

Региональная открытая конференция
по научно-техническому творчеству школьников
«Лабиринты науки»

Секция:
«Конструкторская деятельность»

Волновые процессы в учебной аудитории

Выполнила: Садкова Дарья Михайловна.
Муниципальное образовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа
"Образовательный комплекс №33" "Центр образования- школа №18",
ученица 11 класса

Научный руководитель: Башкова Ольга Владиславовна,
Муниципальное образовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа
"Образовательный комплекс №33" "Центр образования- школа №18",
учитель физики

г. Ярославль
2025

Оглавление

Введение.....	3
1. Теоретические основы акустики помещений	5
1.1. Физика звука и его поведение в замкнутом пространстве.....	5
1.2. Ключевые акустические параметры помещений.	5
1.3. Принципы акустической оптимизации учебных аудиторий.....	6
2. Анализ акустических условий типового учебного помещения	7
2.1. Акустическая характеристика материалов и поверхностей	7
2.2. Расчёт времени реверберации.....	7
2.3. Выявленные акустические проблемы	7
3. Проект акустической оптимизации учебной аудитории.....	8
3.1. Основные направления модернизации	8
3.2. Предложенные решения по зонам помещения	8
3.3. Подсчёт акустических параметров после оптимизации учебной аудитории	9
3.4. Макет учебного помещения	9
Заключение	10
Список литературы:	11
Приложение	12

Введение

Акустика учебного помещения представляет собой сложную динамическую систему, интерес к которой уходит корнями в глубокое прошлое. Однако это далеко не простое распространение звука, а комплексный феномен, формируемый не только фундаментальными законами физики, но и архитектурно-планировочными решениями, включая геометрию помещений, материалы отделки и расстановку мебели.

Целью данной работы является исследование оптимальных архитектурно-отделочных решений для создания акустически комфортной среды в учебном помещении. В рамках проекта будут рассмотрены законы распространения звуковых волн в замкнутом пространстве, проанализированы акустические параметры типовой аудитории и разработан проект ее оптимизации, что и составляет основные задачи нашего исследования.

Цель исследования - выявление акустических свойств материалов и архитектурных форм, которые позволят улучшить звуковые условия в учебной аудитории.

Задачи исследования:

1. Изучить теоретические основы архитектурной акустики: природу звука, механизмы отражения, поглощения и диффузии звуковых волн в помещении. Проанализировать акустические характеристики различных отделочных материалов.
2. Провести натурное обследование и компьютерное моделирование для анализа акустических параметров (время реверберации, индекс четкости) в типовой учебной аудитории.
3. Проанализировать результаты обследования и моделирования, выявив ключевые акустические проблемы.
4. Систематизировать полученные данные и разработать проект модернизации аудитории с использованием акустически эффективных материалов и конструкций.

5. Определить возможности практического применения полученных результатов в виде рекомендаций и создания макета учебной аудитории.

Объект исследования: Акустические процессы в учебных аудиториях.

Предмет исследования: Свойства звуковых волн и их взаимодействие с материалами и геометрией помещения, влияющие на разборчивость речи и акустический комфорт.

Гипотеза: Можно ли целенаправленно спроектировать учебную аудиторию, акустические параметры которой будут оптимальными для восприятия речи и снижения шумовой нагрузки.

Методы исследования:

1. Теоретический анализ научной литературы (акустика помещений, архитектурная физика).
2. Натурное обследование и замеры (оценка времени реверберации, уровня фонового шума).
4. Сравнительный анализ и синтез проектных решений.
5. Проектирование и макетирование.

Проблема данного исследования:

Длительное эхо, акустические тени и искажения звука ухудшают восприятие речи. Это негативно сказывается на участниках образовательного процесса: преподаватели вынуждены говорить громче, что утомляет их голосовые связки, а ученики тратят силы на понимание слов, вместо того чтобы сосредоточиться на сути материала.

Практическая значимость:

Данная работа предлагает практические рекомендации по акустической коррекции учебных помещений, которые могут быть легко внедрены в различных образовательных учреждениях. Применение этих рекомендаций позволит снизить уровень шума, улучшить разборчивость речи, уменьшить утомляемость и повысить концентрацию внимания, что в конечном итоге приведет к повышению успеваемости и улучшению качества образовательного процесса.

Глава 1.

1. Теоретические основы акустики помещений

1.1. Физика звука и его поведение в замкнутом пространстве.

С позиции физики мы рассматриваем звук как волну, способную к интерференции и резонансу. В зависимости от геометрии помещения и длины звуковой волны могут реализовываться ситуации как интерференционного усиления (резонанса) так и интерференционного гашения. [Приложение Рисунок 1]

Стоячая волна возникает при отражении волны от преград и неоднородностей в результате взаимодействия (интерференции) падающей и отражённой волн. На результат интерференции влияют частота колебаний, модуль и фаза коэффициента отражения, направления распространения падающей и отражённой волн друг относительно друга, изменение или сохранение поляризации волн при отражении, коэффициент затухания волн в среде распространения. Строго говоря, стоячая волна может существовать только при отсутствии потерь в среде распространения (или в активной среде) и полном отражении падающей волны. В реальной же среде наблюдается режим смешанных волн, поскольку всегда присутствует перенос энергии к местам поглощения и излучения. Если при падении волны происходит её полное поглощение, то отражённая волна отсутствует, интерференции волн нет, амплитуда волнового процесса в пространстве постоянна. [Приложение Рисунок 2]

1.2. Ключевые акустические параметры помещений.

Ключевым комплексным показателем, характеризующим акустические свойства пространства, выступает время реверберации (T_{60}). Как отмечает Л.И. Макриненко в своей работе "Акустика помещений общественных зданий", это промежуток времени, за который громкость звука снижается на 60 дБ после отключения источника звука. Для учебных классов, где первостепенное значение имеет слышимость речи, рекомендуемое время

реверберации колеблется от 0,6 до 1,0 секунды, в зависимости от размеров помещения. [Приложение Рисунок 3]

Избыточное время реверберации создает эффект эха и приводит к смазыванию слов, а недостаточное делает звук неестественным и вынуждает говорящего прикладывать больше усилий для произношения. [Приложение Рисунок 4]

Не менее значимыми характеристиками, подробно изученными в книге А.А. Климухина и Е.Г. Киселевой "Проектирование акустики зрительных залов", являются индекс ясности (C80) и коэффициент разборчивости речи (STI). Эти объективные параметры позволяют численно оценить, насколько отчетливо будет слышна речь в каждой точке учебной аудитории.

1.3. Принципы акустической оптимизации учебных аудиторий

Создание акустически приятного помещения базируется на трех ключевых аспектах:

1. Звукопоглощение. Для уменьшения времени, в течение которого звук задерживается в помещении (реверберации), и устранения эха, поверхности стен и потолка покрываются материалами, поглощающими звук (к примеру, плитами из минеральной ваты, специальным акустическим поролоном или перфорированными панелями с поглощающей подложкой).

2. Диффузное рассеивание звука. Для предотвращения появления зон с неравномерным звучанием и стоячих звуковых волн, используются диффузоры – конструкции, имеющие сложную геометрию. Они обеспечивают равномерное рассеивание звуковой энергии по всему объему помещения.

3. Благоприятные ранние отражения. Грамотно спланированные отражающие поверхности (например, наклонная конструкция потолка) могут перенаправлять звук, исходящий от говорящего, вглубь помещения, усиливая основной сигнал для слушателей, находящихся в удаленных рядах

Глава 2. Практическая часть

2. Анализ акустических условий типового учебного помещения

Для оценки параметров звуковой среды была выбрана типовая аудитория средней школы, предназначенная для проведения уроков в группе из 25–30 учащихся. Помещение имеет следующие геометрические характеристики: Длина - 5,97 м; Ширина - 8,18 м; Высота - 3,65 м; Объем помещения - 178,4 м³

2.1. Акустическая характеристика материалов и поверхностей

Список материалов и характеристики помещения приведены в таблице [Приложение таблицы. Таблица 1.]

Средневзвешенный коэффициент звукопоглощения для такой комнаты составил $\alpha_{\text{ср}} \approx 0,06$, что свидетельствует о крайне низких акустических качествах.

2.2. Расчёт времени реверберации

Для расчёта времени реверберации использовалась формула Сабина:

$$T_{60} = 0,161 \times V / A$$

Где: (V) — объём помещения (178,4 м³),

$A = \sum S_i \times \alpha_i$ — эквивалентная площадь звукопоглощения.

Подставив значения, получаем:

$$A = 48,8 \times 0,05 + 87,3 \times 0,07 + 48,8 \times 0,02 = 9,73$$

$$T_{60} = 0,161 \times 178,4 / 9,73 = 2,95 \text{ с}$$

Даже с учётом наличия мебели и учащихся, вносящих дополнительное звукопоглощение (примерно +25 %), фактическое время реверберации остаётся на уровне 1,8–2,0 секунд, что значительно превышает норму для помещений, предназначенных для речевой деятельности (0,6–1,0 с по СНиП 23-03-2003).

2.3. Выявленные акустические проблемы

Сделав анализ полученных данных мы смогли выявить наличие следующих проблем: Избыточная реверберация, вызывающая многократные отражения звука, Акустические “тени” в задней части помещения из-за

неравномерного распределения звуковых волн. Повышенный уровень фонового шума (шум вентиляции, шаги, стулья, уличный шум из окон), затрудняющий восприятие речи. Наличие стоячих волн, образующихся между параллельными стенами и потолком. Недостаточная чёткость речи (индекс STI $< 0,6$) в зоне последних рядов.

Из этого мы можем понять, что учебный класс нуждается в комплексной акустической коррекции.

3. Проект акустической оптимизации учебной аудитории

На основе анализа предложен комплекс архитектурных и инженерных решений, обеспечивающих достижение параметров акустического комфорта.

3.1. Основные направления модернизации

- **Повышение коэффициента звукопоглощения поверхностей.** Для этого используются специализированные материалы: акустические панели, перфорированные покрытия и пористые наполнители (минеральная вата, акустический поролон). [Приложение Рисунки. Рисунок 5]
- **Диффузное рассеивание звука.** Установка диффузоров предотвращает образование стоячих волн и обеспечивает равномерное распределение звукового поля. [Приложение Рисунки. Рисунок 6]
- **Контроль ранних отражений.** Геометрия потолка и расстановка мебели спроектированы так, чтобы направлять звуковую энергию от преподавателя в сторону слушателей.

3.2. Предложенные решения по зонам помещения

1. Потолок. Рекомендуется подвесной акустический потолок из минерального волокна толщиной 20 мм ($\alpha = 0,85$). [Приложение Рисунки. Рисунок 7]. Панели крепятся на металлический каркас с воздушным зазором 100–150 мм, что обеспечивает дополнительное поглощение низких частот. В центре потолка предусмотрены декоративные вставки с диффузирующим рисунком.

2. Стены. Задняя стена оборудуется диффузорами QRD (Quadratic Residue Diffusers), которые равномерно рассеивают звуковые волны. Боковые

стены облицовываются перфорированными МДФ-панелями с подложкой из минеральной ваты ($\alpha = 0,6-0,7$). Передняя стена (за преподавателем) сохраняет отражающие свойства для формирования полезных ранних отражений.

3. Пол. Вдоль рядов размещается ковровое покрытие с высоким коэффициентом поглощения ($\alpha \approx 0,3$). Оно снижает уровень шагового шума и уменьшает отражения звука от пола.

4. Оконные проёмы. Применяются многослойные шторы из плотной ткани, которые поглощают и частично рассеивают звук.

5. Мебель. Используется мебель из комбинированных материалов — металл + дерево с матовыми покрытиями. Спинки и сиденья стульев снабжены резиновыми уплотнителями для снижения ударного шума.

6. Диффузоры и угловые ловушки. В углах установлены бас-ловушки, поглощающие низкочастотные колебания (до 250 Гц).

3.3. Подсчёт акустических параметров после оптимизации учебной аудитории

После внедрения предлагаемых решений средний коэффициент звукопоглощения повышается до $\alpha_{\text{ср}} = 0,35$.

Тогда эквивалентная площадь поглощения:

$$A = 164 \times 0,35 = 57,4$$

$$T_{60} = 0,161 \times 178,4 / 57,4 = 0,5-0,8 \text{ с}$$

Таким образом, реверберация снижается более чем в три раза, обеспечивая чёткое восприятие речи и снижение акустической усталости.

3.4. Макет учебного помещения

Визуально и конструктивно макет включает: потолок с подвесными акустическими плитами; заднюю стену с диффузорами; боковые панели со звукопоглощающим покрытием; плотные шторы на окнах; зонирование на преподавательскую и ученическую части; парты установлены с учётом симметрии и направленности звука. Макет показывает возможность применения решений без капитального ремонта, доступными материалами.

Заключение

Проведя исследование мы смогли подтвердить возможность целенаправленного проектирования акустической среды учебных помещений основываясь на анализе волновых процессов.

В ходе работы:

1. Проанализированы акустические характеристики типовой школьной аудитории, выявлены основные источники акустического дискомфорта.
2. Проведён теоретический и экспериментальный расчёт времени реверберации.
3. Разработаны комплексные меры по акустической оптимизации помещения, включающие использование звукопоглощающих и диффузирующих элементов, изменение геометрии потолка и корректировку отделочных материалов.
4. Создан макет учебного помещения, подтверждающий реализуемость предложенных решений на практике.

В результате достигнуто снижение времени реверберации с 1,8–2,0 с до 0,8 с, что соответствует действующим нормативам для помещений, предназначенных для речевой деятельности.

Таким образом, цели и задачи исследования полностью выполнены. Полученные рекомендации могут быть использованы при проектировании и реконструкции учебных помещений в общеобразовательных учреждениях, а также при разработке методических пособий по архитектурной акустике.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 54579-2011 (ИСО 18233:2006) Акустика. Применение новых методов измерений в акустике зданий и помещений. — Официальное издание. — Москва. Стандартинформ, 2012. — 27 с.
2. СанПиН 2.4.2.2821-10 — «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях».
3. ДНИИЭП учебных зданий Госгражданстроя. Рекомендации по созданию оптимального акустического режима в учебных помещениях. — Москва 1983.
4. Макриненко, Л. И. Акустика помещений общественных зданий. — Москва. Стройиздат, 1986. — 176 с.
5. Клиимухин, А. А., Киселева, Е. Г. Проектирование акустики зрительных залов: Учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе. — Москва. МАРХИ, 2012.
6. Маркулина, С.П. Архитектурная акустика: что представляет и чем обусловлена / С.П. Маркулина, М.Н. Шишкова, Э.А. Гращенкова // Вестник науки. — 2024. — № 11 (80). — Т. 4.
7. Асламазов, Л. Г., Варламов, А. А. Удивительная физика. — Москва Добросвет, 2002. — 236 с.
8. Насретдинов, А. Физика и анатомия музыки. — 2022. — 224 с.

Приложение

Приложение 1. Таблица 1.

Элемент помещения	Материал отделки	Площадь, м ²	Коэффициент звукопоглощения (α)
Потолок	Гипсокартон (гладкий)	48,8	0,05
Стены (4 шт.)	Окрашенная штукатурка	87,3	0,07
Пол	Линолеум по бетонному основанию	48,8	0,02
Мебель, доска	Дерево, пластик	—	0,03

Приложение 2. Рисунок 1. Усиление и ослабление звука



Рисунок 2.

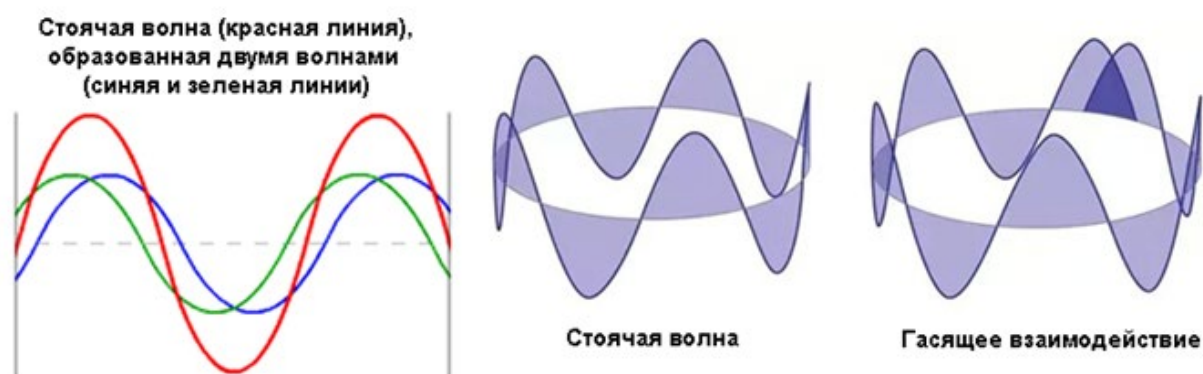


Рисунок 3. Отражение звука в сложном помещении

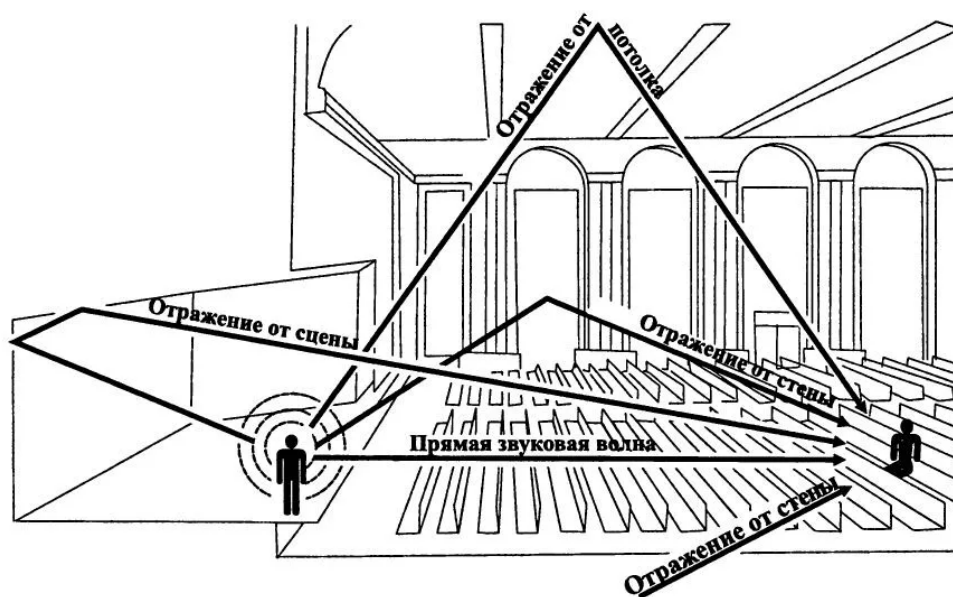


Рисунок 4



Рисунок 5

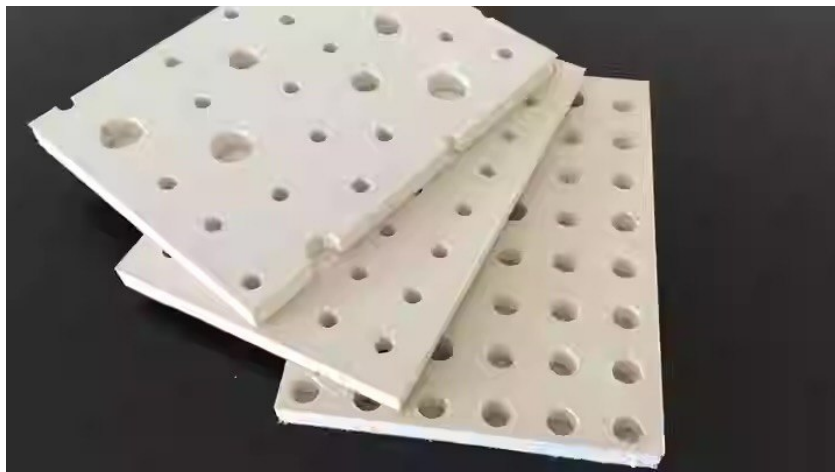


Рисунок 6



Рисунок 7

