

УДК 534.843

Теоретический анализ и оптимизация акустических параметров зрительного зала образовательного учреждения

Куликов Артем Сергеевич^(*)

artmkulikov@yandex.ru

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Данная работа посвящена анализу и оценке акустических параметров зрительных залов на предмет их влияния на комфорт слушателей и докладчиков. Цель работы — улучшение акустических параметров зрительного зала. В ходе работы был произведен анализ ключевых параметров, актового зала высшего учебного заведения, влияющих на комфортное восприятие слушателей. Предложены инженерно-архитектурные мероприятия по их улучшению.

Ключевые слова: акустика помещений, время реверберации, геометрическая акустика, разборчивость речи, звукопоглощающие материалы

Theoretical analysis and optimization of acoustic parameters of the auditorium of an educational institution

Kulikov Artem Cergeevich^(*)

artmkulikov@yandex.ru

BSTU "VOENMEH" named after. D.F.Ustinov, Saint-Petersburg, Russia

This work is devoted to the analysis and assessment of the acoustic parameters of auditoriums for their impact on the comfort of listeners and speakers. The purpose of the work is to improve the acoustic parameters of the auditorium. In the course of the work, an analysis of the key parameters of the assembly hall of a higher educational institution that affect the comfortable perception of students was carried out. Engineering and architectural measures for their improvement are proposed.

Keywords: room acoustics, reverberation time, geometric acoustics, speech intelligibility, sound-absorbing materials

Введение. Зрительные и актовые залы в образовательных учреждениях являются ключевыми пространствами для коммуникации. Их главная функция — обеспечение высокой слоговой и фразовой разборчивости речи при проведении лекций, докладов и выступлений. При этом такие залы, как правило являются многофункциональной площадкой, способной выполнять разнообразные функции, для каждой из которых предпочтительны свои собственные значения акустических показателей. Как правило, типовые залы проектируются без учета сложной конфигурации звукового поля, что приводит к избыточной гулкости и появлению акустических дефектов (порхающего эха, поздних отражений). Кроме того, актовые залы, спроектированные в XX веке до повсеместного введения систем звукового усиления, заточены

под «живое» вещание, для которого значения акустических показателей, отличается от показателей при передаче звука с помощью систем звукового усиления. Целью данного исследования является разработка методики акустической оптимизации зрительного зала на этапе проектирования или реконструкции.

Материалы и методы. Актзовые залы высших образовательных учреждений, имеют множество сходств. Главная цель при проектировании актовых залов — эффективная передача информации большому количеству слушателей. Достигается эта цель определенным комплексом решений, выполняемых на стадиях проектирования. Каждый актзовый зал, спроектирован или реконструирован, с учетом геометрии, размеров и объема, материалов отделки помещений. напрямую от которых зависят их акустические показатели, влияющие на качество передачи звука. Качество звукового поля формируется взаимодействием реверберации, ясности речи и пространственного впечатления [1]. Оценка базируется на следующих показателях. Разборчивость речи (STI) и индекс ясности (C50). Показатели определяют способность зала передавать речь и детали звука четко и без искажений, Слух человека объединяет прямой звук с ранними отражениями (пришедшими с задержкой до 50 мс), что субъективно усиливает сигнал. Отражения, пришедшие позже 50 мс, работают как маскирующий шум, снижая разборчивость. Время реверберации (T60) и гулкость. Время затухания звука в помещении на 60 дБ. Длительная реверберация стирает границы между слогами. Из-за избыточной гулкости слушатель быстро утомляется, а докладчик срывает голос, инстинктивно пытаясь перекричать гул (эффект Ломбарда). Пространственное впечатление. Ощущение «погружения» в звуковое поле и пространственной ширины источника звука. Латеральные (боковые) отражения: создают бинауральный эффект. Наибольшее влияние оказывает ширина зала и форма стен: Акустические дефекты (Эхо и окраска звука). Наличие локальных проблем, разрушающих исходный звук — таких как четко различимые запаздывающие эхо. Такие дефекты вызывают гладкие параллельные стены. Они создают «порхающее эхо» из-за многократного переотражения звука между ними. Устраняется установкой рассеивающих диффузоров [2–6].

Результаты. В качестве объекта исследования был выбран типичный актзовый зал образовательного учреждения, функционально ориентированный на проведение лекций, собраний и выступлений без использования сложных систем звукоусиления, вместимостью 500 человек. Объемно-планировочные решения данного актового зала характеризуются традиционной прямоугольной формой плана с гладкими, параллельными боковыми стенами и плоским перекрытием.

Архитектурная форма и габариты помещения закладывают базовый акустический потенциал зала, который в дальнейшем трудно скорректировать исключительно отделочными материалами. Согласно нормативам, для обеспечения хорошей диффузности звукового поля удельный воздушный объем в многоцелевых и лекционных залах должен составлять $4...6 \text{ м}^3$ на одно зри-

тельское место. Пропорции длины зала к его ширине и высоте должны находиться в строгих пределах от 1 до 2, а максимальная длина ограничивается 24–28 метрами, чтобы слушатели находились в зоне эффективной поддержки прямым звуком.

С точки зрения формы плана предпочтительны узкие прямоугольные залы, так как их боковые стены обеспечивают аудиторию ранними латеральными отражениями, формирующими пространственное впечатление. Веерная форма акустически неэффективна, поскольку она направляет звуковые лучи в задние углы помещения, лишая центр зала звуковой поддержки.

Для обеспечения высокой разборчивости речи прямой звук оратора, естественной энергии которого недостаточно за пределами 8–9 метров, должен поддерживаться ранними отражениями, приходящими к слушателю с задержкой не более 50 мс [7–9].

Специфическим и важнейшим элементом акустического интерьера являются зрительские кресла, поскольку именно аудитория выступает главным поглотителем звуковой энергии в помещении. Для обеспечения акустической стабильности зала — чтобы время реверберации во время репетиций в пустом помещении не отличалось кардинально от показателей при полной загрузке — пустые кресла должны поглощать объем звука, эквивалентный присутствию человека.

Наряду с реверберационными помехами важнейшим фактором, снижающим качество звуковой среды, является постоянный фоновый шум, генерируемый системами вентиляции, кондиционирования воздуха и прочим инженерным оборудованием. С позиций психоакустики стационарный шум заполняет паузы между слогами и фразами, что приводит к прямому снижению глубины модуляции полезного речевого сигнала и, как следствие, к радикальному падению индекса передачи речи (STI). В условиях избыточного инженерного шума возникает выраженный эффект маскировки, вынуждающий докладчика инстинктивно форсировать голос (эффект Ломбарда), а слушателей — испытывать повышенную нагрузку на слуховой анализатор для декодирования искаженной звуковой информации.

Обсуждение. В результате исследования, выявлены основные причины, нежелательных искажений звука в пространстве зрительных залов. В области форм залов, следует избегать куполов, цилиндрических сводов и вогнутых стен: они работают как оптические линзы, фокусируя отраженную энергию в центре зала и порождая сильное эхо. Также серьезной ошибкой является примыкание плоской задней стены к потолку под прямым углом, что вызывает запаздывающее «театральное эхо», возвращающееся обратно к оратору. Для предотвращения этого дефекта тыловая стена в обязательном порядке должна облицовываться эффективными звукопоглощающими материалами, что гасит волну и исключает возврат нежелательной энергии обратно в зрительскую зону.

Основным архитектурным инструментом для рассеивания звуковой энергии при передаче к слушателю служит профилирование потолка и стен

в припортальной зоне. Установка над сценой звукоотражающих козырьков или акустических «облаков», расположенных под точно рассчитанным углом, позволяет эффективно перенаправить полезную звуковую энергию в средние и задние ряды зрительских мест. Так же эффективна установка кессонов, которые поглощают часть волн, убирая гулкость речи, так же они рассеивают отраженные звуковые волны, уравнивая между собой уровень громкости речи на зрительских местах.

В области материалов, как самого зала, так и его элементов, оптимизация достигается за счет использования умеренно мягких кресел с обивкой из воздухопроницаемой, звукопрозрачной ткани поверх открытоячеистого поролона, а также применения перфорированных оснований сидений. Наконец, учитывая многофункциональный характер залов образовательных учреждений, для оперативного изменения акустических параметров рекомендуется внедрение систем переменной акустики. Использование скрытых в нишах плотных велюровых штор, которые при необходимости разворачиваются и закрывают отражающие поверхности, позволяя контролируемо снижать время реверберации и повышать индекс STI при проведении речевых мероприятий.

Для достижения высокой слоговой разборчивости и комфортной среды уровень фонового шума в лекционных и многоцелевых залах не должен превышать строгих нормативных значений. Это требует обязательного учета фонового шума, его минимизации путем грамотного расположения источников фонового шума, на этапе проектирования, или изоляции помещения от таких источников, с помощью применения шумозащитных мероприятий.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что акустический комфорт и высокая разборчивость речи в зрительных залах образовательных учреждений не возникают случайно и не могут быть обеспечены исключительно за счет систем электроакустического звукоусиления. Качественная звуковая среда закладывается на самых ранних стадиях проектирования через выбор оптимальных объемно-планировочных решений, правильных пропорций и геометрии зала. Дальнейшая акустическая оптимизация достигается грамотным профилированием стен и потолка для поддержки полезных ранних отражений, а также балансом звукопоглощающих и рассеивающих материалов интерьера для устранения порхающего и театрального эха. Понимание этих архитектурно-акустических факторов в сочетании с контролем фонового шума позволяет создавать высокофункциональные пространства, которые минимизируют когнитивную нагрузку на аудиторию и повышают уровень комфорта и напряженности докладчика и слушателей.

Список источников

- [1] Лицкевич В.К., Макриненко Л.И., Мигалина И.В. и др. *Архитектурная физика*. Москва, Архитектура-С, 2007, 448 с.
- [2] Иванов Н.И. *Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом*. Москва, Логос, 2010, 424 с.

- [3] ГОСТ Р ИСО 3382-2-2013. *Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 2. Время реверберации обычных помещений*. Москва, Стандартинформ, 2014.
- [4] ГОСТ Р 56769-2015 (ИСО 717-1:2013). *Здания и сооружения. Оценка звукоизоляции воздушного шума*. Москва, Стандартинформ, 2019.
- [5] СП 251.1325800.2016. *Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования*. Москва, Стандартинформ, 2018.
- [6] СП 51.13330.2011. *Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003*. Москва, Стандартинформ, 2017.
- [7] Ning Xiang, Ed. *Architectural Acoustics Handbook*. Plantation, FL, J. Ross Publishing, 2017.
- [8] Kuttruff H., Vorländer M. *Room Acoustics*. Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2024.
- [9] Петрова Е.В., Мамонтова А.Д., Комкин А.И., Канев Н.Г. Акустические проблемы новых учебных аудиторий МГТУ им. Н.Э. Баумана. *Акустический журнал*, 2025, т. 71, № S5, 39 с.