



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

Приборостроительное предприятие
«Висом»

Российское
акустическое общество



АКУСТИКА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

X ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Москва, 29–30 мая 2025 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ



МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА
2025

УДК 534+929
ББК 22.32
А44

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8454>

Научный редактор *А.И. Комкин*

А44

Акустика среды обитания : X Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (Москва, 29–30 мая 2025 года) : материалы конференции / Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; Приборостроительное предприятие «Висом»; Российское акустическое общество. — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025. — 423, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6584-2

В сборник вошли доклады студентов и аспирантов различных вузов России и специалистов из ведущих научных и технических организаций, занимающихся вопросами акустики, представленные на X Всероссийской конференции «Акустика среды обитания», проходившей 29–30 мая 2025 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Рассмотрен широкий круг вопросов, посвященных авиационной акустике, методам и средствам измерения шума, расчетам и проектированию средств защиты от шума в жилой застройке и на производстве.

Для научных работников, специалистов в области акустики, а также широкого круга читателей, интересующихся современными достижениями науки.

УДК 534+929
ББК 22.32

Материалы издаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-7038-6584-2

© МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2025
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025

Предисловие

Решение о проведении в МГТУ им. Н.Э. Баумана ежегодных акустических конференций молодых ученых и специалистов было принято в 2015 году в память о профессоре Евгении Яковлевиче Юдине (1914–1991), внесшем значительный вклад в развитие инженерной акустики как в нашем университете, так и в целом у нас в стране. Задачи этой конференции состояли в ознакомлении ее участников с современными достижениями акустической науки, получении ими опыта презентации своих работ перед акустической аудиторией, более глубоком понимании акустических проблем на основе проводимых в рамках конференции дискуссий и обсуждений, в передаче опыта старших поколений акустиков младшему. Все это должно служить воспитанию у молодежи любви к акустической науке, формированию желания посвятить ей свою профессиональную деятельность и на этой основе обеспечить преемственность поколений. Последнее является очень важным для здорового развития науки вообще, а для акустики, как представляется, в особенности.

Первая Всероссийская конференция «Акустика среды обитания» состоялась в 2016 году. На ней были представлены 22 научных доклада молодых акустиков, посвященные рассмотрению широкого круга проблем, связанных с акустическим загрязнением окружающей среды и защитой от вредного воздействия шума на человека, а также теоретическим и экспериментальным исследованиям в области технической акустики. С каждым годом количество участников конференции увеличивалось, расширялся и круг рассматриваемых проблем. В этом году мы проводим юбилейную, десятую, конференцию. За время ее проведения выросло и окрепло новое поколение акустиков, и мы смеем надеяться, что наша конференция внесла в этот процесс свой, пусть и скромный, вклад и тем самым помогла замедлить опасную тенденцию разрыва поколений в научном акустическом сообществе.

Материалы конференции этого года содержат 56 докладов молодых исследователей из Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Нижнего Новгорода, Перми, Владивостока, Саранска, Таганрога, Тулы, представляющих ведущие университетские и научные центры в этих городах: ЦАГИ, МГУ имени М.В. Ломоносова, МАДИ, МЭИ, МГСУ, АКИН, РХТУ им. Д.И. Менделеева, МФТИ, БГТУ «Военмех», ЛЭТИ, ИТМО, СПбГМТУ, КАИ, ПНИПУ, ЮФУ, ДВФУ, ИПФ РАН, ИОФ РАН. Традиционно на конференции широко представлены работы молодых акустиков из МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тематика докладов охватывает широкий спектр направлений исследований в области современной акустики: акустические измерения, акустику океана, архитектурную и строительную акустику, аэроакустику, биомедицинскую акустику, нелинейную акустику, распространение и дифракцию звуковых волн, ультразвуковые технологии, физическую акустику, шумы. Заметное представительство здесь имеют доклады, связанные с вибрацией.

Представленные в материалах конференции результаты относятся как к фундаментальным, так и к прикладным исследованиям и техническим разработкам. Соавторами многих докладов, представленных на конференции, являются известные российские специалисты-акустики.

Характерной особенностью конференции «Акустика среды обитания» является наличие вступительной лекции, предваряющей научные доклады участников конференции. С лекцией выступают авторитетные ученые, раскрывающие разного рода актуальные проблемы современной акустики. С начала проведения таких конференций были представлены лекции: «Два акустических эффекта в окружающей среде» и «Черные дыры в акустике», М.А. Миронов (АКИН, МГТУ им. Н.Э. Баумана); «Актуальные направления исследований в области разработки эффективных ЗПК для перспективных авиадвигателей», Н.Н. Остриков (ЦАГИ); «Акустика концертных залов: практический опыт и научный подход», Н.Г. Канев (МГТУ им. Н.Э. Баумана, АКИН); «Инфразвук, ультразвук, гиперзвук — где пределы звука?», И.Б. Есипов (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, АКИН); «Психоакустические методы выделения раздражающих компонентов шумов», Л.К. Римская-Корсакова (АКИН); «Измерение шума в среде обитания человека», И.А. Некрасов (ООО «Алгоритм-Акустика»); «Акустические метасреды, сформированные резонаторами», Н.Г. Канев (МГТУ им. Н.Э. Баумана, АКИН), «Организация и развитие аэроакустических исследований в Московском комплексе ЦАГИ», В.Ф. Копьев (ЦАГИ). Вступительная лекция этого года посвящена теме становления и развития акустической науки на примере резонатора Гельмгольца.

Представленные в этом издании материалы конференции могут быть полезны как для начинающих ученых, аспирантов и студентов соответствующих профилей, так и для широкого круга специалистов в различных областях науки и техники, связанных с акустикой.

В заключение хотелось бы выразить особую благодарность Российскому акустическому обществу и лично исполнительному директору Е.В. Юдиной за информационную поддержку конференции, а также Приборостроительному предприятию «Висом» за тесное сотрудничество при ее подготовке.

Председатель оргкомитета конференции
А.И. Комкин

УДК 534.26

Резонатор Гельмгольца в свете становления и развития акустической науки

Комкин Александр Иванович

akomkin@mail.ru
SPIN-код: 5661-1528

МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена история развития научных представлений о резонаторе Гельмгольца, с точки зрения происходящих в нем физических процессах. Отмечаются трудности исследований в этом направлении на начальном пути, в отсутствии соответствующей экспериментальной базы, когда сам процесс регистрации звуковых колебаний требовал от исследователя немалой изобретательности. Показана эволюция систем измерений, от первых без микрофонных измерительных установок, до современных многомикрофонных измерительных систем со спектральными анализаторами. Показаны успехи в создании линейной теории резонаторов Гельмгольца и трудности в теоретическом описании их колебаний на нелинейных режимах, при высоких уровнях звукового давления.

Ключевые слова: резонатор Гельмгольца, история, применение, исследования, экспериментальные методы, математические модели

The Helmholtz resonator in the light of the formation and development of acoustic science

Komkin Alexander Ivanovich

akomkin@mail.ru
SPIN-code: 5661-1528

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The history of the development of scientific ideas about the Helmholtz resonator is considered from the point of view of the physical processes taking place in it. The difficulties of research in this direction are noted at the initial stage, in the absence of an appropriate experimental base, when the process of recording sound vibrations required considerable ingenuity from the researcher. The evolution of measurement systems is shown, from the first microphone-free measuring systems to modern multi-microphone measuring systems with spectral analyzers. The progress in the creation of the linear theory of Helmholtz resonators and the difficulties in the theoretical description of their oscillations in non-linear modes at high sound pressure levels are shown.

Keywords: Helmholtz resonator, history, application, study, experimental methods, mathematical models

Введение. Акустическим резонатором (резонатором Гельмгольца) называют устройство для селективного усиления или ослабления звука. Его можно представить в виде полости, которая сообщается с внешней средой через отверстие на ее стенке или небольшое горло. При этом форма полости и материал, из которого изготовлен резонатор, может быть самым разнообразным. По своему действию акустические резонаторы аналогичны электрическим фильтрам и позволяют выделять или наоборот не пропускать определенные спектральные составляющие звукового спектра.

Благодаря уникальным особенностям акустические резонаторы нашли широкое применение в самых разнообразных областях человеческой деятельности. Так деки струнных музыкальных инструментах, таких как гитара или скрипки, являясь по сути акустическими резонаторами, обеспечивают глубину и полноту их звучания. Акустические резонаторы при определенных условиях могут эффективно поглощать звук на своей резонансной частоте, поэтому они находят широкое применение в качестве поглотителей звука в архитектурной акустике. С другой стороны при их установке на стенках каналов они могут служить в качестве резонансных отражателей звука, что обосновывает их широкое применение в машиностроении, например в глушителях шума в системах впуска и выпуска двигателей внутреннего сгорания.

Доклад посвящен истории становления акустики как науки. Истории акустики посвящено не так много работ. Из последних можно отметить книгу Бейера [1] в которой дается обширный обзор развития акустики за последние 200 лет. В данной работе рассматривается только часть этой истории, касающийся исключительно акустического резонатора. Да и этот вопрос рассматривается не всеобъемлюще, а ограничивается только случаем вынужденных колебаний резонатора. Что касается другого важного режима работы резонатора, связанного с автоколебательными процессами, когда при наличии постоянного воздушного потока, обдувающий горло резонатора, генерируется звук на собственной частоте резонатора, то здесь этот вопрос совсем не затрагивается. Скажем лишь, что одной из первых публикаций в этой области, посвященной, в частности, взаимодействию резонатора с потоком была книга Д.И. Блохинцева «Акустика неоднородной движущейся среды» [2], вышедшая первым изданием в 1946 году и вскоре переведенная в США на английский язык.

Цель данной работы состоит в том, чтобы показать, что процесс получения новых знаний в акустике не так прост, как это может показаться. От исследователя требуется проявления немалого труда, упорства, настойчивости, изобретательности, чтобы сделать хотя бы маленьких шаг вперед на пути познания.

Методы исследования. На первых порах, в древнем мире и средневековье, использование акустических резонаторов-голосников, и оценка их эффективности проводилась не на систематической основе, а скорее методом проб и ошибок. Более или менее удачно этот метод работал при использова-

нии голосников в деках струнных музыкальных инструментов, при использовании голосников в архитектурной акустике он работал гораздо хуже. По настоящему научные исследования акустических резонаторов можно датировать 1850 годом. Именно в этом году, как отмечается Рэлеем [3] появились публикации Зоудхауса, в которых приводились результаты экспериментальной оценки зависимости собственной частоты акустического резонатора от его геометрических параметров. Следует отметить, что проведение акустических исследований в то время было не простой задачей, так как еще не было точных методов регистрации акустических колебаний. Поэтому исследователям приходилось проявлять чудеса изобретательности, чтобы получить надежные и достоверные результаты.

Так, Герман фон Гельмгольц, известнейший немецкий физиолог и физик того времени [4], при исследовании акустического резонатора модернизировал его, заменив жесткую заднюю стенку резонатора упругой мембраной. К наружной стенке мембраны он закрепил шелковое волокно с каплей сургуча на конце. Такого рода маятник был способен откликаться даже на небольшие колебания мембраны, вызываемые звуковым давлением внутри полости резонатора (рис. 1, а). Воздействуя на резонатор звуками различной частоты, он определял собственную частоту резонатора, при которой отклонения маятника были максимальны. Развивая идею резонатора с мембраной, Гельмгольц создал сферический акустический резонатор с двумя горлами, одно более широкое, а другое более узкое, имеющее воронкообразную форму (рис. 1, б). Это позволяло вставлять узкое горло в слуховой канал, так чтобы его срез располагался вблизи барабанной перепонки. При этом барабанная перепонка играла роль мембраны резонатора на его задней стенке, как это имело место в предыдущем опыте Гельмгольца. При этом у слушателя появлялась возможность слышать даже слабые звуки с частотой, равной собственной частоте резонатора. Устройство, представленное на рис. 1, б, получило название резонатора Гельмгольца.

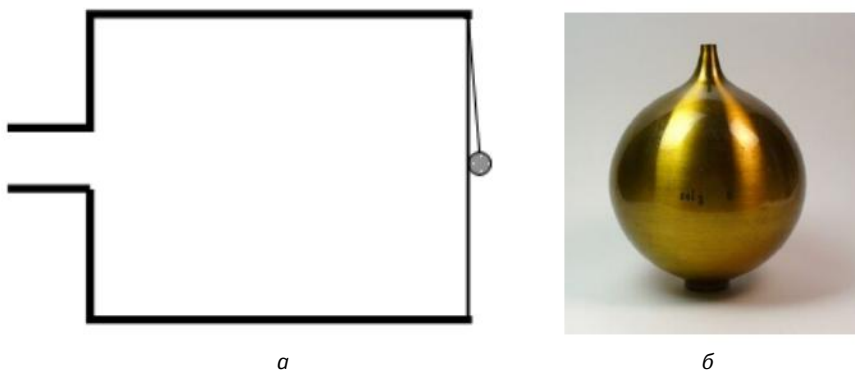


Рис. 1. Схема резонатора с упругой задней стенкой и закрепленным на ней маятником (а) и общий вид резонатора Гельмгольца (б)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Вступительная лекция	5
<i>Комкин А.И.</i> Резонатор Гельмгольца в свете становления и развития акустической науки	5
Доклады	15
<i>Абдрашитов А.А., Марфин Е.А., Плахова Е.А.</i> Некоторые аспекты генерации периодических колебаний давления в струйном осцилляторе Гельмгольца	23
<i>Абоян Г.М., Бокарев А.И., Рахаев С.М., Карташов А.Б.</i> Разработка методики оценки акустических свойств мехатронных трансмиссий на начальных этапах проектирования	31
<i>Алешкин В.М.</i> Архитектурно-акустические особенности православных храмов и мечетей	40
<i>Баранов А.Д., Казаков А.А., Староверова Я., Шевелько М.М.</i> Автоматизированные измерения параметров пьезопреобразователей	48
<i>Бахтин В.К., Зимина К.Д.</i> О некоторых результатах исследований перспективных акустических преобразователей на основе сегнетоэлектрических полимеров и микроэлектромеханических систем	55
<i>Башкатов В.В., Остриков Н.Н.</i> Развитие метода поперечных сечений для решения задачи о распространении звука в цилиндрическом канале с неоднородным импедансом стенок при наличии потока	61
<i>Богатов Н.А., Халаджан Е.А., Савина А.С., Зоткин А.П.</i> К вопросу о совершенствовании системы нормирования и определения низкочастотного виброакустического воздействия на химических производствах	68
<i>Боджона С.Д., Сидоров Д.Д., Луньков А.А.</i> Сезонная изменчивость низкочастотного шумового поля ветрового волнения в мелководных волноводах с двумя типами дна	75
<i>Бондарев А.Л.</i> Воспроизведение ударов с заданным ударным спектром на вибростендах	83
<i>Бражкин А.В., Беляев И.В., Зайцев М.Ю., Копьев В.Ф.</i> Сравнительное исследование результатов вейвлет-анализа шума вихревых колец	90
<i>Быков А.И., Комкин А.И., Миронов М.А.</i> Оценка поглощения звука резонатором Гельмгольца	95
<i>Васильева А.В., Буторина М.В., Васильев А.П.</i> Особенности размещения зданий при проектировании новых жилых кварталов вблизи источников шума	102
<i>Волченкова И.С., Канев Н.Г., Перетокин А.В., Фадеев А.С.</i> О нормировании времени реверберации в спортивно-зрелищных сооружениях большой вместимости	109
<i>Вьюгинова А.А., Вьюгинов С.Н., Новик А.А., Лбов А.А.</i> Исследование рабочих параметров ультразвуковых технологических волноводов радиального типа	117

Галевко Ю.В., Тюрин В.П., Залипаев В.И. Методы улучшения акустического комфорта легкового автомобиля	125
Гарипова Э.Р., Тупов В.В., Гапонюк Н.А. Акустический расчет автотранспортных шумозащитных экранов при их проектировании	133
Гуцина Д.В., Савельев А.П. Оценка эффективности звукопоглощающих конструкций с применением аэрогеля	141
Долгер А.Р., Канев Н.Г. Об особенностях расчета шумозащитных экранов для широкополосных источников шума	147
Журавлева М.О., Савина А.С., Халаджан Е.А. Исследование влияния низкочастотного виброакустического воздействия на посевные качества семян	155
Зайнутдинова Д.А., Павлов Г.И., Теляшов Д.А. Теоретическое исследование взаимодействия газового потока с увлажненной сферической частицей	162
Зарипов Ф.А., Павлов Г.И. Исследование разбалансировки частот внешних колебательных сил и резонансной частоты акустического контура с жидкостью путем подвода газа	170
Зими́на К.Д., Бахтин В.К., Балыкин Д.Е. Применение вибрационных измерений при оптимизации конструкции гидроакустических излучателей	177
Ипатов М.С., Остриков Н.Н. Исследование влияния защитного покрытия лицевого перфорированного листа звукопоглощающих конструкций на импеданс конструкции	185
Кан Н.В., Синица В.Ю., Еманов Д.П., Осипков А.С., Моисеев К.М. Исследование влияния частоты акустического поля на значение пьезомодуля всестороннего сжатия ϑ_h полимерных сегнетоэлектрических пленок ПВДФ	194
Козлова А.М., Богатов Н.А., Зоткин А.П. Виброакустическое поле как фактор, создающий дополнительную нагрузку на экосферу	202
Кокорин Н.А., Богатов Н.А., Савина А.С., Халаджан Е.А. Сонохимический синтез нитритов в низкочастотном поле	208
Кондратьева Е.А., Матасова О.Ю., Адамович М.Б., Серов С.А. Экспериментальное исследование акустических характеристик диссипативных глушителей шума	214
Кузнецова А.Д. Идентификации источников шума и вибрации в офисном помещении для разработки средств снижения	221
Кустов О.Ю., Кузнецов А.А., Храмцов И.В., Пальчиковский В.В., Корин И.А. О возможности низкочастотных измерений в интерферометре при высоких уровнях звукового давления	231
Лагу́та М.В., Кравчук Д.А. Исследование распространения поперечных акустических волн в биотканях с учетом нелинейности их взаимодействия для обнаружения новообразований	240
Лань Сяоянь, Стаценко Л.Г. Исследование низкочастотного звукопоглощения акустического метаматериала	246
Лаухин Д.А., Малыхин Ф.А., Шукин В.А., Иванов М.В. Разработка метода идентификации и локализации шума транспорта в потоке с применением микрофонных решеток	254

<i>Лейтейзин А.А.</i> Исследование эффективности элементов глушителей шума экспериментальным методом с использованием одного микрофона	261
<i>Лепетков Д.Р.</i> Решение проблемы рассеяния звуковой волны на жидких и изотропных телах с полигональной границей	267
<i>Мамонтова А.Д., Петрова Е.В., Комкин А.И.</i> Коррекция акустики учебных аудиторий корпуса машиностроительных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана	274
<i>Манаков А.С., Теплякова А.В., Бунаков А., Паврос К.С.</i> Оптимальные параметры конструкции ультразвукового датчика для проведения неразрушающего контроля в иммерсионной среде	280
<i>Марфин М.Е.</i> Исследование частотной зависимости времени реверберации и применение звукопоглощающих панелей для улучшения акустики учебных помещений	286
<i>Маяк А.А., Акимов Д.А.</i> Автоматическая идентификация модальных параметров инженерных систем и сооружений на основе вибрационного отклика	294
<i>Миронюк И.Ю., Фараносов Г.А.</i> Сравнительный анализ аэроакустических характеристик сверхзвуковых струй на режимах истечения, близких к расчетным	302
<i>Морозов Д.В., Соколов И.Н., Кувыкина О.А., Данильченко Н.Н.</i> Автоматизация проверки шумомеров с помощью системы измерительной виброакустической ВС-321	307
<i>Набатов В.В.</i> Комплексирование признаков при сейсмоакустическом выявлении полостей в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов	314
<i>Оттыч Д.А., Шевелько М.М.</i> Применение акустических методов для решения задач газового анализа	321
<i>Павлов Д.А., Тупов В.Б.</i> Использование глушителей на поворотах для снижения аэродинамического сопротивления энергетических газовоздухопроводов	327
<i>Петраш М.Ю., Марголина И.Л., Римская-Корсакова Л.К.</i> Звуковые ландшафты в городской среде: подходы к оценке на примере университетского кампуса МГУ	334
<i>Петрова Е.В., Мамонтова А.Д., Канев Н.Г.</i> Проблемы акустики аудиторий нового учебного корпуса МГТУ им. Н.Э.Баумана	340
<i>Рябков В.Д., Хмелев А.А., Пушкин С.Д., Половнев А.Л., Сычев А.В., Аверсьев А.С., Зайцев К.И., Нагибин Н.С.</i> Верификация элементов методики расчета звукоизоляции выпуклой подкрепленной оболочки типа парашютный контейнер с применением звукопоглощающих материалов	347
<i>Стукало А.А., Субботкин А.О., Алешкин В.М., Тюрин А.С., Числов Д.С.</i> Определение оптимальных требований к акустическим параметрам в школьных классах	354
<i>Сычев А.В., Пушкин С.Д., Половнев А.Л., Зайцев К.И., Нагибин Н.С.</i> Отработка средств снижения шума на борту Международной космической станции	363
<i>Тиманкова Ю.А., Смагин М.В., Кузьмин М.В., Петров М.И.</i> Исследование направленного рассеяния на акустических метаатомах	370
<i>Тотунов С.С., Иванов М.В.</i> Моделирование четырехсекционной детурбулизирующей решетки в вентиляционном канале	375

<i>Тупов В.Б., Мухаметов А.Б.</i> Исследование аэродинамических характеристик шумозащитного экрана	382
<i>Шатров М.Г., Яковенко А.Л., Казаков С.С., Стряпунин А.С., Галевко Е.Ю.</i> Особенности моделирования источников структурного шума двигателя внутреннего сгорания с использованием современных технологий	390
<i>Щедрин А.Ю., Ольховский А.Н., Кувыкин Ю.А.</i> Пьезоэлектрический вибропреобразователь с внутренним возбуждением деформации чувствительного элемента	397
<i>Щиголь Б.И., Кирикова О.В.</i> Моделирование акустических показателей для комнат отдыха локомотивных бригад с применением мультифрактальной сенсорной стимуляции	405
<i>Ягло М.А., Пименов И.К., Кузнецова А.Д., Каримов Б.У.</i> Применение нестандартных материалов для снижения шума в помещении узла учета газораспределительной станции	411