

Кафедра Акустики СЕГОДНЯ

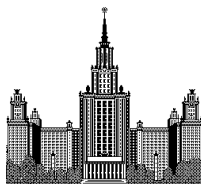
к 70-летию кафедры акустики
физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

1943



2013

**Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова**



КАФЕДРА АКУСТИКИ СЕГОДНЯ

**К 70-летию кафедры акустики физического
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова**

Ответственный редактор

О.А. Сапожников

Члены редколлегии

**О.В. Руденко, В.А. Буров, В.А. Гордиенко, Е.О. Ермолаева,
А.И. Коробов, П.Н. Кравчун, О.Д. Румянцева**

Физический факультет МГУ

МОСКВА 2013

УДК 534.3-534.9

Кафедра акустики сегодня. К 70-летию кафедры акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. – Юбилейный сборник. – М.: МГУ, 2013. – 100 с.

Ответственный редактор **О.А. Сапожников**

Члены редколлегии:

**О.В. Руденко, В.А. Буров,
В.А. Гордиенко, Е.О. Ермолаева,
А.И. Коробов, П.Н. Кравчун,
О.Д. Румянцева**

Сборник приурочен к юбилею кафедры акустики, образованной на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова в 1943 г. Описывается как учебная работа, так и проводимые на кафедре исследования и их место в развитии современной акустики. Приводятся сведения о сотрудниках кафедры, включающие их краткие биографические данные и научные достижения. Описаны основные научные группы кафедры и изложены проводимые в них исследования.

Издание подготовлено при частичной помощи гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущей научной школы РФ НШ-2631.2012.2.

ISBN 978-5-8279-0117-4



© Физический факультет МГУ, 2013
© О.А. Сапожников, отв. редактор, 2013

Часть 1. ОБ АКУСТИКЕ И О КАФЕДРЕ АКУСТИКИ

О.В. Руденко

Кафедра акустики на физическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова – единственная кафедра акустики на физических факультетах и одна из двух существующих кафедр акустики в классических университетах мира (вторая – на радиофизическом факультете в Нижегородском государственном университете имени Н.И. Лобачевского).

Получается, что акустика – редкая специальность. Но это не так. Число профессиональных акустиков не меньше, чем суммарное число физиков всех других специальностей. Все дело в том, что акустические задачи решаются во всех естественных и технических науках, а также многими гуманитариями. На акустиков учат во многих местах, но на физиков-акустиков – только у нас.

В 2013 году кафедре исполнилось 70 лет. В год юбилея уместно рассказать об акустике в целом и о кафедре акустики МГУ в частности. Дополнением к этой заметке могут служить передачи ЦТ по 5 каналу в серии «Истории из будущего». Часть 1: <http://www.5-tv.ru/video/506949/>. Часть 2: <http://www.5-tv.ru/video/507007/>. Полезно посмотреть статью в «Независимой газете» от 26 декабря 2012 г. «Прозрачное тело человека», http://www.ng.ru/science/2012-12-26/9_diagnoz.html, а также материалы, размещённые на сайте кафедры <http://acoustics.phys.msu.ru/>.

ОБ АКУСТИКЕ

Когда люди думают об акустике, они связывают её с окружающими нас звуками. Возникают такие ассоциации: музыка, речь, слух, микрофоны, звуковые колонки, громкоговорители. Иногда говорят: «в этом зале плохая (или хорошая) акустика», имея в виду акустическое качество помещения.

Однако акустика этим перечнем не ограничивается. Современная акустика, прежде всего, раздел физики, изучающий процессы генерации, распространения акустических волн, их воздействия на объекты. Акустические волны – это коллективные колебания частиц среды и связанные с ними колебания давления, плотности и температуры, распространяющиеся со скоростью звука, переносящие энергию без существенного переноса массы среды.

Но акустика – это не только физика. Она тесно связана с механикой, прикладной математикой, науками о Земле, биологией, медициной, машиностроением, электроникой, задачами связи, лингвистикой и многими другими разделами фундаментальной и прикладной науки, а также инжинирингом. Акустика в широком смысле слова – междисциплинарная наука. В Российской академии наук акустика есть практически во всех её естественнонаучных отделениях и у многих гуманитариев.

Акустика возникла как наука о слышимых человеческим ухом звуковых волнах в воздухе. Позже было понято, что подобными же физическими свойствами обладают и неслышимые звуки (инфразвук, ультразвук, гиперзвук), а также упругие волны в твёрдых телах и жидкостях, волны в конструкциях, сейсмические волны. Поэтому термин «звук» физиками стал использоваться в широком смысле. «Звуком» называется любая упругая волна, независимо от её частоты и типа среды.

Уникальность акустических волн в том, что они могут распространяться всюду, где есть вещество. Для них «прозрачны» практически все среды. Так, свет может распространяться в воде лишь на сотни метров, а звук – на тысячи километров. Освоение Мирового океана и связь под водой невозможны без акустики (рис. 1). На кафедре создана гидроакустическая аппаратура специального назначения. За часть этих работ В.А. Буров удостоен Государственной премии СССР в 1980 г.

Кафедра активно сотрудничает с Институтом физики Земли РАН, поскольку акустические волны – основной инструмент исследования Земли и геологических структур, а также поиска полезных ископаемых (рис. 2).



Рис. 1. Исследование распространения звука в Индийском океане в районе архипелага Чагос (группа В.А. Гордиенко и Б.И. Гончаренко).

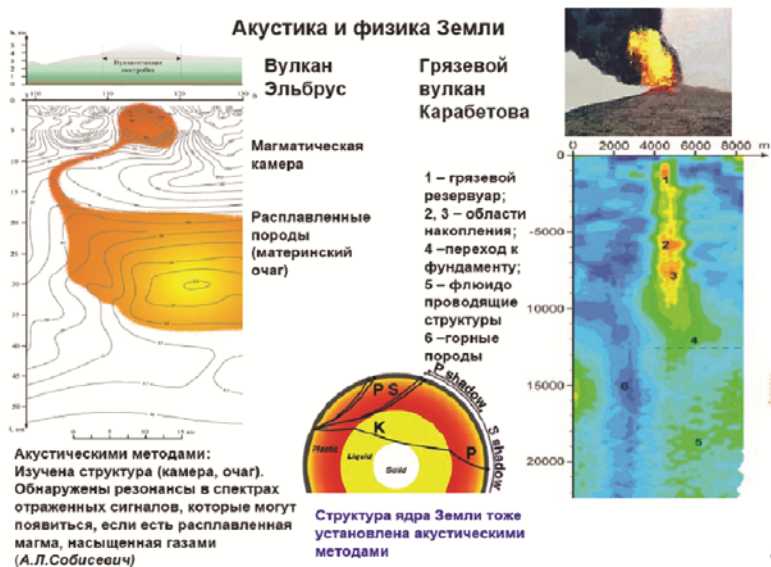


Рис. 2. Некоторые результаты совместных исследований кафедры акустики с Институтом физики Земли РАН

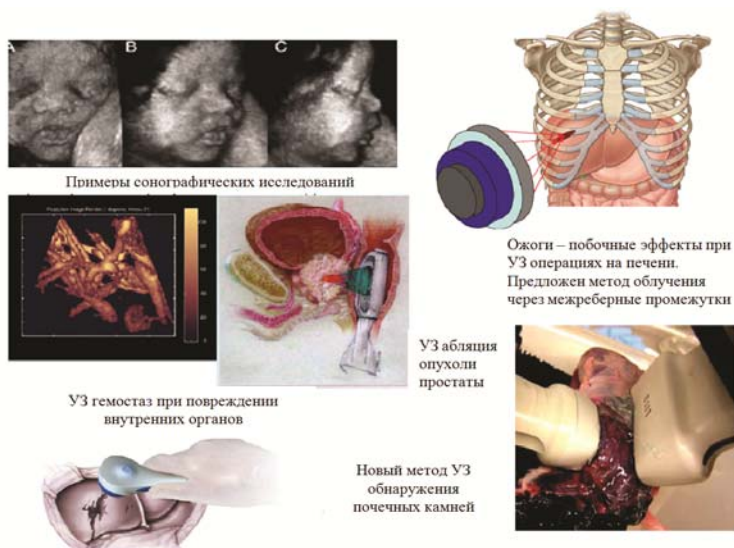


Рис. 3. Некоторые примеры направления «медицинская акустика»

Проникающая способность акустических волн все шире используется в медицине. Сонографы (УЗИ) есть практически во всех клиниках (рис.3). Мы участвовали в создании первого отечественного литотриптера (1982 г.) – прибора для бесконтактного разрушения почечных камней. Предложили идею лазерного оптоакустического литотриптера (1987 г.), метод эластографии (патент США, 1998 г.). Мировой рынок соответствующих приборов – порядка миллиарда долларов.

Биомедицинская акустика на кафедре сегодня – важнейшая часть международного сотрудничества. Ряд крупных достижений в области физической и прикладной медицинской акустики получен О.А. Сапожниковым, В.А. Хохловой и В.Г. Андреевым совместно с их американскими коллегами. Интересные результаты получены Ю.Н. Маковым, который читает курс на кафедре медицинской физики МГУ, а также основные курсы на кафедре акустики. В группе В.А. Букова созданы методы и компьютерные программы решения обратных акустических задач рассеяния, на основе которых разработан ультразвуковой маммограф – прибор для обнаружения опухолей молочной железы. В.А. Буков дал объяснение механизму ультразвуковой стимуляции иммунного отклика организма на злокачественные клетки. Эффект обнаружен в 1954 г. его отцом (А.К. Буковым) и состоит в исчезновении метастазов при облучении материнской опухоли.

О.В. Руденко в 2011 г. получил мегагрант для создания лаборатории в Нижегородском университете. Как «завершающий продукт» фундаментальных радиофизических исследований здесь разработаны приборы для безреагентного анализа крови, диагностики заболеваний по составу выдыхаемого воздуха, измерения жирового слоя, бесконтактного измерения температуры внутренних органов, измерения артериального давления, мониторинга процесса тромбообразования, лазерно-акустической компрессионной томографии.

При кафедре создан факультетский центр неразрушающего контроля и нелинейной акустической диагностики (руководитель А.И. Коробов). Ультразвук здесь используется для обнаружения трещин и других дефектов в твёрдых телах, оценки прочности изделий и конструкций (рис. 4).

Такие известные разделы, как физическая акустика твёрдых тел, акустоэлектроника и кристаллоакустика своим возникновением и развитием во многом обязаны сотрудникам кафедры. Среди них В.А. Красильников, Л.К. Зарембо, В.Е. Лямов, А.И. Коробов, И.Ю. Солодов, О.Ю. Сердобольская. Эти направления в равной мере можно отнести как к акустике, так и к физике твёрдого тела. Известно,

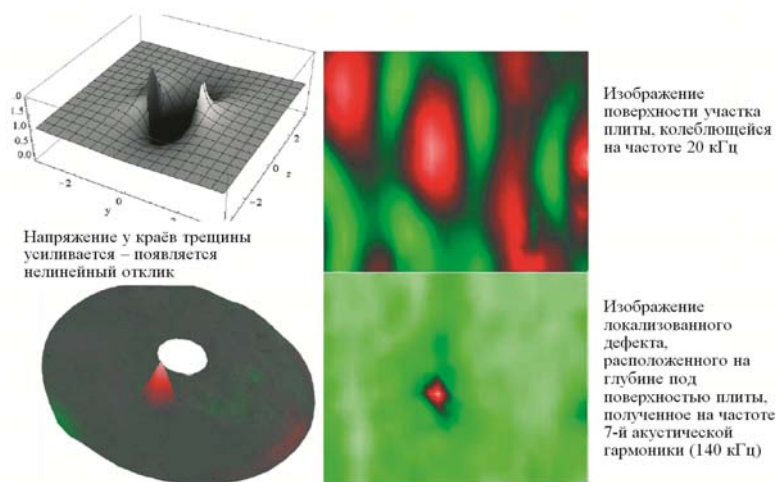


Рис. 4. Примеры ультразвукового обнаружения дефектов

например, что кванты звука – фононы – используются для объяснения теплоёмкости твёрдых тел и для описания образования куперовских пар в теории сверхпроводимости.

Нелинейная акустика жидкостей и твёрдых тел также сформировалась благодаря усилиям группы сотрудников кафедры, которыми руководили Л.К. Зарембо и В.А. Красильников. Эти работы были начаты в середине 1950-х гг. Они оказали сильное влияние на формирование нелинейной радиофизики и нелинейной оптики (в начале 1960-х гг.), а еще через десятилетие – на рождение физики нелинейных волн, теории солитонов и других разделов нелинейной физики. Нелинейная акустика – одно из наиболее ярких в историческом плане достижений кафедры.

Сотрудники кафедры уже почти 70 лет занимаются проблемами аэроакустики, атмосферной акустики, авиационной и музыкальной акустики, акустики концертных залов. Здесь были изобретены резонансные звукопоглотители – панели с отверстиями, внутри которых помещён пористый или волокнистый материал. Знакомые всем панели, смонтированные на стенах или потолке, существенно уменьшают уровень отражённого сигнала и улучшают акустические свойства помещения.

На кафедре до своих 97 лет работал Л.С. Термен, легендарный изобретатель первого в мире электромузыкального инструмента – терменвокса.



Рис. 5. Воздушная, авиационная и атмосферная акустика

Одним из известных выпускников кафедры является Сергей Никитин – кандидат физ.-мат. наук, известный автор и исполнитель песен. Научными руководителями его дипломной работы были С.Н. Ржевкин и А.А. Банин.

Сейчас на кафедре работает П.Н. Кравчун, ведущий в стране специалист по акустике органных концертных залов и акустическим вопросам органостроения.

Современные исследования по аэроакустическим шумам, звуковому удару от сверхзвуковых самолетов, параметрическим

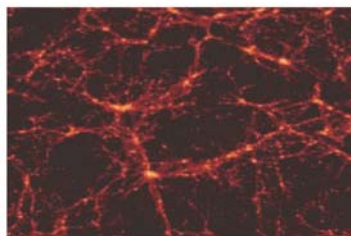
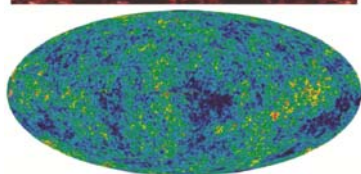


Рис. 6.

Формирование ячеистых структур в скоплениях звёзд описывается уравнениями нелинейной акустики (модель Зельдовича-Гурбатова).



Формирование структуры Вселенной после Большого Взрыва под действием акустических волн.

громкоговорителям, шумам автомобильного и рельсового транспорта ведутся многими сотрудниками кафедры, в том числе в рамках международных грантов. Часть результатов показана на рис. 5.

В заключение еще раз подчеркнем, что акустические явления имеют место всюду. Диапазон масштабов – от 10^{-13} см (капельная модель атомного ядра) до галактических (формирование структур галактик). Акустические волны были ответственны за формирование Вселенной сразу после Большого Взрыва (рис. 6).

О КАФЕДРЕ АКУСТИКИ И АКУСТИКЕ В МГУ

Итак, акустику трудно отделить от других разделов физики, она «проникает» почти в каждый из них. И всё же полезно рассматривать её как самостоятельную дисциплину. Именно поэтому во многих классических университетах, занимающихся подготовкой специалистов-физиков, имеются сотрудники, работающие в области акустики. На физическом факультете МГУ такие преподаватели и исследователи есть на многих кафедрах, но в основном они работают на отдельной кафедре, которая так и называется – «кафедра акустики», и она лишь на 10 лет моложе физического факультета МГУ.

Кафедра была организована в 1943 г. патриархом российской акустики профессором Сергеем Николаевичем Ржевкиным (1891–1981), который заведовал кафедрой с 1943 по 1975 гг.

Исследования по акустике в Московском университете начались намного раньше, в конце XIX века, с работ Н.А. Умова (1846–1915) и А.Г. Столетова (1839–1896). В 1874 г. Н.А. Умов в своей докторской диссертации «Уравнения движения энергии в телах» впервые ввёл понятие о скорости и направлении движения энергии, о потоке энергии, плотности энергии в данной точке среды, пространственной локализации потока энергии. Вектор плотности потока акустической энергии называют вектором Умова. А.Г. Столетов, инициатор создания физического института при Московском университете, в своих лекциях объединял изложение акустики и оптики в один раздел, подчеркивая этим общность физики волновых движений. П.Н. Лебедев (1866–1912) и его ученики исследовали вопрос о давлении звукового излучения и на этой основе разработали новые методы измерения силы звука. В Московском университете работали выдающиеся учёные в области акустики: академики Н.Н. Андреев (1880–1970) и Л.М. Бреховских (1917–2005). На рубеже 1930-х гг. были выпущены две первые группы физиков-акустиков по «уклону» электроакустика. После организации в 1933 г. физического факультета МГУ научная и учебная работа в области акустики

развёртывалась на кафедре колебаний, возглавляемой академиком Л.И. Мандельштамом, одним из наиболее выдающихся физиков в истории российской науки. До начала войны (1941 г.) её закончили 30 молодых специалистов-акустиков.

После возвращения Московского университета из эвакуации согласно приказу Всесоюзного Комитета по делам Высшей школы при СНК СССР в августе 1943 г. был утверждён список кафедр МГУ (общим числом 131), включавший кафедру акустики. Организация кафедры в военные и первые послевоенные годы была связана с большими трудностями из-за недостатка оборудования и помещений. Полного развития лаборатории кафедры достигли лишь к моменту переезда физического факультета в новое здание на Ленинских горах в 1953 г. Для кафедры акустики были созданы специальные помещения: большая заглушённая камера, реверберационная камера, лаборатория на плоской крыше и гидроакустический бассейн.

Подробно о пионерских работах 1950-60 гг., проводимых на кафедре в области физического ультразвука, архитектурной и физиологической акустики, нелинейной акустики, гидро- и атмосферной акустики, можно узнать из статей С.Н. Ржевкина и других материалов, размещённых на сайте кафедры. В этих исследованиях участвовали В.С. Нестеров, К.А. Велижанина, И.В. Лебедева, К.М. Иванов-Шиц, В.И. Макаров, В.А. Красильников, Л.К. Зарембо, Л.Н. Захаров, О.С. Тонаканов, Ф.В. Рожин.

С 1975 по 1987 гг. кафедрой акустики возглавлял В.А. Красильников (1912-2000), один из основоположников нелинейной акустики. 100 лет со дня рождения выдающегося учёного и педагога, заслуженного профессора Московского университета В.А. Красильникова отмечалось на физическом факультете МГУ. С материалами, посвящёнными памяти Владимира Александровича, также можно ознакомиться на сайте кафедры. С 1987 г. заведующим кафедрой стал О.В. Руденко.

Этапы развития кафедры и достижения её сотрудников отражены в сборниках «Кафедра акустики 60 лет» (2003 г.), «Энциклопедия Московского университета. Физический факультет» (2008 г.) и в данном издании.

На кафедре сложилась стройная и продуманная система образования, не имеющая аналогов. Читается 2 общефакультетских курса (для студентов кафедры), 8 общекафедральных спецкурсов, обязательных для всех студентов кафедры, 9 спецкурсов по выбору и 2 факультативных спецкурса, содержание которых охватывает широкий круг проблем современной акустики. Кроме того, читается 4 курса лекций для аспирантов. За последние годы все спецкурсы значительно модернизированы.

Общефакультетские курсы: «Численные методы в физике» (доц. В.А. Хохлова), «Механика сплошных сред» (доц. Ю.Н. Маков); общекафедральные спецкурсы: «Введение в акустику» (проф. А.И. Коробов), «Теоретические основы акустики» (ст. преп. О.Д. Румянцева, доценты П.Н. Кравчун, О.А. Сапожников, Б.А. Коршак), «Материаловедение и методы диагностики микро- и наноструктурных материалов» (проф. О.В. Руденко, с.н.с. Н.И. Одина), «Физическая акустика» (доц. Ю.Н. Маков), «Нелинейная акустика» (проф. О.В. Руденко, с.н.с. В.А. Гусев), «Теория возмущений» (доц. А.В. Шанин), «Физическая акустика твёрдого тела» (доц. Б.А. Коршак), «Акустика океана» (проф. В.А. Буров).

Альтернативные спецкурсы: «Ультразвуковые методы в физике твёрдого тела» (проф. А.И. Коробов), «Физика океана» (доц. П.Н. Кравчун), «Обратные волновые задачи акустики» (ст. преп. О.Д. Румянцева), «Гидроакустические измерения» (с.н.с. Б.И. Гончаренко), «Акустическая нелинейность твёрдых тел» (проф. А.И. Коробов), «Физика шумов и вибраций. Акустическая экология» (доц. П.Н. Кравчун, с.н.с. Б.И. Гончаренко), «Кристаллоакустика и акустоэлектроника» (доц. Б.А. Коршак), «Векторно-фазовые методы в акустике» (в.н.с. В.А. Гордиенко), «Источники звука» (в.н.с. П.С. Ланда).

Факультативные спецкурсы: «Ультразвук в медицине» (доц. В.Г. Андреев, доц. О.А. Сапожников), «Локализованные акустические волны и поля в твёрдых телах» (с.н.с. В.Г. Можжев).

Курсы для аспирантов: «Экспериментальные методы современной акустики» (проф. А.И. Коробов, в.н.с. В.А. Гордиенко, доц. П.Н. Кравчун, с.н.с. Б.И. Гончаренко), «Нелинейная динамика» (проф. О.В. Руденко, в.н.с. П.С. Ланда, доц. Ю.Н. Маков), «Методы обработки сигналов и полей» (проф. В.А. Буров), «Избранные вопросы современной акустики» (доценты П.Н. Кравчун, О.А. Сапожников, Б.А. Коршак, В.Г. Андреев, А.В. Шанин).

Экспериментальному обучению студентов на кафедре акустики уделяется особое внимание. Первоначально оно проходит в спецпрактикуме кафедры, в котором поставлено 6 задач. В ходе выполнения этих задач студенты экспериментально знакомятся с рядом акустических явлений и методами их исследования, которые теоретически обсуждаются в спецкурсах кафедры и отделения радиофизики. Задачи практикума постоянно модернизируются. Они оснащены современным научным оборудованием. В этом практикуме ежегодно студентами факультета выполняется около 100 экспериментальных работ. Кроме того, для студентов кафедры работают три задачи, которые поставлены на базе действующих экспериментальных установок в научных лабораториях кафедры.

Также в рамках учебного плана с учетом рекомендаций научных руководителей студенты кафедры выполняют задачи в практикумах кафедр радиофизического отделения. Это позволяет студентам ознакомиться с современными методами проведения радиофизических исследований. Начиная с 4 курса студенты кафедры приступают к выполнению курсовых и дипломных работ в научных лабораториях кафедры. В это время студенты знакомятся с современными методами проведения экспериментальных акустических измерений и выполняют свои первые научные исследования. Для этого созданы все условия: лаборатории кафедры оснащены современным измерительным ультразвуковым оборудованием и оригинальными экспериментальными установками, созданными на кафедре акустики.

В настоящее время на кафедре работает 42 человека, 6 из которых совместители. В числе сотрудников 8 докторов наук, 18 кандидатов наук; учебно-вспомогательный и научно-технический персонал составляет 16 человек.

Докторские диссертации на кафедре в разные годы защитили: В.А. Красильников (1953 г.), Л.К. Зарембо (1971 г.), Л.Н. Захаров (1979 г.), В.И. Павлов (1982 г.), В.В. Крылов (1989 г.), И.Ю. Солодов (1989 г.), В.А. Буров (1992 г.), В.А. Гордиенко (1995 г.), А.И. Коробов (1997 г.), О.А. Сапожников (2008 г.), А.В. Шанин (2010 г.), В.А. Хохлова (2012 г.).

Сотрудникам кафедры были присвоены почётные звания: Заслуженный профессор Московского университета (В.А. Красильников, В.А. Буров, А.И. Коробов), Заслуженный преподаватель Московского университета (П.Н. Кравчун), Заслуженный научный сотрудник Московского университета (И.В. Лебедева, Б.И. Гончаренко), Заслуженный работник Московского университета (Н.С. Виноградов, М.И. Раттэль).

Удостоены Государственных премий СССР: В.А. Буров (1980 г.); Л.К. Зарембо, В.А. Красильников и О.В. Руденко (1985 г.); Государственной премии РФ – О.В. Руденко (1997 г.); Ломоносовской премии – Л.К. Зарембо и В.А. Красильников (1976 г.), О.В. Руденко и О.А. Сапожников (1991 г.); премии РАН им. Л.И. Мандельштама – В.А. Красильников (2000 г.). Лауреаты премии Ленинского комсомола – В.В. Крылов (1984 г.) и В.Г. Андреев (1987 г.).

В 2005 г. юбилейным нагрудным знаком «250 лет МГУ» были награждены 16 сотрудников кафедры, профессор О.В. Руденко был награжден медалью ордена "За заслуги перед Отечеством" II степени. Премией Европейской Академии для молодых учёных удостоены О.А. Сапожников (1994 г.) и А.В. Шанин (2001 г.). Премией за лучшую научную работу МГУ среди молодых учёных награждены В.Г. Можаяев (1991 г.), О.Д. Румянцева (1995 г.) и А.В. Шанин

(2002 г.). Премии «Лучший молодой преподаватель физического факультета МГУ» удостоены О.А. Сапожников (1995 г.), В.А. Хохлова (1996 г.) и О.Д. Румянцева (1997 и 1998 гг.). Победителями конкурса молодых учёных физического факультета МГУ были В.А. Хохлова (1996 г.), А.С. Шуруп (2008 г.) и В.А. Гусев (2011 г.). Победителями конкурса на получение стипендий МГУ для молодых преподавателей и научных сотрудников, добившихся значительных результатов в педагогической и научно-исследовательской деятельности, стали А.В. Шанин (2004 г.), А.С. Шуруп (2010 г.), В.А. Гусев (2011 г.), Т.Б. Крит (2012 г.). А.С. Шуруп был удостоен Медали РАН и премии для молодых учёных России (2010 г.) и гранта Президента РФ государственной поддержки молодых российских учёных (2011 г.). К.В. Дмитриев, М.М. Карзова и Т.Б. Крит стали победителями конкурса РФФИ «Мой первый грант» (2012 г.).

За последние два десятилетия аспирантами и сотрудниками кафедры было защищено 40 кандидатских диссертаций. 30 аспирантов кафедры акустики были лауреатами премии Американского акустического общества, 10 - Немецкого общества академических обменов, 8 аспирантов получали стипендии Президента РФ или Правительства РФ.

В среднем в год кафедру оканчивают 12 студентов. Среди выпускников 2001-2013 гг. дипломники кафедры акустики 8 раз становились победителями конкурса им. Р.В. Хохлова на лучшую студенческую научную работу. Старшекурсники и дипломники принимают активное участие в выполнении исследований по программам российских и зарубежных грантов. Студенты и аспиранты выступают с докладами на конференциях в России и за рубежом, среди которых ежегодные сессии Российского акустического общества, Всероссийская школа-семинар «Волновые явления в неоднородных средах» (раз в два года), конференция «Дни дифракции», Международный симпозиум по нелинейной акустике, Международный симпозиум и Школы по терапевтическому ультразвуку, Европейская конференция по подводной акустике и другие. Ряд докладов удостоен премий.

На кафедре ведутся работы по грантам РФФИ и программам «Университеты России», международным грантам.

В 1996 г. состоялся первый конкурс «Ведущие научные школы России», по итогам которого коллектив кафедры был удостоен гранта Президента РФ. Руководителем проекта-победителя под названием «Физика мощных акустических полей – нелинейная акустика» был профессор В.А. Красильников. Эта научная школа побеждала и во всех последующих конкурсах благодаря успешной научной деятельности и

достижениям в области подготовки физиков-акустиков высшей квалификации.

Сотрудники кафедры ежегодно принимают участие в работе конференций, симпозиумов и съездов, проводимых в РФ и за рубежом. Ведущие учёные кафедры делают пленарные доклады и работают в организационных комитетах. В среднем сотрудниками кафедры публикуется 30 статей в год в отечественных и зарубежных реферируемых журналах; ежегодных публикаций в трудах конференций, как правило, вдвое больше (60-70). Сотрудники неоднократно получали премии МАИК «Наука» за лучшую научную публикацию года: В.Г. Андреев, О.В. Руденко и О.А. Сапожников в 1997 г., В.А. Буров и О.Д. Румянцева в 2007 г., А.И. Коробов в 2010 г. О.В. Руденко удостоен Главной премии МАИК «Наука» 2012 г. за книгу «Нелинейные волны и структуры в средах без дисперсии» (вместе с С.Н. Гурбатовым и А.И. Саичевым). На кафедре были изданы: Сборник трудов Международного симпозиума по нелинейной акустике ISNA-16 (2003 г., научные редакторы О.В. Руденко и О.А. Сапожников) и Сборник трудов Семинара научной школы проф. В.А. Красильникова «Физическая и нелинейная акустика» (2002 г., отв. редактор И.Ю. Солодов). В 2000–2012 гг. изданы 12 монографий и 12 глав в монографиях, 16 учебников и учебных пособий, 8 популярных монографий и глав в них. 22 сотрудника кафедры являются авторами патентов.

Кафедра сотрудничает с исследователями из других организаций. Это Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Институт прикладной физики РАН, Акустический институт имени Н.Н. Андреева, Научный центр волновых исследований Института общей физики РАН, ГП ВНИИФТРИ, Институт физики Земли РАН, Институт океанологии РАН, Институт радиотехники и электроники РАН, Таганрогский радиотехнический университет.

Большинство научных групп поддерживает тесные связи с зарубежными коллегами. Это Центр промышленного и медицинского ультразвука при Лаборатории прикладной физики университета штата Вашингтон, г. Сиэтл, США; Технологический институт Блекинге, г. Карлскрона, Швеция; Центральная инженерная школа и Национальный институт здоровья и медицинских исследований, г. Лион, Франция; Имперский колледж, г. Лондон, Великобритания; Далянский научно-исследовательский институт контроля и тестирования, КНР.

НАУКА НА КАФЕДРЕ СЕГОДНЯ

В настоящее время научная работа ведётся по многим направлениям современной акустики и смежных разделов науки. Вот некоторые из них:

Нелинейная акустика и физика нелинейных волн. Исследования нелинейных явлений в мощных звуковых полях с учётом влияния эффектов дифракции, фокусировки, пространственных неоднородностей среды, частотно-зависимых диссипативных и дисперсионных характеристик сред. Физика сильно нелинейных волн. Новые уравнения и математические модели, нелинейные интегро-дифференциальные уравнения теории волн.

Статистические проблемы в нелинейной акустике. Исследование нелинейных взаимодействий в случайных акустических полях. Физика мощного шума. Трансформация профилей и спектров интенсивных волн и звуковых пучков в случайно неоднородных средах. Особенности формирования и распространения ударных волн в таких средах.

Волновые явления в геофизических средах. Акустические поля в реальной атмосфере и влияние на них нелинейных эффектов, турбулентности, стратификации, ветра и прочих неоднородностей среды. Акустическое воздействие на верхние слои атмосферы. Потоки энергии и взаимосвязи сейсмических процессов в земной коре и волновых явлений в ионосфере, акусто-электромагнитные взаимодействия в ионосферной плазме, исследование предвестников землетрясений. Трансформация и локализация акустических полей на границах различных геосфер (земная кора, океан, атмосфера). Поверхностные волны на границах неоднородных сред. Развитие моделей структурно-неоднородных океанских грунтов и волновые процессы в них. Развитие акустических методов восстановления свойств неоднородной среды, основанных на поверхностных волнах.

Волны в вязкоупругих средах. Цель – создание нового метода медицинской диагностики раковых опухолей с использованием ультразвуковых волн. Упругость опухолевой ткани на порядок и более отличается от упругости здоровой ткани. Метод позволяет дистанционно возбуждать сдвиговые волны внутри ткани, регистрировать скорость их распространения и вычислять локальное значение сдвиговой упругости. Исследования ведутся по следующим направлениям: генерация сдвиговых волн в мягких тканях за счёт радиационной силы, влияние микровключений на эффективность генерации сдвиговых волн, измерение нелинейных упругих модулей вязкоупругих сред интерферометрическим методом, нелинейные эффекты при распространении сдвиговых волн в мягких тканях.

Ультразвуковая кавитация: применения в медицине и технологии. Одним из перспективных методов доставки лекарств в опухолевые клетки является присоединение их к микропузырькам, стабилизированным белками или липидами. Микропузырьки накапливаются в опухоли, а затем активируются ультразвуком большой интенсивности. Исследования ведутся по направлениям: оптимизация ультразвукового воздействия для эффективной доставки лекарств в клетки с использованием контрастных агентов, использование кремниевых наночастиц для снижения порогов кавитации. Другие направления: исследование процесса установления режима развитой кавитации в жидкостях; развитие инерционной кавитации под действием мощных ультразвуковых импульсов, применяемых в литотрипсии.

Мощный ультразвук в медицине. Теоретические и экспериментальные исследования распространения мощных акустических волн и ударных импульсов в биологических тканях и воздействия на ткань и включения. Нелинейное поглощение ультразвука в проблеме гипертермии и радиационного воздействия на биологические ткани. Механизмы разрушения биоконкрементов. Нелинейная медицинская диагностика.

Численное моделирование в задачах медицинской и атмосферной акустики. Развитие методов численного эксперимента для моделирования нелинейных ультразвуковых полей разрывных волн. Исследование нелинейных и дифракционных эффектов в фокусированных ударно-волновых полях, при распространении разрывных волн в случайно-неоднородных средах и отражении от границ. Моделирование теплового воздействия на биологические ткани. Изучение распространения N -волн в турбулентной атмосфере.

Нелинейная динамика, турбулентность, хаос. Автоколебания, стохастическое поведение динамических систем, проблемы устойчивости в гидродинамике и волновой физике. Взаимодействие быстрых и медленных движений.

Акусто-вибрационное воздействие на среды и структуры: диагностика, модификация, управление процессами. Исследование эффектов воздействия вибрационных и акустических (ультразвуковых) полей на среды и системы неживой и живой природы с целью структурных изменений и управления физическими, биофизическими и физиологическими процессами. Примеры: изменение состояния сыпучей среды в вибрационном поле, изменение микроциркуляторных процессов в пористых средах и биоткани, коррекция режимов функционирования органов и физиологических систем, изменение проницаемости и порообразования для клеточных мембран. Акустические методы неинвазивной диагностики в медицине.

Взаимодействия акустических полей с микро- и наносистемами (оболочечные микропузырьки, микрокапсулы, фуллерены, клеточные структуры) с целью использования в современных технологиях ультразвуковой наномедицины (контрастная и нелинейная сонография, адресная доставка лекарственных и генных препаратов с акустическим сопровождением микроконтейнеров и их «распаковкой»). Задачи формирования оптимальных пространственно-временных полевых структур (акустические пучки специальной конфигурации, акустические «пули»).

Теория дифракции. Канонические задачи дифракции. Волноводы и резонаторы в архитектурной и структурной акустике. Численное моделирование волновых явлений.

Нелинейная акустодиагностика материалов. Исследование линейных и нелинейных упругих свойств твёрдых тел ультразвуковыми методами. Развитие моделей упругой нелинейности структурно-неоднородных сред. Исследование влияния внутренней структуры материалов на их упругие свойства. Связь дефектной структуры и прочностных характеристик микро – и наноструктурированных материалов с их линейными и нелинейными упругими свойствами. Бесконтактная диагностика линейных и нелинейных упругих свойств материалов. Исследование упругих свойств неконсолидированных гранулированных, в том числе флюидонасыщенных сред. Исследование фазовых переходов ультразвуковыми и фотоакустическими методами.

Локализованные акустические волны и поля в твёрдых телах. Поиск и исследование новых типов акустических волн, явлений и альтернативных аналитических подходов в акустике твёрдых тел.

Исследование механизмов неклассической акустической нелинейности. Исследования механизмов контактной и гистерезисной нелинейности на границах раздела твёрдых тел. Нелинейные резонансные явления в моделях трещин и трещиноватых дефектов. Субгармоники, динамический хаос и «память» при взаимодействии акустических волн с дефектами в твёрдых телах. Нелинейные методы акустического неразрушающего контроля. Исследование физических процессов в микрожидкостных акустоэлектронных системах.

Обратные волновые задачи акустической медицинской диагностики и океанологии. Исследования по общей теории акустоскопии. Задачи медицинской томографии, дефектоскопии высокой информативности и томографии океана:

Исследования по активно-пассивной термоакустической томографии. Создана компьютерная модель термотомографа, дающего картину температурного поля внутри человеческого органа и позволяющая контролировать результаты воздействия

терапевтических методов на этот орган. Исследования по новым методам томографирования акустических нелинейных параметров. Процессы нелинейного рассеяния (с изменением спектрального состава первичного излучения) позволяют получить томографическое изображение при использовании всего нескольких преобразователей, перенося нагрузку пространственной обработки на процессы временной обработки с помощью высокопроизводительных сигнальных процессоров. Аддитивные и мультипликативные методы восстановления картины кровотока в составе линейного и нелинейного ультразвуковых томографов. Моделирование волновых процессов в «дважды отрицательных» акустических средах. Методы аналитического описания таких процессов позволяют по-новому взглянуть на фундаментальные проблемы причинности при распространении волн в таких средах. Применение функциональных методов для восстановления внутренней структуры томографируемых объектов в задачах медицинской диагностики и томографии океана. Эти методы, во-первых, позволяют найти решения обратных задач, которые обычно решаются итерационными методами, накладывающими ряд ограничений, и, во-вторых, хорошо распараллеливаются при вычислениях, позволяя привлекать для обработки современные технологии CUDA.

Акустические поля и гидрофизика океана. Распространение акустических волн в океане, в том числе сверхдальнее распространение низкочастотного звука, влияние океанических фронтов и течений на распространение и приём акустических волн. Мелкомасштабные и крупномасштабные неоднородности в океане. Шумы океана. Векторно-фазовая структура акустических полей. Акустическая томография океана. Методы геоакустической инверсии.

Аэроакустика и акустическая экология, музыкальная и архитектурная акустика, акустика в органостроении. Низкочастотные и инфразвуковые поля, в том числе импульсные. Поля шумов железнодорожного транспорта при наличии акустических барьеров и без них на низких звуковых частотах. Анализ и изучение особенностей регистрации акустической информации человеком, включая элементы музыкальной акустики. Одно из направлений работы: на основе спектрального анализа различных музыкальных и вербальных (речевых) фрагментов изучаются возможные особенности акусто-психо-физиологического воздействия звука на организм человека. Анализируется роль инфразвуковых составляющих сигналов. Анализ акустических характеристик интерференционных многомодовых глушителей в каналах, разработка методов синтеза глушителей. Исследование задач акустики применительно к созданию и реконструкции органных залов и органов.

Векторно-фазовые методы в акустике и акустическая экология. Начало развитию этого направления в СССР положили пионерские работы сотрудников кафедры акустики под руководством С.Н. Ржевкина. Именно по его предложению в нашей стране все методы, основанные на таком подходе, называют векторно-фазовыми. Это название в последние десятилетия стало использоваться и зарубежными акустиками (vector-phase methods). Один из аспектов данной задачи – определение по измерениям в ограниченной области пространства (практически в точке) поля излучения и акустических характеристик низкочастотных источников звука малой интенсивности, с последующей их идентификацией (классификацией) по заданным условиям. Векторно-фазовые методы и решение задач биофизики и акустической экологии.

Акустика океана. Наиболее полно представлен следующий спектр вопросов: механизмы формирования низкочастотных полей детерминированных и шумовых (распределенных) источников в океане; вопросы дальнего и сверхдальнего распространения сигналов в стратифицированном неоднородном океане; регистрация и пеленгование на фоне шумов океана детерминированных источников слабых акустических сигналов.

Сейсмоакустика, включающая регистрацию сигналов от слабых источников, в том числе подрывов, движущейся техники и людей; изучение с использованием векторных приёмников высокочастотных (до 11 кГц) сигналов геоакустической эмиссии в сейсмоактивных регионах, которые могут выступать в качестве оперативных предвестников землетрясений с энергетическим классом $K > 10$.

Аэроакустика. На базе восстановленной заглушенной камеры в 1999 г. была создана испытательная лаборатория «Акустического и вибрационного контроля физического факультета МГУ», получившая аттестат аккредитации Госстандарта России. Уникальная реверберационная камера, аттестованная Международной организацией по стандартизации, использовалась для исследования объёмных шумопоглотителей для автомобильной и авиационной промышленности.

Новые технологии информационного обеспечения научных исследований. Проект «Архив "Акустического журнала" в Интернете (www.akzh.ru)». Полная информация по российским публикациям в области акустики (www.akinfo.ru) . Работа информационного центра «АКУСТИКА» и издание журналов «Акустический журнал» и «ACOUSTICAL PHYSICS» Российской академии наук, входящих в международные базы данных.

Часть 2. СОТРУДНИКИ КАФЕДРЫ АКУСТИКИ

ОСНОВНОЙ ШТАТ



Андреев Валерий Георгиевич.

Окончил физический факультет МГУ в 1978 г. После окончания аспирантуры в 1985 г. защитил кандидатскую диссертацию. Работал в Московском НИИ радиосвязи, затем на кафедре физики Московского геологоразведочного института. С 1996 г. доцент кафедры акустики физического факультета МГУ. Область научных интересов: применение ультразвука в медицине, ультразвуковая кавитация, оптоакустика и применение оптоакустических методов

для медицинской диагностики. Лауреат премии Ленинского Комсомола (1987 г.), лауреат премии МАИК «Наука» за лучшую научную публикацию года (1997 г.). Автор более 90 статей в рецензируемых журналах, 3 патентов. Под его руководством защищены 2 кандидатские диссертации.



Афонин Максим Николаевич.

Пришёл работать на кафедру в 1990 г. К этому времени имел несколько рационализаторских предложений по изменению конструкции электрооборудования транспортных машин. В течение всего времени работы на физическом факультете участвует, как механик, в создании экспериментальных установок по ультразвуковой диагностике. Хорошо ориентируется в самых разнообразных устройствах автоматики, механики и

радиотехники. Участвовал в морской экспедиции в заполярных акваториях.

Бобов Кирилл Николаевич.

Выпускник физического факультета МГУ. После окончания кафедры акустики в 1978 г. непрерывно работает на факультете, участвуя в исследованиях по гидроакустической тематике, а также в работах по практической реализации ультразвуковых медицинских томографов под руководством профессора В.А. Букова. С 1994 г. занимает должность ведущего электроника. Высококвалифицированный специалист в области вычислительных систем и электронной техники. За время работы на физическом факультете неоднократно премировался за добросовестную и качественную работу. Является разработчиком аналогово-цифрового блока медицинского ультразвукового томографа, первый опытный образец которого находится в настоящее время на завершающей стадии изготовления. Является соавтором двух патентов РФ, один из которых относится к медицинскому ультразвуковому томографу.



Буров Валентин Андреевич.

Окончил физический факультет МГУ в 1958 г. После окончания аспирантуры физического факультета МГУ в 1961 г. был оставлен на работу на кафедре акустики, где прошёл путь от младшего научного сотрудника до доктора физико-математических наук, профессора (с 1993 г.). Научная работа относится к трём крупным областям современной физики: нелинейной акустике, гидроакустике и обратным волновым задачам. Им выполнен ряд основополагающих экспериментов по нелинейной и физической акустике, в том числе первые исследования искажения формы мощной ультразвуковой волны в жидкости (1958 г.) и наблюдение расщепления линии Мёссбауэра в олове (1962 г.). С группой сотрудников кафедры и других институтов в полной мере освоил морской эксперимент. Его теоретические работы нашли важные практические применения; соответствующий цикл работ был удостоен Государственной премии СССР (1980 г.). Является признанным



специалистом в области решения обратных акустических задач. Основное направление исследований в указанной области связано с решением прикладных задач акустической диагностики: медицинской томографии, дефектоскопии материалов, океанологии. Им опубликовано свыше 200 работ в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Автор 2 учебных пособий, 11 авторских свидетельств и патента по разработке ультразвукового медицинского томографа, предназначенного для диагностики рака молочной железы на самой ранней стадии его развития. Один из ведущих преподавателей кафедры, читает ряд спецкурсов кафедры для студентов и аспирантов: «Акустика океана и статистическая гидроакустика» (двухсеместровый курс), «Обратные волновые задачи акустики», «Методы обработки сигналов и полей». Под его руководством защищены более 130 дипломных работ и 21 кандидатская диссертация. Является членом диссертационного Совета при МГУ. Имеет почётное звание “Заслуженный профессор Московского университета” (2007 г.). Является членом Экспертного комитета симпозиума “Acoustical Imaging”.



Виноградов Николай Сергеевич.

Окончил физический факультет в 1969 г. и с тех пор работает на кафедре акустики; в настоящее время в должности ведущего электроники. В 1990 г. был назначен заведующим лабораторией кафедры акустики. Ежегодно участвовал, а с 1979 г. организовывал и руководил морскими гидроакустическими экспериментами с привлечением плавсредств ВМФ. В тихой глубоководной акватории шхер Ладожского озера организовал гидроакустическую

лабораторию-плашкоут по исследованию и оптимизации характеристик пассивных акустических антенн стратегического подводного оружия. Участник двух экспедиций к берегам Новой Зеландии и в Индийский океан. Соавтор более 20 научных отчётов и публикаций. В 1996 г. областью его интересов становятся стандартизованные измерения в воздушной акустике и виброметрии. На базе восстановленной им заглушенной камеры кафедры акустики в 1999 г. была создана Испытательная лаборатория «Акустического и вибрационного контроля физического факультета МГУ», получившая аттестат аккредитации Госстандарта России, а он назначен её руководителем. Выполнил работы по конструированию направленных звуковых и ультразвуковых антенных решёток высокой интенсивности

и исследованию их характеристик. Является одним из организаторов и исполнителей общеуниверситетского проекта «Восстановление системы мониторинга высотного здания МГУ», руководимого ректором МГУ. Его работа отмечена многими благодарностями и премиями, как декана факультета, так и ректора МГУ. Удостоен почётных званий «Ветеран труда» и «Заслуженный работник Московского университета».

Гончаренко Борис Иванович.

Окончил кафедру акустики физического факультета МГУ в 1971 г. В 1985 г. защитил кандидатскую диссертацию. Руководителем диссертации и дипломной работы был д.ф.-м.н. Л.Н. Захаров. Работает на кафедре акустики с 1965 г., сначала в должности инженера, затем в должности старшего инженера. С 1985 г. по настоящее время работает в должности старшего научного сотрудника. Имеет учёное звание старшего научного сотрудника по специальности «Акустика» (1990 г.). Область научных интересов: изучение особенностей формирования векторно-фазовой структуры шумовых полей в низкочастотной гидроакустике и аэроакустике, применение векторно-фазовых методов для исследования акустических параметров подводного грунта, архитектурная акустика, акустическая экология, борьба с шумом на территории жилой застройки, расположенной около транспортных магистралей в области низких и инфразвуковых частот, конструирование векторных звукоприёмников и их метрологическое обеспечение. Был руководителем научных проектов, направленных на укрепление обороноспособности страны. Высококвалифицированный экспериментатор. Неоднократно принимал участие в морских экспедициях на научно-исследовательских судах по линии Академии наук, в которых был научным руководителем ряда работ. Автор около 100 публикаций и 18 авторских свидетельств и патентов РФ. Читает спецкурс для студентов пятого курса «Гидроакустические измерения», «Физика шумов и вибраций. Акустическая экология», а также курс для аспирантов 1-го и 2-го года обучения «Экспериментальные методы в современной акустике». Под его руководством защищены 6 дипломных работ. Имеет ряд правительственных наград. Присвоено звание «Заслуженный научный сотрудник Московского университета» (2011 г.). Член профкома физического факультета МГУ.





Гордиенко Валерий Александрович.

Окончил кафедру физики твёрдого тела физического факультета МГУ в 1969 г. В 1972 г. после окончания аспирантуры защитил кандидатскую диссертацию и остался в должности ассистента на кафедре общей физики для физического факультета. Параллельно по предложению С.Н. Ржевкина включился в выполнение работ по акустике. В 1985 г. перешёл на кафедру физики моря и вод суши. С 1987 г. работает на кафедре акустики. В 1995 г. защитил докторскую

диссертацию. В настоящее время – ведущий научный сотрудник кафедры акустики, широко известный специалист в области векторно-фазовых методов в акустике. Автор единственной в мире монографии по векторно-фазовым методам в акустике (Наука, 1989 г.; Физматлит, 2007 г.), переведённой на английский и китайский языки. Один из соавторов книги «Из истории отечественной гидроакустики», изданной в 1998 г. в связи с 300-летием Российского флота (в 2008 г. переведена на английский язык). Результаты его исследований в области векторно-фазовых методов легли в основу многих технических проектов как в России, так и за её рубежами. Активно участвует в учебном процессе. В МГУ читал лекции для студентов младших курсов физфака, а также для старшекурсников и аспирантов; кроме того, читал лекции на юрфаке и психфаке. Проводил педагогическую работу и в других институтах: в УРРЦ РГГУ, МНЭПУ и РГГУ. В течение 7 лет читал лекции по акустике для сотрудников Пекинского и Шанхайского акустических институтов, Далянского научно-исследовательского института контроля и тестирования (КНР). В 1991-2002 гг. являлся заместителем генерального директора НИИ «Российский центр физического образования» при МГУ. В 1994–2001 гг. заведовал кафедрой экологической физики, а в 1998–2001 гг. являлся проректором по учебной работе МНЭПУ и директором Департамента информационных экологических систем и технологий Всемирного технологического университета (ВТУ, проект ЮНЭСКО) на базе МНЭПУ. В 1974-1987 гг. – член профкома физфака. С 1983 г. неоднократно участвовал в морских экспедициях. Автор более 200 публикаций, включающих около 20 учебных и учебно-методических пособий, 24 АС СССР и патентов РФ. Соавтор нескольких коллективных монографий по экологии и экологической безопасности. Награждался многочисленными грамотами, в том числе почётными грамотами ректората МГУ, Министерства образования и

науки РФ, МО СССР, знаком «Изобретатель СССР», Юбилейным знаком «250 лет МГУ», медалью «100 лет подводного флота России», Серебряным почётным знаком имени Петра Великого «За достижения в социальном образовании».

Григорьев Анатолий Владимирович.

Выпускник физического факультета МГУ. С 1966 г. непрерывно работает на физфаке, сначала на кафедре волновых процессов, а с 1987 г. на кафедре акустики. Высококвалифицированный инженер-физик, способный реализовывать сложные, нестандартные технические решения для выполнения экспериментальных исследований. Так, в 1982 г. на кафедре волновых процессов им была разработана уникальная установка для измерения доплеровского



смещения частоты ионосферных сигналов с разрешением до 10^{-3} Гц. В 1987–88 гг. под его непосредственным руководством и участия была создана уникальная для того времени многоканальная система оцифровки сигналов с большим динамическим диапазоном, не утратившая актуальности и на сегодняшний день. Эта разработка впоследствии легла в основу создания радиогидроакустического буя, предназначенного для автономной многоканальной регистрации низкочастотных акустических сигналов в океане. Является одним из авторов патента РФ на изобретение «Автономная акустическая система». Он - соавтор ряда научных публикаций, в которых описываются принципы действия разработанных под его руководством приборов и установок. Награждён Почётной грамотой Министерства образования и науки РФ (2010 г.).

Гусев Владимир Андреевич.

Окончил с отличием физический факультет МГУ в 2002 г. После окончания аспирантуры в 2005 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Трансформация профилей и спектров интенсивных акустических волн в неоднородных средах». С 2005 г. работает на кафедре акустики физического факультета МГУ, сначала в должности младшего научного сотрудника, в



настоящее время – старшего научного сотрудника. Область научных интересов – нелинейная и физическая акустика, статистическая акустика, теория дифракции и нелинейно-дифракционные эффекты при распространении интенсивных ограниченных волновых пучков, волны в неоднородных и случайно-неоднородных средах и вблизи поверхностей раздела сред, акустические явления в геофизике. Удостоен стипендии МГУ имени М.В. Ломоносова для молодых преподавателей и научных сотрудников (2011 г.) и диплома на конкурсе молодых учёных физического факультета МГУ (2011 г.). Является автором более 50 научных работ, опубликованных в российских и зарубежных изданиях. Под его руководством защищены 4 дипломные работы. С 2009 г. является профоргом кафедры акустики.



Дмитриев Константин Вячеславович.

Окончил с отличием физический факультет МГУ в 2009 г. и поступил в аспирантуру. Закончил аспирантуру в 2012 г., защитив диссертацию на тему «Непрерывные и импульсные акустические сигналы в дважды отрицательных средах». С 2012 г. работает на кафедре акустики в должности научного сотрудника. Область научных интересов включает в себя медицинскую акустическую томографию, решение обратных задач, исследование дважды отрицательных акустических сред. Является автором около 20 научных работ. Совмещает работу на факультете с работой на кафедре физики СУНЦ МГУ, где руководит научной работой школьников. Входит в жюри ряда российских и международных конкурсов школьников.



Ермолаева Елена Олеговна.

Выпускница кафедры акустики. Научным руководителем дипломной работы был д.ф.-м.н. Л.Н. Захаров. По распределению работала в Акустическом институте им. Н.Н. Андреева в отделе д.ф.-м.н. Н.А. Роя. С 1982 г. сотрудник физического факультета МГУ, с 1987 г. работает на кафедре акустики, в настоящее время в должности ведущего инженера. Занималась задачами метрологического обеспечения векторно-фазовых измерений в гидроакустике. Участвовала в исследовательских

работах в звукозаглушенной камере, гидробассейне, на кафедральном полигоне в Подмоскowie. Занимается математическим моделированием полей сигналов и шумов в водной и воздушной среде, компьютерной обработкой экспедиционных экспериментальных данных. По акустической тематике имеет около 30 публикаций, в том числе 4 авторских свидетельства СССР на изобретения. Является членом президиума Совета женщин МГУ. С 1996 по 2006 гг. вела занятия для сотрудниц различных факультетов и служб Московского университета по обучению программам MS Office, адаптированным в соответствии со специальностью и возрастом слушателей. С 2000 г. в составе аналитической группы Совета женщин занимается исследованием положения женщин в науке и высшей школе, особое внимание уделяя гендерным проблемам научно - педагогических кадров Московского университета. По данной тематике опубликовала около 30 работ, в том числе 2 книги; неоднократно принимала участие в работе международных форумов (IUPAP, ICWES, NorWiP). Награждена Почётной грамотой Министерства образования и науки РФ и медалью «100 лет профсоюзам России».

Зотов Дмитрий Игоревич.

Окончил физический факультет в 2009 г. С 2009 г. по настоящее время работает на кафедре акустики. В 2010 г. поступил в аспирантуру Института Проблем Управления РАН. Занимается томографическим восстановлением акустических изображений биологических тканей, разработал соответствующее программное обеспечение с использованием технологии параллельных вычислений CUDA на графических картах. Участвовал в



проектировании линейного томографа (маммографа) и провёл тестовые испытания установки. Кроме того, оказал существенную помощь при разработке других типов томографов, действующих на более новых принципах и предназначенных для томографии акустических нелинейных параметров и томографии скорости кровотока. Является автором 12 научных работ, опубликованных в российских и зарубежных изданиях.



Кокшайский Иван Николаевич.

Окончил физический факультет в 1987 г. и с тех пор работает на кафедре акустики. С 2008 г. занимает должность ведущего электроника. Специалист в области основных современных компьютерных архитектур и современной микроэлектроники. Принимал активное участие в разработке, создании и обслуживании ряда аппаратно-программных комплексов для нелинейной акустической и фотоакустической диагностики консолидированных сред, разработанных в

Центре коллективного пользования физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю под руководством профессора А.И. Коробова. Является системным администратором сети этой лаборатории.



Коробов Александр Иванович.

Окончил физический факультет МГУ в 1970 г. После окончания аспирантуры физического факультета был оставлен на работу на кафедре акустики. В 1979 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1997 г. — докторскую диссертацию. В настоящее время является профессором кафедры акустики. Область научных интересов: акустика твёрдого тела, акустоэлектроника, диагностика материалов методами нелинейной акустики. Им выполнен цикл теоретических и экспериментальных исследований

анизотропии электроакустического взаимодействия, результаты которых вошли в отечественные и зарубежные справочные издания (например, в таблицы Ландольта-Бернштейна). Им впервые экспериментально исследованы особенности нелинейных упругих свойств металлов в области электронно-топологического перехода, влияние образования системы тяжёлых фермионов на нелинейные акустические свойства Кондо-соединений, нелинейные упругие свойства керамик в области высокотемпературного сверхпроводящего перехода. В настоящее время проводит исследования нелинейных упругих свойства материалов с дефектами и развивает новые методики

нелинейной акустики для диагностики материалов. Опубликовал более 150 научных работ, является соавтором 2 патентов. Под его руководством защищены 7 кандидатских диссертаций и более 40 дипломных работ. Читает курсы: «Введение в акустику», «Ультразвуковые методы в физике твёрдого тела», «Акустическая нелинейность твёрдых тел», «Экспериментальные методы в акустике». Является членом Учёного совета физического факультета МГУ, двух диссертационных советов при МГУ. Член редколлегии журналов «Вестник Московского университета» и «Акустический журнал». Директор Центра коллективного пользования физического факультета по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю. Награждён медалью «В память 850-летия Москвы» (1997 г.), нагрудным знаком «Почётный работник высшего профессионального образования РФ» (2004 г.), Юбилейным нагрудным знаком «250 лет МГУ им. М.В. Ломоносова» (2005 г.). Лауреат премии МАИК «Наука» за лучшую научную публикацию года (2010 г.). В 2012 г. присвоено Почётное звание «Заслуженный профессор Московского университета».

Коршак Борис Алексеевич.

Окончил физический факультет МГУ в 1974 г. В 1977-1979 гг. обучался в аспирантуре под научным руководством В.Е. Лямова. В 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Взаимодействие встречных поверхностных акустических волн в слоистых структурах пьезоэлектрик-полупроводник». Был членом сборной МГУ по спортивной гимнастике. После защиты диссертации работал в НИИ радиостроения, преподавал в МВТУ имени Н.Э. Баумана. С 1999 г. работает на кафедре акустики физического факультета МГУ, с 2005 г. — в должности доцента. Область научных интересов: кристаллоакустика и акустоэлектроника, магнитоакустика, структурирование наночастиц в акустических полях. Автор более 50 статей и 1 патента.





Кравчун Павел Николаевич.

Окончил физический факультет с отличием в 1978 г., в том же году поступил в аспирантуру, в 1983 г. защитил кандидатскую диссертацию. На физфаке работает с 1982 г.: сначала инженером, затем младшим научным сотрудником, научным сотрудником, старшим преподавателем, с 1993 г. – доцентом. Учёное звание – доцент (1995 г.). Основные работы выполнены в области акустики океана, аэроакустики, архитектурной акустики, теории и

истории органостроения. Автор около 150 научных работ, 6 изобретений и 7 книг по акустической и органной тематике (в том числе энциклопедии «Органы России», изданной по гранту Президента РФ для творческих проектов общенационального значения). Занимался задачами излучения, распространения и приёма акустических волн в море (неоднократно участвовал в экспедиционных работах), томографии придонных фронтов океана, геоакустической инверсии, вопросами авиационной акустики (снижение шума в кабинах экипажей турбореактивных самолетов и др.). Соавтор акустических решений концертных залов в Москве, Санкт-Петербурге, Перми, Челябинске, Барнауле, Калининграде, Набережных Челнах и других городах. Курировал постройку и реставрацию органов в Московском Доме музыки, Академической Капелле Санкт-Петербурга, Большом театре, Центральном музее музыкальной культуры, Музее-заповеднике «Царицыно» в Москве, Органном зале Пермской филармонии. Член Научного совета РАН по акустике (с 2004 г.) и Правления Российского акустического общества (с 2005 г.), председатель Экспертного совета по органостроению (с 2002 г.) и член Президиума Международного союза музыкальных деятелей (с 2003 г.). В 2000 г. был принят в число иностранных членов Британского института органных исследований. Читает спецкурсы «Теоретические основы акустики (часть 2)», «Физика океана», «Физика шумов и вибраций. Акустическая экология», разделы лекционных курсов для аспирантов. Под его руководством защищено более 20 дипломных работ. С 1989 по 2013 гг. – ответственный за учебную работу на кафедре акустики. В 2012 г. удостоен звания «Заслуженный преподаватель МГУ».

Курбатова Надежда Николаевна.

Пришла работать на кафедру акустики в 1978 г. после окончания радиолокационного техникума. Занимает должность учебного мастера. Уже 25 лет принимает участие в экспериментальном обучении студентов и в поддержании в рабочем состоянии задач спецпрактикума кафедры, где ежегодно студентами факультета выполняется около 100 задач. В 1980-е гг. была капитаном сборной физического факультета МГУ по волейболу. Занимается вопросами кафедрального делопроизводства, включая архивное дело.

**Крит Тимофей Борисович.**

Окончил факультет с отличием в 2008 г. В том же году поступил в очную аспирантуру физического факультета. Закончил аспирантуру в 2011 г., защитив кандидатскую диссертацию «Сдвиговые волны в резонаторе с кубичной нелинейностью». С 2011 г. работает на физическом факультете МГУ: в 2011 г. в должности младшего научного сотрудника, с 2012 г. по настоящее время в должности научного сотрудника. Область научных интересов – физическая акустика, медицинская физика, нелинейная акустика, неинвазивная акустическая диагностика. Обладатель Специальной государственной стипендии Правительства Российской Федерации (2008 г.). Победитель конкурса работ талантливых студентов, аспирантов и молодых учёных МГУ имени М.В. Ломоносова, учреждённого О.В. Дерипаска (2011 г.). Лауреат стипендии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова молодым преподавателям и научным сотрудникам (2012 г.). Является автором около 30 научных работ, опубликованных в российских и зарубежных изданиях, в том числе одной методической разработки.





Ланда Полина Соломоновна.

Окончила физический факультет МГУ в 1953 г., с 1956 г. работает там же. В 1959 г. защитила кандидатскую диссертацию в МГУ, а в 1972 г. – докторскую диссертацию в Горьковском государственном университете. Профессор, ведущий научный сотрудник. С 1987 г. работает на кафедре акустики. Является членом Российского национального комитета по

теоретической и прикладной механике, а также членом редакционной коллегии журналов «Chaos, Solitons and Fractals» и «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика». Почётный профессор университета г. Ланкастер (Великобритания). Область научных интересов – теория колебаний и волн, радиофизика, применение методов нелинейной динамики в различных областях науки. Автор и соавтор 15 монографий по теории колебаний и волн, среди которых: «Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы» (1980; 2-е изд. URSS, 2010), «Автоколебания в распределённых системах» (1983; 2-е изд. URSS, 2010), «Стохастические и хаотические колебания» (1987; 2-е изд. URSS, 2010; совм. с Ю.И. Неймарком), переведённая также на английский язык, и «Нелинейные колебания и волны» (1997; 2-е изд. URSS, 2010). Имеет более 250 печатных статей и обзоров, опубликованных как в отечественных, так и в широко читаемых иностранных журналах.



Маков Юрий Николаевич.

В 1971 г. закончил радиофизический факультет Нижегородского (Горьковского) государственного университета им. Н.И. Лобачевского. После трёх лет работы в научно-исследовательском институте поступил в аспирантуру физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, где занимался научной работой под непосредственным руководством ректора университета академика Р.В. Хохлова. После окончания аспирантуры и защиты

кандидатской диссертации с 1979 г. всё время работал в системе высшего образования, занимая научные и преподавательские должности сначала в Горьковском политехническом институте (в настоящее время Технический университет), а затем в Московском текстильном институте (в настоящее время – академия). В 1986 г.

получил учёное звание доцента. С 1992 г. работает на физическом факультете МГУ: в 1992–2000 гг. в должности старшего научного сотрудника, а с 2000 г. – в должности доцента кафедры акустики. Интенсивно занимается педагогической деятельностью. Это – чтение лекционных курсов, работа в практикуме, руководство дипломниками и аспирантами. В настоящее время читает четыре курса лекций: два обязательных курса для студентов кафедры акустики («Физическая акустика» и «Механика сплошных сред»), годовой курс на кафедре медицинской физики (по приглашению заведующего этой кафедрой академика В.Я. Панченко), а также курс для аспирантов. Активно занимается научной работой. Имеет ряд важных публикаций в соавторстве с академиками Р.В. Хохловым, А.М. Фридманом, В.И. Арнольдом, О.В. Руденко. Автор около 100 печатных работ (в том числе в высокорейтинговых зарубежных журналах) в области статистической радиофизики, нелинейного функционального анализа, теории устойчивости, космологии, гидродинамики, акустики, физики нелинейных волн и медицинской физики. Руководитель научных проектов, поддерживаемых в разное время грантами РФФИ и АФГИР. Со дня основания научного фонда РФФИ является бессменным официальным экспертом этого фонда. Секретарь научного семинара кафедры акустики.

Можасев Владимир Геннадиевич.

Выпускник кафедры акустики физического факультета МГУ 1979 г. Дипломная работа, выполненная под руководством И.Ю. Солодова, в конкурсе научных работ имени Р.В. Хохлова заняла 2-е место (1-е место в 1979 г. не присуждалось). С 1979 по 1983 гг. работал инженером, затем м.н.с., а также обучался в аспирантуре в Акустическом институте им. Н.Н. Андреева. В 1983 г. вернулся на кафедру, где работал в должностях инженер, старший инженер, м.н.с., н.с., с 2006 г. – с.н.с. Кандидатскую диссертацию на тему «Особенности распространения и нелинейного взаимодействия акустических волн в пьезокристаллах с плоскими и слабоискривленными границами», выполненную под руководством И.А. Викторова и В.А. Красильникова, защитил в МГУ в 1985 г. Область основных научных интересов – акустика твёрдого тела, в том числе граничные задачи акустики твёрдого тела, кристаллоакустика,



акустоэлектроника. Лауреат конкурса научных работ молодых учёных МГУ (1991 г.). Автор и соавтор более 120 печатных работ, учебного пособия «Акустика в задачах» (1-е изд. 1996 г.; 2-е изд. 2009 г.), авторского свидетельства на изобретение. Научный руководитель 11 дипломных работ, защищённых в период с 1985 по 2012 гг., и двух кандидатских диссертаций. Разработал и с 2010 г. читает на кафедре спецкурс для студентов «Локализованные акустические волны и поля в твёрдых телах». В 1980-е гг. работал внештатным переводчиком во Всесоюзном центре переводов. Участвовал в переводе на русский язык книги Г. Кайно «Акустические волны». С 1995 по 2009 гг. выполнял обязанности внештатного научного редактора раздела «Акустика» Реферативного журнала «Физика», выпускаемого ВИНТИ. Входит в состав Научного Совета РАН по акустике.



Одина Наталья Ивановна.

Окончила с отличием физический факультет МГУ в 1990 г. В том же году поступила в очную аспирантуру физического факультета МГУ, которую окончила в 1993 г. Работает на кафедре акустики с 1993 г., сначала в должности младшего научного сотрудника, с 2006 по 2007 гг. – научного сотрудника, с 2007 г. и по настоящее время – старшего научного сотрудника. В 2006 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Фотоакустическая диагностики твёрдых тел: поли- и монокристаллов», которую

выполнила под руководством А.И. Коробова. Область научных интересов – фотоакустика, нелинейная акустическая диагностика твёрдых тел, акустика фазовых переходов. Является автором около 50 научных работ, 2 патентов. Под её руководством защищены 8 дипломных работ. На кафедре акустики является секретарем ГАК, а также ответственной за работу с аспирантами.

Петрухина Татьяна Алексеевна.

Пришла работать на кафедру акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в 2002 г. Окончила МСХА имени К.А. Тимирязева. Секретарь кафедры. Занимается сбором и подготовкой материалов регулярных отчётов кафедры для администрации МГУ. Обеспечивает кафедральное делопроизводство, связанное с учебным процессом и научно-педагогической деятельностью сотрудников кафедры, а также организационную поддержку научных и общественных кафедральных мероприятий.



Раттэль Михаил Иванович.

Работает на кафедре акустики с 1961 г. Окончил вечернее отделение физического факультета МГУ в 1968 г. За время работы на кафедре занимал должности лаборанта, радиотехника, старшего мастера, инженера, старшего инженера, ведущего инженера. С 1993 г. работает в должности ведущего электроника. До осени 1963 г. работал под руководством И.В. Лебедевой, а потом, вплоть до настоящего времени, в группе В.А. Бурова. Опытный специалист-акустик. Ведёт самостоятельные исследования по разработке и испытаниям акустических преобразователей для гидроакустических и диагностических медицинских приборов. Им создан ряд новых типов преобразователей, получивший высокую оценку специалистов и нашедший применение в перспективных акустических системах. Имеет несколько авторских свидетельств, патент. Активно участвует в общественной жизни кафедры. Ответственный за электробезопасность кафедры. Неоднократно избирался профоргом. Удостоен званий “Ветеран труда” и “Заслуженный работник МГУ”.





Рафу Татьяна Владимировна.

Пришла работать на кафедру акустики физического факультета МГУ в 1988 г. на должность лаборанта. После окончания вечернего отделения Московского экономико-статистического института в 1994 г. была переведена на должность инженера. Занимается вопросами обеспечения учебного процесса и поддержанием в рабочем состоянии лабораторного оборудования специального практикума кафедры.



Рожков Валерий Александрович.

Присоединился к коллективу кафедры в 1980 г., имея опыт конструкторско-механических работ в Центральном научно-исследовательском радиотехническом институте (ЦНИРТИ). Как высококвалифицированный механик, в течение всего времени работы на физическом факультете участвовал в создании ряда уникальных экспериментальных установок, взаимодействуя со всеми научными группами кафедры. Его инициативы и оригинальные технические решения легли в основу

выполнения десятков дипломных и диссертационных работ. Работая по проектам, направленным на укрепление обороноспособности страны, неоднократно принимал участие в морских экспедициях на научно-исследовательских судах по линии Академии наук. Является одним из авторов патента РФ на изобретение «Гидроакустический векторный приёмник МГУ». Награждён Почётной грамотой Министерства образования и науки РФ (2010 г.).

Руденко Олег Владимирович.

Окончил физфак МГУ в 1971 г. Его дипломная работа была признана лучшей в МГУ, а затем удостоена 1-й премии на Всесоюзном конкурсе и медали Минвуза СССР. Ученик академика Р.В. Хохлова. Досрочно в 1973 г. защитил кандидатскую диссертацию, руководителем которой также был Р.В. Хохлов. С 1974 г. работает на физическом факультете. В середине 1970-х гг. смог построить теорию нелинейной трансформации спектров и вероятностных распределений случайных волновых полей, решить ряд задач лазерной генерации нелинейного звука, а также разработать теорию и принципы конструирования параметрических приборов для подводных приложений. Эти работы легли в основу направлений, известных теперь как «статистическая нелинейная акустика», «лазерная оптоакустика» и «нелинейная гидроакустика». В 1981 г. защитил докторскую диссертацию и через 2 года после этого стал доцентом. В 1985 г. коллектив авторов с его участием был награжден Государственной премией СССР. В цикл работ «Создание основ нелинейной акустики и её приложений» вошли его работы, в которых был развит математический аппарат нелинейной акустики. С 1987 г. стал заведовать кафедрой акустики. В 1997 г. был избран членом-корреспондентом РАН. В том же году ему с коллегами была присуждена Государственная премия РФ за цикл «Динамика интенсивных шумовых волн и нелинейных структур в средах без дисперсии», в который вошли его работы по статистической физике нелинейных волн. В 2008 г. был избран действительным членом РАН. В течение 10 лет работал в РФФИ, был председателем Экспертного совета по физике и заместителем председателя Совета фонда. С 2002 г. председательствует в Экспертном совете по физике ВАК. Главный редактор Акустического журнала, один из заместителей главного редактора журнала Успехи физических наук. Имеет ряд правительственных наград, а также почётных званий от российских и зарубежных научных обществ и университетов. Автор около 350 публикаций, в том числе 12 монографий и учебных пособий, изданных у нас и за рубежом. Под его руководством защищены 7 докторских и около 15 кандидатских диссертаций. Среди его учеников есть профессора, заведующие кафедрами, лауреаты премий М.В. Ломоносова, И.И. Шувалова, Ленинского комсомола, Европейского сообщества, Гумбольдта, Американского акустического общества, авторы монографий, изданных в России и за рубежом.





Румянцева Ольга Дмитриевна.

Окончила кафедру акустики в 1989 г. После защиты в 1992 г. кандидатской диссертации «Решение акустической обратной задачи рассеяния методами функционального анализа» работает на кафедре в группе профессора В.А. Бурова, в настоящее время – в должности старшего преподавателя. Область научных интересов – обратные задачи рассеяния и излучения в общетеоретическом плане и с точки зрения прикладных аспектов акустической томографии (линейная и нелинейная томография, а также термотомография).

Является соавтором ряда публикаций по данной тематике. В 2007 г. получила премию издательства МАИК «Наука» за лучший цикл публикаций года (совместно с В.А. Буровым). Читает лекции по кафедральным спецкурсам «Теоретические основы акустики (часть 1)» и «Обратные волновые задачи акустики». Неоднократно выполняла обязанности куратора.



Сапожников Олег Анатольевич.

Окончил факультет с отличием в 1985 г. Дипломная работа заняла 1-е место на конкурсе научных работ имени Р.В. Хохлова. В том же году поступил в очную аспирантуру физического факультета. Окончил аспирантуру в 1988 г., защитив кандидатскую диссертацию. С 1988 г. работает на физическом факультете МГУ: с 1988 по 1990 гг. в должности младшего научного сотрудника, с 1990 по 1993 гг. в должности ассистента, с 1993 г. по настоящее время в должности доцента. В 1994 г. прошёл

годовую стажировку в Отделе физической и медицинской акустики Института здоровья Франции (г. Лион). Имеет учёное звание доцента. В 2008 г. защитил докторскую диссертацию. Область научных интересов – волновая физика, физическая акустика, медицинская физика, нелинейная акустика. Лауреат Ломоносовской премии (1991 г.), премии Европейской Академии для молодых российских учёных (1994 г.), занял 1-е место на конкурсе молодых преподавателей физического факультета (1995 г.), лауреат премии МАИК «Наука» за

лучшую научную публикацию года (1997 г.), Соросовский доцент (2000 и 2001 гг.), награждён премией «Ранняя карьера» (Early Career Award) Международной комиссии по акустике (2004 г.). Руководит секцией «Физический ультразвук» научного Совета РАН по акустике (с 2009 г.), является членом Специализированного учёного совета в ИОФ РАН (с 2011 г.). Эксперт РФФИ, председатель секции медицинской акустики в Российском акустическом обществе. Является российским представителем в научном комитете Международного конгресса по ультразвуку (ICU, с 2008 г.) и в оргкомитете Международного симпозиума по нелинейной акустике (ISNA, с 2007 г.). Неоднократно являлся членом диссертационных жюри французских институтов (INSERM и Ecole Centrale de Lyon) и университета штата Вашингтон (UW, США). Редактор раздела нелинейной акустики в Журнале Американского акустического общества (JASA). Почётный член (Fellow) указанного общества. Является автором около 300 научных работ, в том числе 6 обзоров. Под его руководством защищены 7 кандидатских диссертаций.

Сучкова Марина Александровна.

Начала работать на физическом факультете в 1969 г. в должности лаборанта, сочетая работу с учёбой на вечернем отделении Московского института нефтехимической и газовой промышленности имени Губкина. По окончании института в 1976 г. получила специальность инженера-математика и была переведена на должность инженера физфака. С 1998 г. по настоящее время занимает должность ведущего программиста. За время



работы на физическом факультете принимала активное участие в учебном процессе и в научных исследованиях на кафедре акустики. Свою работу на кафедре она начала в группе В.Е. Лямова, проводила расчёты характеристик объёмных и поверхностных акустических волн. Затем занималась исследованиями в области твердотельной акустики с И.Ю. Солодовым, в настоящее время работает с Б.А. Коршаком. Много времени посвящала общественной работе, её деятельность в профсоюзной организации физфака известна большинству сотрудников факультета. Принимала активное участие в студенческих строительных отрядах, в постановках оперы физического факультета «Архимед», в деятельности эстрадного театра Дома учёных ДУЭТ, вместе с О.Ю. Сердобольской выпустила 4 номера кафедрального

журнала «Квакустик». В 2005 г. была награждена Почётным знаком «250 лет МГУ». Награждена также Почётной грамотой Министерства образования и науки Российской Федерации.



Хохлова Вера Александровна.

Окончила с отличием кафедру общей физики и волновых процессов физического факультета в 1986 г. В том же году поступила в очную аспирантуру физического факультета, которую окончила, защитив кандидатскую диссертацию в 1991 г. С 1990 г. работает на физическом факультете МГУ, сначала в должности младшего научного сотрудника, затем научного сотрудника, с 1996 г. по настоящее время в должности доцента.

Имеет учёное звание доцента (с 2010 г.). В 2012 г. защитила докторскую диссертацию. Область научных интересов – нелинейная акустика, применение мощного ультразвука в диагностике и неинвазивной хирургии, атмосферная акустика, нелинейные волны в неоднородных средах, фокусировка ударных волн, численное моделирование нелинейных задач акустики. Являлась руководителем научных проектов РФФИ и других российских и международных фондов, организатором специальных секций и международных школ по акустике, членом оргкомитетов Международного симпозиума по нелинейной акустике (ISNA, с 2007 г.) и Международного общества по терапевтическому ультразвуку (с 2013 г.). Входит в состав секции физического ультразвука научного Совета РАН по акустике, активно участвует в работе Российского акустического общества, является экспертом РФФИ. Избрана членом Совета международного общества по терапевтическому ультразвуку (в 2004–2008 гг. и с 2011 г.), членом Исполнительного совета Американского акустического общества (с 2012 г.). Почётный член (Fellow) указанного общества с 2008 г. Неоднократно являлась членом диссертационных жюри университета штата Вашингтон (UW, США). Автор около 300 научных работ. Под её руководством защищены 17 дипломных работ и 6 кандидатских диссертаций, две из которых были выполнены по российско-французской программе совместного руководства и получили также степень PhD во Франции.

Шамаев Владимир Григорьевич.

Окончил физический факультет МГУ в 1971 г. В 1971–1973 гг. служил лейтенант-инженером в Вооружённых Силах СССР. В 1973–1976 гг. обучался в аспирантуре физического факультета МГУ. В 1977 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1977 по 1988 гг. работал младшим научным сотрудником ГАИШ МГУ, ассистентом физического факультета МГУ, заведующим лабораторией астрономического практикума ГАИШ МГУ, заместителем заведующего астро-



номическим отделением физического факультета МГУ. В период 1988–2012 гг. заведовал отделом астрономии, отделом физики и отделением физики и астрономии ВИНТИ РАН. С 2012 г. работает на кафедре акустики физического факультета МГУ в должности старшего научного сотрудника. Область научных интересов в настоящее время – разработка новых технологий информационного обеспечения научных исследований. Руководитель проекта «Архив "Акустического журнала" в Интернете (www.akzh.ru)». Автор около 120 статей в научных журналах.

Шанин Андрей Владимирович.

Окончил физический факультет в 1994 г. В 1997 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Распространение и рассеяние упругих волн в клиновидных областях». С 1997 г. по настоящее время работает на кафедре акустики (научным сотрудником, старшим научным сотрудником, доцентом). В 2010 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Новые дифференциальные уравнение в теории дифракции».



В научные интересы входят математические вопросы дифракции и распространения волн, транспортная и медицинская акустика, вычислительные методы. Автор более 50 научных трудов. Занимается обучением школьников в летних математических школах.



Ширгина Наталья Витальевна.

В 2010 г. с отличием окончила физический факультет МГУ. После окончания в 2013 г. аспирантуры физического факультета работает на кафедре акустики в должности младшего научного сотрудника в лаборатории профессора А.И. Коробова. Область научных интересов – акустика твёрдого тела, нелинейные упругие свойства гранулированных неконсолидированных сред, диагностика материалов методами нелинейной акустики, архитектурная акустика. С 2009 г. сотрудничает с компанией Acoustic Group, занимающейся разработкой проектов архитектурной и строительной акустики. Является автором около 20 научных работ, опубликованных в российских и зарубежных изданиях. Доклады на российских и международных акустических конференциях неоднократно отмечались дипломами.



Шуруп Андрей Сергеевич.

В 2005 г. с отличием окончил физический факультет МГУ. В 2008 г. после окончания аспирантуры защитил кандидатскую диссертацию на тему «Модели активно-пассивной акустической томографии неоднородного движущегося океана». С 2008 г. работает на кафедре акустики физического факультета МГУ, в настоящее время – в должности старшего научного сотрудника. Область научных интересов – обратные задачи рассеяния и излучения в акустике природных сред. Был удостоен Медали РАН и Премии для молодых учёных высших учебных заведений России (2010 г.), стипендии для молодых преподавателей и научных сотрудников МГУ имени М.В. Ломоносова (2010 г.), гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (2011-2012 гг.). Является автором более 30 научных работ, опубликованных в российских и зарубежных изданиях.

СОВМЕСТИТЕЛИ

Бычков Виктор Борисович.

После окончания кафедры акустики физического факультета МГУ в 1971 г. распределен по рекомендации С.Н. Ржевкина во ВНИИФТРИ, где работает по настоящее время руководителем лаборатории средств гидроакустических измерений, измерительной техники и метрологии. Имеет учёную степень кандидата технических наук (1981 г.) и учёное звание старшего научного сотрудника (1988 г.). С 2009 г. работает по совместительству на кафедре акустики. Область научных интересов: гидроакустические измерения, радиационная акустика, измерение и анализ воздушного шума. Руководил рядом НИОКР по оборонному заказу. Предложил, обосновал и внедрил ряд оригинальных технических решений по конструированию приёмных устройств, методикам натурных измерений и калибровки приёмных устройств. В 1990-е гг. руководил созданием и внедрением средств акустической диагностики в интересах нефтегазового комплекса. В 2000-е гг. руководимый им коллектив учёных ВНИИФТРИ, ИТЭФ и НИИЯФ выполнил ряд экспериментов, давших качественно новый уровень описания радиационно-акустических эффектов. В его лаборатории разработаны приборы для диагностики состояния орбитальных станций, два из которых активно используются космонавтами на российском сегменте МКС. В последние годы совместно со специалистами ЦНИИмаш, при участии космонавтов, проводит работы по анализу шума и ультразвука в обитаемых отсеках российского сегмента МКС и выработке рекомендаций по акустоэмиссионной диагностике развития коррозионных дефектов на гермокорпусе станции. Автор более 70 публикаций, в том числе более 10 патентов. Участвовал в руководстве курсовыми и дипломными работами. Награждён медалями РФ.





Изосимова Мария Юрьевна.

Окончила с отличием физический факультет МГУ в 2006 г. Дипломная работа была удостоена премией 2-й степени на конкурсе имени Р.В. Хохлова. В том же году поступила в аспирантуру, после окончания которой в 2009 г. защитила кандидатскую диссертацию по теме «Дистанционная диагностика материалов с микро- и наномасштабными дефектами методом сканирующей лазерной виброметрии». С 2010 г. работает по

совместительству на кафедре акустики, в настоящее время в должности старшего научного сотрудника. Область научных интересов – акустика твёрдого тела и диагностика материалов методами нелинейной акустики. Является автором более 20 научных работ, опубликованных в российских и зарубежных изданиях.



Касаткина Елена Евгеньевна.

Окончила кафедру акустики физического факультета МГУ в 1994 г. В 2000 г. под руководством В.А. Бурова защитила кандидатскую диссертацию на тему «Статистические оценки в акустических обратных задачах излучения и рассеяния». Область научных интересов – акустика океана, медицинская томография, цифровые методы обработки информации. После защиты диссертации продолжала сотрудничать с кафедрой и

участвовала в новых инициативных исследованиях, ведущихся в группе В.А. Бурова в области обратных задач, связанных с акустической томографией патологических новообразований мягких биологических тканей. С 2000 г работает в отраслевом НИИ. С 2007 г. по совместительству занимает должность научного сотрудника кафедры акустики, принимая участие в исследованиях по обработке акустических изображений и статистическим аспектам задач гидроакустики, а также в разработке принципов диагностики (в медицине и технике) методами акустической термотомографии. Имеет ряд публикаций в рецензируемых журналах и трудах конференций, в том числе в «Акустическом журнале» и «Acoustical Imaging».

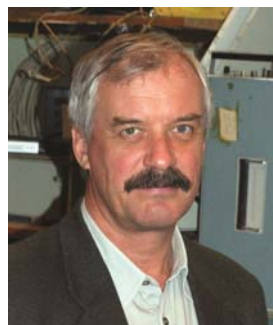
Крылов Вадим Вячеславович.

Пришёл на кафедру акустики в 1992 г. на должность лаборанта, будучи студентом философского факультета Университета Российской академии образования (УРАО), где учился по индивидуальному учебному плану. В 2000 г. получил диплом специалиста. Тогда же перешел на должность инженера по обслуживанию радиоэлектронной аппаратуры кафедры акустики. С 2002 г. работает на кафедре по совместительству. В настоящее время занимает должность радиомеханика по ремонту радиоаппаратуры. Принимает участие в создании и наладке экспериментальных установок, выполнении акустических экспериментов, оформлении результатов при подготовке научных публикаций.



Михайлов Сергей Геннадьевич.

Трудовую деятельность начал в Рязанском высшем воздушно-десантном командном училище на кафедре физики и химии. В 1975-1981 гг. обучался на физическом факультете МГУ. Защитил диплом на кафедре акустики под руководством Ф.В. Рожина. После окончания физфака работал в ЦНИИ «Гидроприбор» (бывший Минно-торпедно-тральный институт) в области совершенствования низкочастотных приёмных гидроакустических систем. Участвовал в дальнем походе на корабле-разведчике Тихоокеанского флота. С 1990 г. работает по совместительству на кафедре акустики. Участвовал в создании и совершенствовании ряда акустических систем. В 1999 г. защитил кандидатскую диссертацию по снижению шумов обтекания гидроакустических приёмных систем морских мин. В течение нескольких последних лет работает в области активного гашения акустических шумов и вибраций. Является заведующим лабораторией и главным конструктором по этому направлению в Научном центре волновых исследований Института общей физики РАН.





Сергеев Сергей Николаевич.

Окончил с отличием кафедру акустики физического факультета МГУ (1988 г.), кандидат физико-математических наук (1993 г.), имеет учёное звание доцента (2003 г.). Область научных интересов – акустика океана, томография. Автор более 60 научных трудов. Неоднократно являлся руководителем научных проектов РФФИ и других организаций. Преподаёт физику в школе имени А.Н. Колмогорова (СУНЦ МГУ), где создал лабораторию, в которой школьники выполняют исследовательские проекты. Руководитель летней научно-образовательной школы Всероссийского фестиваля науки, научного конкурса-конференции «Учёные будущего», проводимого МГУ совместно с Интел. Награждён грамотами департамента образования города Москвы, Министерства образования и науки РФ. Участвует в различных международных научно-образовательных программах от МГУ и Интел в Европе, Азии и США. Увлечения – активный туризм (байдарочный, горный, Подмосковье), классическая музыка.

Часть 3. НАУЧНЫЕ ГРУППЫ КАФЕДРЫ

Как и на других кафедрах физического факультета МГУ, каждый сотрудник кафедры акустики совмещает преподавательскую работу с активными научными исследованиями. Именно вовлечение студентов и аспирантов в научную деятельность позволяет воспитать из них высококлассных специалистов-акустиков. Однако научная работа на кафедре проводится не только для повышения качества обучения студентов, но и для поддержания научной квалификации самих членов коллектива кафедры. Конечно же, это взаимосвязанные задачи: только преподаватель с высоким научным уровнем может должным образом воспитать нового исследователя. Как видно из кратких представлений, приведённых в предыдущем разделе настоящего сборника, научные интересы сотрудников кафедры разнообразны. Тем не менее, в рамках кафедры имеются относительно небольшие коллективы, члены которых связаны общими задачами и традициями, часто объединены вокруг научных лидеров или по какому-то иному принципу. Эти сотрудники образуют научные группы кафедры. Таких групп на кафедре акустики несколько: это группа векторно-фазовых методов (В.А. Гордиенко, Б.И. Гончаренко, Е.О. Ермолаева, В.А. Рожков, А.В. Григорьев), группа нелинейной и медицинской акустики (О.А. Сапожников, В.А. Хохлова, В.Г. Андреев, Т.Б. Крит), группа обратных задач акустики томографического типа (В.А. Буров, О.Д. Румянцева, М.Н. Афонин, К.Н. Бобов, К.В. Дмитриев, Д.И. Зотов, М.И. Раттэль, А.С. Шуруп, С.Н. Сергеев, Е.Е. Касаткина), группа твердотельной акустики (А.И. Коробов, И.Н. Кокшайский, Б.А. Коршак, В.Г. Можаяев, Н.И. Одина, М.А. Сучкова, М.Ю. Изосимова, Н.В. Ширгина). В отдельную группу можно выделить сотрудников, объединённых в рамках направления «Аэроакустика и архитектурная акустика» (П.Н. Кравчун, Н.С. Виноградов, А.В. Шанин, В.В. Крылов, С.Г. Михайлов, В.А. Гусев). Ниже приводятся общие (во многом неформальные) рассказы обо всех указанных коллективах.

Отметим, что деление кафедры на научные группы в определённом смысле условно: например, некоторые сотрудники работают в разных группах одновременно, а некоторые являются исследователями-одиночками. Более того, иногда для решения задач в рамках новых проектов на кафедре образуются временные коллективы сотрудников. Описанные ниже группы сформировались давно и являются относительно самостоятельными и устойчивыми подразделениями кафедры.

ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫЕ МЕТОДЫ В АКУСТИКЕ

В.А. Гордиенко

Направление векторно-фазовых методов стало развиваться на кафедре акустики почти сразу после её образования. Это название предложил выдающийся советский акустик С.Н. Ржевкин, который был организатором и первым заведующим кафедрой. Несмотря на такой большой «стаж» направления, оно себя не исчерпало, получает всё новые приложения в различных областях акустики. Причина в том, что идея векторно-фазовых методов гораздо богаче и информативнее традиционных подходов, основанных на измерении лишь акустического давления. Векторно-фазовая «идеология» предполагает измерения не только акустического давления, но и векторных характеристик поля – вектора колебательной скорости частиц среды или градиента звукового давления.

Преимущества векторно-фазовых методов, особенно в гидроакустике, проявляются, прежде всего, при существенном ограничении области пространства для размещения приёмников в среде («контролируемое» пространство). В случае размещения одиночного комбинированного приёмного модуля (КПМ) имеет место качественный скачок, который заключается в появлении нового «качества» у точечной приёмной системы – возможности определения местоположения источника звука. Другая особенность использования КПМ – возможность применения принципиально новых (по отношению к системам на базе гидрофонов) алгоритмов обработки информации, основанных на прямом измерении потока акустической энергии (мощности), т.е. выделении той её части, которая обусловлена анизотропией поля или наличием в среде сосредоточенных источников.

С.Н. Ржевкин понимал, что развитие гидроакустики должно опираться как на успехи теоретических изысканий, так и разработки измерительных средств, позволяющих более глубоко взглянуть на физическую природу акустических полей. Реализации тех или иных алгоритмов для решения задач акустики во многом определяются качеством и возможностями используемых измерительных средств, и здесь решающим является получение любой дополнительной информации о поле при заданных пространственно-временных объёмах выборок. На рубеже 1940-50-х гг. С.Н. Ржевкин и его сотрудники поставили задачу разработки и создания приёмника для измерения векторных характеристик акустического поля. На кафедре был изготовлен звукоприёмник, представлявший собой полую

сферическую оболочку с гибкой пластиной, на которую были наклеены кристаллы сегнетовой соли. С помощью приёмников нового типа были проведены первые эксперименты по регистрации в море инфразвуковых волн с частотами порядка нескольких герц, вызванных штормом на расстоянии сотен километров от места приёма.

В 1956 г. в Акустическом журнале вышла работа, явившаяся первой доступной широкому кругу специалистов публикацией, обосновывающей возможные принципы регистрации векторных характеристик поля, в частности, колебательной скорости частиц среды. Впоследствии С.Н. Ржевкин теоретически проанализировал колебание сферы с учётом дифракции на ней звуковой волны и, тем самым, разработал теорию векторного приёмника для случая, когда размер принимающей сферы сравним с длиной звуковой волны. В те годы в теоретических и экспериментальных исследованиях, проводимых на кафедре акустики, принимали участие молодые, энергичные и талантливые учёные, инженеры, мастера и механики В.С. Нестеров, Л.Н. Захаров, Ф.В. Рожин, О.С. Тонаканов, В.К. Кузнецов, А.В. Болотников, Ф.А. Топоровский и другие (см. фото 1).

Таким образом, в 1960-е гг. под руководством С.Н. Ржевкина и Л.Н. Захарова сформировалось и получило развитие новое направление – векторно-фазовые методы в акустике, и в этой новой области мы находились на более высоком уровне по сравнению с зарубежными странами. На кафедре были начаты планомерные работы по созданию приёмников градиента давления различного типа,



Фото 1. С.Н. Ржевкин с группой гидроакустиков на кафедральном полигоне в Подмосковье

создана собственная экспериментальная база с высоким материально-техническим обеспечением. Все это позволяло активно привлекать студентов старших курсов, дипломников и аспирантов не только к работам теоретического плана, но к непосредственному участию в проводимых натурных экспериментах.

Научные работы кафедры акустики по векторно-фазовым методам привлекли внимание руководства МГУ и оборонного ведомства страны, но, к сожалению, по разным причинам не всем большим планам тех лет было суждено осуществиться. В 1975 г. С.Н. Ржевкин был переведен с должности заведующего кафедрой акустики на должность профессора этой же кафедры и назначен заведующим Лабораторией акустики и гидроакустики, которую возглавлял вплоть до своей смерти в январе 1981 г.

После него руководство лабораторией уже в составе кафедры физики моря и вод суши осуществлял один из учеников и ближайших помощников – д.ф.-м.н. Л.Н. Захаров. В декабре 1987 г., после скоропостижной кончины Л.Н. Захарова, сотрудники Лаборатории вновь возвратились на кафедру акустики. С этого периода работами по векторно-фазовой тематике руководит д.ф.-м.н. В.А. Гордиенко (см. фото 2).



Фото 2. Группа сотрудников лаборатории векторно-фазовых методов, 2013 г.
Слева направо: В.А. Рожков, Е.О. Ермолаева, А.В. Григорьев,
Б.И. Гончаренко, В.А. Гордиенко

С конца 1970-х гг. основные натурные работы сотрудниками нашей группы проводились на Дальнем Востоке. Здесь, во Владивостоке, при Тихоокеанском океанологическом институте (ТОИ) была организована Лаборатория векторно-фазовых методов. Нужно отметить, что организация Лаборатории и проводимые исследования были бы невозможны без активного содействия директора ТОИ, академика АН СССР, Председателя Президиума ДВО



Фото 3. Слева направо: В.А. Рожков, Ф.А. Топоровский, Л.Н. Захаров, академик В.И. Ильичев и В.А. Гордиенко на фоне бухты Золотой Рог

АН СССР и вице-президента АН СССР В.И. Ильичёва (см. фото 3). На базе этой лаборатории сотрудники МГУ получили возможность активно включиться в практические работы по исследованию векторно-фазовой структуры звукового поля в условиях реального глубоководного океана, в том числе на научных судах в районы Камчатки, Курильских островов, Сахалина. В 1983, 1985 и 1987 гг. состоялись совместные морские экспедиции в районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов. В 1989 г. совместно с сотрудниками ГЕОХИ АН СССР состоялась экспедиция в Чёрное и Средиземное моря для исследования возможности локализации источника на низких звуковых частотах; при этом впервые был использован четырёхкомпонентный комбинированный звукоприёмник в радиогидроакустическом буре. Также впервые была зарегистрирована ударная внутренняя волна, порождаемая движущимся под водой морским объектом. В этот же период для решения прикладных задач (определение характеристик направленности сложных излучателей, пеленга на проходящие суда и др.) в группе начались работы с многокомпонентными КПМ в звукозаглушённой камере в Москве, в бухте Витязь на Дальнем Востоке, на Чёрном море и Тихом океане (см. фото 4). Результатом работ в этом направлении явились уникальные экспериментальные данные, которые впоследствии стали основополагающими при формировании многих технических решений в этой области не только в России, но и за рубежом. Подробно об истории становления векторно-фазовых методов исследования акустических полей можно узнать из книги «Кафедре акустики



Фото 4. Рабочий момент постановки дрейфующей трёхэлементной комбинированной приёмной антенны в Тихом океане

физического факультета 60 лет».

В начале 1990-х гг., когда финансирование морских исследований в стране практически прекратилось, часть сотрудников группы ушли в административные структуры МГУ или другие сферы деятельности. Наши интересы были сосредоточены на обработке и анализе огромного статистического материала, собранного в

различных точках Мирового океана. Взаимодействие коллектива из МГУ с коллегами из ТОИ ДВО АН РАН существенно ослабло, и центр тяжести работ группы векторно-фазовых методов кафедры акустики МГУ был перенесён на совместные работы с ГМЦГИ ФГУП ВНИИФТРИ. На кафедре были созданы и метрологически аттестованы две уникальные установки для калибровки векторных приёмников в диапазоне 2-500 Гц в вертикальном столбе колеблющейся жидкости и в диапазоне 250-10000 Гц в незаглушённом гидроакустическом бассейне. На основании совместного приказа ректора МГУ В.А. Садовниченко и Генерального директора ФГУП ВНИИФТРИ В.И. Альшина в 1995 г. при кафедре акустики был создан Учебно-научный центр метрологического обеспечения гидроакустических измерений, который от физфака возглавил В.А. Гордиенко. Изменилась география натурных работ. В настоящее время это, прежде всего, Балтийское и Белое моря. Сотрудниками Центра было решено несколько важнейших практических задач использования векторно-фазовых методов, в частности, осуществлено выделение на фоне шумов океана слабых сигналов от детерминированных источников и проведено пространственное разделение вкладов различных источников, работающих в одной и той же частотной полосе.

Таким образом, сотрудниками кафедры на данный период выполнен цикл работ по определению потенциальных возможностей приёмных систем и разработке алгоритмов обработки данных гидроакустических систем на базе векторных приёмников, включая приёмники потока акустической мощности, а также проблеме метрологического обеспечения векторно-фазовых измерений

в гидроакустике. Решён ряд прикладных задач: разделение вкладов в шумы океана источников различного типа, определение характерных размеров мелкомасштабных неоднородностей, разработана методика исследования акустических параметров подводного грунта на низких звуковых частотах.

Принципы векторно-фазового приёма применимы не только в гидроакустике. Поэтому научная группа проводит работы и в других направлениях. Упомянем лишь те исследования, которые проводятся в лаборатории векторно-фазовых методов в последние годы.

Одним из практических применений векторно-фазовых методов стали экспериментальные работы по изучению аномалий высокочастотных (до 11 кГц) сигналов геоакустической эмиссии, предшествующих сильным землетрясениям, в районе сейсмоопасной зоны полуострова Камчатка. Эти исследования проводились совместно с Институтом космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН. Было показано, что такие сигналы могут выступать в качестве оперативных (до суток) предвестников землетрясений с энергетическим классом $K > 10$, а направление переноса энергии хорошо согласуется с пеленгом на последующие землетрясения. Исследовалась возможность использования приёмных систем на базе векторных приёмников в современных акустических низкочастотных пеленгаторах. Сотрудники группы с векторными приёмниками МГУ принимали участие в натурных экспериментах по выяснению особенностей распространения и регистрации в воздухе сигналов от импульсных источников взрывного типа.

Ещё одна из важнейших проблем связана с современным градостроительством. Это изучение механизмов влияния акустических полей на организм человека, разработка метрологически обеспеченных методик контроля за уровнем шумности и оценка степени ослабления внешних шумов (см. фото 5).

Известно, что три четверти территории Москвы относится к зоне «шумового загрязнения», где превышение допустимого уровня шума на отдельных территориях города и даже внутри зданий достигает 15-25 дБА. Одним из



Фото 5. Б.И. Гончаренко проводит измерения шума на гоночной трассе "Moscow Raceway", 2013 г.

распространённых акустических шумов, окружающих нас в повседневной жизни, являются шумы железнодорожного транспорта, которые невозможно устранить, а можно лишь разрабатывать способы защиты от них. Были проведены исследования формирования скалярно–векторных характеристик поля шумов железнодорожного транспорта на территориях жилой застройки, находящихся вблизи железных дорог при наличии заградительных акустических экранов. Предложенная методика изучения особенностей формирования шума движущимися поездами позволила оценить шумозащитные свойства установленных акустических барьеров на примыкательной территории в низкочастотном диапазоне.

Также получены важные результаты при исследовании шумового поля в помещениях, расположенных около трамвайных путей. Было показано, что на низких звуковых частотах уровень шума, зарегистрированный на верхнем этаже здания, превышает соответствующий уровень шума на первом этаже и состоит из проникающего и структурного шума. Таким образом, было продемонстрировано, что на низких звуковых частотах для правильной оценки уровней шумового поля в помещении нормированию должны подлежать как уровень звукового давления, так и уровень колебательной скорости частиц среды.

На протяжении всей своей деятельности С.Н. Ржевкин неоднократно обращался к вопросам качества восприятия звука человеком и к биофизическим задачам. Но особенно его интересовал инфразвук. Эти работы не потеряли своей актуальности и проводятся в группе и в настоящее время. И здесь применение векторно-фазовых методов оказалось весьма актуальным. Известно, что воздействие на организм может оказывать как звуковое давление (всестороннее сжатие-растяжение), так и градиент звукового давления («раскачивание» внутренних органов). Проведенные сотрудниками лаборатории исследования показали, что в области инфразвука градиент давления может играть решающую роль в воздействии на организм. Так, в закрытых помещениях, особенно находящихся вблизи железнодорожных линий и трамвайных путей, в поездах метро при движении их в тоннелях, уровень градиента на инфразвуковых частотах может превышать уровень звукового давления на 20 дБ и более. Эти работы позволили принципиально по-новому взглянуть на проблему экологической безопасности человека. Другим направлением работ в этой области является изучение возможных особенностей акусто-психофизиологического воздействия инфразвука на организм человека на основе специфического спектрального анализа различных музыкальных и вербальных (речевых) фрагментов.

Заслуги нашего коллектива признаны российским и зарубежным

научными сообществами. В период 2000–2010 гг. В.А. Гордиенко неоднократно читал курс лекций по акустике в Китае для сотрудников Пекинского и Шанхайского акустических институтов, Дальянского научно-исследовательского института контроля и тестирования. В активе сотрудников группы более 20 авторских свидетельств и 6 патентов РФ. Научные сотрудники постоянно принимают участие в российских академических и специализированных конференциях, в международных акустических форумах (см. фото 6).

В настоящее время время круг задач, решаемых в лаборатории векторно-фазовых методов, довольно широк. Перечислим основные направления исследований. 1) Акустика океана. Здесь можно выделить исследования формирования низкочастотных полей в океане, дальнего и сверхдальнего распространения сигналов в стратифицированном неоднородном океане, регистрации и пеленгования детерминированных источников слабых акустических сигналов на фоне шумов океана. 2) Сейсмоакустика, включая регистрацию сигналов от слабых источников сигналов, подрывов, движущейся техники и людей. 3) Изучение шумов и вибраций, вызванных движением транспорта, в том числе при наличии акустических барьеров, внутри зданий и на территории жилой застройки. 4) Анализ и изучение особенностей психофизического восприятия акустической информации человеком, включая элементы музыкальной акустики.



Фото 6. Ректор МГУ академик В.А. Садовничий, декан физического факультета МГУ профессор Н.Н. Сысоев и ведущий научный сотрудник В.А. Гордиенко на выставке проектов МГУ «Технологии специального назначения», 2012 г.

«ЛАБОРАТОРИЯ 3-66» ГРУППА НЕЛИНЕЙНОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ АКУСТИКИ

О.А. Сапожников

Наша группа образовалась как самостоятельная лаборатория кафедры в 1988-90 гг., когда сначала я, а потом и Вера Александровна Хохлова были оставлены на работу на кафедре после окончания аспирантуры. На самом деле группа начала формироваться раньше, причём на другой кафедре физфака – на кафедре общей физики и волновых процессов (ОФ и ВП). Незадолго до этого на кафедре ОФ и ВП под руководством Олега Владимировича Руденко была организована лаборатория нелинейной и лазерной акустики. Именно в эту группу попали мы с В.А. Хохловой на 3-м курсе после распределения на кафедру. Тогда же в лабораторию к О.В. Руденко поступил в аспирантуру Валерий Георгиевич Андреев, который сейчас работает в нашей группе. Экспериментальной деятельностью руководил Александр Алексеевич Карабутов, тогда м.н.с., сейчас – профессор Международного лазерного центра МГУ. Также в группе работал только что закончивший аспирантуру Виталий Эдуардович Гусев: он сейчас профессорствует во Франции в университете Мэн (l'Université du Maine, Le Mans). Нужно отметить, что О.В. Руденко и А.А. Карабутов были учениками академика Рема Викторовича



В лаборатории лазерной акустики КНО, 1985 г.
О.В. Руденко, О.А. Сапожников, А.А. Карабутов

Хохлова, и в этом смысле мы – научные «внуки» этого яркого учёного. Наша группа была дружной, атмосфера – творческой, исследования проводились самые разные, и я до сих пор с удовольствием вспоминаю это время.

В конце 1987 г. О.В. Руденко был назначен заведующим кафедрой акустики, сменив на этом посту В.А. Красильникова. В 1988 г. я окончил аспирантуру, благодаря поддержке О.В. Руденко устроился младшим научным сотрудником на кафедре акустики, защитил диссертацию. Через 2 года окончила аспирантуру В.А. Хохлова и также начала работать на кафедре.

Первое время моя деятельность на новом месте была связана с лазерной акустикой, т.е. я продолжил заниматься тем же, чем и на кафедре ОФ и ВП. Нам удалось приобрести мощный лазер на неодимовом стекле, который генерировал 30-наносекундные импульсы на длине волны 1.06 мкм с энергией в импульсе до 10 Дж. Это уникальный для того времени лазерный источник мы использовали для оптоакустической генерации в жидкости очень мощных акустических импульсов. Такие импульсы при распространении довольно быстро становились ударными, а при их фокусировке акустическое давление получалось настолько высоким, что могло вызывать раскалывание почечных камней. Одним из результатов нашей работы было создание макета лазерного литотриптера – устройства для разрушения почечных камней. За этот цикл исследований мы с О.В. Руденко и А.А. Карабутовым впоследствии были награждены Ломоносовской премией (1991 г.). Литотрипсия тогда только начинала развиваться, и лишь за несколько лет до этого была внедрена в медицинскую практику. В нашей стране, тогда СССР, ударноволновых литотриптеров было по пальцам перечесть, а приобретены они были для элитных больниц типа «Кремлёвки» или клиники Центра подготовки космонавтов. Для меня многое в литотрипсии было привлекательным: и то, что она напрямую касалась здоровья большого количества людей (почти 10% населения так или иначе страдает от камней в почках), и то, что физика процессов была загадочной (никто тогда не знал, почему камни раскалываются, какую роль играет ударный характер волн, важны ли пузырьки, что происходит с окружающей камень биотканью и т.д.), и то, что наконец-то появилось реальное приложение нелинейной акустики. Тема была очень захватывающей. Надо отметить, что впоследствии наша группа продолжила исследования в области литотрипсии, и именно через неё мы вовлеклись в интереснейшую область применения интенсивных ультразвуковых волн в медицине.

В эти годы наш небольшой коллектив сформировался как самостоятельная научная группа. Лазерная установка, довольно шумная, была размещена в одной из «башен» физфака – комнате, расположенной на уровне крыши здания. Сейчас эта комната используется для проведения учебных семинаров для студентов кафедры. Она расположена настолько высоко, что лишь те, кто очень хотел нас видеть, находили в себе силы подняться по лестнице на несколько этажей. Телефона в комнате поначалу не было (мобильные телефоны стали доступными лишь через 10 лет), персональные компьютеры только начинали входить в практику, интернет и электронная почта также отсутствовали – эти привычные теперь средства общения появились позже. Несмотря на это мы считали нашу комнату уникальной и были вполне счастливы иметь свои четыре стены и два окна. Благодаря наличию лазерной установки отдел снабжения физфака выделял нам огромное количество спирта «для протирки оптических осей», за что меня очень ценил тогдашний материальный ответственный кафедры В.М. Якунин, которому для решения многих рабочих вопросов спирт очень помогал. Это было время, когда спирт был своеобразной валютой, и многие вопросы (изготовление деталей в экспериментальных мастерских, аренда приборов и т.п.) решались «за спирт».



А.Г. Мусатов

Моим первым аспирантом был Алексей Мусатов, пришедший в группу после окончания кафедры ОФиВП. Через 3 года Алексей успешно закончил аспирантуру и после защиты диссертации уехал во Францию, где добился успехов и до сих пор работает в области акустики. Первым студентом группы был Андрей Дубровский, с его



А.Н. Дубровский

появлением коллектив стал ещё более сплочённым. Потом в нашей «башенной» компании появились и другие студенты: Юра Пищальников, Ирина Дорофеева (Пищальникова), Юлия Самарская (Кошкина), Галя Алёшина. Мы с Андреем Дубровским провели в нашу башню телефон, запараллелив его с ближайшей к нам другой кафедральной комнатой – лабораторией магнитоакустики, где работали Л.К. Зарембо и С.Н. Карпачёв. Чтобы подсоединить телефон, в одном месте нам потребовалось провести кабель

сквозь стену. После долгих мучений это сделать удалось, и каким же было наше удивление, когда мы выяснили, что внутренние стены факультета на уровне 5-го этажа имеют толщину 2 метра! В это время у нас появились первые персональные компьютеры, сначала отечественный аналог IBM «Искра-1040», а потом и «чудо техники» IBM-286, имевший огромную, как нам казалось, оперативную память – 1 Мб (!). Мы начали проводить наши первые работы по численному моделированию нелинейных акустических пучков. В.А. Хохлова сумела договориться с интернет-активистами из НИИЯФ, и в нашей комнате появилась электронная почта – кажется, самая первая на физфаке.

Надо сказать, что то время, начало 1990-х годов, было непростым. В 1991 г. распался СССР, и вместе с политическими изменениями стало катастрофически меняться всё вокруг. Сбережения граждан превратились в ничто, зарплаты стали символическими, в Москве на каком-то этапе фактически была введена карточная система (продукты продавались по «карточкам покупателей»). Всё перестраивалось, и во многом довольно болезненно для людей, особенно для старшего поколения, внезапно потерявшего почти всё. С другой стороны, появлялись и новые возможности: открылся «железный занавес», стало возможным попасть за границу, увидеть, как работают такие же, как мы, учёные в других странах.



1993 г., Москва, визит в МГУ проф. J. Tjøtta из университета Бергена.

Слева: О.В. Руденко, J. Tjøtta, Л.К. Зарембо, О.А. Сапожников.

Справа – С.А. Рыбак.



Берген, ISNA-13, 1993 г. О.А. Васильева (мехмат МГУ), В.А. Хохлова, J. Tjøtta, О.А. Сапожников, Ю.Р. Лapidус (МГРИ) и А.Н. Дубровский

В 1993 г. мы всей группой – В.А. Хохлова, А.Н. Дубровский, А.Г. Мусатов и я – попали в г. Берген (Норвегия) на Международный симпозиум по нелинейной акустике. Там мы познакомились со многими зарубежными нелинейными акустиками, впоследствии ставшими нашими коллегами. Удивительно, но, несмотря на сложные времена, проводились довольно необычные конференции и внутри нашей страны: так, например, мы побывали на школе-семинаре по моделям механики сплошной среды, организованной на теплоходе, плывшем из Владивостока на Курильские острова и обратно. Наша группа крепла, появились первые научные гранты, в том числе международные, уже несколько студентов успешно защитили дипломы, появились аспиранты.

В 1994 году я провёл почти целый год во Франции, в г. Лионе, работая иностранным исследователем в Лаборатории медицинского ультразвука Института здоровья и медицинских исследований Франции (INSERM). На факультете эта поездка была фактически оформлена как «саббатикал», в чём мне помог тогдашний заместитель декана по работе с иностранцами А.С. Логгинов. Тогда многие сотрудники уезжали за границу и не возвращались, я же обещал вернуться через год, и Александр Сергеевич мне поверил и помог оформить такую длительную поездку без увольнения из МГУ. Лаборатория, куда я попал благодаря профессору из университета Бергена Жаклин Тьётта (Jacqueline Tjøtta), в 1993 г. посетившей нашу

кафедру, была уникальна. Это было то место, где незадолго до моего приезда был разработан первый французский литотриптер и первый ультразвуковой прибор для лечения опухолей простаты. Директором лаборатории был Доминик Катиньоль (Dominique Cathignol), сочетавший в себе научную глубину, инженерную хватку и умение доводить результаты исследований до практики. Несмотря на прикладную направленность лаборатории, меня пригласили для решения чисто научной задачи по объяснению необычных особенностей структуры полей фокусированных пьезоэлектрических излучателей. С этой задачей я со временем справился, но параллельно участвовал и в исследованиях, имевших вполне конкретную направленность. Во французской лаборатории INSERM я впервые увидел, как проводятся эксперименты на фантомах биоткани и на животных, общался с инженерами и врачами. Тогда же стало ясно, какой должна быть современная ультразвуковая лаборатория, и позже мы постарались, чтобы наша лаборатория в МГУ была оборудована приборами того же типа и на том же уровне. В этом, кстати, нам впоследствии частично помогли и наши французские коллеги.

После моего возвращения в Москву наша группа стала понемногу менять направление исследований, уходя от задач лазерной акустики в сторону задач медицинского ультразвука. Поскольку мы традиционно занимались нелинейной акустикой, интересы были направлены на использование нелинейной акустики в терапии и диагностике. Эта деятельность была замечена, и в 1995 г. к нам обратился профессор из университета штата Вашингтон в Сиэтле Лоренс Крам (Lawrence Crum) с предложением написать совместный проект по программе NIH-Fogarty, которая позволяла приобретать приборы для российской лаборатории и оплачивать короткие поездки. Мы подали заявку и выиграли грант. В.А. Хохлова съездила в Сиэтл, и вернулась оттуда с первым цифровым осциллографом. В 1996 г. мы поехали в Сиэтл уже вдвоём; позже там побывали и другие члены группы: Т.В. Синило, М.В. Аверьянов, Ю.А. Пищальников.

Каждая такая поездка позволяла нам привозить в Москву всё новые и новые приборы, иногда довольно тяжёлые: осциллографы, усилители мощности, систему позиционирования, компьютеры и многое другое. Мне часто приходилось слышать по поводу нашего взаимодействия с иностранными коллегами: «Да они же вас просто используют, задёшево получают специалистов, вы работаете на границу» и т.п. Наверное, такое случается, не могу судить. Но в нашем случае этого не было. Мы всегда ощущали и ощущаем искреннее желание французских и американских коллег помочь нам, они находили способы получения нужных средств (замечу, из бюджетов их государств) на покупку дорогой техники для



1996 г., Сиэтл, США. В.А. Хохлова и О.А. Сапожников с группой сотрудников университета штата Вашингтон



1999 г., Сиэтл, США. Разборка усилителя мощности перед его транспортировкой в Москву. Сзади – Том Матула, ныне директор Центра промышленного и медицинского ультразвука (APL, UW)



2002 г., Москва. Заместитель декана физфака МГУ П.К. Кашкаров вручает Л. Краму диплом Почётного профессора физического факультета за вклад в развитие сотрудничества

«чужого» университета, подписывали все нужные просьбы и разрешения. Наша активность по созданию и укреплению московской лаборатории вызывала у них лишь большое уважение. Многие из наших коллег неоднократно посещали кафедру, выступали с докладами. За активное сотрудничество с МГУ Л. Крам в 2002 г. получил звание Почётного профессора физического факультета МГУ.

В 1996 г. в нашу группу пришёл В.Г. Андреев, который перевёлся на физфак из Московского геологоразведочного института, где до этого работал на кафедре физики. На самом деле связь с ним не прерывалась и после окончания им аспирантуры и защиты диссертации под руководством О.В. Руденко, поэтому его приход в группу был вполне естественным.

Мы переехали из небольшой комнаты в башне факультета на 3 этаж, в комнату 3-66. С тех пор прошло уже много времени, и поэтому наша группа часто называется «лабораторией 3-66». Кто-то из студентов в шутку отметил, что температура в группе нормальная, 36.6. Номер комнаты присутствует и в наших электронных адресах @acs366.phys.msu.ru.

Если говорить о научной работе лаборатории, то можно сказать следующее. Наша группа уже более 25 лет занимается инновационными исследованиями по применению ультразвука и ударных волн в медицине. Мы стараемся находиться в авангарде этого актуального направления, лежащего на стыке физики и медицины. Коллектив хорошо оснащен современным оборудованием для работ по медицинскому ультразвуку, что оказалось возможным благодаря финансированию в рамках предыдущих проектов по программам РФФИ, INTAS, NIH Fogarty, Samsung. Группа располагает различными источниками и приёмниками ультразвука, портативной системой ультразвуковой визуализации, системой микропозиционирования, установкой по акустической голографии, шпирен-системой, осциллографами,



Ю.А. Пищальников работал на кафедре в 1997–2003 гг.



Т.В. Синило работала на кафедре в 2003–2005 гг.

генераторами, усилителями мощности. Лаборатория имеет долгое плодотворное сотрудничество с основными мировыми центрами по медицинскому ультразвуку; эта активность получила отражение в многочисленных совместных публикациях, международных проектах, взаимных визитах, совместном руководстве аспирантами и успешном проведении в МГУ международных конференций и совещаний.

В разное время некоторые из выпускников нашей группы были сотрудниками кафедры акустики. Так, несколько лет входили в коллектив кафедры Ю.А. Пищальников и Т.В. Синоло. В настоящее время работает на кафедре Т.Б. Крит. Несколько наших учеников после окончания аспирантуры устроились на работу на других кафедрах физического факультета: М.В. Аверьянов, П.В. Юлдашев, С.М. Шмелёва (Бобкова), С.А. Цысарь. Кроме физфака, некоторые выпускники устроились на работу в научно-исследовательские центры: например, Р.В. Клопотов работает в ИОФ РАН, С.С. Кашеева – сотрудник НИИ ЯФ МГУ.

За время существования группы нами было подготовлено около 40 дипломников. Многие из них затем стали аспирантами. Кроме



Группа нелинейной и медицинской акустики на международной Школе по терапевтическому ультразвуку в Альпах (Лезуш, Франция, 2013 г.).

Слева направо стоят: В.А. Хохлова, Снеговик, А.В. Николаева, Т.Б. Крит, С.А. Ильин, М.М. Карзова. *Сидят:* О.А. Сапожников, С.А. Цысарь, Е.А. Анненкова, П.В. Юлдашев, И.Ю. Дёмин (ННГУ)

упомянутых выше, аспирантуру в нашей группе в разные годы закончили Е.А. Филоненко, А.В. Ведерников, А.В. Морозов, А.Е. Пономарёв, М.А. Смагин, О.В. Бессонова, А.А. Карабутов (мл.). 15 аспирантов защитили кандидатские диссертации (к 2012 г.). В 2008 г. я защитил докторскую диссертацию, В.А. Хохлова сделала это в 2012 г.

ЛАБОРАТОРИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ АКУСТИКИ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ТИПА

В.А. Буров

Начиная с 1960-х гг., наша группа занималась прикладной гидроакустикой. К середине 1970-х гг. был накоплен определённый опыт исследований в этой области, и стало ясно, что по математической постановке многие из интересующих нас задач фактически являются обратными волновыми задачами, методы решения которых к тому времени уже были достаточно хорошо разработаны в квантовой механике. В то время наша страна (тогда ещё Советский Союз) занимала лидирующие позиции в этой области теоретической физики, потому что в ней работали такие известные учёные как И.М. Гельфанд, Б.М. Левитан и В.А. Марченко, начинал свой яркий профессиональный путь Л.Д. Фаддеев, который впоследствии добился многих выдающихся результатов в математике, стал академиком. Активно это направление развивалось и в других странах. Встал вопрос об использовании богатого опыта в решении квантомеханических проблем для углубления теоретического понимания задач акустики. Стало очевидным, что за обратные задачи нужно браться всерьёз.

В это время в группу пришел студент Андрей Алексеевич Горюнов, который впоследствии стал одним из ведущих сотрудников группы. При его активном участии был выполнен первый цикл теоретических работ по обратным задачам рассеяния. Была опубликована серия статей в Акустическом журнале и Вестнике Московского университета, завершившаяся большой обзорной работой по обратным задачам рассеяния в акустике. В результате последовательного постижения закономер-



А.А. Горюнов (1988 г.)

ностей обратных задач рассеяния, нам удалось выработать свою точку зрения на эту проблему, учитывающую статистические аспекты обратных задач и сформулированную в виде, определяемом работой с дискретными отсчётами. Параллельно шла работа по другим направлениям. Сначала мы просто старались понять разработанную в квантовой механике технику решения обратных задач рассеяния – например, метод союзных фундаментальных элементов Шмидта. Этот подход сейчас хорошо развит в квантовой теории поля для описания спутанных состояний, а тогда мы использовали его для решения конкретных акустических задач. Постепенно о результатах, полученных в нашей группе, стали узнавать математики, занимающиеся развитием методов решения обратных задач и заинтересованные в применении своих подходов для практических задач. В это время к нам в лабораторию пришёл в гости молодой сильный математик Михаил Игоревич Белишев. Он рассказал о своих новых идеях для решения обратных задач рассеяния методами граничных уравнений и был приятно удивлён, что его понимают в нашей группе. Именно М.И. Белишев привёл к нам тогда ещё аспиранта мехмата МГУ Романа Геннадьевича Новикова, который в это время “кристаллизовал” свою идею решения обратных задач в приложении к квантовой механике, базируясь, прежде всего, на результатах Л.Д. Фаддеева. Это положило начало нашему тесному творческому сотрудничеству с Р.Г. Новиковым, которое продолжается по сей день.

К концу 1990-х гг. в нашей группе уже активно занимались различными аспектами решения обратных задач. Так, над теоретическим анализом и численным моделированием работали Андрей Алексеевич Горюнов, Александр Валентинович Сасковец,



А.В. Сасковец (начало 1980-х гг.)

Сергей Викторович Байков, Татьяна Алексеевна Тихонова, Михаил Николаевич Рычагов, Инесса Петровна Прудникова, Ольга Дмитриевна Румянцева. Экспериментаторы Евгений Яковлевич Тагунов и Александр Викторович Глазков занимались реализацией простейших схем томографии в лабораторных условиях. Была создана первая экспериментальная установка, представляющая собой бассейн с дном квадратной формы примерно метрового размера, в который



Е.Я. Тагунов и А.В. Глазков за экспериментальной установкой (конец 1980-х гг.)

наливался слой воды глубиной около одного сантиметра. В получившемся тонкослойном волноводе на частотах 100-150 кГц возбуждались одна-две низшие моды, которые рассеивались на помещённых в воду объектах, моделирующих неоднородность. В результате была впервые получена диаграмма рассеяния, на основе которой удалось реализовать алгоритмы восстановления неоднородностей двух типов. Один тип – в виде пластин различной формы, которыми накрывали поверхность воды; при этом изменялось граничное условие, мода становилась другой конфигурации, менялась её фазовая скорость. Для создания другого типа неоднородностей делали из тонкой прозрачной плёнки контур, в который наливали различные жидкости: солёную воду, спирт или другие растворы. К всеобщему удивлению, получились очень качественные результаты восстановления этих форм. В 1989 г. А.А. Горюнов и А.В. Сасковец опубликовали книгу «Обратные задачи рассеяния в акустике».

Получив первый опыт, было решено пойти на весьма авантюрную затею – ринуться в самую «крутую» современную математическую физику и, несмотря на нашу всё-таки ещё очень слабую на тот момент теоретическую базу, разобраться в общих функционально-аналитических подходах решения обратных задач рассеяния. Мы старались понять уже на уровне практической акустики те очевидные для математиков истины, которые позволяют ответить на вопросы, почему есть ограничения на работоспособность того или иного алгоритма восстановления, на силу рассеивателя, что определяет

возникновение неединственности решения, неустойчивости и другие ограничения, которые свойственны разным алгоритмам реконструкции. В итоге удалось понять физические принципы, выяснить, почему важны те или иные аспекты. После этого нами стали постепенно развиваться модели решения уже настоящих обратных задач, теперь безотносительно к какому-то конкретному содержанию.

В то время у академика Людвиг Дмитриевича Фаддеева было научное соревнование с другим всемирно известным учёным из этой же области – Роджером Ньютоном. Л.Д. Фаддеев рассматривал многомерные обратные задачи рассеяния для решения проблем солитоники, в то время как Р. Ньютон изначально занимался рассеянием как таковым. Хорошо известна книга Р. Ньютона «Рассеяние волн и частиц», многократно издававшаяся во многих странах. Впоследствии Р. Ньютон стал заниматься решением функциональных задач (которые рассматривал и Л.Д. Фаддеев), а спустя некоторое время опубликовал книгу «Обратные задачи уравнения Шрёдингера». Первый алгоритм решения обратной задачи рассеяния был получен этими двумя учёными практически одновременно. Однако оказалось, что понять предложенный подход весьма непросто. Когда этот алгоритм был опубликован, никто не смог придумать ни одного способа его практической реализации для решения хотя бы одной прикладной задачи. Для реализации функциональных методов применительно уже к обратным задачам акустики мы выбрали алгоритм, который был предложен Р.Г. Новиковым в соавторстве с П.Г. Гриневичем и С.В. Манаковым на основе результатов Л.Д. Фаддеева. Как оказалось, такой подход позволяет получить единственное решение и обладает приемлемой помехоустойчивостью, что делает его привлекательным для акустических приложений. В 1998 г. наши первые результаты численных экспериментов по функциональному алгоритму докладывались на международном симпозиуме в институте им. Эйлера, возглавляемом Л.Д. Фаддеевым. Демонстрировалось двумерное восстановление мелкомасштабных неоднородностей на фоне крупномасштабных образований. Работа вызвала неподдельный интерес многих из присутствующих. Это были первые численные реализации функциональных подходов в нашей стране, и, насколько нам известно, в мире. Позднее, в 2008 г., в диссертационной работе аспиранта нашей группы Николая Алексеенко была численно реализована уже трёхмерная схема функционального алгоритма Новикова. В 2007 г. В.А. Буров с О.Д. Румянцевой получили премию издательства МАИК «Наука» за цикл работ в Акустическом журнале по функциональным методам решения обратных задач рассеяния. Сейчас появилась еще одна мощнейшая вычислительная группа под

руководством известного математика Леонида Николаевича Пестова, которая также стала заниматься обратными задачами рассеяния в акустике, на базе граничных уравнений, продолжая подход М.И. Белишева на основе уравнений граничного управления.

Здесь хотелось бы вернуться к самому началу 1990-х гг., когда произошло одно важное событие. К нам обратилась небольшая группа сотрудников Института проблем управления – член-корреспондент Павел Павлович Пархоменко, Михаил Федорович Каравай и Евгений Георгиевич Сухов, впоследствии ставшие докторами наук. Они проанализировали доступные публикации по решению прикладных обратных задач акустики и, по их словам, пришли к выводу, что в нашей группе люди понимают, что делают, и было бы неплохо нам объединиться для решения какой-нибудь прикладной задачи. После

недолгих раздумий было решено сделать томограф для медицинских приложений – маммограф. Одновременно в этой работе стала участвовать группа учёных из Института прикладной гидромеханики, которой руководил Олег Вадимович Дмитриев, наш бывший аспирант. После этого мы все пошли на приём в Министерство здравоохранения с целью получить хоть какую-то финансовую



Во время морских испытаний (2005 г., Голубая Бухта, Геленджик), слева направо: К.Н. Бобов, С.В. Байков, О.В. Дмитриев, М.И. Раттэль

и организационную поддержку. Нужно было сделать доклад на диагностической комиссии Министерства с предложением заняться разработкой диагностического прибора нового поколения. Через эту комиссию проходят все новые методы диагностики, поддерживаемые Министерством здравоохранения России. Как ни странно, нас выслушали с большим интересом, и результат был положительным, – нас решили поддержать. На полученные деньги удалось начать изготавливать первый прототип томографа. П.П. Пархоменко с сотрудниками была решена нетривиальная задача: они нашли такую схему расположения приёмоизлучающих преобразователей в разреженной антенной решетке, которая позволяла на порядок сократить количество преобразователей (26 вместо 256). М.Ф. Караваем была осуществлена реконструкция блоков управления поворотным столом, а Е.Г. Сухов возглавлял различные работы, связанные с математическим обеспечением томографа и имевшие

целью восстановить, в результате обработки экспериментальных данных, скорость звука и коэффициент поглощения в томографируемом объекте на основе общей теории обратных задач. Изначально для томографа в нашей группе самостоятельно придумали двухшаговый алгоритм восстановления, но, как впоследствии оказалось, здесь мы были не одиноки, – аналогичный подход был реализован американскими учёными под руководством Джой Джонса, с которыми позднее мы часто общались на конференциях. Сейчас в лаборатории идёт работа над приложением функциональных методов к разрабатываемой томографической системе.

Кроме того, наша аспирантка Инесса Прудникова занималась разработкой итерационных алгоритмов для решения обратной граничной задачи рассеяния (защита кандидатской диссертации в 1998 г.). Проблеме повышения разрешающей способности в направлении, перпендикулярном плоскости томографирования, а также трёхмерной акустической томографии при неполных данных была посвящена диссертационная работа аспиранта группы Алексея Конюшкина (2000 г.). В качестве дополнительного прикладного аспекта, в диссертации ещё одной нашей аспирантки Елены Ким (2006 г.) разработаны методы спектрального и морфологического анализа акустических изображений биологических тканей и композитных структур.

Опыт создания практических систем медицинской томографии позволил приступить в 2004 г. к разработке томографа другого типа – нелинейного томографа, который, насколько нам известно, не имеет в настоящее время аналогов в мире по принципу действия, разрешающей способности и количеству восстанавливаемых характеристик биологической ткани. Нелинейной томографией в те годы никто не занимался. Сейчас уже появляются отдельные группы исследователей, например в Китае, делающие попытки реализовать такой тип томографии. А началось всё в группе с Ирины Евгеньевны Гуринович, которая пришла к нам ещё студенткой. Однако задачей нелинейной томографии она стала заниматься позднее, будучи аспирантской. В то время ею была рассмотрена задача для монохроматического источника (1993 г.), показавшая, что в этом случае для организации процесса нелинейного томографирования требуется много направлений облучения, что является условием, трудно реализуемым на практике. Тогда Е.Я. Тагунов заметил, что теорема взаимности обобщается на нелинейное рассеяние. Сейчас это очень интересный факт в нелинейной томографии. По теореме взаимности можно получить два изображения восстанавливаемого рассеивателя на разных первичных волнах. Если эти изображения будут одинаковыми, то среда однородная по своим линейным

характеристикам (скорости звука и коэффициенту поглощения), и есть неоднородности только нелинейного параметра. Если же среда неоднородна по линейным характеристикам, то изображения немного отличаются, и на этом можно уже строить алгоритмы реконструкции неоднородных пространственных распределений скорости звука и коэффициента поглощения. Первые прототипы нелинейного томографа были реализованы нашими аспирантами Семёном Евтуховым и Андреем Шмелёвым, которые впоследствии с успехом защитили свои кандидатские диссертации в 2007 и 2011 гг., соответственно. Сейчас развитием методов нелинейной томографии занимается аспирант Роман Крюков.

Третий тип (помимо нелинейного томографа и маммографа) томографической системы, развитием которой занимается лаборатория, является термотомограф. Термотомография – это новый, ещё мало изученный подход, за практическую реализацию которого мы взялись сравнительно недавно, хотя теоретические исследования были начаты нашей аспиранткой Еленой Касаткиной в конце 1990-х гг. Распределение температуры внутри биологического объекта является важной его характеристикой. По значению температуры можно судить об уровне метаболизма клеток и кровоснабжения исследуемой области. Это позволяет судить на ранней стадии о присутствии внутри объекта раковой опухоли, которая характеризуется повышенным уровнем метаболизма и, как следствие, более высокой температурой. В группе разрабатываются специальные алгоритмы обработки, направленные на повышение чувствительности такого типа томографирования, а также ведутся работы по созданию термоакустического томографа с фокусирующими элементами. Сейчас занимается этим наш аспирант Сергей Логинов.

Непосредственное участие в создании экспериментальных установок по ультразвуковой диагностике принимали Михаил Иванович Раттэль и Кирилл Николаевич Бобов. Например, М.И. Раттэлем создан ряд новых типов преобразователей, получивший высокую оценку специалистов, а К.Н. Бобову принадлежит разработка аналогово-цифрового блока медицинского ультразвукового маммографа. Нельзя не отметить большую заслугу в области



Аспирант Роман Крюков демонстрирует работу нелинейного томографа на телеканале Вести-24 (2012 г.)

конструкторских работ при разработке маммографа Бориса Александровича Фалеева, сотрудника Института проблем управления, а также вклад безотказных механиков нашей кафедры Геннадия Васильевича Романова, Валерия Александровича Рожкова и Максима Николаевича Афонаина.

В 2011-2012 гг. в рамках совместного сотрудничества с лабораторией мехмата МГУ, возглавляемой всемирно известным учёным профессором Борисом Анатольевичем Дубровиным, было закуплено новое оборудование, на основе которого сейчас происходит модернизация существующих и создание новых практических схем медицинской томографии. В этом процессе принимает участие Ольга Дмитриевна Румянцева, которая уже долгие годы занимается применением общих методов решения обратных задач акустики в медицинских приложениях и фактически курирует проводимые работы. Важный результат, который удалось получить за последние годы, – это существенное сокращение времени обработки первичных данных для получения томографических изображений, что позволяет сейчас в режиме, близком к режиму реального времени, получать изображения внутренней структуры исследуемых объектов. Таких результатов удалось достичь благодаря применению технологий параллельного программирования на графических процессорах (CUDA). Эти подходы были реализованы для разрабатываемых томографов нашим сотрудником, в недавнем времени студентом группы Дмитрием Зотовым. Используя сотни и даже тысячи ядер, содержащихся в видеокарте, мы получили “кластер на столе” – персональный компьютер с огромными вычислительными мощностями. Полученные результаты ускорения вычислительных процессов были настолько впечатляющими, что за Димой прочно закрепилось звание «кудесник» (производное слово от CUDA). По-видимому, мы были одними из первых, кому удалось успешно применить технологию CUDA к решению обратных задач.

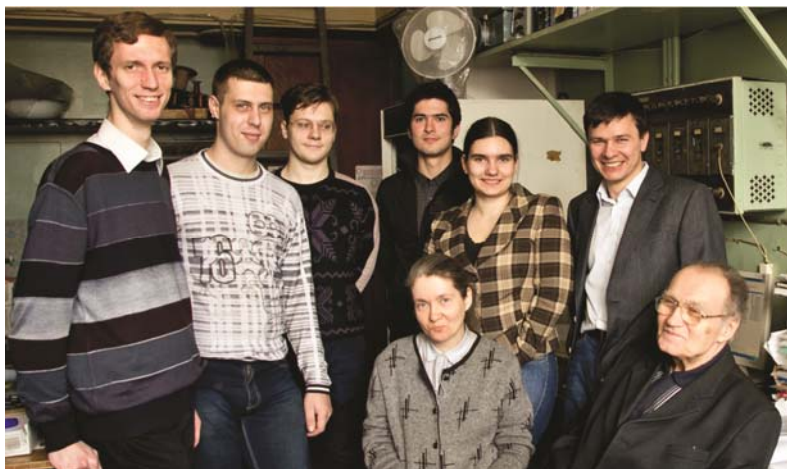
Помимо медицинской томографии, в лаборатории активно занимаются другим приложением обратных задач акустики – акустической томографией океана. К настоящему времени в группе разработана схема томографического восстановления скалярно-векторных неоднородностей в океане (содержащих и течения, и возмущения скорости звука). Предложены подходы, позволяющие решить ряд технических проблем, связанных с реализацией таких томографических схем. Вопросами модовой томографии океана с учётом течений активно занимался выпускник нашей группы Сергей Викторович Байков, который сейчас сотрудничает с Акустическим институтом. Заметный вклад в развитие методов томографии течений внес другой наш аспирант, а теперь доктор физико-математических

наук, руководитель отдела обработки изображений и видеосигналов Исследовательского центра Samsung Electronics Михаил Николаевич Рычагов. Важное развитие методов трёхмерной акустической томографии океана было получено в дипломной работе нашего выпускника Алексея Шмелёва, где разложение по эмпирическим ортогональным функциям удалось применить для описания трёхмерных океанических неоднородностей. Впоследствии Алексей с успехом защитил диссертацию и получил степень Ph. D. в престижном Массачусетском технологическом институте (MIT) и сейчас продолжает



М.Н. Рычагов на совещании
в компании Самсунг
Электроникс (2006 г.)

работать в США. В настоящее время работы по развитию методов акустического мониторинга морских акваторий ведутся сотрудниками лаборатории Сергеем Николаевичем Сергеевым и Андреем Сергеевичем Шурупом. Недавно получены результаты, показывающие принципиальную возможность и конкретные пути практической реализации пассивной томографии мелкого моря. Разработкой методов томографического восстановления характеристик дна шельфовых морей занимается аспирантка Алиса Щербина.



Аспиранты и сотрудники лаборатории обратных задач (2013 г.). Слева направо стоят: н.с. К.В. Дмитриев, физик Д.И. Зотов, аспиранты С.В. Логинов, Р.В. Крюков, А.В. Щербина, с.н.с. А.С. Шуруп. Сидят: ст. преп. О.Д. Румянцева и проф. В.А. Буров.

Помимо уже традиционного направления создания практических схем томографии, в лаборатории занимаются и фундаментальными вопросами. Так, например, в диссертационной работе Сергея Морозова (2001 г.) была установлена аналитически и проверена численно жёсткая связь между амплитудой и фазой рассеяния, что, по мнению рецензента этой работы, являлось «новым фундаментальным результатом в акустике». В настоящее время эти результаты были развиты и обобщены молодым сотрудником Константином Дмитриевым. В его научные интересы входит, кроме того, моделирование волновых процессов в «дважды отрицательных» акустических средах, исследование которых является новой тенденцией в современной акустике. Разработанные методы аналитического описания таких процессов позволяют по-новому взглянуть на фундаментальные проблемы причинности при распространении волн в этих средах.

В настоящее время лаборатория обратных задач акустики является одной из самых молодых на кафедре (несмотря на «преклонный» возраст автора этих строк), а круг решаемых задач весьма обширен и разнообразен.

АЭРОАКУСТИКА И АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

П.Н. Кравчун

Исторически первыми научными направлениями кафедры акустики МГУ были архитектурная акустика и акустика океана. В 1940–60-е гг. научным лидером обоих направлений был заведующий кафедрой Сергей Николаевич Ржевкин. Вокруг него сформировались две научные группы: архитектурной акустикой и разработкой звукопоглощающих систем занимались К.А. Велижанина и И.В. Лебедева, а акустикой моря – В.С. Нестеров, Л.Н. Захаров, О.С. Тонаканов, К.В. Чернышев, Ф.В. Рожин и другие. Граница между группами была «проницаемой», но только со стороны морских акустиков (все они так или иначе касались проблем аэроакустики и борьбы с шумом, но «воздушные» акустики морскими задачами не занимались). В области воздушной акустики и борьбы с шумом разрабатывались как теоретические, так и прикладные проблемы; среди последних были, например, вопросы акустической обработки салона первого реактивного пассажирского самолета Ту-104 (С.Н. Ржевкин), снижение шума на первых советских судах на подводных крыльях (К.А. Велижанина, И.В. Лебедева), разработка

резиновых звукопоглотителей для корпусов подводных лодок (К.В. Чернышев), проблемы акустики Дворца съездов в Кремле (С.Н. Ржевкин) и другие. Отчасти к этому направлению примыкали и работы С.Н. Ржевкина и Л.С. Термена в области музыкальной акустики. Впоследствии к исследованиям в этом направлении в разное время присоединились и другие сотрудники, среди которых были О.С. Тонаканов, Л.Н.Захаров, В.И. Павлов, А.Н. Иванников и А.Н. Жуков (интенсиметрия, инфразвук, снижение шума на автомобилях), а также ныне работающие на кафедре С.Г. Михайлов (шумы турбулентного обтекания, активные методы снижения шума и вибрации), Н.С. Виноградов (методика акустических измерений, исследования источников звука), В.А. Гордиенко и Б.И. Гончаренко (их работы описаны в другой статье этого сборника), А.В. Шанин (теоретические вопросы дифракции в акустике помещений), В.А. Гусев (нелинейные волновые процессы в турбулентной атмосфере) и автор этих строк (акустика органных залов и вопросы органостроения, вопросы авиационной акустики, разработка реактивных глушителей и методов измерений). Все эти сотрудники также занимались задачами и в других областях акустики, но здесь будем говорить только об аэроакустике и борьбе с шумом.

Разнообразие задач воздушной акустики и методов их решения, а также вовлеченность упомянутых сотрудников в решение проблем, относящихся к другим направлениям акустики, привели к тому, что в настоящее время чётко оформленной группы воздушной акустики на кафедре не существует, но можно говорить о существовании направления аэроакустики и архитектурной акустики. Сотрудники кафедры работают в рамках этого направления, находясь не в строгой иерархической системе «обычной» научной группы с ярко выраженным лидером, а как равноправные участники исследований разных задач, взаимодействуя так или иначе друг с другом и сотрудниками других научных центров (обсуждения, обмен литературой, совместные публикации, гранты и т.п.). При этом малое количество сотрудников кафедры «перекрывает» довольно широкий спектр задач. Это, на наш взгляд, очень важно для создания и поддержания на сравнительно малочисленной университетской кафедре научного коллектива, компетентного в разных направлениях современной акустики.

Важным преимуществом кафедры является наличие на физфаке МГУ уникальных помещений, специально спроектированных для аэроакустических измерений – реверберационной и заглушенной (безэховой) камер, каждая из которых занимает в высоту по 2 этажа и имеет виброизолирующую «развязку» от стен факультета. Эти помещения используются и в учебном процессе, являясь

экспериментальной базой для лабораторных работ студентов 4-го курса.

В этом очерке кратко охарактеризованы работы в указанном направлении (главным образом, те, в которых участвовал автор). Основное внимание уделяется прикладным сторонам, которые часто остаются «за кадром».

Начиная с 1950-х гг., работы в области архитектурной акустики на кафедре постепенно трансформировались в направление, связанное с исследованием и созданием новых типов звукопоглощающих систем, в том числе при высоких уровнях звукового давления (С.Н. Ржевкин, В.С. Нестеров, К.А. Велижанина, И.В. Лебедева и другие), а также реактивных глушителей шума (К.В. Чернышев, автор этих строк и другие).

Говоря об исследованиях и создании реактивных глушителей шума в каналах, которыми автору этого очерка довелось заниматься сначала под руководством К.В. Чернышева, а затем самостоятельно, надо отметить, что эта проблема ранее была хорошо изучена только в классе одномодовых расширительных камер (когда распространяющейся в глушителе является только поршневая мода). Наши же исследования касались многомодовых систем, где благодаря деструктивной интерференции распространяющихся и нераспространяющихся мод возникали совершенно другие явления, не имевшие аналогов в одномодовых глушителях и открывавшие новые возможности. Удалось обнаружить, что в многомодовых системах при определённом выборе параметров глушителя наблюдается эффект самоподстройки инерционного и упругого импедансов, приводящий к резонансу «взаимного» импеданса глушителя и очень высоким уровням глушения на некоторых частотах, а также и другие интересные явления, важные для практической акустики.

Поначалу исследования носили чисто теоретический характер, но в начале 1980-х гг. они вылились в договор с авиационным ОКБ им. А.Н. Туполева, и мы совместно начали работать над применением многомодовых систем для снижения шума на турбореактивных пассажирских самолетах. Позже круг задач стал расширяться. Выяснилось, что предлагаемые кафедрой системы имеют важные преимущества с точки зрения авиации: они очень лёгкие, могут быть выполнены из обычных недорогих авиационных материалов, технологичны в производстве, не требуют применения звукопоглощающих материалов, негигроскопичны (внутри самолета обычно накапливается конденсат), не нуждаются в техобслуживании, имеют практически неограниченный ресурс и абсолютно несъедобны (для мышей, термитов и т.п.). Именно тогда я понял, что «чистая»

теория в акустике может очень мало значить, если не учитываются реальные условия её применения на практике. После того, как были определены оптимальные параметры глушителей, на опытном заводе Туполева на набережной Яузы были изготовлены разные глушители для систем кондиционирования (имелась в виду кабина экипажа Ту-154), испытания которых проходили на специальном стенде в ОКБ С.В. Ильюшина. Для сравнения параллельно испытывались также глушители, разработанные ильюшинцами, и глушители, снятые с Боинга, незадолго до того пересекшего незаконно границу СССР и посаженного нашими перехватчиками на лёд озера в Карелии. Вообще говоря, глушители в реальном самолёте «живут своей жизнью», поскольку работают в условиях постоянно меняющихся температур и скоростей потока, а также вибраций. К счастью, разработанные на кафедре глушители оказались довольно устойчивыми к этим факторам и менять их конструкцию не пришлось.

В ОКБ Туполева и ОКБ Ильюшина мне довелось участвовать в обсуждениях и других задач внутренней акустики самолётов (уменьшения шума устройств обдува членов экипажей и стёкол кабины пилотов, оптимизации уровня звука аварийной сигнализации в кабине пилотов, снижения шума при обдуве дверей, иногда примерзавших в условиях низких температур (на Ту-154), шума системы кондиционирования сверхзвукового Ту-144, низкочастотного шума в кабине турбовинтовых самолётов на лопастной частоте и др.). Многие встречи и обсуждения (с главным аэродинамиком ОКБ



В ОКБ им. А.Н. Туполева. Слева направо: главный конструктор Ту-134 и Ту-154
А.С. Шенгардт и доцент кафедры акустики П.Н. Кравчун

Туполева Георгием Алексеевичем Черёмухиным, главным конструктором Ту-134 и Ту-154 Александром Сергеевичем Шенгардтом, Генеральным конструктором авиационных и ракетных двигателей Николаем Дмитриевичем Кузнецовым, ведущими конструкторами самолётов) были очень полезными и запомнились не только конкретным содержанием, но и ощущением общения с масштабными личностями и крупными специалистами. Удивительно, но эти без преувеличения легендарные люди были очень простыми и лёгкими в общении, гостеприимными, нисколько не стеснявшимися, скажем, предложить в конце делового разговора выпить чашечку кофе с коньяком и поговорить на другие темы. Когда исследования перешли в практическую плоскость, итоговое заключение о работе дал видный авиаконструктор, заместитель С.В. Ильюшина Яков Александрович Кутепов – обладатель, кажется, всех титулов, которые мог иметь авиаконструктор (Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственных премий и др.), мрачноватый с виду, порой резкий в высказываниях, однако на деле глубоко интеллигентный человек. Отзыв с его подписью до сих пор хранится у меня дома. Попутно пришлось создавать и новые методы акустических измерений в каналах с потоком, в частности, с неизвестными газодинамическими параметрами среды (совместно с В.В. Турмачевым). В результате было получено 3 свидетельства на изобретения. Участие в этих, казалось бы, чисто прикладных работах создавало ощущение нужности, полезности нашей работы, вовлечённости в интересное, важное практическое дело.

Позже основное внимание в нашей лаборатории было перенесено на другие задачи (акустика океана), и авиационная тема отодвинулась на второй план, а затем и вовсе была отложена «до лучших времен». Однако накопленный опыт и возвратившийся в последние годы интерес к этой теме, стимулированный отчасти сотрудничеством с авиакомпанией «Россия» в Петербурге, привели к возобновлению исследований многомодовых глушителей на кафедре (в них принял участие также студент А.В. Бровкин, защитивший диплом в декабре 2012 г.). Эти исследования уже не были жёстко «привязаны» к практическим задачам, главное внимание было уделено физическим аспектам, которые на первом этапе остались «в тени»: дисперсионным характеристикам многозвенных глушителей, роли мод высших порядков в формировании полос не пропускаения, оптимизации и методам синтеза многомодовых систем существенно шире, чем казалось ранее. Возможно, если ситуация в нашей авиационной отрасли изменится к лучшему, эти результаты смогут найти практическое

применение. В ближайших планах – изучение возможностей градиентных звукопоглотителей.

Затронув тему сотрудничества с государственной авиакомпанией «Россия» (ранее она называлась «Пулково») в Петербурге, начавшегося с весны 2007 г., надо сказать, что это была очень интересная и своеобразная работа. Здесь не было «строгой» науки, не надо было строить теоретические модели, но была работа с реальной авиационной техникой, её проблемами и общение с опытными летчиками и инженерами. Здесь пришлось столкнуться с довольно специфическими источниками шума и вибраций – например, резонансными колебаниями коробов системы кондиционирования, возникающими из-за плохого крепления и сочленения с турбохолодильником, высокочастотным шумом от гироскопов курсовой системы, установленной под полом пассажирского салона, сильной вибрацией в момент взлёта из-за дисбаланса колеса еще вращающегося в воздухе шасси и др. Обсуждались и вопросы схем малошумного взлёта и схем захода на посадку. Пришлось изучать конструкцию самолётов, проводить дни в лётных отрядах и на авиационно-технической базе, лазая по самолётам и забираясь с авиатехниками и инженерами под пол кабины, в люки, под вскрытые панели обшивки, где стояло шумящее оборудование. Это была хорошая школа. Наконец, пришлось потренироваться в Центре лётных тренажеров, а затем в Учебно-тренировочном центре в «Пулково», знакомясь с лётной эксплуатацией и занимая на тренировках место то второго пилота, то бортмеханика (здесь очень помог опыт полётов в аэроклубе, где начал летать незадолго до того). Хотя это не относилось напрямую к задачам акустика, но позволяло понять реальные условия лётной эксплуатации. В итоге при необходимости меня стали допускать к полётам в кабине экипажа в обычных рейсах Ту-134. Это

намного упрощало понимание проблем. Сейчас ситуация быстро меняется, авиакомпании летают главным образом на самолётах иностранного производства, схема работы с ними совсем другая (техобслуживание часто проводится за рубежом или иностранными специалистами), и в последнее время пришлось ограничиться ролью



В полёте на Ту-134А (фото П.Н. Кравчуна)

наблюдателя (хотя знакомство с Боингами и Эйрбасами и заложенными в них техническими решениями весьма полезно).

Говоря о шуме и методах его снижения, отметим работы, проводимые на кафедре Сергеем Геннадьевичем Михайловым. После завершения работ по шумам обтекания (большой опыт этих работ, в том числе экспериментальных, он приобрел в ЦНИИ «Гидроприбор», в совместных работах с А.В. Смольяковым из ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, а также на нашей кафедре) он обратился к активным методам снижения шума, в частности, применительно к кораблестроению. Упрощённо говоря, активные методы позволяют уменьшать шум, создавая противофазное с ним вторичное поле. Другими словами, основой активного гашения является формирование с помощью специальных излучателей акустического поля, подавляющего исходное.

Основное направление развития активных методов – это снижение вредного действия интенсивного звука и вибрации и повышение комфортности помещений, а также снижение шумовых выбросов в самых различных областях человеческой деятельности, прежде всего на транспорте и в энергетике. С.Г. Михайловым выполнены теоретические и экспериментальные исследования, направ-



С.Г. Михайлов у трубопровода охлаждения корабельной турбины с аппаратурой активного гашения

ленные на углубление понимания физической сути и потенциальных возможностей методов активного гашения звука и вибраций. С точки зрения физики наибольший интерес представляет изучение возможности создания с помощью активных методов акустически невидимого тела, которое обладает следующими свойствами: оно не излучает звук, не отражает падающие на него звуковые волны и не создает акустической тени. В течение нескольких последних лет С.Г. Михайловым разработана оригинальная теория акустически невидимого тела на основе управления перемещением его поверхности с применением глубоких локальных отрицательных обратных

связей, показавшая практически реализуемый путь решения задачи. В выполненных им одномерных экспериментах в воде впервые в России получены позитивные результаты по снижению собственного излучения тела в направлении заданной оси и по отражению падающих волн, показавшие правильность теоретических предпосылок и перспективность этого направления. При этом получено снижение коэффициента отражения до 100 раз и снижение собственного излучения в 3–4 раза.

Большой объём работ в области воздушной акустики провел в последние годы Николай Сергеевич Виноградов. Имея огромный

опыт проведения сложных и масштабных акустических измерений в натуральных условиях в гидроакустике, он обратился затем к задачам воздушной акустики. Благодаря его усилиям в звукомерной (безэховой) камере кафедры создан уникальный измерительный комплекс для исследований источников звука разных типов. Более 10 лет он является



Справа налево: заведующий кафедрой акустики академик О.В. Руденко, вед. инженер Н.С. Виноградов, проф. В. Лаутерборн (Германия) и проф. Л. Крам (США) обсуждают ход эксперимента в безэховой камере кафедры акустики

руководителем созданной на базе этого комплекса Испытательной лаборатории акустического и вибрационного контроля, аттестованной Госстандартом РФ. В лаборатории, в частности, были выполнены работы по конструированию и исследованию характеристик направленных антенных решёток высокой интенсивности для звукового и ультразвукового диапазонов частот. Интересные прикладные работы были посвящены оценке качества акустических систем (колонок) разных мировых производителей. Н.С. Виноградов является одним из организаторов и исполнителей руководимого ректором МГУ общеуниверситетского проекта «Восстановление системы мониторинга высотного здания МГУ».

На кафедре получили развитие также исследования нелинейных акустических процессов в турбулентной стратифицированной атмосфере, проводимые Владимиром Андреевичем Гусевым. Акустические волны вызываются не только геофизическими

процессами различного рода – сейсмической активностью и землетрясениями, поверхностными волнами, извержениями вулканов и другими катаклизмами, но могут и специально излучаться для передачи информации, изучения свойств атмосферы, а также быть следствием техногенных процессов, в том числе взрывного характера. Показано, что убывание плотности атмосферы с высотой, вызывающее экспоненциальную раскачку амплитуды акустических волн, приводит к образованию ударных фронтов даже для изначально слабых сигналов. В результате акустические волны могут доходить до верхних слоев атмосферы и за счёт ускорения заряженных частиц генерировать электромагнитные волны, т.е. реализуется эффективное взаимодействие волновых процессов различной природы между земной корой и атмосферой. Исследование механизмов такого взаимодействия, особенностей распространения волн в турбулентной стратифицированной атмосфере способствует развитию новых дистанционных методов мониторинга сейсмической и вулканической активности, источников звука взрывного происхождения, а также открывает возможности развития методов расчёта акустического воздействия сверхзвуковых самолетов на наземные объекты.

Переходя к архитектурной акустике, отмечу, что в нашей стране большой шаг вперед в этой области был сделан в конце 1930-х гг. в связи с проектированием Дворца Советов, в котором активное участие принимал основатель кафедры С.Н. Ржевкин. Это грандиозное здание на месте разрушенного (теперь уже воссозданного) Храма Христа Спасителя так и не было построено, но послужило стимулом к развитию научных направлений, связанных с архитектурой и строительством, в том числе и акустики.

Возобновление работ по архитектурной акустике на кафедре относится ко второй половине 1980-х гг., когда при поддержке Владимира Александровича Красильникова, заведовавшего кафедрой до 1987 г., автор этих строк начал исследования и практические работы в области архитектурной акустики органных залов и акустики органа («органной акустики»). Когда на кафедру впервые обратились с просьбой помочь в выборе здания для органного зала (во Владивостоке), и В.А. Красильников «отписал» эти бумаги мне, я пришёл к нему и спросил: «Владимир Александрович, задача вроде бы понятная, но мы же этим никогда не занимались. Лететь во Владивосток и заниматься этим или нет?» Владимир Александрович ответил: «Конечно, заниматься! Ведь это же и есть настоящая акустика!»

После Владивостока аналогичные работы были проведены в Ижевске, Казани, Набережных Челнах, Елабуге, Светлогорске, Нижнем Новгороде, Москве и Подмосковье, Санкт-Петербурге,

Перми, Барнауле, Белгороде, Калининграде, Челябинске и других городах.

Наиболее важными работами в 1990-е и 2000-е гг. в области архитектурной акустики, в которых мне довелось участвовать, были акустические решения концертных залов в Москве (Большой и Малый залы Музыкального училища им. Гнесиных, Храм Памяти – синагога на Поклонной горе), Санкт-Петербурге (концертные залы Школы искусств им. Е.А. Мравинского и Школы искусств им. А.П. Бородина, репетиционный зал Академической Капеллы), Нижнем Новгороде (Концертный зал Нижегородской консерватории), Казани (Государственный Большой концертный зал Республики Татарстан), Перми (Органный зал Пермской филармонии), Барнауле (Концертный зал Филармонии Алтая), Набережных Челнах (Органный зал), Калининграде (Концертный зал Музыкального училища им. С.В. Рахманинова), Ярославле (Концертный зал филармонии), Челябинске (Органный зал – реконструкция бывшего кинотеатра «Родина»). Многие акустические проекты из числа перечисленных были разработаны совместно с В.Н. Суховым и М.Ю. Ланэ (НИИСФ, МНИИП).

Особую ответственность представляла реставрация Концертного зала и органа Академической Капеллы Санкт-Петербурга (2003-2007 гг.), где необходимо было вернуть первоначальную, оригинальную акустику известного на весь мир зала, построенного в 1887–89 гг. выдающимся архитектором Л.Н. Бенуа, а также создать и курировать на практике проект аутентичной реставрации уникального исторического органа немецкой фирмы «Walker» (1891 г.). К счастью, работа завершилась удачно (Ассоциация органистов и органных



Орган Московского международного Дома музыки (проспект и пульт)



Орган Академической Капеллы Санкт-Петербурга (проспект и пульт)

мастеров Международного союза музыкальных деятелей отметила её специальным дипломом, хорошие отзывы были и в СМИ).

В области органной акустики и органостроения довелось участвовать в ряде проектов, знаковых для музыкальной культуры России (упомяну лишь наиболее значимые): реставрация старейшего органа Москвы (Ладегаст, 1868 г.) в Государственном центральном музее музыкальной культуры (1996-98 гг.), новый концертный орган (самый большой в Москве по количеству регистров) и орган-позитив в Московском международном Доме музыки (2001–2004 гг.), реставрация исторического органа и новый орган-позитив в Концертном зале Академической Капеллы Санкт-Петербурга (2005-2007 гг.), новый концертный орган и орган-позитив в Органном зале Пермской филармонии (где при участии кафедры было разработано и акустическое решение зала) (2000–2003 гг.), реконструкция органа Астраханской консерватории (2002–2003 гг.), новый передвижной орган в Органном зале Государственного музея-заповедника «Царицыно» в Москве (2006-2008 гг.), новый орган основной сцены Большого театра в Москве (2010-2013 гг.). Попутно прошел две стажировки как органный мастер (в Бонне и под Дрезденом).

При создании новых органов и реконструкции инструментов решались вопросы выбора пространственной схемы инструмента (размещения регистров), его звукового стиля и диспозиции (набора регистров), мензур (параметров труб) органа, создания его проспекта (фасада), расположения и схемы пульта органиста, интонировки органа и др. При реставрации исторических органов выбирались решения, соответствующие стилю органостроителя, создавшего

когда-то данный инструмент, для чего анализировались исторические вопросы органостроения в целом и история органостроения в данном регионе. Накопленный материал оказался столь велик, что издано уже 6 книг и несколько брошюр на эту тему, а львиная доля материала пока так и не опубликована.

В некоторых залах одновременно решались проблемы уменьшения шума, звуко- и виброизоляции органа (если надо было защитить орган от транспортной вибрации или обеспечить возможность одновременного использования органного зала и смежных с ним аудиторий). В 2012 г. довелось принять участие в наладке органного режима первой в России акустической системы «электронной архитектуры» в Московском международном Доме музыки (фирма “Meyer Sound”, США).

Итоги работ, выполненных на кафедре в области архитектурной и органной акустики, и проблемы в этой области освещены не только в обычных научных публикациях, но и в энциклопедии «Органы России» (грант Президента РФ для творческих проектов общенационального значения 2011-12 гг.), а также в телевизионных научно-популярных фильмах «Московские профи» (канал «ТВ-Центр», 2009 г.), «Фуга для петербургского органа» (Санкт-Петербург, 2012 г.) и «Акустические технологии» (канал «Москва 24», 2012 г., <http://www.m24.ru/videos/6314>).

Исследования на кафедре в области аэроакустики, борьбы с шумом, архитектурной и органной акустики продолжают развиваться (звукоизолирующие системы, активные методы, теоретические вопросы дифракции в акустике помещений, акустика органных залов, исследования источников звука, методы акустических измерений и др.).

НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА

А.И. Коробов

Создание научного направления «Нелинейная акустика твёрдого тела» связано с пионерскими работами, выполненными в начале 1960-х гг. В.А. Красильниковым и Л.К. Зарембо с сотрудниками. В.А. Красильников со своим аспирантом А.Ф. Гедройцем в 1960 г. впервые экспериментально наблюдал генерацию второй акустической гармоники в магниевом сплаве. Ими были объяснены физические механизмы акустической нелинейности, ответственные за генерацию гармоник: было показано, что нелинейность связана с ангармонизмом

кристаллической решетки (физическая нелинейность) и нелинейной связью механического напряжения и деформации (геометрическая нелинейность). В этой же работе было получено классическое аналитическое выражение, связывающее амплитуды основной частоты и второй упругой гармоники в твёрдых телах.

Как известно, в совершенных изотропных твёрдых телах чётные сдвиговые акустические гармоники не генерируются. Однако в телах, где имеются неоднородности структуры – дислокации, микротрещины, остаточные напряжения и другие неоднородности, этот запрет снимается. Это было убедительно продемонстрировано в работе, выполненной В.А. Красильниковым, Л.К. Зарембо, А.А. Гедройцем в 1963 г. В их экспериментах при небольшом локальном давлении или локальном нагревании образца происходила генерация второй сдвиговой гармоники. Такое же явление наблюдалось в различных кристаллах и изотропных материалах. Было впервые показано, что в твёрдых телах наряду с геометрической нелинейностью и нелинейностью, обусловленной ангармонизмом кристаллической решётки, имеется структурная нелинейность, вызванная различного рода дефектами и неоднородностями структуры твёрдых тел. Следует подчеркнуть, что это было первое исследование, в котором указывалось на роль неоднородности структуры твёрдых тел в появлении нелинейных акустических свойств. Развитие указанных работ в дальнейшем привело к важным практическим приложениям нелинейной акустики для неразрушающего контроля различных конструкционных материалов.

Разработанные В.А. Красильниковым с соавторами чувствительные спектральные методы анализа нелинейных акустических взаимодействий открыли богатые возможности для изучения свойств твёрдых тел. На кафедре возникли новые актуальные научные направления: нелинейная акустика конденсированных сред, кристаллоакустика, акустоэлектроника, магнитоакустика, исследование фазовых переходов первого и второго рода методами нелинейной акустики.

Я поступил в аспирантуру на кафедру акустики после окончания кафедры физики колебаний в 1970 г. Моими научными руководителями в аспирантуре были профессор В.А. Красильников и доцент В.Е. Лямов, а рабочим местом была комната 4-65а. В этой комнате наша научная группа базируется и сейчас. В лаборатории 4-65а были выполнены все первые работы по нелинейной акустике твёрдого тела. Здесь проводили исследования В.Е. Лямов, О.Ю. Сердобольская, И.Ю. Солодов, К.К. Ермилин, Т.А. Маматова и С.М. Грачев. В те годы как у нас в стране, так и за рубежом проводились интенсивные исследования в области кристаллоакустики

и акустоэлектроники, и наша кафедра была одним из лидеров в Советском Союзе в этом научном направлении. Эти работы на кафедре возглавлял В.Е. Лямов. Основными материалами для кристалло- и акустоэлектроники были пьезоэлектрические кристаллы. Поэтому изучению физических свойств этих кристаллов в нашей работе уделялось большое внимание. Были проведены теоретические и экспериментальные исследования электро - и упругоакустического эффектов и их анизотропия в пьезоэлектрических и центросимметричных кристаллах и получены аналитические выражения для зависимости скорости упругих волн от величины электрического поля. К сожалению, в 1980 г. В.Е. Лямов умер. Основные научные результаты его исследований нашли отражение в монографии «Поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах» (М.: МГУ, 1983 г.)

Наши работы 1970 – 80-х гг. позволили экспериментально определить коэффициенты пьезоэффекта 3-го порядка в ниобате лития, коэффициенты электрострикции 6-го ранга в титанате стронция, а также измерить все коэффициенты упругости 3-го порядка в кристаллах титаната стронция и дигидрофосфата калия. Измерение коэффициентов было выполнено Ю.А. Бражкиным, Б.Б. Вороновым, А.И. Коробовым, В.Е. Лямовым, В.М. Прохоровым, О.Ю. Сердобольской. Многие результаты наших измерений вошли в справочник физических величин Ландольта-Бернштейна. Были проведены теоретические и экспериментальные исследования особенностей взаимодействия упругих волн конечной амплитуды в пьезоэлектрических кристаллах. Результаты этих исследований стали основой для кандидатских диссертаций А.И. Коробова и Ю.А. Бражкина.

Ю.А. Бражкин после окончания аспирантуры физического факультета работал в Московском автомеханическом институте сначала ассистентом, а затем доцентом. Он постоянно поддерживал связь с физфаком, многие годы работал на кафедре акустики совместителем и вплоть до скоропостижной кончины в 2011 г. продолжал активно участвовать в наших исследованиях, руководил студентами и аспирантами.

В 1980 г. в нашу группу пришел С.Г. Буга. Он стоял у истоков нового научного направления «Взаимодействие акустических волн с электронной подсистемой в полупроводниках и металлах», развиваемого в нашей группе. Темой



Ю.А. Бражкин

его дипломной работы и кандидатской диссертации были экспериментальные исследования влияния электронно-топологического перехода (ЭТП) на упругие свойства сплава висмут-сурьма. Эти работы на кафедре начинались «с нуля». С.Г. Бугой разработаны и созданы методика и экспериментальная установка для проведения акустических измерений в интервале температур (4.2 – 300) К в магнитных полях до 40 кЭ. ЭТП был предсказан академиком И.М. Лифшицем и связан с изменением топологии поверхности Ферми в металлах под действием внешних воздействий. И.М. Лифшиц показал, что при ЭТП ряд физических свойств металлов (в том числе упругие свойства) испытывают аномалию. С.Г. Бугой впервые было экспериментально исследовано влияние ЭТП на нелинейные упругие свойства сплава висмут-сурьма. В этих экспериментах было обнаружено аномальное увеличение упругой нелинейности при ЭТП, ранее теоретически предсказанное И.М. Лифшицем с сотрудниками. В 1984 г. дипломная работа студента кафедры А.В. Рашевского «Влияние электронного топологического перехода на упругие свойства монокристаллов сплава BiSb» (научные руководители А.И. Коробов и С.Г. Буга) заняла 3-е место на конкурсе студенческих работ имени Р.В. Хохлова. В 1984 г. С.Г. Буга защитил кандидатскую диссертацию, а в 2012 г. – докторскую диссертацию. В настоящее время он работает в должности в.н.с. в Технологическом институте сверхтвёрдых и новых углеродных материалов (ТИСНУМ).

Научную тематику, связанную с электрон-фоонными взаимодействиями в полупроводниках и металлах, продолжили Б.Б. Воронов и И.Н. Кокшайский. Экспериментальная установка, разработанная С.Г. Бугой, была ими усовершенствована. На её основе был создан автоматизированный ультразвуковой измерительный комплекс и разработаны экспериментальные методы изучения влияния внешних воздействий на линейные и нелинейные акустические свойства твёрдых тел. В это время в нашей стране не производилось научной аппаратуры для проведения акустических исследований. Поэтому электронная часть комплекса была собрана из модернизированного радиотехнического оборудования, имеющегося на кафедре. Была реализована связь экспериментальной установки с персональным компьютером. Это позволило проводить измерения в автоматическом режиме и передавать результаты эксперимента в компьютер для их хранения и математической обработки. Механическая часть установки изготовлялась в мастерской кафедры Г.В. Романовым и В.А. Рожковым. В разработке и изготовлении этого комплекса активно участвовал Ю.А. Бражкин. Несмотря на «кустарное» изготовление, комплекс позволял проводить акустические измерения с высокой точностью: скорость и амплитуда упругой волны

измерялись с погрешностью, не превышающей 0.5%, а точность измерения времени прохождения акустической волны в образце составляла 50 пс.

Комплекс значительно расширил наши экспериментальные возможности и позволил разработать новые методики и провести экспериментальные исследования особенностей электрон-фононного взаимодействия в ряде новых перспективных материалов, обладающих интересными физическими свойствами. Нами был получено несколько важных результатов, среди которых можно выделить следующие:

а) Предложена и реализована новая экспериментальная методика исследования анизотропии поверхности Ферми в металлах, основанная на измерении квантовых осцилляций акустоэлектрического тока в квантующем магнитном поле при $T = 4.2$ К в слоистой структуре пьезоэлектрик–металл. б) Впервые были исследованы линейные и нелинейные акустические свойства кондо–соединения CeAl_3 в интервале температур 4.2 – 80 К, при которых в этом соединении происходит образование системы тяжёлых фермионов. В области температур около $T = 10$ К, когда ширина теплового размытия фермиевского распределения носителей заряда становится сравнимой с шириной резонанса Абрикосова–Сула, было обнаружено аномальное поведение нелинейных упругих свойств кондо–соединения CeAl_3 , связанное с существенным увеличением числа тяжёлых фермионов. При этом удалось выделить вклад образовавшейся системы тяжёлых фермионов в упругую нелинейность. в) Проведены комплексные исследования как линейных, так и нелинейных упругих свойств высокотемпературной сверхпроводящей керамики (ВТСП-керамики) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ в интервале температур 4.2 – 300 К. Был обнаружен сильный вклад свободных фермиевских носителей заряда в изменение скорости упругих волн даже при $T \ll T_c = 91.3$ К (T_c – температура сверхпроводящего перехода), а также существенной анизотропии поверхности Ферми таких носителей. При $T = T_c$ обнаружены особенности в поведении линейных упругих свойств ВТСП-керамики (скачок скорости продольной волны и скачок первой производной скорости сдвиговой волны по температуре). Проведённый анализ показал, что эти особенности удовлетворительно описываются термодинамическими соотношениями для классических сверхпроводников. г) В ВТСП-керамике впервые были исследованы нелинейные упругие свойства и измерены все компоненты тензора коэффициентов упругости 3-го порядка и их температурная зависимость в интервале температур 77 – 300 К. При переходе керамики в сверхпроводящее состояние было обнаружено аномальное поведение: коэффициенты C_{112} и C_{123} вблизи температуры обращаются в ноль и затем меняют знак, а коэффициент C_{111} увеличивается по

абсолютной величине. Проведенные измерения этих коэффициентов позволили рассчитать в ВТСП-керамике температурную зависимость параметра Грюнайзена, описывающую ангармонизм кристаллической решётки.

В 1988 г. Б.Б. Воронов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Влияние перестройки электронного спектра в CeAl_3 и VO_2 на их акустические свойства». После окончания аспирантуры он был оставлен на работу на кафедре акустики. К сожалению, через некоторое время он ушёл с кафедры и занялся бизнесом. В исследованиях электрон-фононного взаимодействия в металлах и их сплавах активно участвовали студенты кафедры. По этой теме ими было выполнено более 10 дипломных работ.

В 1997 г. я защитил докторскую диссертацию.

Девяностые годы прошлого столетия были чрезвычайно трудными для всей страны, для кафедры и нашей научной группы. Продолжать экспериментальные работы по исследованию электрон-фононного взаимодействия в твёрдых телах, которые требовали измерений при низких температурах, стало практически невозможно: при ограниченных финансовых возможностях мы не могли купить жидкий гелий, а централизованные поставки жидкого азота на факультет были нерегулярными. Это заставило снова скорректировать тематику наших исследований и уделить больше внимания нелинейной акустической диагностике твёрдых тел. Основы этого интенсивно развивающегося в настоящее время научного направления, как уже отмечалось, были заложены работами, выполненными В.А. Красильниковым и Л.К. Зарембо ещё в 1960-е гг. Также следует отметить экспериментальную работу, выполненную в нашей лаборатории в 1973 г. В.М. Прохоровым с соавторами. В этой работе впервые было экспериментально показано увеличение амплитуды сдвиговой гармоник с увеличением усталости металлов (титан, сталь) при их динамической нагрузке, что связано с изменением внутренней структуры образцов. В.М. Прохоров защитил кандидатскую диссертацию в 1974 г. (научные руководители В.А. Красильников и В.Е. Лямов). В настоящее время он работает заместителем директора Технологического института сверхтвёрдых и новых углеродных материалов (ТИСНУМ) в г. Троицке. К большому сожалению как зарубежные, так и отечественные исследователи, работающие в области нелинейной акустодиагностики, не всегда ссылаются на пионерские основополагающие работы, выполненные на нашей кафедре.

Мы продолжили исследования особенностей нелинейных упругих свойств конструкционных материалов (поликристаллические сплавы алюминия, титана, меди), широко применяемых в современном

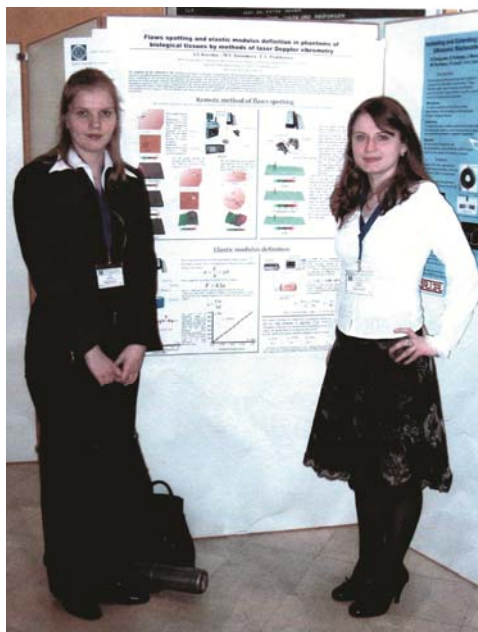
машиностроении и авиастроении. Наличие несовершенств структуры в этих материалах (дислокаций, границ зёрен, микротрещин, остаточных напряжений и т.п.) оказывает существенное влияние на их нелинейные упругие свойства и прочностные характеристики. Как уже отмечалось, дефекты в твёрдых телах приводят к появлению нового вида упругой нелинейности – структурной нелинейности. Однако механизмы этой нелинейности достаточно полно не изучены. Для объяснения природы наблюдаемых гигантских акустических нелинейностей нами были выполнены теоретические и экспериментальные исследования особенностей процессов взаимодействия акустических волн в структурно-неоднородных материалах. При этом в образцах металлов проводилось контролируемое изменение внутренней структуры с использованием различных методик. Наличие дефектов и их состояние одновременно контролировалось металлографическим и рентгеноструктурным методами. Это позволяло установить корреляцию между внутренней структурой материалов и их нелинейными упругими свойствами. В этих работах принимали активное участие студенты нашей кафедры Е.Ю. Гринь, М.Б. Мамаев, И.В. Белов, П.Н. Корниенко, А.В. Батенев, Д.А. Вологдин, Д.М. Мехедов, А.Г. Максимочкин, Д.Н. Семёнов, Н.А. Качаев, С.А. Тощов, А.Д. Романов, темы курсовых и дипломных работ которых были посвящены исследованию линейных и нелинейных упругих свойств твёрдых тел с дефектами. Исследования нелинейных свойств поликристаллических металлов были темами и для аспирантских работ. В 2002 г. аспирантом А.Н. Экономовым (научный руководитель А.И. Коробов) была защищена кандидатская диссертация на тему «Влияние изменения микроструктуры поликристаллических металлов на их акустические свойства». В 2005 г. аспиранткой из КНР Ван Нин (научные руководители А.И. Коробов и Ю.А. Бражкин) была защищена кандидатская диссертация на тему «Экспериментальные исследования акустической нелинейности в поликристаллических металлах в области упругопластических деформаций».

В начале этого века улучшилось финансирование наших работ по нелинейной акустической диагностике: появилась поддержка в виде грантов на научные исследования и покупку оборудования. Кафедра получила современные приборы от ведущих зарубежных фирм США (Matec Instruments, Agilent Technologies, Stanford Research Systems) и Германии (Polytec). На кафедре акустике приказом декана проф. В.И. Трухина был создан Центр коллективного пользования физического факультета МГУ по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю. Новое современное научное оборудование дало возможность выполнить ряд

экспериментов для исследования различных механизмов упругой нелинейности в поликристаллических металлах на более высоком экспериментальном уровне. Я хотел бы выделить некоторые из них.

Аспирантом Д.М. Мехедовым были проведены экспериментальные исследования влияния состояния межзёренных границ в микрокристаллическом сплаве алюминия Д16 (характерные размеры микрозёрен 3 – 5 микрон) на его нелинейные упругие свойства. Измерения нелинейных упругих свойств сплава проводились спектральным методом: исследовалось влияние статических деформаций растяжения и сжатия на эффективность генерации второй гармоники продольной акустической волны (10 МГц). Было обнаружено, что при превышении порогового значения деформации растяжения величины 0.001 в интервале деформаций 0.001 – 0.003 наблюдалось увеличение поглощения акустической волны в два раза с одновременным резким увеличением динамического нелинейного акустического параметра примерно в сорок раз. При этом впервые экспериментально наблюдалось уменьшение показателя степени в зависимости амплитуды второй гармоники от амплитуды основной волны с двух до единицы, что указывает на значительное увеличение упругой структурной нелинейности, связанной с дефектами среды, по сравнению с нелинейностью межатомных сил. Статическая деформация сжатия практически не оказывала влияния на поглощение и нелинейные упругие свойства образцов. Проведённый анализ экспериментальных результатов на основе бимодульной теории упругости позволил сделать вывод, что основным механизмом структурной нелинейности в нашем случае являлись межзёренные границы в микрокристаллическом образце. Выполненные эксперименты позволили построить функцию распределения остаточных напряжений на границах зёрен в исследуемом сплаве.

Изучение структурной упругой нелинейности было продолжено М.Ю. Изосимовой. Ею была разработана автоматизированная экспериментальная установка, основным измерительным прибором в которой являлся сканирующий лазерный доплеровский виброметр PSV-300 фирмы Polytec. Были исследованы основные свойства структурной упругой нелинейности: её локальный и пороговый характер. В области дефектов наблюдалось аномальное увеличение высших упругих гармоник. При этом высшие гармоники появлялись при превышении определенного порога возбуждения. Дипломная работа М.Ю. Изосимовой заняла 2-е место на конкурсе студенческих научных работ имени Р.В. Хохлова. В аспирантуре она продолжила исследования по бесконтактной диагностике твёрдых тел и фантомов биологических тканей. Работа по бесконтактной диагностике фантомов биологических тканей, выполненная ею совместно



М.Ю. Изосимова и Е.В. Прохорова у своего стендового доклада на Международном конгрессе по ультразвуку ICU 2007 в Вене

с дипломницей Е.В. Прохоровой, на международном конгрессе по ультразвуку в Вене 2007 ICU была отмечена оргкомитетом конгресса как одна из лучших среди работ, представленных молодыми учёными – участниками конгресса (см. фото). В 2009 г. М.Ю. Изосимова успешно защитила кандидатскую диссертацию, перешла на работу в другую организацию, но продолжает сотрудничество с нашей группой.

Ряд работ по исследованию гигантской упругой нелинейности в структурно-неоднородных твёрдых телах был выполнен О.В. Руденко. Он предложил различные механизмы структурной упругой нелинейности и рассмотрел перспективы применения соответствующих эффектов для нелинейной акустодиагностики различных материалов. Было отмечено, что для целей акустодиагностики более информативным может оказаться пространственное распределение величины упругого нелинейного параметра в диагностируемом объекте, а не распределение амплитуд высших гармоник.

Нами были проведены эксперименты в тонких дисках из поликристаллического металла, содержащих дефекты структуры и модельный дефект типа «непроклея». Наблюдалось локальное

увеличение амплитуд 2-й и 3-й гармоник и аномально большое увеличение нелинейного параметра (на 3 порядка) в некоторых областях пластины, в том числе в области искусственно созданного дефекта (на 2 порядка). Кроме того, анализ пространственного распределения нелинейных параметров помог выявить дополнительные дефекты на внешней границе диска, которые возникли при изготовлении образца и местоположение которых нам заранее не было известно. Эти эксперименты подтвердили, что пространственное распределение нелинейного параметра позволяет получить больше информации о дефектах в образце по сравнению с распределением высших акустических гармоник.

В последние несколько лет в нашей группе начались новые исследования закономерностей распространения упругих волн в неконсолидированных гранулированных средах. Выбор материалов для исследований вызван их интересными физическими свойствами и широким распространением в окружающей нас природе. Эти работы начала студентка кафедры Е.С. Советская, а продолжили студент А.И. Кокшайский и аспирантка Н.В. Ширгина. Были получены интересные научные результаты, которые неоднократно докладывались Н.В. Ширгиной на отечественных и международных конференциях по персональному приглашению организаторов. После окончания аспирантуры Н.В. Ширгина была оставлена на работу на нашей кафедре. Большую помощь в проведении экспериментальных исследований Е.С. Советской и Н.В. Ширгиной оказывал Ю.А. Бражкин.

Ещё одним направлением, развиваемым в нашей группе, является фотоакустика. Исследования по этой тематике начали проводиться на кафедре по инициативе В.Е. Лямова начиная с 1970-х гг. Первоначально внимание было направлено на исследование оптических и тепловых характеристик вещества газ-микрофонным методом при непрерывном лазерном возбуждении. В 1979 г. У. Мадвалиевым была защищена кандидатская диссертация на тему «Исследование оптических и тепловых свойств веществ методом фотоакустической спектроскопии», в 1985 г. С.П. Меркуровой – на тему «Исследование неоднородных структур фотоакустическим методом». В дальнейшем набор используемых экспериментальных методов расширился; были развиты импульсные методы с использованием пьезоэлектрической и термоэлектрической регистрации. Увеличилось и число объектов исследования – изучались тепловая нелинейность, фазовые переходы, наноструктурные материалы, дефекты различного вида (пластическая и остаточная деформация). В последние годы были защищены ещё две диссертации: в 2006 г. Н.И. Одиной – кандидатская диссертация на тему

«Фотоакустическая диагностика твёрдых тел: поли- и монокристаллов», а в 2007 г. У. Мадвалиевым – докторская диссертация на тему «Разработка новых методов фотоакустической спектроскопии конденсированных сред».

В настоящее время исследования по фотоакустике на кафедре направлены на изучение влияния фазовых переходов и дефектной структуры на упругие и тепловые свойства твёрдых тел (в том числе наноматериалов). Этой работой руководит Н.И. Одина. Разработан ряд оригинальных установок и методик измерения, среди которых: аппаратно-программный фотоакустический комплекс для неразрушающей диагностики твёрдых тел методом тепловых волн при гармоническом и импульсном лазерном возбуждении с временным и спектральным анализом фотоакустического сигнала; экспериментальная установка и методика для измерения анизотропии параметра Грюнайзена фотоакустическим методом в интервале температур 77 – 400 К; экспресс-методики (термоэлектрическая и фотоакустическая), не требующие предварительной калибровки и позволяющие определять температуропроводность металлов в образцах малого объёма; импульсная фотоакустическая методика, позволяющая определить пространственное положение и оценить размеры поверхностных, подповерхностных и смешанных модельных дефектов в металлических образцах, а также обнаружить остаточные напряжения в металлах; экспериментальная установка и методика для измерения параметра Грюнайзена при фазовых переходах «жидкость-твёрдое тело». Получен ряд интересных результатов: исследовано поведение параметра Грюнайзена в области фазовых переходов: а) в монокристалле титаната стронция в области структурного фазового перехода типа смещения при 105.5 К; б) в монокристалле триглицинсульфата в области сегнетоэлектрического фазового перехода при 322 К; в) монокристалла фуллерита C₆₀ в области ориентационных фазовых переходов фазового перехода при 90 и 260 К; впервые обнаружено аномальное поведение параметра Грюнайзена в поликристаллическом титане при электронно-топологическом переходе в области температур 150 – 160 К; произведено исследование дефектов различного вида, в том числе сварного шва (включая область остаточных напряжений); произведено исследование пространственного распределения упругих параметров неоднородно закалённой стали; установлена корреляция аномалий амплитуды и скорости поверхностных акустических волн с показателями микротвёрдости и фазовым составом образца; экспериментально исследовано поведение теплового расширения н-тетракозана и многокомпонентных материалов на основе парафинов в области плавления. В работу группы активно вовлекаются студенты

старших курсов. В 2006 г. дипломная работы А.Н. Кныш «Фотоакустические исследования дефектов в твёрдых телах» получила премию II степени на конкурсе дипломных работ им. Р.В. Хохлова.

К большому сожалению, в моей статье не отражены работы Л.К. Зарембо, С.Н. Карпачева и Т.А. Маматовой по магнитоакустике, И.Ю. Солодова и Б.А. Коршака по контактной упругой нелинейности, исследования О.Ю. Сердобольской по изучению сегнетоэлектрических фазовых переходов методами нелинейной акустики, а также работы В.В. Крылова и В.Г. Можаяева по исследованию упругих волн на границе твёрдых тел. Описание части этих исследований можно найти в сборнике, посвящённом 60-летию кафедры.

ПОСЛЕСЛОВИЕ СОСТАВИТЕЛЕЙ СБОРНИКА

В настоящем сборнике мы постарались коротко описать свою кафедру, её сотрудников, научные направления, основные группы и их историю. К сожалению, многое осталось «за кадром». За прошедшие 70 лет в истории кафедры были славные страницы, которыми мы можем по праву гордиться. На кафедре работали выдающиеся учёные, оставившие большой след в акустике и немало сделавшие для укрепления промышленности и обороноспособности нашей страны. Многие наши выпускники добились больших успехов в различных областях деятельности: в физике, в организации науки, в бизнесе, в музыке. При написании сборника мы сознательно ограничились описанием кафедры сегодняшнего дня и поэтому исторические аспекты и деятельность выпускников кафедры излагали только в этом контексте. Некоторым оправданием выбранного ограничения служит то обстоятельство, что много исторического материала уже было включено в предыдущий сборник, посвящённый 60-летию кафедры (Кафедра акустики физического факультета 60 лет. Юбилейный сборник. Под ред. В.А. Гордиенко. – М.: изд-во физ. ф-та МГУ, 2003). Кроме того, дополнительные материалы размещены на сайте кафедры (<http://acoustics.phys.msu.ru/>).

В заключение хотелось бы отметить некоторые особенности кафедральной жизни, которые не очень подробно отражены в сборнике, но кажутся нам важными для дальнейшего развития кафедры, адаптации её к современным реалиям развития науки и образования, да и для нас самих – чтобы работалось на кафедре интересно и комфортно.

Одним из залогов успешности кафедры является её открытость. Мы стараемся много делать за пределами кафедральных стен. Почти все сотрудники пытаются находить время и возможности, чтобы часть исследований проводить в других научных институтах. Эта деятельность «на стороне» помогает видеть глубже и шире современную акустику и связанные с ней научные и прикладные проблемы, обмениваться с коллегами из других организаций квалификацией и опытом. Кроме того, на кафедре работают совместителями исследователи из других институтов (см. часть 2 настоящего сборника). В такой форме, через участие сотрудников в совместной научной работе в дружественных сторонних организациях, осуществляется взаимодействие кафедры с Научным центром волновых исследований Института общей физики РАН, кафедрой акустики Нижегородского государственного университета, Международным Домом музыки, Институтом радиотехники и электроники РАН, Институтом физики Земли РАН, ГП ВНИИФТРИ, Лабораторией акустики залов Института строительной физики. В этот список можно добавить и работу в ряде зарубежных учебно-научных центров, таких как Центральная инженерная школа Лиона во Франции, Технологический институт Блекинге в Швеции, Далянский научно-исследовательский институт контроля и тестирования в КНР, университет штата Вашингтон и Техасский университет в США. Открытость кафедры и мобильность её сотрудников помогает кафедре находиться в постоянном развитии и быть «на острие» современной акустики. Кроме того, это помогает нашим выпускникам устраиваться на работу в соответствии с той квалификацией, которую им даёт обучение на кафедре.

Кафедра имеет множество совместных работ с другими кафедрами физического факультета МГУ. Уникальность физфака в том, что специалисты из разных областей физики работают бок о бок в одном здании, часто даже в соседних комнатах. Это даёт замечательные возможности для решения комплексных научных проблем. Большую роль в таком взаимодействии играют выпускники кафедры, после окончания аспирантуры устроившиеся на работу в других подразделениях факультета. Так, например, наши воспитанники работают на кафедрах общей физики и физики конденсированного состояния, фотоники и физики микроволн, общей физики, медицинской физики и других. Ещё одной особенностью нашего коллектива является довольно тесная связь с СУНЦ МГУ (школой-интернатом им. А.Н. Колмогорова). Некоторые наши сотрудники по совместительству работают в этой школе. Неудивительно, что многие выпускники СУНЦ поступают на физфак и стремятся попасть на нашу кафедру.

Важной составляющей деятельности кафедры является организационно-научная работа. На кафедре действует регулярный научный семинар, на котором выступают и сотрудники кафедры, и приглашённые докладчики из других организаций. Мы были организаторами разнообразных научных мероприятий по акустике как у нас в стране, так и за рубежом, таких как Международный симпозиум по нелинейной акустике, совместные семинары Российского и Французского акустических обществ, Школы-конференции по терапевтическому ультразвуку, сессии Российского акустического общества. Редакция Акустического журнала – главного российского издания по акустике – расположена у нас на кафедре. Многие сотрудники кафедры являются активными членами Научного совета РАН по акустике, Правления Российского акустического общества, входят в различные диссертационные советы, являются членами редколлегий ряда отечественных и зарубежных журналов.

В формировании научных традиций кафедры и её коллектива важное место занимает популяризация истории кафедры, публикация малоизвестных сведений о работах, проведённых в минувшие годы, воспоминаний и рассказов о том, «как это было», дополняющих научные публикации. Такие неформальные, зачастую увлекательные рассказы порой дают не меньше информации о том, что такое реальный научный поиск и какова его логика, чем сухие строки очередной «обычной» публикации в журнале или трудах конференции. Особенно полезными они могут оказаться для научной молодежи. Настоящий сборник – вклад нынешнего коллектива кафедры в это важное дело. Надеемся, в ближайшее время он будет дополнен разнообразными материалами в специальном историческом разделе на сайте кафедры акустики.

Какой будет кафедра завтра? Ответ на этот вопрос зависит не только от обстановки в стране, особенностей развития мировой науки и других внешних факторов, но и от нас самих. Верится, что кафедра обладает достаточным потенциалом и будет и дальше развиваться, оставаясь одним из центров отечественной и мировой акустики.

Отмечая 70-летие кафедры, искренне желаем всем коллегам крепкого здоровья, успехов в педагогическом творчестве, вдохновения и удачи в научном поиске!

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ 1. Об акустике и о кафедре акустики. <i>О.В. Руденко</i>	3
Об акустике	3
О кафедре акустики и акустике в МГУ	9
Наука на кафедре сегодня	15
ЧАСТЬ 2. Сотрудники кафедры акустики	20
Основной штат	20
Совместители	43
ЧАСТЬ 3. Научные группы кафедры	47
Векторно-фазовые методы в акустике. <i>В.А. Гордиенко</i>	48
«Лаборатория 3-66» – группа нелинейной и медицинской акустики. <i>О.А. Сапожников</i>	56
Лаборатория обратных задач акустики томографического типа. <i>В.А. Буров</i>	65
Аэроакустика и архитектурная акустика. <i>П.Н. Кравчун</i>	74
Нелинейная акустика твёрдого тела. <i>А.И. Коробов</i>	85
Послесловие составителей сборника	96

Кафедра акустики сегодня.
К 70-летию кафедры акустики физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

Юбилейный сборник

Ответственный редактор О.А. Сапожников

Подписано в печать 30.09.2013. Формат 60х90/16
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 6,25
Тираж 200 экз. Заказ № 1131

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Отпечатано в типографии МГУ
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15



ISBN 978-5-8279-0117-4



9 785827 901174