

ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИСКУССТВЕННОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ В КОНТЕКСТЕ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ЗВУКОВОЙ КАРТИНЫ ФОНОГРАММЫ С ПОЗИЦИИ ЗВУКОРЕЖИССЕРА

Д.Д. Таранов, канд. техн. наук, главный звукорежиссер
ГАУК РО «Ансамбль донских казаков им. А. Квасова»
(Россия, г. Ростов-на-Дону)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-1-4-24-32

***Аннотация.** В данной статье предлагается метод выбора звукорежиссером модели реверберации при обработке музыкальных акустических сигналов в контексте создания эффекта глубины фонограммы. Приводятся критерии разграничения сфер применения отдаляющей и неотдаляющей реверберации. Также рассматривается применение реверберации в качестве спецэффекта. Данный метод применим не только к музыкальным акустическим сигналам в различных музыкальных жанрах, но также возможно его применение в сфере озвучивания видеоматериалов, радиопостановок и т.д.*

***Ключевые слова:** звукорежиссура, реверберация, свертка, сверточная реверберация, алгоритмическая реверберация, модели реверберации, цифровая обработка сигналов.*

Несмотря на то, что стереофонические системы существуют уже длительное время и не являются непосредственным инструментом для создания полноценного трехмерного акустического пространства, их актуальность на сегодняшний день сложно переоценить. Повсеместное использование стереосистем по сей день делает их основным инструментом мониторинга звукорежиссера, и абсолютное большинство фонограмм создаются с целью быть воспроизведенными в первую очередь именно на стереофонических системах. В современной студийной звукозаписывающей практике большинство музыкальных инструментов и голосов фиксируется в заглушенных помещениях в ближнем звуковом поле посредством расположения микрофонов в непосредственной близости от источников звука с целью нивелирования даже минимальной естественной реверберации помещения. Тот же принцип касается и синтезированных посредством простых (синусоидальных, треугольных, прямоугольных и т.д.) волновых форм сигналов. Не смотря на то, что большинство синтезаторов обладает собственными процессорами эффектов, список которых включают в себя реверберацию, культура звука создания подобного рода эффектов заключается в их максимальной простоте в связи в том что ис-

пользуются данные эффекты в первую очередь для обогащения тембра электромузыкального инструмента, а также для борьбы с общей динамической и спектральной статикой в общем характере синтезируемого звука. Глубокое моделирование реверберации, равно как и других художественных эффектов обработки, в данном случае оказывается попросту излишним.

В этой связи проблема «глубины» фонограммы, т.е. разнесения в ней источников звукового сигнала, расположенных в ближнем и дальнем звуковых полях остается актуальной, и одним из способов решения данной проблемы является создание в фонограмме искусственного диффузного поля, или даже нескольких подобных полей посредством применения различных моделей реверберации.

Данная статья предлагает методику выбора реверберационного алгоритма в контексте сведения музыкального материала исходя из целей и задач позиционирования источников звукового сигнала в фонограмме.

Критерии разделения моделей реверберации

Глобально все реверберационные модели можно разделить по двум критериям: тип алгоритма реверберации – сверточная или алгоритмическая, и непосредственная

модель реверберации, которая определяет моделирует ли ревербератор некоторое реальное физическое помещение, т.е. имеет ли он блок, моделирующий ранние отражения.

Свертка – математическое понятие, не упоминающееся в музыкальной литературе, однако, хорошо известное, в частности, звукорежиссерам, которые достаточно часто используют подобного рода алгоритмы в своей повседневной деятельности. Первые упоминания о свертке датируются 1975 годом и встречаются они в работах Л. Рабинера и Б. Голда, однако, наибольшую популярность свертка приобрела в 1990-х годах в первую очередь благодаря исследованиям К. Роудса. Упрощенно, суть свертки заключается в «смешивании» двух сигналов для получения одного результирующего, содержащего в себе как временную, так и частотную информацию обоих исходных сигналов. Типичными сверточными ревербераторами на сегодняшний день являются, к примеру, Altiverb от Audio Ease или IR1 от Waves.

В сфере звукорежиссуры для «помещения» одного сигнала в среду другого в качестве исходной среды выступает т.н. импульсная характеристика, являющаяся откликом замкнутой системы (в случае реверберации – физического помещения) на единичный импульс, т.е. на математическую функцию, имеющую бесконечно малую длительность, бесконечно большую амплитуду и единичную площадь. Поскольку такая функция является математической абстракцией, в реальных условиях создание и воспроизведение такой функции ограничено рядом упрощений (использование генерирования единичного импульса в цифровой среде с дальнейшим проигрыванием его через акустическую систему, использование коротких электрических разрядов и т.д.). В контексте фиксации импульсной характеристики помещения для использования в стереофонической обработке звуковых сигналов принято использовать стереопару измерительных микрофонов, впрочем, встречаются и более художественные способы фиксации импульсных характеристик с применением как широкодиафрагменных, так и узкодиа-

фрагменных конденсаторных микрофонов, электретных микрофонов и т.д. Математически свертка проще всего реализуема как перемножение частотных спектров двух функций, т.е. вместо ресурсоемкого в вычислительном плане интегрального выражения (1) принято использовать БПФ (быстрое преобразование Фурье) (2) обеих функций с последующим перемножением их результирующих спектров, что позволяет значительным образом (вплоть до двух порядков) сократить требуемую вычислительную нагрузку.

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau; \quad (1)$$

где τ – текущая независимая переменная, а t представляет ряд последовательных значений сдвига функции $f_2(t)$ относительно функции $f_1(t)$

$$y(n) = IFFT\{FFT\{h(n)\}\} \cdot FFT\{x(n)\} \quad (2)$$

где $x(n)$ – входной сигнал во временной области, $y(n)$ – выходной сигнал во временной области

На первый взгляд, применительно к созданию эффекта реверберации в контексте обработки звуковых сигналов, использование сверточных алгоритмов выглядит как оптимальный выбор, ведь данные алгоритмы позволяют «помещать» звуковые сигналы в естественную акустическую среду, что должно восприниматься слушателем как звучание инструмента или голоса в натуральном акустическом пространстве. Однако, физические свойства данного алгоритма таковы, что сама по себе импульсная характеристика не содержит в себе некоторую критичную для полноценного моделирования помещения информацию, в частности, информацию о нелинейных искажениях и модуляции исходного сигнала. Также, большинство сверточных алгоритмов неспособно работать даже с одномерными массивами импульсных характеристик, что ограничивает динамические возможности данных алгоритмов. В этой связи сверточная реверберация несмотря на предполагаемую «чистоту» и натуральность звучания оказывается мало-

применимой для сведения плотных аранжировок, т.к. попросту маскируется обилием более плотных тембров в фактуре произведения. Также, настройки сверточных ревербераторов крайне ограничены физическими свойствами самой операции свертки и невозможностью гибко отделить раннее отражение от поздних во временной характеристике реверберационного сигнала.

Одним из способов борьбы с вышеупомянутыми недостатками классических сверточных алгоритмов является т.н. «динамическая свертка», суть которой заключается в использовании некоторых более сложных базисных функций (например, вейвлетов) в вычислениях. Типичным примером подобного рода алгоритмов являются Verbsuite Classics или Seventh Heaven от LiquidSonic. Однако, данный способ из-за своей ресурсоемкости как в области вычислительных затрат, так и в области занимаемого дискового пространства не приобрел популярности в период формирования культуры программирования реверберационных алгоритмов (70-80-

е годы XX века), т.к. вычислительные мощности на то время были значительно ограничены. Именно поэтому классическую альтернативу сверточным ревербераторам традиционно представляют алгоритмические ревербераторы.

Алгоритмические ревербераторы исторически не ставят своей целью точное моделирование конкретного помещения, более того, первый цифровой ревербератор – EMT 250 – моделировал только и исключительно плейт-реверберацию. При этом, алгоритмические ревербераторы, моделирующие некоторое абстрактное помещение практически всегда состоят из двух независимых друг от друга блоков: блока ранних отражений и блока поздних отражений. Блок ранних отражений в подобного рода алгоритмах, как правило, представляет собой ряд параллельных линий задержки, в то время как блок поздних отражений представляет собой более сложную систему из гребенчатых и фазовых (всепропускающих) фильтров, как показано на рисунке 1.

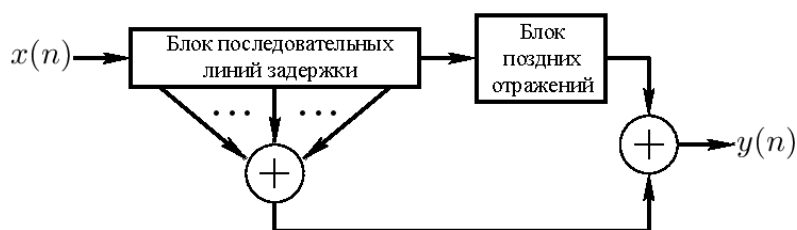


Рис. 1. Типовая блок-схема алгоритмического ревербератора, моделирующего абстрактное помещение

Именно независимость указанных выше блоков позволяет алгоритмическим ревербераторам формировать художественные пространства, подходящие под творческие цели и задачи конкретной фонограммы, поскольку данный тип ревербераторов рассчитан на индивидуальную настройку ранних и поздних отражений реверберационного сигнала, что может сыграть решающую роль в позиционировании источника звукового сигнала по оси глубины в трехмерном акустическом пространстве. Также, подобные ревербераторы обладают обширным набором настроек, что также

положительно сказывается на художественном результате обработки музыкальных сигналов.

Исходя из вышеописанного критерия деления реверберационных алгоритмов сферы их применения достаточно очевидны. Сверточная реверберация хорошо подходит для создания эффекта натурально звучащей прозрачной реверберации, что хорошо применимо, например, при озвучивании видеоматериала (кино, видеоролики и т.д.), однако в плотном музыкальном материале велик шанс маскирования данного типа реверберации, поэтому при сведении

интенсивного музыкального материала рекомендуется применять алгоритмическую реверберацию для более убедительного художественного эффекта.

Типы алгоритмических ревербераторов

Алгоритмические ревербераторы в полной мере следуют культуре звука в сферах, касающихся классических типов реверберации и их функционального разделения. Всего существует четыре классических типа реверберации:

- 1) Рум-реверберация (комнатная реверберация)
- 2) Холл-реверберация (моделирование концертного зала)
- 3) Плейт-реверберация (листовая реверберация)
- 4) Спринг-реверберация (пружинная реверберация)

Отдельным пунктом располагается реверберация в качестве спецэффекта, которая также будет рассмотрена в данной статье.

Рум- и холл-реверберация представляют собой отдаляющий тип реверберации, т.е. их задача – на некоторое расстояние субъективно отдалить источник звукового сигнала в трехмерном акустическом пространстве. При этом, совершенно не обязательно лишать инструменты, располагающиеся в ближнем звуковом поле, реверберации. Именно для них принято использование в художественных целях спринг- и плейт-ревербераторов, которые являются неотдаляющими. Психоакустический принцип отдаления базируется на особен-

ности человеческого слуха бинаурально воспринимать габариты помещения исходя из оценки в первую очередь ранних отражений, но также и реверберационного хвоста. Если слушатель замечает в реверберационном сигнале явный акцент на ранних отражениях и слабовыраженный реверберационный хвост при небольшой предзадержке (predelay) реверберации – он автоматически интуитивно определяет для себя данную реверберацию как комнатную, т.е. камерную. Источник звука, помещенный в подобную реверберацию, не может восприниматься слушателем как далекий, поскольку размеры помещения, эмпирически воспроизводимые слушателем, этого попросту не позволяют. Если же в реверберационном сигнале слабо выражены ранние отражения при широкой их стереокартине и большом значении предзадержки, однако при этом ярко выражен длинный реверберационный хвост, который однозначно воспринимается как часть фактуры звука – сигнал, помещенный в такой реверберационный сигнал воспринимается слушателем как существенно отдаленный, находящийся в дальнем, диффузном звуковом поле.

Именно на вышеперечисленных критериях строится основное отличие рум- и холл-реверберации. На рис.2 показаны импульсные характеристики двух моделей реверберации, полученных из алгоритмического ревербератора TC Electronics M5000: Concrete Room (бетонная комната) и Church (собор).

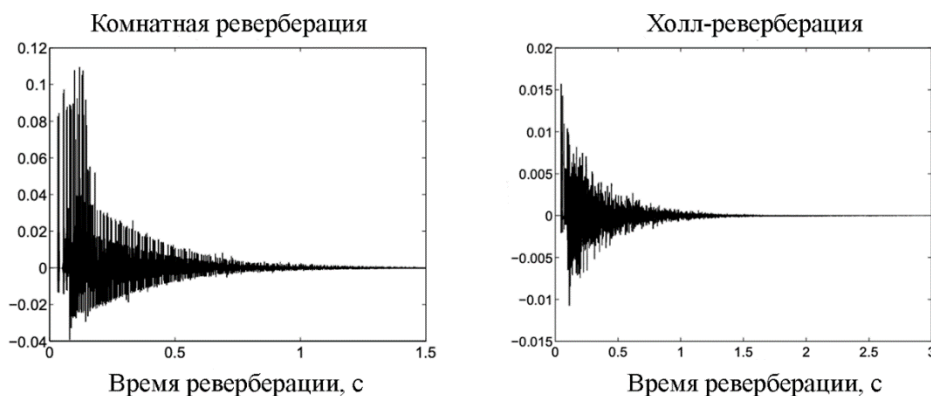


Рис. 2. Импульсные характеристики двух моделей реверберации TC Electronics M5000

Из рисунка очевидна разница в соотношении ранних и поздних отражений реверберационных сигналов, а также в длительностях реверберационных хвостов.

Комнатная и холл-реверберация вполне могут использоваться в процессе сведения одной и той же фонограммы на различных источниках звуковых сигналов с целью помещения их в различные акустические условия, и, следовательно, эффективного разделения их по оси глубины трехмерного акустического пространства; очевидно, что в таком случае инструменты, помещенные в комнатную реверберацию будут несколько отдалены от инструментов ближнего звукового поля, однако при этом их расположение относительно слушателя будет значительно ближе, чем у инструментов, помещенных в холл-реверберацию.

Прототипом современных цифровых плейт-ревербераторов являются аналоговые звуковые решения. Аналоговые звуковые эффекты существуют уже практически столетие. Они были особенно популярны 50-х и 60-х годах, в период интенсивной разработки звуковых схемотехнических решений, сформировавших культуру звука на десятилетия вперед. Распространенной техникой реверберации в то время была плейт-реверберация. Листовой ревербератор использует небольшой громкоговоритель (привод), прикрепленный к габаритной стальной пластине с целью вызвать ее вибрацию и несколько звукоснимателей для фиксации звука в процессе его распространения по площади пластины. Стоит также отметить, что оригинальные аналоговые плейт-ревербераторы были лишены

настройки предзадержки, т.к. линия задержки – понятие, отсутствующее в аналоговой схемотехнике. Единственная линия задержки, доступная в аналоговой среде – магнитная пленка в качестве звукового носителя, и поскольку время предзадержки измеряется единицами или десятками миллисекунд – использование магнитной пленки для введения столь небольших значений реверберационного сигнала было слишком трудоемким. Наиболее известным плейт-ревербератором является EMT140 от Elektro-Mess-Technik, использовавшийся в том числе в студии Abbey Road Studios и несомненно оставивший след в культуре звука.

Из конструкции плейт-ревербератора абсолютно очевидно, что данный тип реверберации лишен модели ранних отражений, а следовательно, не может восприниматься человеческим слухом как естественная реверберация и в этой связи является неотдаляющим. Также, некоторой «искусственности» плейт-реверберации добавляет специфический «металлический» призыв, а также достаточно узкая, нетипичная для помещений стереокартина реверберационного сигнала. На рис.3 показываються спектрограммы импульсных характеристик холл- и плейт-ревербераторов с равной длительностью 3 с. В качестве холл-ревербератора используется предустановленный алгоритм Bricasti M7 Saint Sylvian, в качестве плейт-реверберации используется второй режим работы EMT140 в прочтении от Universal Audio – Pure Plate.

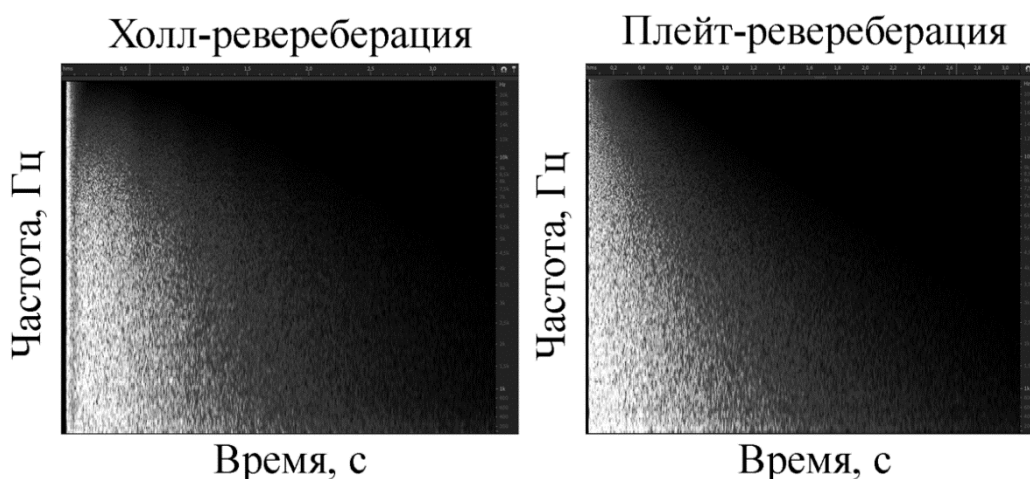


Рис. 3. Усредненные спектры импульсных характеристик холл- и плейт- ревербераторов

Вышеперечисленные свойства делают плейт-реверберацию оптимальным выбором для инструментов ближнего звукового поля. Также отдельно стоит отметить достаточно узкую стереокартину плейт-реверберации, благодаря чему данный тип реверберации особенно применим на монофонических источниках звукового сигнала, располагающихся, как было отмечено выше, в ближнем звуковом поле, как-то: вокал, солирующие монофонические инструменты – гитара, скрипка и т.д. Стоит также отметить тот факт что цифровые плейт-ревербераторы зачастую обладают большей жесткостью («зернистостью») звучания, а следовательно, более плотным частотным спектром, а также возможностью более гибкой настройки параметров реверберации, например, введением времени предзадержки. В этой связи логично предположить, что нарочито «цифровые» модели плейт-реверберации, встречающиеся, например, в таких классических ревербераторах как Lexicon 224 или Lexicon 480L более применимы в плотных, насы-

щенных фонограммах, в то время как модели «аналоговых» плейт-ревербераторов, в частности, вышеупомянутого EMT140, более актуальны при сведении деликатных, фактурно прозрачных музыкальных произведений.

Спринг-реверберация по принципу своей работы напоминает плейт-реверберацию, однако, основывается она на одной или нескольких винтовых пружинах, установленных под небольшим натяжением, прикрепленных к магнитному валу и приводимых в действие электромагнитной муфтой. Входной звуковой сигнал преобразуется в колебания пружины, которые считываются звукоснимателем, расположенным на противоположном конце прибора. Специфический звук пружинной реверберации обусловлен различными типами возникающих вибраций, поперечных и продольных, которые и обуславливают характерный «пружинящий» звук ревербератора. На рисунке 4 показывается спектрограмма импульсной характеристики пружинного ревербератора.

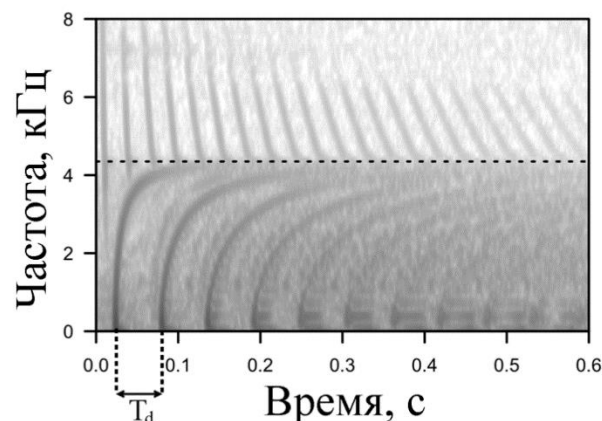


Рис. 4. Спектрограмма импульсной характеристики пружинного ревербератора, где T_d – период колебания пружин

Пунктирная черта на рисунке разделяет область полезного спектра реверберационного сигнала и область гармоник высших порядков, существенно не влияющую на характер реверберации, что очевидно из спектральной плотности данной области. Несмотря на то, что пружинная реверберация обладает ярко выраженным характером и исторически в первую очередь хорошо знакома гитаристам, т.к. пружинные ревербераторы ввиду своей компактности часто встраивались в классические гитарные усилители, сфера ее применения весьма сходна с плейт-реверберацией, на что указывают ее акустические свойства: достаточно «темный» тембр, узкая стереокартина, неотдаляющий характер и т.д. В этой связи в современной, в особенности эстрадной музыке спринг-реверберацию вполне можно рассматривать как полноценную альтернативу плейт-реверберации, в особенности учитывая тот факт, что характерный эффект вибрации пружин нивелируется с увеличением физического количества пружин в приборе, что доступно в качестве настройки в большом количестве современных цифровых решений, таких как PSP SpringBox, AudioThing Springs и т.д.

Отдельно стоит рассмотреть реверберацию в качестве спецэффекта. Данный тип

реверберации стоит также отнести к неотдаляющим, однако, от плейт- и спринг-реверберации его отличают в первую очередь неестественные акустические свойства. Типичным примером реверберации, используемой в качестве спецэффекта, является эффект «шиммер», популяризованный такими приборами обработки как Eventide Blackhole, Valhalla SuperMassive и т.д. Реверберация в качестве спецэффекта, во-первых, является строго цифровой, а во-вторых, обладает двумя обязательными и одним дополнительным звуковыми свойствами. Как известно, максимальное время естественной реверберации не превышает 4 с, и в частотной области обладает характерным ослаблением ВЧ-составляющей с течением времени. Реверберация, используемая в качестве спецэффекта, нарушает оба этих правила: она обладает неестественно большим временем реверберации и неестественным частотным спектром, в котором зачастую ВЧ-составляющая затухает одновременно с НЧ-составляющей. Дополнительным свойством реверберации-спецэффекта может являться глубокая модуляция звукового сигнала. На рисунке 5 показывается спектрограмма импульсной характеристики стартовой настройки ревербератора Valhalla Shimmer.

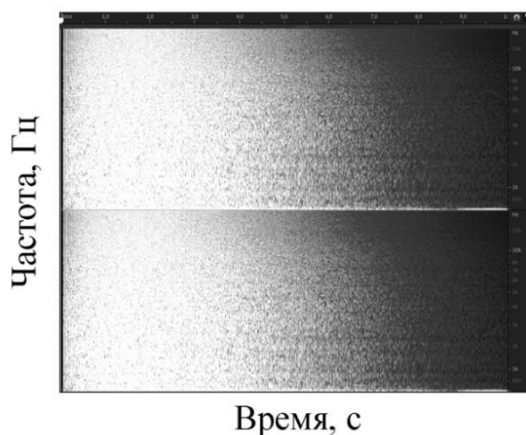


Рис. 5. Спектрограмма импульсной характеристики ревербератора, используемого в качестве спецэффекта

Из рисунка видно, что время реверберации превышает 10 с, а ее спектральные характеристики никак нельзя назвать естественными. Сфера применения данного вида реверберации – источники сигнала ближнего звукового поля, в том числе обладающие широкой стереокартиной, требующие художественной реверберации, однако, не требующие отдаления. Также реверберация в качестве спецэффекта весьма успешно сочетается с естественной реверберацией, в связи с чем может комбинироваться с ней в художественных целях.

Опираясь на вышеперечисленные заключения, можно функционально разграничить сферы применения различных алгоритмов реверберации в контексте создания трехмерной звуковой картины фонограммы. В качестве примера рассмотрим гипотетическую эстрадную композицию, инструментовка которой включает в себя ударные инструменты и перкуссию, бас, несколько гитар, клавишные пэды и вокал. Для сведения данной композиции нам потребуется четыре основных ревербератора: рум-ревербератор для гитар, т.к. чаще всего они панорамируются достаточно широко

ко в стереополе и при этом не требуют значительного отдаления от вокала и прочих солирующих инструментов, однако должны располагаться немного позади, холл-ревербератор для инструментов дальнего звукового поля, в частности, клавишных пэдов, короткий плейт-ревербератор (менее 1 с) для ударных и перкуссии, т.к. записанные индивидуальными микрофонами ударные инструменты, как правило, монофоничны и при не требуют отдаления и длинный плейт- или спринг-ревербератор (более 1 с) для солирующих инструментов и основного вокала, т.к. они также, как правило, монофоничны и однозначно являются самыми близкими к слушателю инструментами в трехмерном акустическом пространстве и совершенно не требуют отдаления. Также, в художественных целях возможно применения реверберации в качестве спецэффекта.

Приведенная методика позволяет эффективно выбирать алгоритмы реверберации по аналогии с вышеприведенным примером для достижения максимальной глубины трехмерной звуковой картины фонограммы.

Библиографический список

1. Zölzer U. DAFX: digital audio effects // John Wiley & Sons. – 2011. – 595 p.
2. Beranek L. Concert hall acoustics // Journal of the Audio Engineering Society. – 2008. – № 56 (7).
3. Bradley J. Review of objective room acoustics measures and future needs // Applied Acoustics. – 2011. – № 72 (10). – P. 713-720.
4. Rossing T.D., Wheeler P.A., Moore F.R. The science of Sound // Addison Wesley. – 2002. – 680 p.

5. Cremer L., Muller H., Schultz T. Principles and applications of room acoustics // Applied Science, London. – 1982. – 674 p.
6. Guastavino C., Katz B. Perceptual evaluation of multi-dimensional spatial audio reproduction // The Journal of the Acoustical Society of America. – 2004. – №116 (2).
7. Julian Parker and Stefan Bilbao, Spring reverberation: A physical perspective // 12th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-09) – 2009.
8. Menhorn J. EMT140 plate reverb. – 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://designingsound.org/2012/12/emt-140-plate-reverb/>
9. Arcas K., Chainge A. On the quality of plate reverberation // Applied. Acoustics. – 2010. – P. 147-156.
10. Таранов Д.Д. Гибридный Реверберационный Алгоритм // Инженерный вестник Дона. – 2013. – №3. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/553>.

APPROACHES TO THE CHOICE AND USE OF ARTIFICIAL REVERBERATION IN THE CONTEXT OF CREATING A THREE-DIMENSIONAL SOUND PICTURE OF A PHONOGRAM FROM THE SOUND ENGINEER'S POINT

D.D. Taranov, *Candidate of Technical Sciences, Chief Audio Engineer*
Ensemble of the Don Cossacks named after A. Kvasov
(Russia, Rostov-on-Don)

***Abstract.** This article proposes a method for choosing a reverberation model by a sound engineer when processing musical acoustic signals in the context of creating the audial depth effect. Criteria are proposed for differentiating the spheres of application of distancing and non-distancing reverberation. The use of reverb as a special audio effect is also considered. This method is applicable not only to musical acoustic signals in various musical genres, but it can also be applied in the field of scoring video materials, radio plays, etc.*

***Keywords:** sound engineering, reverb, convolution, convolution reverb, algorithmic reverb, reverb models, digital signal processing.*