фонограммы формата Cinema Digital Sound (CDS) на 35-мм фильмокопии

ние ограниченного объёма цифровых данных, поэтому применяется компрессия данных. Разработчики утверждают, что применяемые ими методы кодирования хотя и осуществляются с потерями, но основаны на удалении только «избыточной», с точки зрения физиологии восприятия, информации. Например, в киноформате Dolby Stereo Digital шесть звуковых дорожек оцифрованы с частотой дискретизации 48 кГц и закодированы по алгоритму AC3 в цифровой поток с битрейтом 320 кбит/с (для сравнения: в обычном компакт диске звук записывается без компрессии и скорость цифрового звукового потока составляет 1411 кбит/с для двухканальной фонограммы). В AC3 применена оригинальная технология «перцептуального кодирования», основанная на психоакустических особенностях слухового восприятия человека. Эта технология предполагает удаление «избыточной» статистической и психофизической информации из звукового сигнала при его цифровом кодировании с целью уменьшения скорости цифрового потока и объёма передаваемых данных при максимальном сохранении качества субъективного восприятия декодированного звука. Используется свойство человеческого восприятия слышать при одновременном звучании нескольких различных звуковых сигналов только наиболее громкие звуки, которые в определённой мере маскируют все остальные более слабые сигналы. Сигналы более низких частот обладают лучшим маскирующим эффектом, сигналы, звучащие сразу после или перед громким звуком, также маскируются. Это явление позволяет кодировать маскируемые сигналы с меньшей разрядностью или не кодировать их вовсе. Неравномерная частотная чувствительность человеческого слуха делает возможным кодирование с максимальной достоверностью только той части частотного звукового диапазона, которая наиболее значима для человека, а потери в низкочастотном и высокочастотном (начиная с 5000 Гц) диапазонах будут не столь заметны. Ещё одним существенным способом сокращения потока данных является объединение одинаковых данных из разных каналов фонограммы, что применимо на частотах выше 10 кГц без риска нарушения локализации источников звука. В результате вышеперечисленных операций алгоритм AC3 позволяет записывать на киноплёнку менее 10% исходной звуковой информации фонограммы. Стоит обратить внимание, что, несмотря на очень «умный» алгоритм сжатия данных, в этом случае в итоге **удаляется более 90% исходной звуковой информации.**

В киноформате **Dolby Digital** (1991 г.) используется схема звуковоспроизведения 5.1, а в его модификации 1999 г. **Dolby Digital Surround EX** применяется технология записи и воспроизведения каналов окружающего звука по схеме 6.1. Практически этот формат отличается от предыдущего только добавлением третьего тылового (центрального) канала окружающего звука, размещаемого в зале позади зрителя. С точки зрения технологии, дополнительный шестой канал получен с помощью применения метода матричного кодирования (как в аналого-

вом Dolby stereo) и закодирован в стереоканале окружения формата 5.1. Таким образом, в формате Dolby Digital Surround EX для каналов окружающего звука присутствуют все вызванные матричным кодированием ограничения, характерные для аналогового Dolby stereo. Однако, несмотря на некоторый технологический регресс и частичное возвращение к матричному кодированию, новый формат позволяет заметно расширить возможности воспроизведения окружающего звука и даёт дополнительные творческие возможности. Новый формат Surround EX появился во время производства фильма «Звёздные войны: Эпизод I – Скрытая угроза», и его необходимость определялась творческими требованиями авторов к фонограмме фильма. Два канала окружающего звука зала не могли передать все эффекты, задуманные в фильме. Помимо выравнивания качества звука по всей площади кинозала появление тылового центрального канала позволяет воспроизводить новые эффекты, как, например, плавное перемещение звука в кинозале на 360°, а также делает возможным перемещение звуковых образов между задним рядом и киноэкраном по любой траектории, увеличивая реалистичность.

Фирма «Sony» разработала свой цифровой киноформат **Sony Dynamic Digital Sound (SDDS)**, который был продемонстрирован в 1993 г. с фильмом «Последний герой» («Last Action Hero»). К моменту создания SDDS почти всё свободное место на фильмокопии оказалось занято другими звуковыми форматами, однако инженеры «Sony» всё же решили записывать фонограмму непосредственно на киноплёнку и разместили звуковую дорожку в виде оптического раstra на единственном свободном месте – на краях киноплёнки за пределами перфорации, при этом фонограммы с двух краёв плёнки дублируют друг друга и в сочетании с мощной схемой коррекции ошибок обеспечивают надёжную передачу потока данных. Применённая схема коррекции ошибок позволяет воспроизводить цифровую фонограмму без сбоя в местах склеек или в случае её повреждения с одного из краёв киноплёнки. Для дополнительной защиты в случае отказа цифровой звуковой фонограммы предусмотрен автоматический переход декодера на воспроизведение звукового сигнала с аналоговой фонограммы. Использование на оптической фонограмме раstra из пикселей с размером, несколько меньшим, чем у Dolby, и пространства по всей длине плёнки позволяют записывать 8 звуковых каналов с не очень большим коэффициентом сжатия (примерно 5:1). В формате SDDS восьмиканальный 16-битный звук с частотой дискретизации 44,1 кГц кодируется со сжатием с потерей данных, однако использование алгоритма ATRAC (впервые применён на мини-дисках) и достаточно низкий коэффициент сжатия обеспечивают очень высокое качество звучания. Главное отличие этого формата состоит в применении восьми независимых цифровых каналов по схеме 7.1. За экраном размещены громкоговорители пяти полнодиапазонных фронтальных каналов: левый, левый центральный, центральный, правый

центральный и правый. В зале устанавливаются громкоговорители двух полнодиапазонных каналов окружающего звука. Отдельно выделен канал сверхнизких частот SW. Новый формат фактически использует все лучшие наработки своих предшественников и предусматривает совместимость с другими уже существующими форматами. Для совместимости нового формата с уже установленным в кинотеатрах оборудованием других форматов разработчики SDDS предусмотрели возможность декодирования восьмиканальной (7.1) фонограммы в шестиканальную (5.1) или в четырёхканальную, а для демонстрации фильмов, изначально записанных в формате 5.1, декодер SDDS может искусственно создавать левый центральный и правый центральный каналы.

В киноформате **DTS** (и его модификации **DTS-ES**) применён другой принцип – на киноплёнке размещён только синхронизирующий тайм-код, а вся звуковая информация помещается на отдельном внешнем носителе, что позволяет избежать проблемы с дефицитом места для размещения звуковой информации непосредственно на фильмокопии. В формате DTS на киноплёнке рядом с аналоговой дорожкой печатается только узкая дорожка временного кода (в виде последовательности чёрточек длительностью 5–12,5 мс), которая считывается при демонстрации фильма специальной оптической головкой, установленной на кинопроекторе, и обеспечивает кадровую синхронизацию с фонограммой, записанной на отдельном внешнем носителе. При сбое сигнала синхронизации в течение нескольких секунд звук будет по-прежнему воспроизводиться с цифровой фонограммы, и если сигнал временного кода не восстановится, то произойдет переключение воспроизведения звука на аналоговую фонограмму. При восстановлении сигнала синхронизации процессор снова переключится на формат DTS. В DTS применяется запись на дисках CD-ROM и сжатие данных для 16-битных звуковых сигналов с частотой дискретизации 44,1 кГц по алгоритму apt-X100 (разработан компанией «Audio Processing Technology») с коэффициентом сжатия 4:1, что обеспечивает поток данных 882 кбит/с и позволяет разместить на одном диске 100 минут шестиканального (5.1) звука с динамическим диапазоном 96 дБ. Формат DTS предполагает запись пяти звуковых каналов по схеме 5.1, при этом три фронтальных канала – левый, центральный и правый (L-C-R) – записаны в полном звуковом диапазоне (20 Гц–20 кГц), а канал сабвуфера (SW) располагается на дорожке стереоканала окружающего звука (LS-RS) на частотах ниже 80 Гц, и таким образом стереоканал окружения ограничен снизу частотой 80 Гц. В 1999 г. (практически одновременно с Dolby Digital Surround EX и с аналогичным технологическим решением) в кинотеатрах начинается коммерческое использование новой модификации формата DTS-ES (Extended Surround), взаимно совместимого с традиционным DTS и отличающегося от него наличием дополнительного центрального тылового канала окружающего звука, обеспечивающего звуковоспроизве-

дение по схеме 6.1. Дополнительный канал кодируется матричным способом, по тому же принципу, как и в системе Dolby Stereo. Формат DTS благодаря более совершенному алгоритму и меньшему сжатию данных превосходит по качеству звука формат Dolby Digital и является его основным конкурентом. Для звуковоспроизведения в формате DTS в кинотеатр кроме фильмокопии привозят еще и компакт-диск с фонограммой фильма, однако это кажущееся дополнительное технологическое неудобство позволяет использовать одни и те же фильмокопии в прокате по всему миру, дополнительно изготавливая лишь компакт-диски с различными вариантами фонограммы на разных языках. Кроме того, наличие на фильмокопии синхронизирующего временного кода при установке в киноаппаратной дополнительного оборудования – системы субтитров DTS-CSS (Cinema Subtitling System) – позволяет обеспечивать для стандартных фильмокопий синхронный показ на киноэкране субтитров или текстового сопровождения, используя для этого небольшой видеопроектор. Система текстового сопровождения разработана для людей, страдающих дефектами слуха, и отличается от субтитров тем, что она более информативна: описывает звуковые эффекты, во время диалогов указывается говорящий, сообщается о месте действия. Для слепых и людей с частичной потерей зрения на специальные инфракрасные наушники, позволяющие хорошо слышать основное звуковое сопровождение, в промежутках между диалогами дополнительно транслируется запись диктора, в которой описываются сцена и происходящее действие. Запись фонограммы кинофильма на отдельном носителе в формате DTS имеет определённые достоинства: во-первых, теоретически не ограничивает разработчика в объёме потока звуковой информации, а во-вторых, позволяет легко изменять звуковое сопровождение к уже напечатанным фильмам, например, при переводе фильма на ещё один язык или при появлении новой версии звукового формата.

Сейчас в кинотеатрах используются три аналоговых звуковых формата – моно (для старых фильмов), Dolby A (для старых фильмов), Dolby stereo SR; и три цифровых формата – Dolby Stereo Digital (и его модификация Surround EX), DTS (и его модификация DTS-ES) и SDDS. Звуковые дорожки всех этих цифровых и одного из аналоговых форматов могут быть одновременно размещены на одной и той же фильмокопии (рис. 7). Аппаратура для воспроизведения всех этих звуковых форматов может быть одновременно установлена в одном и том же кинозале и на одних и тех же кинопроекторах без помех друг для друга. Так как ни один из цифровых форматов не мешает другому, современные фильмы часто выходят одновременно в двух, а иногда и в трёх цифровых форматах. Наиболее совершенным по качеству звуковоспроизведения и количеству каналов и одновременно наименее распространённым является формат SDDS. А наибольшее распространение получил (наихудший с точки зрения цифрового сжатия) формат Dolby Stereo

Digital, что отчасти объясняется его меньшей стоимостью, простотой и успешной политикой производителя.

В настоящее время проводится рассмотрение и утверждение международных стандартов для цифрового кинематографа в ISO (Международная организация по стандартизации). Примечателен тот факт, что в качестве международных стандартов ISO предлагаются без каких-либо изменений принятые в 2006 г. стандарты SMPTE (Общество инженеров кино и телевидения). Для цифрового звуковоспроизведения в качестве проектов международных стандартов были предложены: «ISO 26428-2 / Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 2: Audio characteristics/» и «ISO 26428-3 / Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 3: Audio channel mapping and channel labeling/», являющиеся точным воспроизведением стандартов SMPTE – SMPTE 428-2-2006 и SMPTE 428-3-2006, соответственно.

Оба стандарта относятся к разделу Digital Cinema Distribution Master (DCDM) и определяют требования к цифровой прокатной мастер-копии фильма и размещению громкоговорителей. В этих стандартах предлагается уточнённая терминология и определяется возможность использования в Digital Cinema Distribution Master (цифровой прокатной мастер-копии фильма) до 16 звуковых каналов с максимальным разрешением до 24-бит и частотой дискретизации 48 кГц или 96 кГц, а так же предлагается несколько вариантов различных форматов и схем размещения громкоговорителей (таблица 1):

- одноканальный вариант (один громкоговоритель в центре)
- двухканальный вариант (два громкоговорителя за экраном)
- четырёхканальный вариант (три громкоговорителя за экраном и один канал окружения в зале)
- шестиканальный вариант (три громкоговорителя за экраном, два канала окружения в зале и один низкочастотный канал)
- семиканальный вариант (три громкоговорителя за экраном, три канала окружения в зале и один низкочастотный канал)
- восьмиканальный вариант (пять громкоговорителей за экраном, два канала окружения в зале и один низкочастотный канал)
- девятиканальный вариант (пять громкоговорителей за экраном, три канала окружения в зале и один низкочастотный канал).

Помимо вышеперечисленных схем размещения, традиционных для кино, так же оговаривается возможность применения дополнительных каналов (таблица 2) и громкоговорителей (в том числе размещённых в

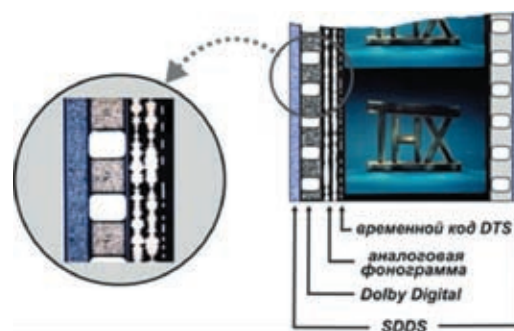


Рис. 7. Размещение современных звуковых форматов на 35-мм фильмокопии

верхней части экрана, в потолке над зрителями, сбоку от экрана за его пределами, а так же дополнительные локализованные громкоговорители на боковых стенах зрительного зала). Размещение всех возможных громкоговорителей (включая дополнительные) приведено на схеме (рис. 8). Предусмотренные в стандарте дополнительные каналы рассчитаны на перспективу и позволяют разрабатывать и создавать новые звуковые форматы в рамках предложенного стандарта.

Не остаются в стороне и разработчики телевизионных систем. В научно-исследовательской лаборатории японской телерадиовещательной корпорации NHK, в которой был создан стандарт HDTV, разрабатывается новый телевизионный стандарт следующего поколения – UHDTV (Ultra High Definition TV) или телевидение сверхвысокого разрешения. В новом формате предусматривается более 33 млн. элементов изображения с максимальным разрешением до 7680 x 4320 и частотой кадровой развёртки –

Таблица 1. Обозначение и маркировка каналов и громкоговорителей в проекте 2007 г. стандарта ISO/DIS 26428-3 для цифрового кинематографа

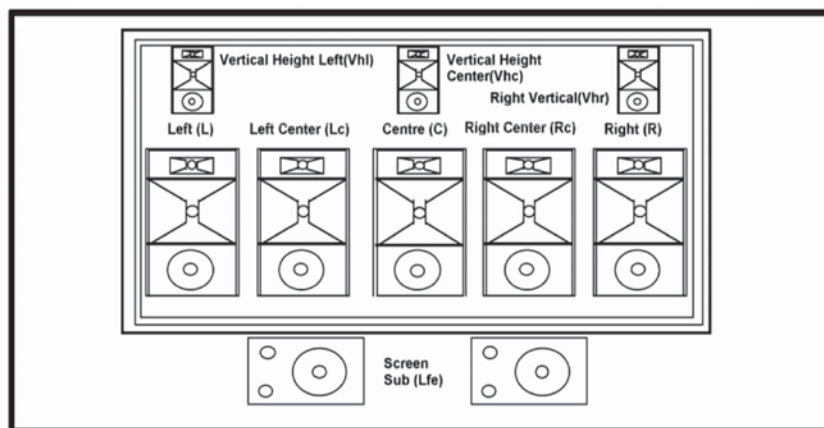
AES Pair No. / Ch No.	Channel No.	Label / Name	Description
1/1	1	L/Left	Far left screen loudspeaker
1/2	2	R/Right	Far right screen loudspeaker
2/1	3	C/Center	Center screen loudspeaker
2/2	4	LFE/Screen	Screen low frequency effects sub-woofer loudspeakers
3/1	5	Ls/Left surround	Left wall surround loudspeakers
3/2	6	Rs/Right surround	Right wall surround loudspeakers
4/1	7	Lc/Left center	Mid left to center screen loudspeaker
4/2	8	Rc/Right center	Mid right to center screen loudspeaker
5/1	9	Cs/ Center surround	Rear wall surround loudspeakers
5/2	10		SMPTE reserved
6/1	11		SMPTE reserved
6/2	12		SMPTE reserved
7/1	13		SMPTE reserved
7/2	14		SMPTE reserved
8/1	15		User defined
8/2	16		User defined



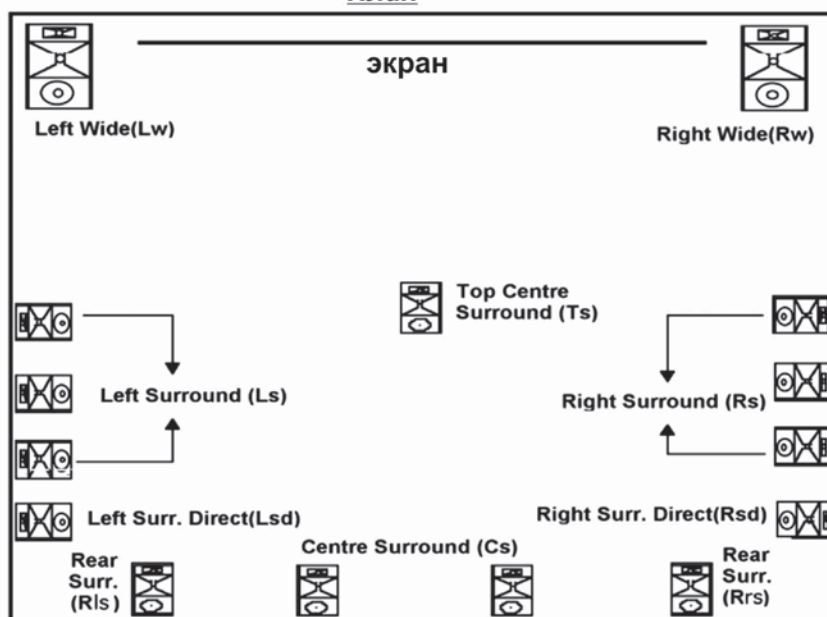
Таблица 2. *Обозначение и маркировка дополнительных каналов и громкоговорителей в проекте 2007 г. стандарта ISO/DIS 26428-3 для цифрового кинематографа*

Name	Label	Description
Vertical height left	Vhl	Far left top of screen loudspeaker
Vertical height center	Vhc	Center top of screen loudspeaker
Vertical height right	Vhr	Far right top of screen loudspeaker
Top center surround	Ts	Center of the theatre ceiling loudspeakers
Left wide	Lw	Outside the screen, front left loudspeaker
Right wide	Rw	Outside the screen, front right loudspeaker
Left surround direct	Lsd	Left surround single loudspeaker for localized directionality
Right surround direct	Rsd	Right surround single loudspeaker for localized directionality
LFE 2	Lfe2	Low frequency effects subwoofer style loudspeaker
Rear surround left	Rls	Rear wall left loudspeaker/s
Rear surround right	Rrs	Rear wall right loudspeaker/s
Hearing impaired	HI	Dynamic range compressed dialog centric mix for the hearing
Narration	VI-N	Narration for the visually impaired

### Размещение акустических систем за экраном



### План



60 кадров в секунду. Для телеформата сверхвысокого разрешения разработана новая 24-х канальная система стереофонического звуковоспроизведения с конфигурацией по схеме 22.2 (рис. 9).

Система состоит из трёх разнесённых по вертикали уровней громкоговорителей и обеспечивает высокое качество звучания во всём зале. В нижнем уровне установлены три громкоговорителя под экраном и два сабвуфера низкочастотных звуковых каналов. Средний уровень состоит из громкоговорителей 10-ти звуковых каналов: три за экраном, два по бокам от экрана и пять на стенах по периметру зала. Верхний уровень образуется из громкоговорителей 9-ти каналов, три из которых размещены над экраном, пять (как и в среднем уровне) на стенах по периметру зала и один находится на потолке над зрителями. Технология Ultra High Definition, разработанная японской телерадиовещательной корпорацией NHK впервые была публично продемонстрирована на выставке Expo 2005 в Японии. Демонстрация проводилась в специально построенном зале, рассчитанном на 400 зрителей с проекционным экраном размером 600 дюймов (рис. 10). Правительство Японии совместно с частными компаниями планирует начать вещание в новом формате в 2015 году и сделать его международным стандартом.

Особо следует отметить принципиально новый перспективный подход к созданию системы объёмного звука. В настоящее время получили широкое распространение исследования, связанные с системой, предложенной в 1980-е годы профессором Берхаутом из Технического Университета в городе Дельфт (Голландия), и получившей название Wave Field Synthesis (WFS — Синтез волнового поля).

Принцип звуковоспроизведения по технологии WFS принципиально от-

Рис. 8. *Размещение громкоговорителей в проекте 2007г. стандарта ISO/DIS 26428-3 для цифрового кинематографа.*

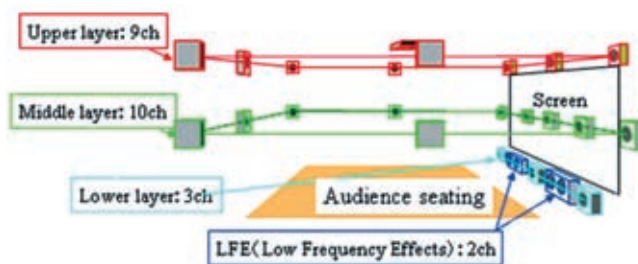


Рис. 9. Конфигурация 24 канальной аудиосистемы (по схеме 22.2) формата UHDTV компании NHK



Рис. 10. Демонстрационный зал системы Ultra High Definition TV на выставке Expo 2005.

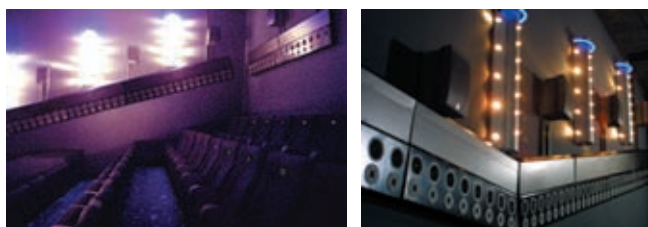


Рис. 11. Установка Iosono

личается от многоканальной стереофонии. Объёмное звучание в классической стереофонической системе с отдельными дискретными источниками звука (громкоговорителями) осуществляется благодаря субъективному эффекту психоакустического сложения нескольких звуковых сигналов коррелированных источников звука, а при технологии WFS осуществляется физический синтез реального волнового звукового поля, аналогично принципу оптической голографии. В этом случае возможно воссоздание во вторичном помещении звукового поля, полностью идентичного по структуре исходному первичному звуковому полю, и возможно обеспечение локализации виртуальных источников во всей зоне слушательских мест и по всем направлениям, что принципиально недостижимо для всех стереофонических систем. Воспроизведение трёхмерного звукового поля по технологии WFS производится с помощью массива громкоговорителей, распределённых по всем поверхностям зрительного зала, причём расстояние между громкоговорителями в идеале должно быть меньше половины длины волны самого высокого звука в воспроизводимом сигнале. В современных экспериментальных моделях используются только линейки громкоговорителей, расположенные по стенам помещения, что пока позволяет воссоздавать цилиндрическое звуковое поле в горизонтальной плоскости, а не полное сферическое. Работы в этом направлении активно проводятся в крупнейших европейских университетах и научных организациях: Технический университет в Дельфте (Голландия), Институт IRT (Германия), IRCAM (Франция), Studer (Швейцария), Университет Аристотеля (Греция) и др. В этом же направлении проводятся работы в Институте медиатехнологий Фраунгофера — директор института Карлхайнц Бранденбург (Karlheinz Brandenburg) совместно с коллегами разработали новую технологию создания трёхмерного звука, получившую название Iosono, и создали действующую

щий образец системы включающей более 400 громкоговорителей (рис. 11).

Дальнейшее развитие систем пространственного звука скорее всего будет осуществляться по двум направлениям. Существующие системы будут развиваться в сторону уменьшения компрессии (вплоть до её полного устранения) и будут оснащаться всё большим числом дискретных каналов записи и воспроизведения звука и размещением громкоговорителей по всем направлениям от зрителя, в том числе в верхней части экрана и на потолке, с целью полного охвата зрителей окружающим звуком, в соответствии с замечанием одного из пионеров стереофонии Х. Флетчера: «стереофоническая система — это не два, три или любое другое фиксированное число каналов. Их должно быть столько, чтобы создавалась иллюзия бесконечного их количества». Альтернативно и независимо от этого будут также создаваться и разрабатываться системы (по принципу Wave Field Synthesis), позволяющие полностью воссоздавать в кинозале структуру первичного звукового поля, аналогично оптической голограмме, и создающие у зрителей полный эффект «присутствия». ■

#### Литература и информационные ресурсы

1. Алдошина И. А. Многоканальные пространственные системы. // Шоу-Мастер. 2003. №2.
2. Алдошина И. А. Пространственные системы синтеза волнового поля – Wave Field Synthesis. // Шоу-Мастер. 2005. №4.
3. Белкин Б. Г. Стереофония в кино. // Техника кино и телевидения. 1984. №1.
4. Высоцкий М. З. Большие экраны и стереофония. М.: «Искусство», 1966.
5. Карагосян М. Многоканальный звук в кино. // Install Pro. 2000. №3.
6. Ковалгин Ю. А. Стереофония. М.: «Радио и связь», 1989.
7. Тарасенко Л. Г., Чекалин Д. Г. Кинозрелища и киноаттракционы. Справочник. М.: «Парадиз», 2003.
8. [www.dolby.com](http://www.dolby.com)
9. [www.iosono-sound.com](http://www.iosono-sound.com)
10. [www.kino-proekt.ru](http://www.kino-proekt.ru)
11. [www.nhk.or.jp/digital](http://www.nhk.or.jp/digital)
12. [www.smpte.org](http://www.smpte.org)