

КОНЦЕПЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ И ИСКУССТВЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА ТЕАТРА ТИПА «BLACKBOX»

Исаков Юрий Иосифович

аспирант.

Научный руководитель: кандидат архитектуры, доцент Е.Н. Лихачев.
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова».
Россия, Новосибирск, e-mail: isakoustik@gmail.com

Лихачёв Евгений Николаевич

кандидат архитектуры, доцент.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова».
Россия, Новосибирск, e-mail: enlixachev@nsuada.ru

УДК: 725.81

DOI: 10.47055/1990-4126-2021-4(76)-6

Аннотация

Рассматриваются вопросы архитектурного акустического проектирования театрального зрительного зала типа «BlackBox». Предлагается междисциплинарная концепция архитектуры зрительного зала. Анализируется решение задачи улучшения разборчивости речи при круговом расположении зрителей с помощью архитектуры и электроакустической системы иммерсивного звука, построенной на основе технологий активного управления звуковым полем.

Ключевые слова:

архитектура, зрительный зал, театр BlackBox, иммерсивный звук, активное управление звуковым полем

A CONCEPT OF ARCHITECTURE AND ARTIFICIAL ACOUSTIC ENVIRONMENT FOR THE THEATER AUDITORIUM OF «BLACK BOX» TYPE

Isakov Yuriy I.

Doctoral student.

Research supervisor: Associate Professor E.N. Likhachev, PhD. (Architecture)
Novosibirsk State University of Architecture, Design and Art.
Russia, Novosibirsk, e-mail: isakoustik@gmail.com

Likhachev Evgeniy N.

PhD. (Architecture), Associate Professor.

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Art.
Russia, Novosibirsk, e-mail: enlixachev@nsuada.ru

УДК: 725.81

DOI: 10.47055/1990-4126-2021-4(76)-6

Abstract

The article considers issues in architectural acoustic design of the theater auditorium of «Black Box» type. A transdisciplinary concept of auditorium architecture is proposed. The problem of improving speech intelligibility in the theater auditorium of «Black Box» type is addressed using the architecture and electro-acoustic immersive system based on active sound field control technologies (AFC).

Keywords:

architecture, auditorium, Black Box theater, immersive sound, active sound field control

Введение

Начиная с театров древней Греции архитекторы создавали зрительное пространство, для которого важно, чтобы звук голоса, по словам Витрувия, «достигал до ушей зрителя более ясным и приятным» [1, с. 18]. Им описана концепция архитектуры зрительного пространства с акустической поддержкой голосов актеров с помощью музыкально настроенных звучащих ваз – «голосников». В результате современных исследований установлено, что «голосники» позволяли улучшить разборчивость (ясность) речи при одновременном повышении «театральности» (объемности, приятности) в звучании голосов [2, 3]. По сути, это междисциплинарная концепция архитектуры античных театров. Развитие архитектуры театра привело к созданию трансформируемого зрительного зала без четкого деления пространства на сценическое и зрительное. По словам Дориты Ханна, театральные деятели XX в., в частности Мейерхольд, Арто, Брехт, Пискачкер, Шлеммер, Рейнхардт и Гротовски, стремились уничтожить тотальную арку авансцены и нарушить границы между актером и зрителем, экстерьером и интерьером, улицей и сценой, усилив переживание как захватывающее и галлюцинаторное событие [4]. Последовательное уменьшение роли архитектуры в театральном действии привело к созданию «пустого пространства» по Питеру Бруку. Первым выразил идею «Театра будущего» английский сценограф Эдвард Гордон Крейг: «Место без формы – перед нами один огромный квадрат пустого пространства...» [4]. Можно сказать, что «театр будущего» является предельной архитектурной реализацией – антиархитектурой. Простая прямоугольная форма помещения, ограждающие поверхности которого и все технологическое оснащение выкрашено в матовый черный цвет для отсутствия бликов и теней. Театр получил название «BlackBox» – «Черная коробка». Зрительные места и сцена имеют возможность трансформироваться. Потолок решается в виде технологической решетки, на которую крепится театральное оборудование [5].

Основная цель архитектуры зрительного пространства не изменилась со времен Витрувия: ясный и комфортный звук на всех зрительских местах. Обычно такая цель достигается решением двух задач. Первая задача – формирование ранних отражений, в основном потолочных, которые в большей степени влияют на четкость и разборчивость речи, подчеркивают локализацию звуковых образов источника. Вторая задача – достижение оптимального времени реверберации для речи при данном объеме зрительного зала путем создания соответствующего фонда звукопоглощения¹. В театре типа «BlackBox» «обеспечить слушательские места интенсивным прямым звуком и интенсивными малоотражающими отражениями» [6, с. 110] методами архитектурной акустики не представляется возможным по следующим причинам: во-первых, технологическая потолочная решетка не позволяет применить потолочные отражающие поверхности, во-вторых, базовый набор расположения зрительских мест включает не только одностороннее, но и круговое расположение (рис. 1). Следовательно, направленность отражений тоже должна меняться в зависимости от расположения зрителей. Это первая проблема.



Рис. 1. Круговое расположение зрителей в театре типа «BlackBox» [7]

Определение оптимального значения времени реверберации в театре типа «BlackBox» является второй проблемой. С одной стороны, по архитектурным нормам^{2,3} оптимальное время реверберации следует принимать таким же, как для драматического театра в соответствии с объемом зала. С другой стороны, парадигма театра «BlackBox» для визуального восприятия как «пустое пространство» без теней и бликов – должна поддерживаться и звуковым восприятием «пустого пространства» как акустически «мертвого», с минимальными отражениями и минимальной реверберацией, чтобы исключить из акустического восприятия физические размеры зала. Лорд Рэлей приводит замечательный пример: «Покойный слепой судья Филдинг, когда он однажды посетил меня, вошел в мою комнату впервые и после того, как произнес несколько слов, сказал: „Эта комната имеет около 22 футов длины, 18 ширины и 12 высоты»; все это он определил с большой точностью на слух» [8, с. 77].

С учетом всего сказанного предлагаем междисциплинарную концепцию зрительного зала типа «BlackBox», которая заключается в следующем: методами архитектурной акустики обеспечить требуемый фонд звукопоглощения и добиться максимально диффузного звукового поля, исключить порхающее эхо и возникновение стоячих волн, а с помощью электроакустической системы иммерсивного звука, построенной на базе технологий активного управления звуковым полем (АУЗП), сформировать требуемые ранние отражения и искусственную акустическую среду спектакля.

1. Метод исследования и модель зрительного зала «BlackBox»

Метод исследования – компьютерное акустическое моделирование с помощью программ компании AFMG (EASE 4.4, модуля AURA4, AFMGReflex). В исследовании используются параметры, определяемые по импульсной переходной характеристике, коррелирующие с субъективно воспринимаемыми акустическими свойствами помещения, в соответствии с ГОСТ⁴ (табл.1, в скобках указаны типовые значения параметров): EDT-раннее время спада – ощущаемое зрителями время реверберации (1–3 с), этот параметр более важен, чем стандартное время реверберации; T_s – центральный момент времени или центральное время (60–260 мс), центр тяжести

возведенной в квадрат импульсной переходной характеристики, для речи оптимальное значение 60–80 мс [9, с. 27]; D50 – definition – четкость речи, (30–70%), оптимально >50% [8, с. 17]; STI – индекс разборчивости речи (0,45–0,6 «удовлетворительно», 0,6–0,75 «хорошо», 0,751,0 «отлично») [9, с. 25].

Для исследования акустических параметров звукового поля была построена компьютерная акустическая модель в программе EASE4.4 типового зрительного зала «BlackBox» с круговым расположением зрителей (рис. 2).

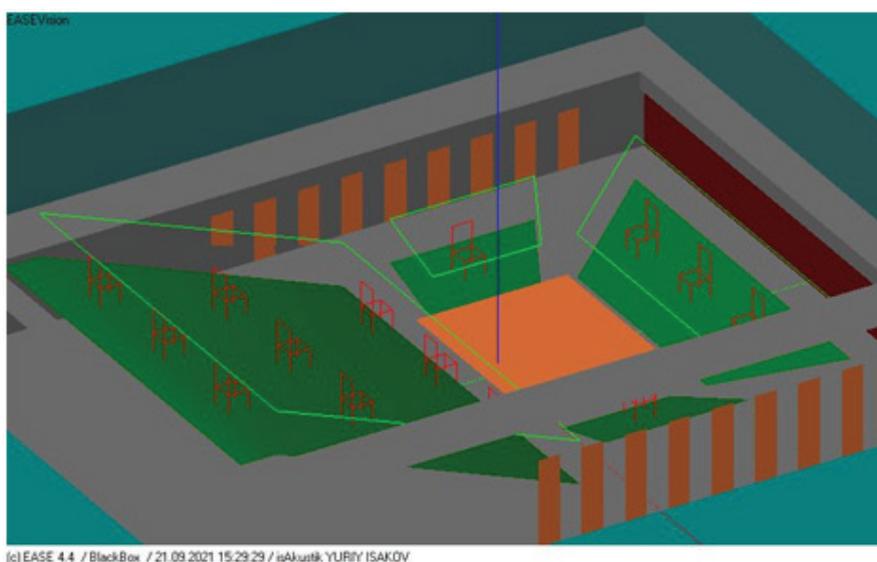


Рис. 2. Модель театра «BlackBox» с круговым расположением зрителей

Обычно расчет архитектурной акустики выполняют, применяя в качестве источника звука сферический излучатель, располагаемый на уровне 1,5 м над планшетом сцены. В данной работе анализируется звуковое поле при круговом расположении зрителей, поэтому важно знать, как отличаются акустические параметры на зрительных местах перед актером, сбоку и позади его. В соответствии с результатами исследований [10], в данной работе применяется направленный источник звука TalkBox для получения более реальных результатов. Для детального анализа звукового поля определены девять контрольных мест R1–R9 (рис. 3). Места R1, R2 находятся за спиной актера, место – R3 сбоку, R4–R9 – перед актером.

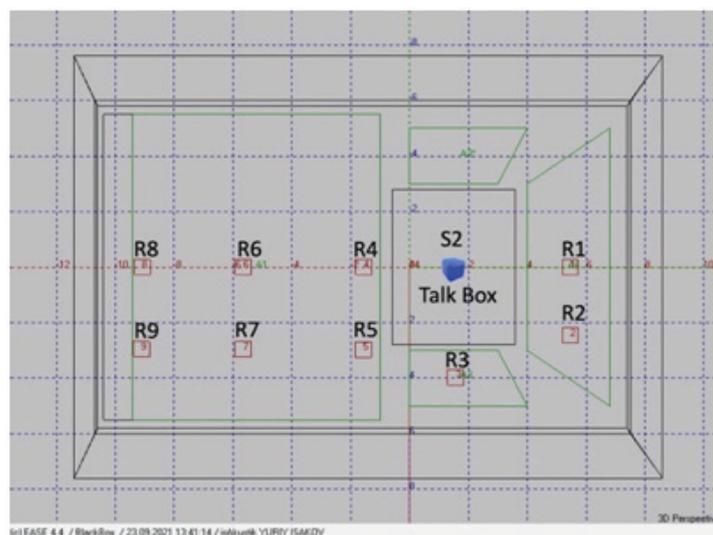


Рис. 3. Расположение источника звука S2 TalkBox и приемников в контрольных точках R1–R9

2.1. Электроакустическая система иммерсивного звука

На электроакустическую систему иммерсивного звука, построенную на базе технологий активного управления звуковым полем (систему АУЗП) в архитектуре театра «BlackBox» возложены следующие задачи: во-первых, поддержать формирование четкого, разборчивого звука актеров на всех зрительских местах при всех возможных планировках зрительных мест, при этом достигнуть полного согласования локализации визуального и звукового образа; во-вторых, синтезировать акустическую среду спектакля согласно сценографии, погрузить зрителей и актеров в одну и ту же атмосферу, например концертного зала, или кафедрального собора, или леса, или пещеры, акустически изменяя пространство, делая его «живым» и натурально звучащим; в-третьих, погрузить зрителя в акустическую среду действия с перемещающимися в пространстве объектами, например летающими насекомыми, птицами или техническими объектами (вертолет, самолет), звуковая траектория движения которых должна прослеживаться с любого зрительного места.

Архитектору зрительного зала театра типа «BlackBox» важно понимать, из каких компонентов состоит система АУЗП и как располагаются эти компоненты в зрительном зале. Звук имеет решающее значение в оценке комфортности театрального зрительного зала. Поэтому нельзя располагать элементы системы АУЗП по остаточному принципу. Только определив места установки компонентов системы АУЗП, можно приступить к размещению оборудования остальных технологий (освещения, вентиляции и т. д.). Кроме того, для современного архитектурного проектирования является нормой использование BIM технологий. В данной работе рассматривается прототип системы на базе компонентов системы АУЗП иммерсивного звука AFC Yamaha, имеющих EASE и BIM модели [11].

В базовом варианте система AFC включает в себя матрицу излучателей (громкоговорителей), расположенных над зрителями на потолке и вокруг зрителей на стенах. В системе AFC в каждом ряду устанавливается минимально по 4 излучателя на потолке. Расстояние между громкоговорителями не более 4 м и зависит от высоты расположения над зрителями или музыкантами. Как правило, приемники (микрофоны) располагаются над актерами, но могут быть расположены над зрителями для формирования реверберационного поля. В данном прототипе громкоговорители (20 шт.) закреплены на потолочной технологической решетке, часть настенных громкоговорителей (6 шт.) закреплены на конструкции технологической галереи, а часть (6 шт.) – на боковых и задней несущих стенах (рис. 4). Это минимальное количество излучателей для данного объема. Система AFC использует линейную и регенеративную технологии управления звуковым полем для создания искусственной акустической среды, не отличимой от натуральной. В данной работе исследуется звуковое поле только с первыми искусственными отражениями. Такой подход позволяет архитектору определить места установки излучателей, их количество и типоразмер, и учесть конструкцию громкоговорителей при архитектурном проектировании зрительного зала театра.

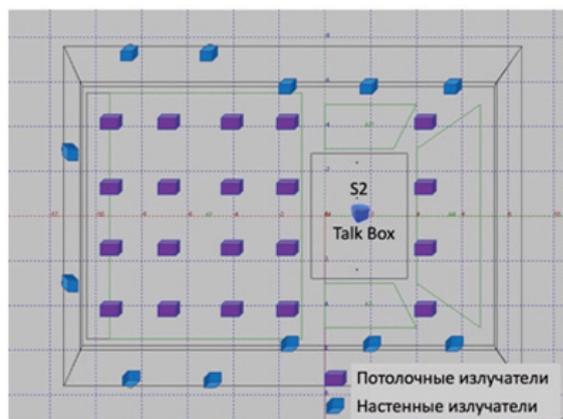


Рис. 4. План расположения излучателей на потолке и на стенах. Прототип системы AFC Yamaha

2.2. Концепция формирования ранних отражений с помощью системы иммерсивной звука АУЗП

В данной работе мы рассматриваем только первую задачу, решаемую с помощью системы АУЗП. В небольших театрах, когда уровень звукового давления голосов достаточен для большей части аудитории, нет необходимости усиливать голоса актеров с помощью электроакустических систем, тогда система АУЗП формирует только отраженный звук. При этом не возникает проблем рассогласования локализации визуального и звукового образа. Звук голоса приходит к зрителю по кратчайшему пути от актера, затем с некоторой задержкой приходят отражения. При этом возникает акустический эффект, в соответствии с которым звук от реального источника – от актера определяет направление локализации, он называется эффект первой волны или «эффект предшествования». В 1849 г. американский физик Джозеф Генри (1797–1878) разработал новый лекционный зал Смитсоновского института в Вашингтоне. Предварительные исследования Д. Генри привели к открытию того, что теперь известно как «эффект предшествования», устанавливающего ограничения на допустимые временные интервалы ранних отражений. Генри использовал свое открытие для проектирования формы поверхностей стен и потолка, чтобы сформировать достаточно ранние отражения для усиления прямого звука [12]. В 1948 г. этот эффект описал Лотар Крамер [13]. В 1951 г. он был вновь открыт Хельмутом Хаасом, в честь которого и получил название «Закон Хааса» [14]. Исследования по применению этого закона продолжаются до сих пор [15]. Результаты исследований подтверждают возможность улучшения разборчивости речи за счет ранних отражений, даже если слушатель находится позади оратора (рис. 5).

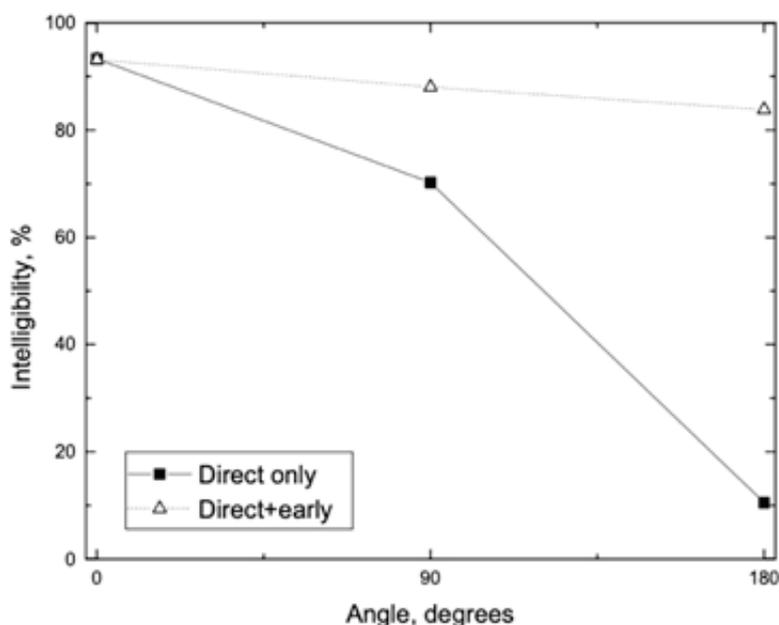


Рис. 5. График зависимости разборчивости (intelligibility) речи в зависимости от угла (angle) взаимного расположения оратора и слушателя (directonly – только прямой звук, direct+early – прямой звук и ранние отражения) [15, с. 39]

В соответствии со сводом правил², время запаздывания первого отражения на зрительных местах должно быть для речи 20–25 мс. В модели запаздывание достигнуто путем задержки сигналов излучателей при формировании искусственных отражений (рис. 6). В архитектурном проектировании следует учитывать предельное минимальное значение запаздывания, которое определятся расстоянием от референсного источника звука до микрофонов системы и расстоянием от излучателей системы до слушателя. Эти расстояния определяют допустимую высоту

Для объема 1800м³ оптимальное время реверберации² для драмы имеет значение $RT60_{opt} = 1,1$ с. Расчетное среднее значение времени реверберации в полосе частот 500–1000 Гц по формуле Эйринга [6, с. 70] при полностью занятых зрительных местах с полумягкими креслами на блинтерах составило $RT60_{calc} = 1,12$ с, что соответствует оптимальному с точностью 2%.

3.2. Расчет акустических параметров звукового поля при $RT60=1,12$ с

Для детального анализа влияния искусственных отражений иммерсивной системы АУЗП на параметры звукового поля театра «BlackBox» как драматического выполнен расчет акустических параметров на контрольных местах R1-R9, цифры 1–9 по оси абсцисс на рис. 8.

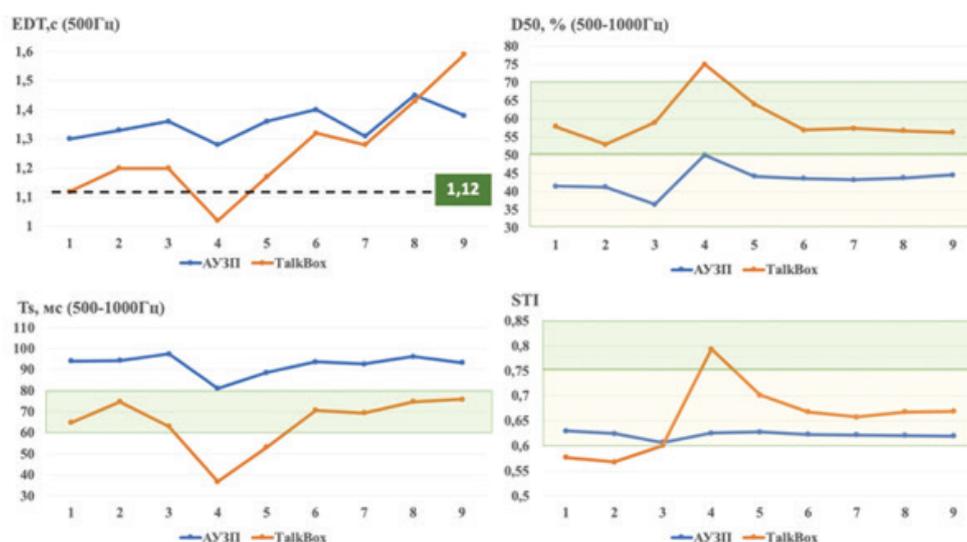


Рис. 8. Значения параметров звукового поля на контрольных местах R1–R9 при TalkBox и TalkBox с системой АУЗП.

Таблица 1

Параметры звукового поля в двух режимах

Параметры	EDT, с 500Гц	Ts, мс 500-1000Гц	D50, % 500-1000Гц	STI
Режимы $RT60_{calc}=1,12$ с (500-1000Гц).				
TalkBox	1,24 (1,02-1,59)	67,14 (36,81-75,88)	58,27 (52,97-75,05)	0,64 (0,57-0,79)
TalkBox с системой АУЗП	1,32 (1,28-1,45)	92,25 (81,13-97,45)	42,26 (36,50-50,07)	0,62 (0,61-0,63)

Расчет параметров звукового поля выполнялся в двух режимах: только при референсном источнике TalkBox, и источник TalkBox с включенной иммерсивной системой АУЗП. На графиках (рис. 8) видно, система увеличивает объемность звучания, но при этом значения параметров выравниваются на всех контрольных местах. Полученные значения акустических параметров: усредненные по звуковому полю, а также минимальные и максимальные, сведены в табл. 1. Кроме того, для большей наглядности на рис. 9 представлены карты звукового поля индекса STI без системы и с системой.

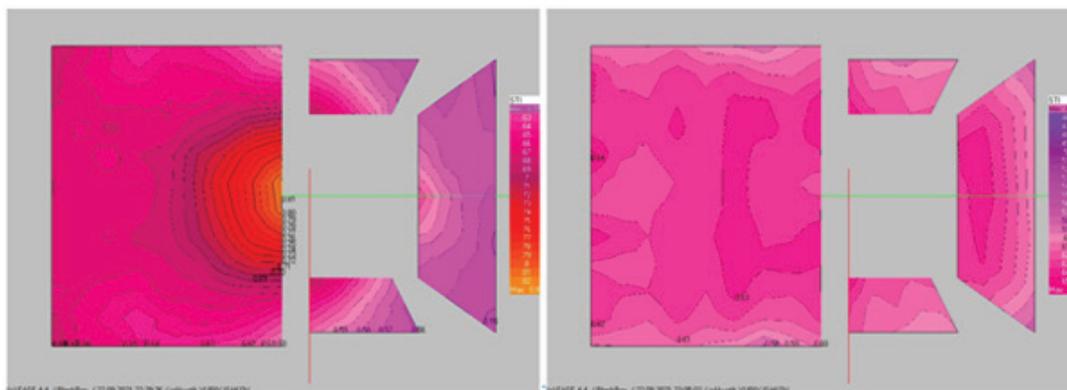


Рис. 9. Карты распределения значений индекса STI по звуковому полю с TalkBox. Система АУЗП выключена (слева), система АУЗП включена (справа)

3.3. Архитектурная концепция акустически «мертвого» зала театра «BlackBox»

Главные задачи иммерсивной системы АУЗП по созданию искусственной акустической среды в соответствии со сценографией спектакля схожи с задачами звукового сопровождения в формате Dolby Atmos в кино. Следовательно, экстремально «мертвая» акустика зрительного зала театра «BlackBox» может соответствовать акустическим требованиям для кинозала с системой Dolby. В соответствии с нормами Dolby лаборатории по сертификации помещений [16], оптимальное значение времени реверберации для объема 1800 м^3 на частоте 500 Гц должно быть $RT60\text{Dolby} = 0,38 \dots 0,62$ с (рис. 10).

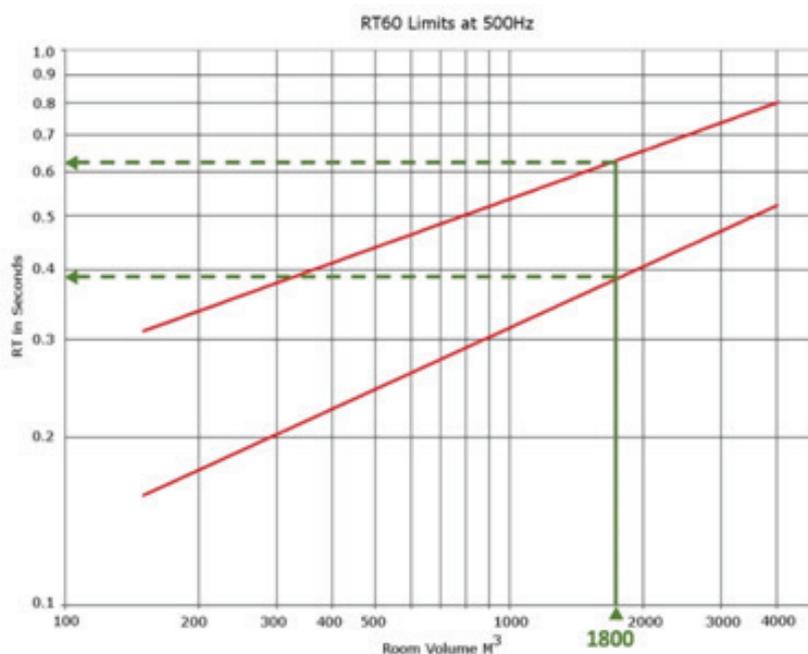


Рис. 10. Зависимость оптимального значения времени реверберации от объема помещения для звукового формата Dolby [16, р. 7]

Для достижения требуемого значения времени реверберации нужно выполнить мероприятия по увеличению фонда звукопоглощения. Главная звукопоглощающая ограждающая поверхность – это потолок. Наиболее технологично на потолок нанести акустический спрей, например AcosorbDC3 или DC5 [17]. При толщине покрытия более 25 мм звукопоглощение эффективно выше 500 Гц. Для облицовки несущих боковых стен лучше всего подходят акустические каменные блоки, DiffuserBlock [18]. Блоки выпускаются 200×400 мм, глубиной 200 мм и 300 мм.

Такие конструкции имеют коэффициент звукопоглощения не менее 0,5 на частотах ниже 250 Гц и высокий коэффициент диффузного рассеяния в широком диапазоне частот. При этом не требуется членения боковых стен (рис. 11). При указанных акустических доработках ограждающих поверхностей зрительного зала театра расчетное значение времени реверберации в диапазоне частот 500–1000 Гц составило $RT60_{calc} = 0,51$ с.

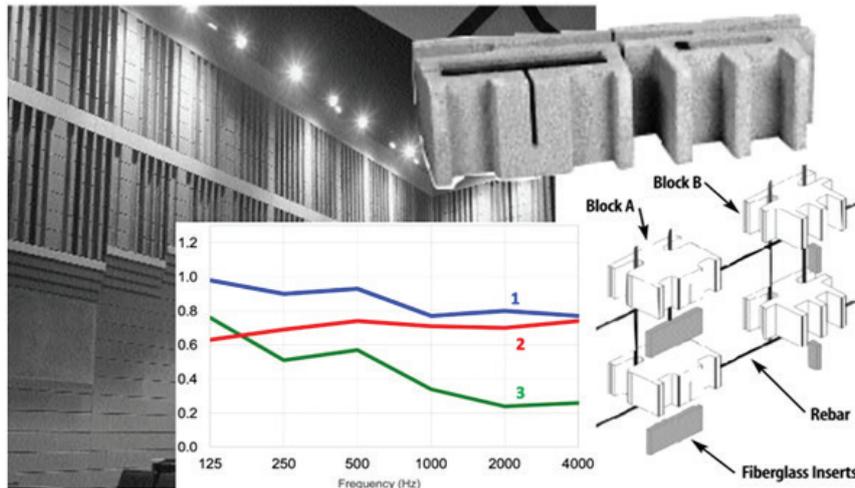


Рис. 11. DiffusorBlox – вид облицованных поверхностей, конструкция.
 Графики зависимости от частоты значений коэффициентов звукопоглощения:
 1 – лицевая поверхность не оштукатурена;
 2 – лицевая поверхность оштукатурена;
 3 – лицевая поверхность оштукатурена, и диффузного рассеяния [18]

3.4. Расчет акустических параметров звукового поля при $RT60=0,51$ с

Для более точного анализа влияния искусственных отражений системы АУЗП на параметры звукового поля театра «BlackBox» как «пустого пространства» с «мертвой» акустикой выполнен расчет акустических параметров на контрольных местах R1-R9 (рис. 12). Расчет выполнялся при направленном референсном источнике TalkBox в трех режимах: первый – с отключенной системой, второй – иммерсивная система АУЗП формирует искусственные отражения с запаздыванием 20–25 мс и третий – система формирует отражения с запаздыванием < 20 мс. Для наглядности на рис. 13 представлены карты звукового поля индекса STI. Полученные значения акустических параметров сведены в табл. 2 : усредненные по звуковому полю, в скобках указаны минимальные и максимальные.

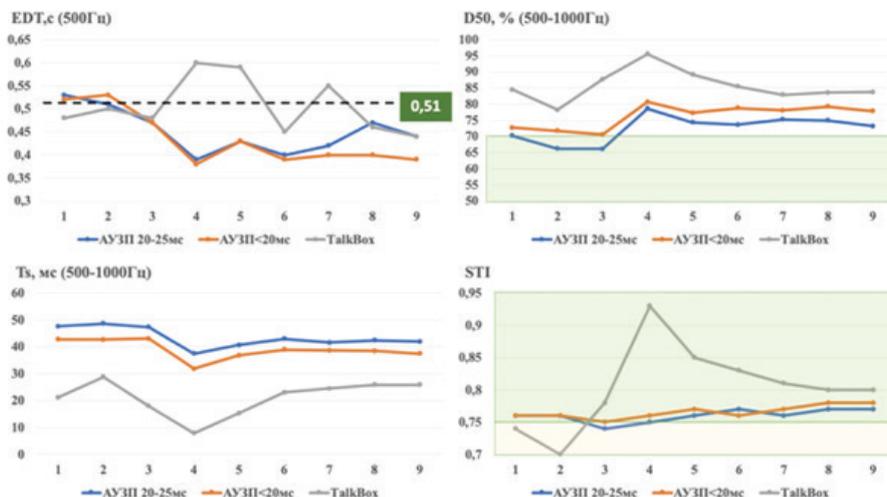


Рис. 12. Значения параметров звукового поля на контрольных зрительных местах R1-R9 при TalkBox и TalkBox с системой АУЗП

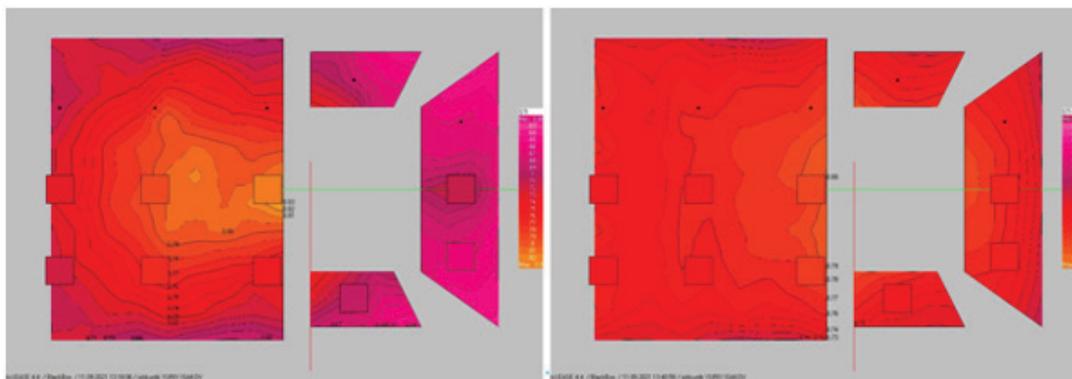


Рис. 13. Карты распределения значения индекса разборчивости речи STI по звуковому полю с TalkBox. Система АУЗП выключена (слева) и включена (справа)

Таблица 2

Параметры звукового поля в различных режимах

Режимы\ RT60 _{calc} = 0,51с (500-1000 Гц)	Параметры	EDT, с 500Гц	Ts, мс 500-1000Гц	D50, % 500-1000Гц	STI
TalkBox		0,49 (0,44-0,6)	21,79 (7,89-25,85)	85,32 (78,25-95,57)	0,79 (0,686-0,931)
TalkBox с системой АУЗП (20-25мс)		0,48 (0,39-0,53)	43,22 (37,40-48,63)	72,11 (66,17-78,62)	0,756 (0,743-0,768)
TalkBox с системой АУЗП (<20мс)		0,46 (0,38-0,53)	39,24 (31,85-43,04)	75,59 (70,57-80,68)	0,76 (0,75-0,78)

Анализ результатов

В «живом» зрительном зале с расчетным временем реверберации 1,12 с, описанном в п.3.1 и п.3.2, при формировании искусственных отражений с помощью системы иммерсивного звука АУЗП наблюдается увеличение ощущаемой зрителями реверберации EDT до 1,32 с (рис.8, табл.1). Это значение на 20% больше оптимального для драматического театра по СП. Кроме того, увеличивается значение центрального времени $T_s > 80$ мс на всех контрольных местах. Это подтверждает, что звук становится более объемным, чем требуется. Значение индекса четкости речи $D50 < 50\%$, но в пределах типовых значений $> 30\%$. Однако главным достижением можно считать выравнивание значения индекса разборчивости речи STI на всех контрольных местах в пределах 0,61–0,63 (табл.1) при работающей системе иммерсивного звука АУЗП (рис. 8, 9). В акустически «мертвом» зале с временем реверберации 0,51 с, описанном в п.3.3 и п.3.4, без системы наблюдается повышенная «сухость» $T_s < 25$ мс и даже излишняя резкость $D50 > 90\%$ в звучании голоса, а значение индекса разборчивости речи на 20% выше на зрительных местах перед актером, чем за спиной (рис. 12, табл. 2). Создание с помощью иммерсивной системы АУЗП искусственных отражений с задержкой 20–25 мс выравнивает значения параметров на контрольных местах. Уменьшение задержки искусственных отражений до значений < 20 мс улучшает параметры и позволяет добиться оценки разборчивости речи «отлично» на всех контрольных местах (рис. 12, 13) с отклонением STI менее 3% от среднего значения. Кроме этого, величина центрального времени T_s увеличивается на всех местах с 22 мс до 40 мс, голос ста-

новится более объемным и «приятным», значение индекса четкости речи D50, при включенной системе АУЗП уменьшается в среднем на 10%, но остается на уровне улучшенной четкости равномерно на всех контрольных местах.

Заключение

Предложенная междисциплинарная концепция архитектуры зрительного зала типа «BlackBox» позволяет достигнуть отличной разборчивости, высокой четкости и объемности речи за счет архитектурной акустики и искусственной акустической среды даже при круговом расположении зрительных мест. В рамках предложенной концепции оптимальным значением времени реверберации для театра «BlackBox», достигаемом средствами архитектурной акустики, следует считать такое же, как для кинотеатров с системами звукового сопровождения Dolby Atmos, при этом для расчета объема зала следует руководствоваться рекомендациями СП, как для драматического театра. Предложенная концепция позволяет достигнуть «ясный и приятный» (Витрувий) [1, с. 18] звук голоса на всех зрительских местах, даже при круговом расположении.

Примечания

¹ Словосочетание «фонд звукопоглощения» следует понимать как «эквивалентная площадь звукопоглощения».

² Свод Правил СП51.13330.2011 ЗАЩИТА ОТ ШУМА. Актуализированная редакция СНиП23-03-2003. – М.: Издание официальное, 2011. НИИСФ РААСН.

³ Свод Правил СП 309.1325800.2017 ЗДАНИЯ ТЕАТРАЛЬНО-ЗРЕЛИЩНЫЕ. ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, введен в действие 2 марта 2018г. – ЦНИИЭП жилища.

⁴ ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика, Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы. – URL: <http://ivo.garant.ru>.

Библиография

1. Витрувий. Десять книг об архитектуре. Т. I / Витрувий; пер. Ф.А. Петровского. – М.: Изд-во Всесоюзной Академии архитектуры, 1936. – 331 с.: ил. – (Классики теории архитектуры / под общей ред. А. Г. Габричевского).
2. Исаков, Ю.И. Витрувий о значении музыки в совершенствовании архитектуры зрительного пространства античного театра. Ч. I [Электронный ресурс] / Ю.И. Исаков // Архитектон: известия вузов. – 2020. – № 4 (72). – URL: http://archvuz.ru/2020_4/10/
3. Исаков, Ю.И. Витрувий о значении музыки в совершенствовании архитектуры зрительного пространства античного театра. Ч. II [Электронный ресурс] / Ю.И. Исаков // Архитектон: известия вузов. – 2021. – №1(73). – URL: http://archvuz.ru/2021_1/8/
4. Hannah, D. (Im) Mater (Ial)ity and the Black-Box Theatre as an ‘Empty Space’ of Re-production / D. Hannah // IDEA Journal. – 2003. – Т. 4. – № 1, Design Research Paper. – P. 23–33.
5. Кожевников, А.М. Современный трансформируемый театр: учеб.-метод. пособие для студентов архитектурного направления / А.М. Кожевников. – М.: МАРХИ, 2018.
6. Макриненко, Л.И. Акустика помещений общественных зданий / Л.И. Макриненко. – М.: Стройиздат, 1986.
7. St. Ann’s Warehouse. Opening performance of Henry IV, October 2015 [Электронный ресурс] – URL: <https://marveldesigns.com/work/st-ann-s-warehouse/110>
8. Стретт, Дж.В. (Л. Рэлей). Теория звука. Т. 2; пер. с англ. П.Н. Успенского и С.А. Каменского / Дж. В. Стретт. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955.

9. Ahnert, W., Schmidt, W. Fundamentals to perform acoustical measurements, Appendix to EASERA [Электронный ресурс] / W. Ahnert, W. Schmidt. – URL: <https://www.yumpu.com/en/document/read/3571572/fundamentals-to-do-acoustical-measurements-renkus-heinz>
10. Исаков, Ю.И., Лихачев, Е.Н. Особенности архитектурного акустического проектирования зрительного зала с круговым расположением зрителей [Электронный ресурс] / Ю.И. Исаков, Е.Н. Лихачев // SCIENCES OF EUROPE. – 2021. – № 79-1(79). – С. 18–24 – URL: <http://european-science.org>
11. Yamaha Corporation. VXS series, Commercial Installation Solutions [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.yamaha.com/ru/products/proaudio/speakers/vxs/downloads.html#product-tabs>
12. Shankland, S. Architectural acoustics in America to 1930 / S. Shankland // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1977. – Т. 61. – P. 250.
13. Was ist eine wissenschaftliche „Schule“ der Akustik? 2018. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.dega-akustik.de/fileadmin/dega-akustik.de/publikationen/akustik-journal/18-01/akustik_journal_2018_01_online_artikel3.pdf
14. Blauert, J. Acoustic Communication: The Precedence Effect / J. Blauert [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/228374744>
15. Bradley, J.S., Sato, H., Picard, M. On the importance of early reflections for speech in rooms / J.S. Bradley, H. Sato, M. Picard [Электронный ресурс]. – URL: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=dd3c1e7a-8d8d-440e-bbcd-04c69ef20419>
16. Dolby Laboratories, Inc. Studio Approval Requirements For Mixing All Dolby Theatrical Formats [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.associationdesmixeurs.fr/wp-content/uploads/2015/10/Dolby-Studio-Approval-Requirements-All-Formats-V18-Rev27.pdf>
17. Acoustic Spray Ceilings By Acsorb, Acosorb [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.acosorb.com/acoustic-spraying>
18. RPGDiffusorBlox. RPGAcousticalSystems, Inc. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rpgacoustic.com/diffusorblox/>

References

1. Vitruvius (1936). Ten Books on Architecture: Volume I. Translated by F.A.Petrovsky. Moscow: Publishing House of the All-Union Academy of Architecture. (in Russian)
2. Isakov, Yu.I. (2020) Vitruvius about the value of music to enhance the architecture of the antique theater audience space. Part 1. [Online] Architecton: Proceedings of Higher Education, No. 4(72). Available from: http://archvuz.ru/en/2020_4/10/ (in Russian)
3. Isakov, Yu.I. Vitruvius on the value of music in enhancing the architecture of the antique theater’s audience space. Part 2. [Online] Architecton: Proceedings of Higher Education, No.1(73). Available from: http://archvuz.ru/en/en/2021_1/8/ (in Russian)
4. Hannah, D. (2003) (Im) Mater (Iality) and the Black-Box Theatre as an ‘Empty Space’ of Reproduction, IDEA Journal, Vol. 4, No.1, pp. 23-33, 2003
5. Kozhevnikov, A.M. (2018) Modern transformable theater. Moscow: Moscow Architectural Institute. (in Russian)
6. Makrinenko, L.I. (1986) Acoustics of public building rooms. Moscow: Stroyizdat. (in Russian)
7. St. Ann’s Warehouse. Opening performance of Henry IV, October 2015 [Online]. Available from: <https://marveldesigns.com/work/st-ann-s-warehouse/110>
8. Strett, J.W. (L. Rayleigh). (1955) Theory of Sound, Volume II. (Translated from the 3rd English edition by P.N. Uspensky and S.A.Kamensky). Moscow: State Publishing House of Theoretical Literature. (in Russian)

9. Ahnert, W., Schmidt, W. Fundamentals to perform acoustical measurements, Appendix to EASERA [Online] Available from: <https://www.yumpu.com/en/document/read/3571572/fundamentals-to-do-acoustical-measurements-renkus-heinz>
10. Isakov, Yu.I., Likhachev, E.N. (2021) Specific features of architectural acoustic design of an auditorium with a circular arrangement of spectators [Online]. Sciences of Europe, No.79-1(79), pp. 18-24. Available from: <http://european-science.org> (in Russian)
11. Yamaha Corporation. VXS series, Commercial Installation Solutions,» [Online]. Available from: <https://ru.yamaha.com/ru/products/proaudio/speakers/vxs/downloads.html#product-tabs> .
12. Shankland, S. (1977) Architectural acoustics in America to 1930. The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 61, p. 250.
13. Was ist eine wissenschaftliche „Schule“ der Akustik? (2018). [Online]. Available from: https://www.dega-akustik.de/fileadmin/dega-akustik.de/publikationen/akustik-journal/18-01/akustik_journal_2018_01_online_artikel3.pdf . [Date accessed: 14 09 2021].
14. Blauert, J. (2005) Acoustic Communication: The Precedence Effect. [Online]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228374744> .
15. Bradley, J.S., Sato, H. and Picard, M. (2003) On the importance of early reflections for speech in rooms. [Online]. Available from: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=dd3c1e7a-8d8d-440e-bbcd-04c69ef20419> .
16. Dolby Laboratories, Inc. (2015) Studio Approval Requirements for Mixing All Dolby Theatrical Formats. [Online]. Available from: <http://www.associationdesmixeurs.fr/wp-content/uploads/2015/10/Dolby-Studio-Approval-Requirements-All-Formats-V18-Rev27.pdf> .
17. Acosorb. Acoustic Spray Ceilings by Acsorb [Online]. Available from: <https://www.acosorb.com/acoustic-spraying> .
18. RPG DiffusorBlox. RPG Acoustical Systems, Inc. [Online]. Available from: <https://www.rpgacoustic.com/diffusorblox/>



Лицензия Creative Commons

Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attribution-ShareAlike» («Атрибуция - на тех же условиях»).
4.0 Всемирная

Дата поступления: 08.11.2021