Концепция архитектуры гибридного зала на основе музыкально-акустического анализа симфоний

Глухова Александра Викторовна
кандидат архитектуры, доцент, кафедра архитектурно-строительных конструкций, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, iolanta71@yandex.ru

В статье рассматривается историко-типологическая эволюция архитектурной акустики музыкальных залов во взаимосвязи с развитием симфонического оркестра на основе музыкально-акустического анализа. На основе анализа трех знаковых произведений (Моцарт, Бетховен, Малер) выявлена закономерность: увеличение численности оркестра, расширение частотного и динамического диапазонов непосредственно влияют на рост объёмов залов и времени реверберации. Автор выделяет три основных архитектурно-акустических типа залов: «shoebox» для музыки венских классиков, увеличенный «shoebox» для романтического репертуара и «vineyard» для масштабных позднеромантических и современных сочинений. Обосновывается невозможность создания универсального зала без адаптивных систем; предлагается концепция гибридного трансформируемого зала, сочетающего черты всех трех типов. На примерах реализованных проектов (Sala Minas Gerais, Beacon Hall) показана эффективность гибридного подхода. Предложены практические принципы проектирования для архитекторов и акустиков, включая использование механических адаптивных систем и прямоугольной объёмно-планировочной структуры как основы.

Ключевые слова: архитектурная акустика, концертные залы, время реверберации, архитектура концертных залов, shoebox, vineyard, гибридный зал, адаптивный зал, музыкальное развитие, музыка.

Финансирование

Статья публикуется по результатам выполнения гранта НПР СПбГАСУ 2026 года.

Историко-типологический анализ архитектуры концертных и оперных залов демонстрирует, что архитектура музыкально-зрелищных сооружений никогда не была пассивным пространством для исполнения музыки, а всегда играла активную роль в формировании композиторского замысла. В готическую эпоху акустика соборов длительным временем реверберации (8-10 секунд), накладывала жесткие ограничения на темп, диатонику и ритм, определяя своим архитектурно-конструктивным решением звуковой канон григорианского хорала; ренессансные капеллы с кубическими пропорциями и деревянными перекрытиями обеспечили плотные акустические отражения, что способствовало развитию жанра полифонии (многоголосия); в барочном оперном театре с подковообразной формой в плане и ложами вдоль боковых стен возникла акустическая «сухость» (время реверберации 1,1-1,6 с), которая была важна для четкости речи и виртуозности исполнителей. Каждая стилистическая трансформация в музыкальной моде находила свое выражение в соответствующем изменении пространства, что свидетельствует о тесной взаимосвязи музыкального искусства, композиторской мысли и архитектуры.

Увеличение численности оркестра и расширение частотно-динамического диапазона в процессе развития композиторской мысли выступают объективными факторами, приводящими к изменениям архитектурно-акустических требований [1].

Для объективной оценки акустической нагрузки на зальные пространства необходимо рассмотреть эволюцию оркестрового состава на примере трех знаковых симфонических произведений, хронологически охватывающих классицистский, романтический и позднеромантический периоды: Симфония №40 В.А. Моцарта (1788 г.), Симфония №5 Л. ван Бетховена (1808 г.) и Симфония №2 Г. Малера (1894 г., редакция 1903 г.). Выбор этих произведений для музыкально-акустического анализа обусловлен не только их каноническим статусом, но и тем, что каждый из них фиксирует определенный этап стандартизации и расширения оркестрового состава, непосредственно влияющий на акустические требования к исполнительскому пространству.

Результаты музыкально-акустического анализа оркестровых составов трех произведений представлены в Таблице 1 и Таблице 2.

Музыкально-акустический анализ количественных характеристик оркестровых составов в симфониях В.А. Моцарта (Симфония № 40), Л. ван Бетховена (Симфония № 5) и Г. Малера (Симфония № 2) можно выявить тенденцию к изменению состава оркестра при переходе от классицизма к романтизму и позднему романтизму, которая проявляется в следующем:

увеличение количества музыкантов в оркестре на 2-2,5 раза (с 40-45 до 100-120 исполнителей);

Таблица 1
Составы оркестров симфоний Моцарта, Бетховена и Малера

Группа инструментов	Моцарт Симфония № 40	Бетховен Симфония № 5	Малер Симфония № 2
Деревянные духовые	Флейта – 1, Гобои – 2, Кларнеты – 2, Фаготы – 2	Флейта-пикколо – 1, Флейты – 2, Гобои – 2, Кларнеты – 2, Фаготы – 2, Контрафагот – 1	Флейты – 4 (все с пикколо), Гобои – 4 (3–4 с англ. Рожком), Кларнеты – 5 (в т.ч. Бас-кларнет и E-flat), Фаготы – 4 (4-й с контрафаготом), Контрафагот – 1
Медные духовые	Валторны – 2, Трубы – 2	Валторны – 2, Трубы – 2, Тромбоны (альт, тенор, бас) – 3	Валторны – 10, Трубы – 10, Тромбоны – 4, Туба – 1
Ударные	Литавры – 2	Литавры – 2	Литавры – 2, Большой барабан – 1, Тарелки – 1, Малый барабан – 1+, Треугольник – 1, Глокеншпиль – 1, Тамтам – 2, Колокола – 1, Рутка – 1
Струнные	Первые скрипки — 8–12, Вторые скрипки – 6–10, Альты – 4–8, Виолончели – 4–8, Контрабасы – 4–8	Первые скрипки – 12–16, Вторые скрипки – 10–14, Альты – 8–12, Виолончели – 8–12, Контрабасы – 6–10	Первые скрипки – 16–20, Вторые скрипки – 14–18, Альты – 12–14, Виолончели – 10–12, Контрабасы – 8–10
Дополнительно	–	–	Арфы – 2, Орган – 1, Сопрано (соло) – 1, Альто/меццо-сопрано (соло) – 1, Смешанный хор – 80–150 чел.
Общая численность (оркестр)	~40–45 чел.	~60–70 чел.	~100–120 чел. (без хора)

Таблица 2
Сравнительный анализ частотных характеристик симфоний Моцарта, Бетховена и Малера

Параметр	Симфония № 40 (Моцарт)	Симфония № 5 (Бетховен)	Симфония № 2 (Малер)
Общий частотный диапазон	~65 Гц – 12 000 Гц	~30 Гц – 16 000 Гц	~16 Гц – 20 000 Гц
Нижняя частотная граница	Контрабас (~41 Гц, но в малом составе фундаментальный тон слаб)	Контрафагот / контрабас (~30 Гц)	Субконтроктава контрабасов / орган / большой тамтам (~16–20 Гц)
Верхняя частотная граница	Флейта / гармоники скрипок (~10–12 кГц)	Флейта-пикколо (~15–16 кГц)	Флейта-пикколо / Треугольник / Колокольчики (>18–20 кГц)
Пиковый динамический диапазон	~40 дБ – 75 дБ	~35 дБ – 95 дБ	~25 дБ – 110+ дБ
Акустический фокус	Среднечастотный	Средне-низкочастотный	Сверхширокополосный

расширение частотного диапазона с ~65 Гц – 12 кГц до ~16 Гц – 20 кГц (более чем на 3 октавы вниз и 1 октаву вверх);

увеличение динамического диапазона до 35-40 дБ, что составляет от 75 до 110 дБ;

расширение тембральной палитры путем включения таких инструментов, как: контрафагот, туба, бас-кларнет, арфа, орган, необычные ударные инструменты и хор.

Увеличение количественных показателей напрямую связано с изменениями архитектурно-акустических характеристик залов: объем увеличивается (с 10 000 до 25 000 м³), время реверберации возрастает (с 1,5-1,7 до 1,8-2,2 секунды), диффузионные структуры поверхностей усложняются. Эволюция инструментов выступает не субъективным выбором композиторов или архитекторов, а объективным фактором, влияющим на архитектурно-акустические изменения.

В результате проведенного анализа можно определить три основных архитектурно-акустических типа залов, каждый из которых соответствует развитию симфонического оркестра на определенном этапе его исторического становления, обеспечивая оптимальные акустические данные.

Тип 1 – известный как «shoebox» (или обувная коробка), для исполнения музыки Моцарта или Гайдна – характеризуется вместимостью от 500 до 1000 мест и объемом до 10 000 м³. Его время реверберации составляет 1,5-1,7 секунды и создает необходимую ясность и прозрачность для полифонической структуры музыки венских классиков.

Тип 2 – увеличенный «shoebox» (для исполнения музыки Бетховена, Брамса, Вагнера) отличается внушительной вместимостью от 1500 до 2500 мест и объемом 20 000-25 000 м³; время реверберации составляет 1,8-2,2 секунды и создает атмосферу мощи и эффекта «звукового облака» (объемного звука), которые оптимально подходят для передачи драматизма романтических симфоний.

Тип 3 – «vineyard» или «виноградник» (для музыки Малера, Стравинского), вместимость составляет 2000-2500 мест, центричная структура зала (места для слушателей вокруг сцены) обеспечивает иммерсивный и панорамный опыт слушания с аналитической четкостью, но сохранением огромной динамической мощи, необходимой для исполнения сверхширокополосных и динамически контрастных произведений. Время реверберации в подобном зале варьируется от 2,0 до 2,7 секунд.

Необходимо отметить, что выбор типа зала не определяется исключительно исторической хронологией – в современной практике все три типа залов сосуществуют, в каждом из них нередко исполняется весь спектр музыкального репертуара от Моцарта и более ранних композиторов, до Стравинского и современной академическая музыка XXI века [2].

Стоит отметить также, что не существует универсального зала, который бы одинаково идеально подходил для исполнения произведений Моцарта, Бетховена и Малера – музыкальные особенности этих композиторов требуют разных условий, что делает создание такого зала без адаптивных систем невозможным. В качестве решения обозначенной задачи можно представить концепцию гибридного зала, которая бы объединяла характеристики типов «shoebox» и «vineyard» разной вместимости и объема в единую адаптивную систему.

Гибридный зал можно определить со следующими отличительными чертами:

прямоугольная форма в пропорциях «золотого сечения» (2,1: 1: 0,9) с длиной ~45 м (с учетом глубины сцены), шириной ~21,5 м, высотой ~20 м и вместимостью ~1800 мест;

значительный подъем партера (~10 градусов) и три яруса открытых террас, занимаемых местами для слушателей;

высокие стены, украшенные параметрической «цифровой лепниной», созданной из массивов, выполненных из древесины;

потолок, состоящий из двух частей: массивной деревянной мембраны (занимающей 40% площади) и регулируемых рефлекторов;

сцена-трансформер, оснащенная выдвижной центральной платформой и акустической раковиной, которая может видоизменяться, образуя просветы благодаря подвижным «лепесткам»;

в качестве материалов целесообразны массив дуба и шероховатая известково-цементная штукатурка, также необходимы исключение стекла и открытого бетона.

Акустика зала в подобном зале может адаптироваться с изменением времени реверберации от 1,6 до 2,1 секунды, для чего используются поворотные «лепестки» раковины, регулировка высоты секций потолка и акустические шторы вдоль поверхностей стен [3]. Подобная трансформация позволяет настроить акустику для любого репертуара: музыки Моцарта (с оптимальным временем реверберации 1,6 с), музыки Стравинского (1,8 с) и Малера (2,1 с) без необходимости использования электроакустического усиления, в результате чего звучание инструментов остается естественным.

Изучение двух реализованных проектов – Sala Minas Gerais в Бразилии (2015) и Beacon Hall в Великобритании (2023) – демонстрирует, что гибридная модель является действенным и перспективным подходом в архитектурно-акустическом проектировании залов.

Sala Minas Gerais представляет собой структурный гибридный зал, где ортогональная оболочка гарантирует равномерное распространение звука по боковым поверхностям. Террасное расположение мест для слушателей создает ощущение близости к исполнителю. Значительная зона стен, не занятая публикой специально сохранена для формирования поздних отражений, свойственных старинным европейским залам. Адаптивные элементы, такие как шторы, регулируемые панели и мобильный козырек, позволяют изменять акустику в зависимости от состава исполнителей и заполненности зала слушателями.



Рис. 1. Концертный зал Sala Minas Gerais

Beacon Hall является функциональным гибридом и сохраняет прямоугольную форму, напоминающую классические залы Musikverein и Symphony Hall. Однако зал не ограничивается включением в репертуар симфонической музыки, а может быть использован для концертов с усилением звука, рок- и поп-концертов, а также комедийных шоу. Его время реверберации в диапазоне 1,8-2,2 секунды делает его подходящим как для академической музыки, так и для более шумных современных мероприятий, обеспечивая комфортную атмосферу для всех типов выступлений.

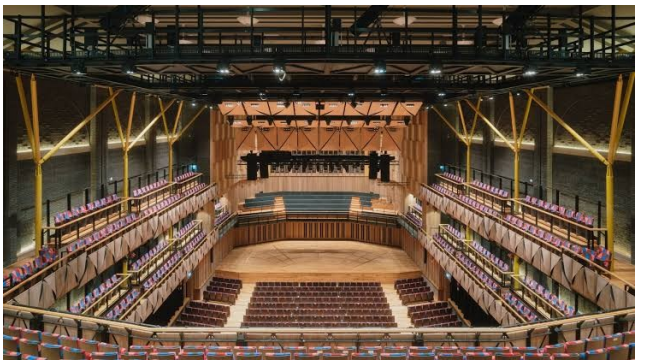


Рис. 2. Концертный зал Beacon Hall

Оба проекта демонстрируют, что прямоугольная форма по-прежнему является основой оптимальной модели зала, а трансформативность остается определяющим фактором в современном архитектурно-акустическом проектировании. Время реверберации в диапазоне 1,8-2,2 секунды определяется как оптимальное для гибридного зала, в котором необходимо исполнять как классическую и романтическую музыку, так и современную.

Данное исследование открывает множество перспектив для будущих научных исследований. Для оценки степени гибридности зала требуется разработать формализованную методику, которая будет основываться на объективных и субъективных акустических характеристиках. В эту методику войдут коэффициенты диффузии, индекс прозрачности и субъективные параметры восприятия слушателей, что позволит количественно определить уровень гибридности.

Необходимо экспериментально подтвердить эффективность параметрических поверхностей («цифровой лепнины») в сравнении с обычными диффузорами, такими как кессоны и лепнина исторических залов.

Предлагается разработать рекомендации по реконструкции залов, построенных в стиле модернизм. Многие залы XX века обладают рядом акустических проблем; гибридная модель, предложенная в данном исследовании, может стать основой для их переоборудования под требования современного времени.

Для эффективной работы требуется построение единой базы данных акустических параметров. В этой базе необходимо отразить и систематизировать информацию о времени реверберации, частотных характеристиках и субъективных акустических параметрах различных залов и музыкальных программ [4].

В результате проведенного исследования можно предложить следующие практические принципы для архитекторов и акустиков.

При создании нового концертного зала важно учитывать характер и жанровость исполняемого репертуара. Для залов, предназначенных для классических венских произведений, оптимальный объем составит до 10 000 м³ со временем реверберации 1,5-1,7 секунды. Залы, ориентированные на романтический (драматический) репертуар, должны иметь объем в диапазоне 20 000-25 000 м³ и время реверберации 1,8-2,2 секунды.

Для многофункционального зала оптимальным вариантом является гибридная модель с прямоугольным объемно-планировочным решением, высокими вертикальными стенами и возможностью изменения акустических параметров. В ее состав входят регулируемые рефлекторы и система изменения объема (камеры реверберации, акустические шторы и раковины).

Вместо гладких бетонных и стеклянных поверхностей необходимо использовать древесину (для низкочастотного резонанса) и шероховатую штукатурку (для рассеивания высоких частот), что необходимо для оптимальной акустики.

Для сохранения естественного звучания акустических инструментов адаптивные системы должны реализовываться посредством механических изменений (например, изменения геометрии или открытия/закрытия полостей), а не с помощью электронных средств, таких как звукоусиление.

Исследование показало, что эволюция академической музыки и архитектурно-акустических характеристик залов тесно взаимосвязаны. В этом процессе музыкальный материал (композиторский замысел) выступает как активный фактор, определяющий требования к акустическим характеристикам, а архитектура отвечает на эти требования материальным воплощением. В XXI веке, где наблюдается разнообразие музыкальных стилей и жанров, вместо поиска универсальной/усредненной акустики, которая по объективным физическим причинам невозможна, наиболее эффективным становится создание трансформативных гибридных пространств. Такие залы смогут подстраиваться под конкретные музыкальные программы и репертуар, сохраняя при этом высокое качество естественного звучания. Примеры Sala Minas Gerais и Beacon Hall подтверждают, что данный подход не только теоретически обоснован, но и находит практическое применение в современном практике архитектурно-акустического проектирования и строительства.

Литература

1. Forsyth M. Buildings for Music: The Architect, the Musician, and the Listener from the Seventeenth Century to the Present Day. Cambridge: MIT Press, 1985. 370 c.
2. Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. London.: Chapman & Hall. 1993. 489 c.
3. Beranek L. Music, Acoustics and Architecture. N. Y.: Acoustical Society of America, 1996. 491 c.
4. Глухова А. В. Взаимосвязь субъективных и объективных параметров оценки акустики концертных залов / А. В. Глухова // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 9. – С. 679-681.

Architectural Concept of a Hybrid Hall Based on the Musical-Acoustic Analysis of Symphonies

Glukhova A.V.
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

JEL classification: L61, L74, R53

The article examines the historical and typological evolution of architectural acoustics in music halls in relation to the development of the symphony orchestra, based on a musical-acoustic analysis. Through the analysis of three landmark works (Mozart, Beethoven, Mahler), a pattern is revealed: the increase in the number of musicians and the expansion of frequency and dynamic ranges directly affect the growth of hall volumes and reverberation time. The author identifies three main architectural and acoustic types of halls: the "shoebox" for Viennese Classical music, the enlarged "shoebox" for Romantic repertoire, and the "vineyard" for large-scale late-Romantic and contemporary compositions. The impossibility of creating a universal hall without adaptive systems is substantiated; the concept of a hybrid transformable hall combining features of all three types is proposed. The effectiveness of the hybrid approach is demonstrated through case studies of realised projects (Sala Minas Gerais, Beacon Hall). Practical design principles for architects and acousticians are suggested, including the use of mechanical adaptive systems and a rectangular spatial layout as a foundation.

Keywords: architectural acoustics, concert halls, reverberation time, concert hall architecture, shoebox, vineyard, hybrid hall, adaptive hall, musical development, music.

References

1. Forsyth M. Buildings for Music: The Architect, the Musician, and the Listener from the Seventeenth Century to the Present Day. – Cambridge: MIT Press, 1985. – 370 p.
2. Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. London.: Chapman & Hall. 1993. 489 p.
3. Beranek L. Music, Acoustics and Architecture. N. Y.: Acoustical Society of America, 1996. 491 p.
4. Gluhova A. V. Vzaimosvyaz' sub"ektivnyh i ob"ektivnyh parametrov ocenki akustiki koncertnyh zalov / A. V. Gluhova // Innovacii i investicii. – 2025. – № 9. – pp. 679-681.