

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

Н.Г. Канев, А.И. Комкин

Акустика учебных аудиторий

Учебное пособие



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 9

УДК 534.84
ББК 22.32
К19

Издание доступно в электронном виде по адресу
ebooks.bmstu.press/catalog/81/book2093.html

Факультет «Энергомашиностроение»
Кафедра «Экология и промышленная безопасность»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Канев, Н. Г.

К19 Акустика учебных аудиторий : учебное пособие / Н. Г. Канев,
А. И. Комкин. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Бау-
мана, 2019. — 62, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5203-3

Рассмотрены вопросы, связанные с нормированием и расчетом акустических параметров помещений применительно к учебным аудиториям. Изложены основные понятия архитектурной акустики. Приведены критерии акустического качества помещений с естественной акустикой, используемых для речевых мероприятий — лекций, семинаров, презентаций. Изложена методика акустического проектирования учебных аудиторий и расчета основного акустического параметра помещений — времени реверберации.

Для студентов, изучающих курс «Акустика помещений», а также выполняющих курсовое проектирование и выпускную квалификационную работу.

УДК 534.84
ББК 22.32

ISBN 978-5-7038-5203-3

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Предисловие

Акустическому качеству учебных аудиторий, как и многих других помещений специального назначения, требуется уделять особое внимание. В аудиториях должна быть обеспечена качественная передача слушателям как визуальной информации от различных источников (доска, экран, наглядные материалы), так и звуковой информации, в первую очередь от лектора. Согласно современным исследованиям, примерно 70...80 % усвоенной информации студенты получают по зрительному каналу, а оставшиеся 20...30 % — по слуховому. Если условия для качественной передачи визуальной информации достаточно просты и их реализация не представляет значительных трудностей, то качественная передача звуковой информации существенно сложнее. Более того, плохие акустические условия в аудитории приводят к частичной потере не только звуковой, но и визуальной информации, которая может быть непонята или понята неправильно. Хорошая акустика аудиторий — залог успешного учебного процесса.

Учебная аудитория является также рабочим местом лектора, поэтому другой аспект проблемы акустики аудитории связан с охраной труда. В помещениях с плохими акустическими свойствами, в первую очередь в сильно заглушенных или с повышенным уровнем шума, лектору приходится значительно повышать голос, чтобы громкость его речи была достаточной на всех местах. Работа в таких негативных условиях приводит к расстройствам голосового аппарата, а иногда и к профессиональным заболеваниям. Поэтому плохая акустика аудиторий может быть отнесена к вредным производственным факторам.

Цель данного учебного пособия заключается в формировании у читателя знаний, умений и навыков, связанных с расчетом и измерением акустических характеристик помещений, а также с проектированием акустики помещений.

В пособии рассматриваются наиболее важные вопросы архитектурной акустики помещений, предназначенных для проведения учебных мероприятий, при которых речевая информация пере-

дается от оратора к слушателям без использования системы звукоусиления. Для ясного понимания представленного материала приведены основные акустические понятия. С этой же целью пособие снабжено глоссарием.

Пособие написано на основании курса лекций «Акустика помещений», читаемого для магистрантов первого года обучения в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Экология и промышленная безопасность» по направлению «Акустика среды обитания».

Авторы выражают благодарность В.В. Тупову, доценту кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана, за внимательное ознакомление с пособием во время его подготовки и полезные замечания.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АКУСТИКИ

1.1. Звуковые волны

Наука о звуке — акустика — изучает разнообразные явления, которые встречаются во многих областях нашей жизни. Во-первых, мы постоянно слышим разные звуки — речь, музыку, сигналы, шумы природного и антропогенного происхождения. Во-вторых, с помощью звуков мы изучаем окружающий мир. В воде, в горных и осадочных породах затухание звука ничтожно по сравнению с затуханием электромагнитных волн, поэтому звуковые волны — единственное средство исследования водоемов и глубинных слоев Земли. Еще один распространенный пример — использование ультразвуковых технологий в медицине для диагностических целей. В-третьих, звук высокой интенсивности является инструментом в различных областях науки и техники (терапевтическая медицина, резка твердых материалов, очистка поверхностей и др.). В основе этих, казалось бы, разных направлений лежат общие закономерности и представления о физических процессах, имеющих место в той или иной области акустики.

Основным физическим понятием в акустике является звуковая волна — особый вид движения механической среды. Любую среду — газ, жидкость, твердое тело — можно представить в виде совокупности частиц, взаимодействующих между собой по определенным законам. Внешние возмущения вызывают движение частиц среды как материальных точек, причем механическое воздействие может быть оказано лишь на небольшую их часть, поскольку физически невозможно приложить возмущающие силы ко всем частицам среды сразу. Однако в результате взаимодействия между частицами внешнее воздействие переходит с одних частиц на другие, и в конечном счете все частицы среды приходят в движение, т. е. локальное возмущение передается во всю среду. Такая передача механического возмущения по среде и называется *звуковой*, или *упругой*, *волной*.

Смещение частиц относительно начального положения и скорость их движения, как правило, очень малы, и после прохождения волны каждая частица остается в своем исходном положении. Волна же распространяется по среде от места возникновения. Скорость распространения звуковой волны, или просто — *скорость звука*, велика (сотни и тысячи метров в секунду) и не зависит от способа возмущения и его интенсивности. Скорость звука зависит только от свойств среды: чем больше упругость среды, тем быстрее передается возмущение от одной частицы к другой, а чем больше плотность среды, тем скорость звука меньше.

Скорость звука всегда конечна. Так, в воздухе скорость звука при стандартных условиях составляет около 340 м/с, при этом ее точное значение определяется параметрами воздуха — температурой и влажностью. В меньшей степени скорость звука зависит от газового состава воздуха и атмосферного давления.

Движение частиц среды, в которой распространяется звуковая волна, является колебательным. Это связано с тем, что физическая среда обладает упругостью и инерцией. Внешнее воздействие на некоторую частицу среды вызывает ее смещение, соседние частицы вследствие упругого взаимодействия между собой стремятся «вернуть» ее в начальное положение. При этом частица возвращается в исходное положение с ненулевой скоростью и, поскольку обладает массой, по инерции «проскакивает» положение равновесия и вновь попадает под действие упругих сил со стороны соседних частиц. Поэтому в звуковой волне каждая частица среды движется назад и вперед по направлению распространения волны.

Смещения частиц в звуковой волне приводят к тому, что в среде образуются области, в которых частиц собирается больше, т. е. происходит локальное сжатие среды. Как следствие, в этих областях увеличиваются давление, температура и плотность среды. Естественно, образуются и области разрежения, в которых частиц меньше, чем в состоянии покоя. В этих областях давление, температура и плотность имеют более низкие значения. Для акустики представляет интерес отклонение значений этих величин, в первую очередь давления, от значений в невозмущенной среде.

Приведенное описание механической среды как дискретной системы материальных точек и процесса распространения в ней звуковых волн хотя и довольно наглядное, но очень приблизительное. В акустике среда рассматривается сплошной и ее состояние описывается непрерывным распределением давления, скорости, плотности и температуры. В звуковой волне указанные величины

и их изменения взаимосвязаны. Совокупность всех этих величин называют *звуковым полем*, а распространение волны рассматривают как изменение звукового поля с течением времени.

Отметим одно важное свойство звуковых волн. Если в среде распространяется не одна, а несколько звуковых волн, то каждая из них распространяется «не замечая» остальных. Другими словами, волны не взаимодействуют между собой, поэтому для них справедлив принцип суперпозиции, или суммирования: звуковое поле в каждой точке пространства — это сумма полей всех звуковых волн. Для скалярных характеристик волны (например, давление, плотность) суммирование алгебраическое, для векторных (скорость) — векторное. Важное применение принципа суперпозиции — представление некоторой заданной волны в виде суммы других волн, более простых для изучения, чем исходная волна.

Математически связь между величинами, характеризующими звуковую волну, выражается системой дифференциальных уравнений в частных производных с независимыми переменными — временем и координатами. Система состоит из уравнений движения, непрерывности и состояния среды, следствием которых является волновое уравнение. Здесь не приводятся упомянутые уравнения, поскольку для большинства задач архитектурной акустики используется упрощенное представление о распространении звука — геометрическая акустика. Однако для того чтобы получить более полное представление о волновой акустике, рекомендуем обратиться к книге М.А. Исаковича «Общая акустика».

1.2. Звуковое давление и уровень звукового давления

Отклонение давления в звуковой волне от давления в невозмущенной среде (например, в воздухе — отклонение от атмосферного давления) называется *звуковым давлением* p . Подчеркнем, что величина p нас интересует сама по себе, а не как приращение невозмущенного давления, поэтому в отсутствие волны звуковое давление равно нулю. Звуковое давление и другие физические величины, характеризующие акустическое состояние среды, такие как скорость, плотность, температура, изменяются от точки к точке и с течением времени. Изменения этих величин взаимосвязаны: если известна пространственно-временная зависимость только одной из этих величин, то пространственно-временные зависимости всех остальных величин определяются однозначно.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Основные понятия акустики	5
1.1. Звуковые волны	5
1.2. Звуковое давление и уровень звукового давления	7
1.3. Спектральный анализ звука	10
2. Основы геометрической акустики	18
2.1. Звуковые лучи	18
2.2. Источники звука и их характеристики	19
2.3. Звук в помещении	23
3. Критерии акустического качества аудиторий	27
3.1. Время реверберации	27
3.2. Шум	32
3.3. Речевая разборчивость	34
3.4. Громкость речи	39
3.5. Пример определения акустического качества аудитории	42
4. Основы проектирования акустики аудиторий	43
4.1. Объемно-планировочное решение	43
4.2. Полезные звуковые отражения. Метод мнимых источников	45
4.3. Расчет времени реверберации	49
5. Пример акустического расчета аудитории	53
Вопросы и задания для самоконтроля	58
Глоссарий	60
Литература	63

Учебное издание

Канев Николай Георгиевич, Комкин Александр Иванович

Акустика учебных аудиторий

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 30.07.2019. Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 4,0. Тираж 100 экз. Изд. № 470-2018. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

baumanprint@gmail.com