

УДК 534

## XXXII СЕССИЯ РОССИЙСКОГО АКУСТИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА (14–18 ОКТЯБРЯ 2019, МОСКВА)

© 2020 г. Е. В. Юдина\*

*Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева, ул. Шверника 4, Москва, 117036 Россия*

*\*e-mail: erasyu@mail.ru*

Поступила в редакцию 09.09.2019 г.

После доработки 09.09.2019 г.

Принята к публикации 29.10.2019 г.

Приведен краткий обзор докладов, представленных на XXXII Сессии Российского акустического общества в 17 тематических секциях.

DOI: 10.31857/S0320791920020173

Как известно, акустика – междисциплинарная наука. Она связана с рядом разделов физики, с математикой, физиологией, химией, науками о Земле и многими техническими дисциплинами. Регулярный смотр на сессиях Российского акустического общества (РАО) позволяет оптимизировать участие НИИ и вузов в программах научно-технологического прорыва, заявленного Правительством РФ на 2019 и последующие годы. С учетом большого числа направлений акустических исследований формат сессии удобен для ознакомления с новыми результатами, особенно на пересечении различных областей.

Россия известна научными школами по физической акустике, акустической океанологии, гидроакустике, геоакустике, нелинейной акустике, ультразвуковой акустике, биологической акустике, акустооптике и многим другим направлениям. Исследования по акустике ведутся практически во всех крупных университетах России, а статьи российских авторов представлены в международных изданиях из списков Scopus и WoS. Тот факт, что очередная сессия РАО идет под номером XXXII, показывает, что за прошедшие годы налажен механизм всероссийского обмена мнениями в акустическом сообществе. Молодые ученые из регионов, принимавшие участие в первых сессиях в 90-е годы, сегодня приезжают в статусе профессоров, докторов наук.

Тематический спектр XXXII сессии РАО отвечает мировым трендам. Так, сегодня очевидно проникновение компьютерных технологий и компьютерного моделирования в акустику. За последние десятилетия мировая акустика развернулась от преимущественно технологических применений к задачам обеспечения акустического комфорта человека, построению общественных залов с изме-

няемым временем реверберации, акустическим методам прикладной лингвистики, вопросам медицинской акустики и защиты от шума. Похожие тенденции заметны и при сравнении программ первой сессии РАО и нынешней сессии. Основываясь на тематиках докладов, можно считать, что сессия послужит стимулом для развития практически всех направлений акустических исследований в России.

### ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

#### О РАЗРАБОТКАХ АКУСТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В ОБЛАСТИ МОРСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ. ГЛАДИЛИН А.В., МАКСИМОВ Г.А.

При разведке, обустройстве и эксплуатации шельфовых месторождений углеводородов широко применяются сейсмоакустические исследования, не имеющие альтернативы по точности получаемых результатов и производительности работ. В последние десятилетия эти исследования привели к созданию высокоэффективных систем, основанных на использовании как буксируемых, так и донных сейсмокос и сейсмостанций. В АО “АКИН” выполнен ряд ОКР по разработке морского геофизического оборудования для сейсморазведочных работ на шельфе. Разработка выполнялась в рамках Государственной программы “Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 годы”. В подготовке технических требований принимали участие специалисты АО “Росгеология”, ПАО “Совкомфлот”, ОАО “МАГЭ” совместно с представителями других сервисных компаний и компаний–недропользователей. Изготовлены и испытаны в арктических условиях опытные образцы:

программно-аппаратный комплекс на основе автономной секционной донной сейсмокоды; регистрирующий комплекс для морской инженерной высокоразрешающей сейморазведки на основе цифровых твердотельных буксируемых сейсмокоды; программно-аппаратный комплекс для акустического позиционирования донных сейсмокоды и донных сейсмостанций; программно-аппаратный комплекс для акустического позиционирования буксируемых сейсмокоды; навесные модули механического управления по глубине буксируемых сейсмокоды; модуль саморазвертывающейся мобильной антенны для мониторинга и сейморазведки шельфовых месторождений углеводородов под ледовым покровом.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО АКУСТИКЕ  
НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ  
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
(К 75-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ АКУСТИКИ).**

**ГУСЕВ В.А., ЕРМОЛАЕВА Е.О.,  
КРАВЧУН П.Н., САПОЖНИКОВ О.А.**

К началу учебного 1943/1944 года после возвращения Московского университета из эвакуации приказом Всесоюзного Комитета по делам Высшей школы при СНК СССР был утвержден новый перечень кафедр МГУ (числом 131). Большой заслугой С.Н. Ржевкина, заведующего кафедрой с 1943 по 1975 гг., было создание первой в университетах страны кафедры акустики. В период 1975–1987 гг. заведующим был В.А. Красильников – заслуженный профессор МГУ, основатель научной школы по нелинейной и физической акустике и волнам в турбулентных средах. Более 30 лет кафедрой акустики руководит академик РАН О.В. Руденко. На кафедре продолжают исследования в традиционных для нее направлениях. Сформированы новые направления акустики мощного ультразвука и медицинской акустики, физики нелинейных волн. В разные годы удостоены Государственных премий СССР: В.А. Буров, Л.К. Зарембо, В.А. Красильников, О.В. Руденко; Государственной премии РФ – О.В. Руденко; Ломоносовской премии – Л.К. Зарембо и В.А. Красильников, О.В. Руденко и О.А. Сапожников; премии РАН им. Л.И. Мандельштама – В.А. Красильников. В настоящее время на кафедре решаются задачи гидро- и аэроакустики, акустики органических и концертных залов, медицинского ультразвука, нелинейной диагностики, акустики метаматериалов, создания нелинейных математических моделей и нелинейной динамики, обратных задач рассеяния. Проводятся измерения в реверберационной камере, в гидробассейне, на акустическом полигоне. На кафедре действуют Испытательная лаборатория “Акустического и вибрационного контроля физического факультета МГУ” на базе заглушенной камеры и

“Центр коллективного пользования физического факультета МГУ по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю”, а также Информационный центр “Акустика”. Образована Лаборатория медицинского и промышленного ультразвука. О развиваемых исследованиях, истории и современном состоянии учебной работы на кафедре можно прочитать в книгах, вышедших к 60- и 70-летнему юбилеям кафедры, а также на сайте ([acoustics.phys.msu.ru](http://acoustics.phys.msu.ru)).

**ВАРИАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УРАВНЕНИЙ  
РЕЛЯТИВИСТСКОЙ И НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ  
ГИДРОДИНАМИКИ. МАКСИМОВ Г.А.**

С использованием релятивистского вариационного принципа сформулирован аналогичный принцип для центров инерции ансамблей точечных частиц и осуществлен переход к гидродинамическому описанию. На основе лишь одного этого принципа получены все уравнения гидродинамики. Уравнение движения получается как следствие вариации функционала действия в виде интеграла по пространству и собственному времени от плотности внутренней энергии. Эта плотность включает вклады от масс частиц, от энергии неупорядоченного движения и от энергии взаимодействия частиц. В нерелятивистском пределе функционал сводится к классической форме с лагранжианом в виде разности плотности кинетической и внутренней энергий. Учет вариации только собственного времени, сводящегося к вариации релятивистского фактора, приводит к уравнению движения без давления для плотности импульса, отличающегося от классического лишь заменой обычной плотности на ее релятивистский аналог. Слагаемое с давлением возникает при учете вариации плотности, от которой зависит плотность внутренней энергии. Второе уравнение для баланса плотности энергии получается, как и в случае механики частиц, на основе преобразования субстанциональной производной по времени от лагранжиана с учетом уравнения движения. При этом уравнение баланса плотности энергии, уравнение непрерывности, а также уравнение переноса энтропии оказываются объединены в рамках одного уравнения как его отдельные слагаемые. В пределе малых скоростей новая система переходит в классическую систему уравнений гидродинамики идеальной жидкости.

**ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ  
В ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ.  
КОМКИН А.И.**

Рассмотрен круг вопросов, связанных с проблемами образования в технической акустике. Отмечается связь уровня образования с акустиче-

ской компетентностью. Отмечается неутешительная тенденция снижения уровня образования в технической акустике и вследствие этого – повышения акустической некомпетентности. Показаны типичные ошибки в принимаемых решениях, основанные на некомпетентности. Рассмотрены основные направления по повышению уровня акустического образования, связанные с ростом качества и количества издаваемой учебной литературы, повышением квалификации преподавательских кадров, улучшением качества учебного процесса, основанного, в частности, на кооперации учебных учреждений, занимающихся подготовкой специалистов в области акустики.

### СЕКЦИЯ АО – АКУСТИКА ОКЕАНА

*Руководители секции д. ф.-м. н. В.А. Буланов (ТОИ ДВО РАН) и д. ф.-м. н. А.Л. Вировлянский (ИПФ РАН)*

На секции “Акустика океана” было представлено 48 докладов, из которых 2 – пленарных. Доклады были распределены по направлениям: флуктуации звукового поля, шумы, потери при распространении, моделирование и обратные задачи, результаты и техника эксперимента.

В пленарном докладе Егерев С.В. и Серебряного А.Н. (АО “АКИН”, ИО РАН, Москва) “Неформальные и добровольческие проекты в акустике и океанологии” были обобщены достижения проектов “науки граждан”. “Исполнителями” таких проектов являются многочисленные “распределенные” добровольцы, поставляющие данные в интересах профессиональных ученых или, наоборот, обрабатывающие потоки данных, поступающие от профессионалов. Добровольческие исследования сосредоточены в основном на вопросах охраны рифов, мониторинге экологического состояния морей и океанов, изучении самочувствия морских животных, выявлении зон скопления мусора, на вопросах “кооперативного зондирования” (мониторинг городских шумов, запись и обработка образцов пения птиц, гронопеленгация – акустическая регистрация грома и поддержание потоковой передачи данных).

Второй пленарный доклад (Есипов И.Б., Попов О.Е., Солдатов Г.В., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, АО “АКИН”, ИФА РАН, Технологический институт ЮФУ, Москва, Таганрог) посвящен применению нелинейных параметрических излучающих антенн для импульсного зондирования моря вдоль длинных трасс. Продемонстрирована возможность повышения эффективности низкочастотных остронаправленных параметрических антенн для зондирования моря при использовании сжатия импульсных сигналов с учетом волноводной дисперсии.

Распространению звука через неоднородности посвящено несколько работ. В докладе Акуличева В.А., Буланова В.А., Бугаевой Л.К. (ТОИ ДВО РАН, Владивосток) проанализировано влияние приповерхностного слоя пузырьков на затухание звука в море с привлечением последних экспериментальных результатов для распределения пузырьков и показано, что влияние такого слоя на распространение звука может быть значительным при типичных концентрациях пузырьков в приповерхностных слоях моря. В докладе Кацнельсона Б.Г., Лунькова А.А. и Шабановой Т.М. (Университет Хайфы, Израиль, ИОФ РАН, Москва) в рамках модовой теории проведен анализ распространения волн в мелководном волноводе с тонким газонасыщенным слоем. Доклады Яриной М.В., Кацнельсона Б.Г., Година О.А. (Университет Хайфы, ВГУ, Воронеж, Naval Postgraduate School, Monterey, CA), Ужанского Э., Кацнельсона Б., Лунькова А., Островского И. (Университет Хайфы, ВГУ, Воронеж, ИОФ РАН, Москва, Oceanogr. and Limnol. Res., Израиль), Кузькина В.М., Ляхова Г.А., Пересёлкова С.А. и др. (ВГУ, Воронеж, ИОФ РАН, Москва) посвящены изучению структуры звукового поля в присутствии внутренних волн с привлечением как традиционных, так и новых методов фильтрации мод. В докладе Гулина О.Э. и Ярошука И.О. (ТОИ ДВО РАН, Владивосток) на основе метода локальных мод рассмотрена задача о потерях при распространении низкочастотного сигнала в мелководных волноводах с потерями в дне и флуктуациями скорости звука в воде и показано, что флуктуации уменьшают потери при распространении звукового сигнала.

Доклад Моргунова Ю.Н., Голова А.А., Буренина А.В., Петрова П.С. (ТОИ ДВО РАН, Владивосток) посвящен определению эффективных скоростей распространения импульсных сигналов в сложных волноводах, состоящих из шельфового и глубоководного участков. Полученные в эксперименте 2017 г. значения эффективных скоростей на различных горизонтах сравнивались с теоретическими значениями. Для трассы протяженностью 198 км установлено их сходство. Задача о распространении импульсных сигналов в мелком море с наклонным дном при наличии термоклина рассмотрена в докладе Толченникова А.А., Сергеева С.А., Петрова П.С. (ИПМех РАН, МФТИ, Москва, ТОИ ДВО РАН, Владивосток). Дано решение задачи с использованием лучевой теории и метода канонического оператора Маслова.

Волков М.В., Григорьев В.А., Луньков А.А., Петников В.Г. (ИОФ РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, ВГУ, Воронеж) обсудили задачу о взаимодействии нормальных волн (мод) в мелководной акватории постоянной глубины на частотах до 500 Гц над участком дна с изменяющимся импедансом, обусловленным вариациями профиля скорости звука в донном осадочном слое.

Заславский Ю.М. и Заславский В.Ю. (ИПФ РАН, Нижний Новгород) обсудили особенности донной сейсмической волны при генерации гидроакустическим излучателем в береговой зоне. Использовано трехмерное численное моделирование. Качнельсон Б., Годин О., Quanchu Zhang (ВГУ, Naval Postgraduate School, Университет Хайфы) представили результаты исследования флуктуаций шума, записанного одиночными гидрофонами и L-образной антенной (HVLA: 70 м вертикальная и 450 м горизонтальная части) в эксперименте Shallow Water 2006, проведенном на Атлантическом шельфе США. В докладе Максимова Г.А. и Ларичева В.А. (АО “АКИН”, Москва) представлена методика определения акустических параметров морского дна на основе кинематических параметров кратных головных, объемных и поверхностных волн. Приведены результаты применения этой методики к данным, полученным с помощью мультилинейной донной антенны. Калинин И.В., Маленко Ж.В., Ярошенко А.А. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь; Севастопольский госуниверситет, Филиал ГМУ имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Севастополь) представили описание акустических волн в жидкости, созданных геоакустической эмиссией в твердом грунте. Они несут ценную информацию, на основании которой можно сделать кратковременный прогноз опасных сейсмических явлений.

Несколько докладов посвящено обратным задачам. Доклады Кузькина В.М., Кузнецова Г.Н., Пересёлкова С.А. и др. (ВГУ, Воронеж, ИОФ РАН, Москва) и Сазонтова А.Г. и Смирнова И.П. (ИПФ РАН, Нижний Новгород) посвящены решению задачи о локализации источника в акустическом волноводе. К ним примыкает работа Гончаренко Б.И., Медведевой Е.В., Шурупа А.С. (МГУ, ИО РАН, ИФЗ РАН, Москва), посвященная особенностям формирования скалярно-векторных характеристик звукового поля в мелком пресном водоеме при прохождении шумового источника. Кержаков Б.В. и Кулинич В.В. (ИПФ РАН, Нижний Новгород) рассмотрели применение метода отжига при решении задачи локализации источника в мелководном волноводе. Они получили оценки ошибок восстановления координат источника, обусловленные неточностью используемой модели среды. Аксеновым С.П. и Кузнецовым Г.Н. (ИОФ РАН, Москва) сделан доклад о возможности обнаружения слабого источника звука в зоне тени в глубоком море. Показано, что учет вытекающих и захваченных донных мод приводит к появлению в зонах тени максимумов поля, что обосновывает возможность применения голографических методов обнаружения и сопровождения слабого источника звука и в зоне тени. Григорьев В.А., Луньков А.А., Петников В.Г., Шатравин А.В. (ВГУ, Воронеж,

ИОФ РАН, ИО РАН, Москва) в рамках численного моделирования обсудили распространение сигналов, излучаемых гренландскими китами, в мелководном волноводе, характерном для арктического шельфа. Использовались записи сигналов, зарегистрированные в натуральных экспериментах. Смирнов И.П., Сидоров К.А., Хилько А.И. (ИПФ РАН, Нижний Новгород) сделали доклад о мультистатистическом зондировании океана частично-когерентными волноводными компонентами высокочастотного поля. Клячин Б.И. (МГППУ, Москва) представил доклад о рассеянии и отражении плоской волны от системы шероховатых слоев. Семенов А.Г. (АО “АКИН”, Москва) обсудил эффективность методов акустической томографии океана.

Экспериментальные исследования рассеяния, реверберации и особенностей структуры звуковых полей обсуждены на отдельном заседании. Доклад Буланова В.А., Стороженко А.В. (ТОИ ДВО РАН, Владивосток) посвящен экспериментальным исследованиям рассеяния высокочастотного звука в верхнем слое моря. Есипов И.Б., Кенигсбергер Г.В., Попов О.Е. и др. (АО “АКИН”, Москва, Институт экологии АН Абхазии, Сухуми, ИФА РАН, Москва) обсудили эксперименты по оценке характеристик донной реверберации и влиянию батиметрической рефракции на азимутальные углы прихода сигналов. Буренин А.В., Голов А.А., Моргунов Ю.Н. (ТОИ ДВО РАН, Владивосток) представили результаты экспериментальных исследований особенностей пространственной структуры векторно-скалярных звуковых полей в мелком море. Чупин В.А., Будрин С.С., Долгих Г.И., Щербатюк А.Ф. (ТОИ ДВО РАН, ИПМТ ДВО РАН, Владивосток) обсудили исследование пространственно-временной структуры гидроакустического поля шельфовых зон. Львов К.П. (АО Концерн “Океанприбор”, Санкт-Петербург) представил экспериментальные оценки корреляционных характеристик эхосигналов от дна Норвежского моря. Серебряный А.Н. (ИО РАН, Москва, АО “АКИН”, Москва) сделал доклад о возможностях ADCP – мощном инструменте современной акустической океанологии.

Вопросам техники и методики эксперимента было посвящено отдельное заседание. Бритенков А.К., Фарфель В.А., Боголюбов Б.Н. (ИПФ РАН, Нижний Новгород) обсудили электроакустические характеристики преобразователя продольно-изгибного типа со сложной формой излучающей оболочки. Дмитриев К.В. (МГУ, Москва) представил разработку и испытания распределенной системы регистрации гидроакустических сигналов. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. (ФирЭ РАН, Фрязино) обсудили результаты экспериментальных исследований влияния многолучевого распространения сигналов с ЛЧМ на работу системы позицио-

нирования подводного аппарата в мелком море. В докладе Максимов Г.А., Ларичева В.А. и др. (АО “АКИН”, Москва) представлены технические характеристики и результаты морских натурных испытаний автономной секционной донной сейсмокоды (АСДС), разработанной для сейсморазведки в шельфовой зоне на глубинах до 200 м и в мелководной транзитной зоне. Волков М.В., Григорьев В.А., Луньков А.А., Петников В.Г. (ИОФ РАН, Москва, ВГУ, Воронеж, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва) представили вертикальные приемные антенны для звукоподводной связи на Арктическом шельфе.

### СЕКЦИЯ АР – АКУСТИКА РЕЧИ, АКУСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛИНГВИСТИКИ

*Руководитель секции д. биол. н.  
Е.Е. Ляко (СПбГУ)*

Представлено 11 докладов по прикладной лингвистике (доклады Крейчи С.А. и Кедровой Г.Е., Потаповой Р.К. и Потапова В.В., Боброва Н.В., Кузнецова В.Б.), физической акустике (доклад Римской-Корсаковой Л.К. и Нечаева Д.И.), акустике речи (доклады Ляко Е.Е., Фроловой О.В., Куражовой А.В., Григорьева А.С., Николаева А.С., Городного В.А.).

Доклад Крейчи С.А. (МГУ, Москва) посвящен влиянию фонетической организации устной речи носителей тюркских языков на произношение звуков и реализацию интонации в русской речи. Выделены основные акустические и артикуляторные признаки интерференции при произнесении отдельных звуков русской речи и их сочетаний, отличительные особенности просодической реализации русской синтагмы у носителей тюркских языков.

В докладе Потаповой Р.К. (МГЛУ, Москва) представлен подход к исследованию акустико-семантического контента, обеспечивающего эффект речевой коммуникации реципрокного типа, позволяющий реализовать двунаправленный диалог “человек—машина” и “машина—человек”. Исследование связано с реализацией обратной связи в быстродействующем экономном режиме “стимул—реакция” — “реакция—стимул”.

Бобровым Н.В. (МГЛУ) представлены вычислительные методы выделения качественных акустико-фонетических характеристик речевых сегментов. Сделан вывод о возможности применения подхода для автоматического распознавания речи при решении прикладных задач, требующих получения максимальной информации о речевом сообщении при ограниченных вычислительных ресурсах. Доклад Кузнецова В.Б., Боброва Н.В. (МГЛУ) освещает проблему поиска статистически значимых критериев оценки эффекта коартику-

ляции путем вычисления информативности  $F_2$ -перехода в месте образования мягкого согласного на предыдущем и последующем гласных. Различия между локус уравнениями для ударных и безударных СГ-переходов в зависимости от способа и места образования согласного не обнаружено. Достоверно различались уравнения для мягких согласных в ударном и безударном слогах.

Римской-Корсаковой Л.К. (АО “АКИН”) и Нечаевым Д.И. (ИПЭЭ РАН, Москва) представлены результаты экспериментального изучения причин снижения разборчивости речи с использованием моделей фонем согласных звуков, предьявляемых до или после последовательностей помеховых фонем с разными периодами следования. Показано, что к снижению разборчивости быстрой речи могут приводить снижение громкости фонем согласных звуков и уменьшение диапазона интенсивностей фонем.

Серия докладов посвящена акустике детской речи — при типичном развитии детей (доклад Григорьева А.С. (СПбГУ, Санкт-Петербург) и Ляко Е.Е. (СПбГУ)) и развитии речи у детей с атипичным развитием — синдромом Дауна (Городный В.А., Ляко Е.Е. (СПбГУ)), расстройствами аутистического спектра (РАС) (Николаев А.С., Ляко Е.Е. (СПбГУ, Санкт-Петербург)), с умственной отсталостью (доклад Фроловой О.В.), детям—близнецам (доклад Куражовой А.В.). В докладе Ляко Е.Е. (СПбГУ) представлены данные об акустических характеристиках материнской речи при взаимодействии с детьми с РАС и синдромом Дауна. Работы по акустике детской речи направлены на выявление характеристик, специфичных для определенных заболеваний и нарушений развития.

В работе Фроловой О.Ф. (СПбГУ) выявлены особенности акустических и перцептивных характеристик речи детей дошкольников с диагнозами: умственная отсталость легкой степени (УО) и смешанные специфические расстройства психологического развития (СР), по сравнению с типично развивающимися (ТР) детьми. Показано, что вероятность распознавания взрослыми лексического значения слов детей с УО значительно ниже, чем слов ТР детей и детей с СР. Описаны акустические характеристики речи детей исследуемых групп и определены отличия по значениям частоты основного тона, длительности и индекса артикуляции гласных (VAI) у детей с разными диагнозами. При анализе речи детей 6–7 лет с синдромом Дауна и ТР сверстников (доклад Городного В.А., Ляко Е.Е. (СПбГУ)) получены данные об акустических характеристиках речи детей с СД и определены различия между детьми с СД и типично развивающимися детьми. Отмечено, что длительности слов и гласных из слов детей с СД значительно выше по сравнению с ТР детьми, значе-

ния площади формантного треугольника безударных гласных значимо выше у детей с СД. Для детей с СД характерны низкие значения VAI ударных гласных. При анализе временных характеристик гласных из слов детей 5–11 лет с РАС (доклад Николаева А.С., Ляксо Е.Е. (СПбГУ)) выявлены различия между детьми с РАС и ТР детьми по длительности ударных и безударных гласных в словах, значение которых определено с высокой и низкой вероятностью. Показано, что слова детей с РАС характеризуются большей по сравнению с ТР детьми длительностью ударных и безударных гласных.

С целью выявления связи между особенностями речевого поведения матери и уровнем сформированности речи у детей проведено сравнение характеристик материнской речи (МР), обращенной к ТР детям 4–7 лет, детям с РАС и детям с СД (доклад Ляксо Е.Е. (СПбГУ)). На основе инструментального анализа выявлены различия в характеристиках МР, обращенной к ТР детям и детям с атипичным развитием, установлены особенности характеристик МР, адресованной детям с РАС и детям с СД.

В докладе Куражовой А.В. (СПбГУ) рассматривается акустический аспект становления речи детей–близнецов 4–6 лет. Близнецы, относимые к группе риска в связи с действием факторов пренатального, раннего постнатального развития, характеризуются спецификой речевого развития по сравнению с нормально развивающимися одиночно рожденными детьми. Прослежена динамика характеристик речи дизиготных близнецов, выявлены различия между первыми и вторыми по порядку рождения близнецами в паре, которые заключаются в более низких значениях ЧОТ гласных в речи первых детей.

В работе Григорьева А.С. (СПбГУ) изучены акустические и перцептивные характеристики речи ТР подростков 14–16 лет. Описаны характеристики фраз, отражающих разное эмоциональное состояние – длительность фразы и пауз между фразами, значение частоты основного тона (ЧОТ) по фразе, его максимальное и минимальное значение, форма контура ЧОТ, длительность ударного слова, а также характеристики ударных гласных, определены параметры, отражающие четкость артикуляции гласных (VAI) и площади формантных треугольников. Сведения могут быть использованы как нормативные при проведении исследований формирования речевой функции при атипичном развитии, а также расширяют представления о формировании голоса в период полового созревания при типичном развитии детей.

## СЕКЦИЯ АИ – АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

*Руководитель секции проф. РАН,  
д. ф.-м. н. И.Е. Кузнецова (ИРЭ РАН)*

На секции представлены 10 докладов российских авторов. Из них половина посвящена результатам теоретического и экспериментального исследования особенностей возбуждения и приема звука под водой с использованием векторно-скалярных антенн. В работах Глебовой Г.М. и Кузнецова Г.Н. (ЮФУ, ИОФ РАН) получены оценки направленности излучения движущимся протяженным источником, акустическая модель которого представлена совокупностью распределенных вдоль апертуры элементарных источников монопольного типа. Исследованы спектральные и корреляционные характеристики помех турбулентного происхождения и установлено, что на малом расстоянии основным источником помех является шум от гребного винта носителя, а при достаточном удалении антенны – турбулентные помехи в низкочастотной области, имеющие псевдозвуковой характер. В работе Драченко В.Н., Кузнецова Г.Н. и Михнюк А.Н. (ИОФ РАН) при помощи векторно-скалярной антенны проводилась оценка пеленга, дальности и глубины движущегося источника звука с использованием скалярных и векторно-скалярных полей, а также обработки по потоку мощности. Построены траектории движения и зависимости глубины источника от расстояния.

Важными устройствами для проведения акустических измерений под водой являются гидроакустические излучатели. В работе Бритенкова А.К., Фарфеля В.А., Лебедева Е.В. (ИПФ РАН) исследовано влияние параметров соединительного кабеля на точность измерений электроакустических характеристик мощных низкочастотных гидроакустических излучателей. Использование длинной линии связи без учета электрических характеристик приводит к высоким погрешностям измерений и отсутствию оптимального согласования. Разработаны рекомендации по методике проведения измерений и обработке экспериментальных данных с учетом первичных параметров линии связи.

В работе Лебедева М.В. и Захарова В.О. (АКИН, МАИ) исследовано применение алгоритмов снижения размерности для оптимального хранения информации о вертикальном распределении скорости звука в океане. Исследования проведены для нескольких районов мирового океана.

В работе Симакова И.Г., Гулгенова Ч.Ж., Базаровой С.Б. (Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ) предложен акустоэлектрический метод определения диэлектрических свойств жидкости в граничной фазе. Метод основан на особенностях распространения

ния поверхностных акустических волн в динамически равновесной системе “пьезоэлектрическая подложка—адсорбционный граничный слой—парагазовая среда” и может успешно дополнять существующие методы исследования диэлектрических характеристик граничных слоев жидкостей и релаксационных процессов в них.

На секции представлены работы по изучению характеристик звука в свободном пространстве. В работе Вировлянского А.Л., Дерябина М.С. (ИПФ РАН) предложено восстанавливать комплексную амплитуду поля излучателя звука по измерениям поля, возбужденного этим излучателем в области с отражающими границами. Ключевым является то, что один и тот же набор монополей моделирует поле излучателя и в свободном пространстве, и в бассейне с отражающими границами. Работоспособность предложенного подхода продемонстрирована в лабораторном эксперименте. В работе Костеева Д.А., Салина М.Б. (ИПФ РАН) для измерения характеристик источников звука при сложной внешней обстановке предложено использовать методы ближнепольной голографии. Разработана методика восстановления дальнего поля и проведен лабораторный эксперимент в безэховой камере.

Традиционной областью применения ультразвука является его использование в различных расходомерах газа. В работе Мансфельда А.Д., Волкова Г.П., Беляева Р.В. и Громова П.Р. (ИПФ РАН) рассмотрены принцип действия и устройство ультразвукового корреляционного расходомера газа с накладными датчиками, расположенными на внешней поверхности трубы. Показано, что ультразвуковой расходомер, благодаря фокусирующему действию стенки трубы, в основном регистрирует пролет вихрей, распространяющихся в центре трубы. Отмечается также меньшая скорость пролета вихрей по отношению к средней скорости потока.

Другим аспектом акустических измерений является их применение для обнаружения и идентификации летающих объектов, например, беспилотных летательных аппаратов (БЛА). В работе Мещерякова Р.В., Ляпустина Е.С. (ИПУ РАН, АО “ИнфосистемыДжет”, Москва) рассмотрены различные возможные методы обнаружения БЛА. Показано, что подсистемы, включающие как активные, так и пассивные механизмы обнаружения, такие как радар и обработка изображений, необходимо комплексировать в единую систему. Подтверждена возможность обнаружения БЛА с использованием аудиоанализа. Предложено добавить локализацию источника звука в детектор обнаружения для повышения вероятности идентификации количества БЛА по аудиоотпечатку.

## СЕКЦИЯ АММ – АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

*Руководитель секции д. ф.-м. н. Ю.И. Бобровницкий  
(ИМАШ РАН)*

Впервые на сессии РАО организована тематическая секция, посвященная акустическим метаматериалам (АММ). Это структуры из сложных ячеек (метаатомов). На низких частотах они демонстрируют свойства, необходимые для решения таких задач, как акустическая невидимость, отрицательная рефракция, сверхфокусировка и др. Представлено 10 докладов. Из них 4 посвящены теоретическому исследованию волн в звуковых кристаллах. В 4 других докладах исследуются поглощающие свойства метаматериалов. Помимо акустических свойств, обсуждается применение новых аддитивных технологий для изготовления АММ-поглотителей. Еще в 2 докладах рассматриваются общетеоретические вопросы.

В докладе Миронова М.А. (АКИН) изучается новый вариант предложенной им ранее структуры АММ – “вибрационной черной дыры”. Приводится точное решение.

В работе Ерофеева В.И. и Павлова И.С. (ИПМ РАН) исследуется распространение волн в трехмерной кристаллической решетке из сферических частиц, обладающих 3 трансляционными и 3 ротационными степенями свободы. Показано, как по измерению скоростей волн, распространяющихся вдоль разных кристаллографических направлений, определить упругие модули материала.

В докладе Дамдинова Б.Б. (Институт физического материаловедения СО РАН) излагаются результаты экспериментального исследования полимерных наносuspензий. Показано, что suspension проявляют неньютоновское поведение, т.е. обладают вязкоупругими свойствами. Измеренные значения действительного и мнимого модулей сдвига зависят от размеров и концентрации наночастиц.

Диденкулов И.Н. и Сагачева А.А. (ИПФ РАН) анализируют распространение звука в suspension частиц стержнеподобной и дискообразной формы со смещенным центром масс в поле акустической волны. Получены формулы, описывающие потери энергии акустической волны в suspension.

Захаров Д.Д. (МИИТ) представил исследование полного бесконечного спектра волновых чисел изотропно-слоистых пластин в низкочастотном диапазоне. Показана хорошая сходимость и высокая точность разработанных алгоритмов.

В работе Томиной Т.М. (ИМАШ РАН) представлены результаты по созданию высокоэффективных средств поглощения акустической и вибрационной энергии, которые показали принципиальную возможность решения этой задачи на базе АММ. Обсуждаются принципы мо-

делирования АММ-структур и влияние технологии изготовления на акустические свойства натуральных образцов.

В докладе Асфандиярова Ш.А. (ИМАШ РАН, МГУ) приводятся результаты численного моделирования АММ-поглотителей звука резонансного типа методом конечных элементов в программном обеспечении COMSOL Multiphysics. Дается сравнение с результатами экспериментов.

В работе Сотова А.В., Вдовина Р.А. (Самарский университет им. С.П. Королева) и Томилиной Т.М. (ИМАШ РАН) представлены результаты исследований образцов-панелей ( $200 \times 200 \times 50$  мм) со сложной внутренней структурой, обладающих повышенными звукопоглощающими свойствами в частотном диапазоне 200...600 Гц. Образцы изготавливались по технологии 3D печати (Polyjet и SLM) из фотополимера и металла на оборудовании Самарского университета. Исследовано влияние технологического процесса на акустические свойства образцов.

Доклад Сафина А.И., Афанасьева К.М. (Самарский университет им. С.П. Королева) и Бахтина Б.Н. (ИМАШ РАН) посвящен экспериментальному исследованию звукопоглотителей из АММ в импедансных трубах различного типа. В докладе Бобровниченко Ю.И. приведены формулы для вычисления плотности колебательной энергии в АММ с отрицательными параметрами.

## СЕКЦИЯ АЭ – АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА

*Руководитель секции проф. РАН,  
д. ф.-м. н. И.Е. Кузнецова (ИРЭ РАН)*

В секции представлены пленарный и 6 секционных докладов. В пленарном докладе Кузнецовой И.Е., Анисимкина В.И., Колесова В.В., Кашина В.В., Юдина С.Г. и Смирнова А.В. (ИРЭ РАН, ИК РАН) «Влияние освещенности на акустические волны в структуре "пьезоэлектрическая пластина–пленка фталоцианина алюминия"» рассмотрены вопросы создания физических датчиков на основе органических пленок. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния освещенности на характеристики акустических волн в пластине ниобата лития, покрытой пленкой фталоцианина алюминия. Показана возможность разработки акустического фотодетектора, селективно чувствительного к различным длинам волн видимого диапазона света и характеризующегося высокой скоростью срабатывания.

В последнее время проводятся активные работы в области создания различных биологических и химических датчиков на основе резонаторов с поперечным возбуждающим полем. На секции было представлено три доклада авторов Зайцева Б.Д., Теплых А.А., Бородиной И.А. и Семенова А.П.

(Саратовский филиал ИРЭ РАН). В одном из докладов описан датчик на основе пьезокерамического резонатора с поперечным электрическим полем, позволяющий определять проводимость жидкости, находящейся в контакте со свободной поверхностью такого резонатора. В соавторстве с Гулий О.И. и Староверовым С.А. (ИБФРМ РАН, Саратов) эти же авторы представили метод экспресс-анализа и оценки жизнеспособности бактериальных клеток непосредственно в жидкой проводящей суспензии при использовании акустического датчика на основе щелевой моды. Время анализа составляло 5–10 минут, предел определения микробных клеток был равен 10<sup>3</sup> кл/мл. Этот же коллектив совместно с Федровым Ф.С. и Насибулиным А.Г. (Сколковский институт науки и технологии, Москва) представили результаты исследования газочувствительной способности датчика на основе резонатора с поперечным возбуждающим электрическим полем (ПЭП). Обнаружено, что отклик по резонансной частоте ПЭП резонаторов в присутствии газа оказался более значительным по сравнению с дисковыми резонаторами.

Другим направлением исследований в акустоэлектронике является изучение новых типов акустических волн. К ним можно отнести малоизученные нераспространяющиеся акустические волны в пьезоэлектрических пластинах. В работе Смирнова А.В., Кузнецовой И.Е. и Недоспасова И.А. (ИРЭ РАН) предложен новый метод обнаружения нераспространяющихся акустических волн в пьезоэлектрических пластинах. Проведен теоретический анализ дисперсионных кривых волн S<sub>1</sub> и SH<sub>1</sub> в YX-LiNbO<sub>3</sub> и YX-KNbO<sub>3</sub> вблизи точки нулевой групповой скорости. Обнаружена ветвь, соответствующая нераспространяющимся акустическим волнам. Найден частотный диапазон, где действительная часть скорости волны больше, чем мнимая. Обнаружены резонансные частоты, соответствующие нераспространяющейся S<sub>1</sub> моде. Из-за близости этой волны к точке нулевой групповой скорости ее свойства должны быть чрезвычайно чувствительными к изменению качества волновода и окружающей среды. Это открывает возможность использования этих волн для разработки высокочувствительных датчиков и неразрушающего волноводного анализа.

Для разработки акустоэлектронных устройств большое значение играют пьезоэлектрические материалы. В работе Алексева С.Г., Лузанова В.А. и Ползиковой Н.И. (ИРЭ РАН, Фрязинский филиал ИРЭ РАН) рассмотрены особенности создания пьезоэлектрических пленок с наклонной ориентацией оси текстуры с помощью метода акустической резонаторной спектроскопии.

В работе Алексева С.Г., Лузанова В.А., Ползиковой Н.И. и Раевского А.О. (ИРЭ РАН, Фря-



зинский филиал ИРЭ РАН) исследованы характеристики магнитоупругих волн в композитных мультиферроидных структурах и предложены направления их применения.

### СЕКЦИЯ АСА – АРХИТЕКТУРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА

*Руководитель секции к. ф.-м. н. Н.Г. Канев  
(АО “АКИН”, ООО “Акустические материалы”)*

На секции представлены 12 докладов, общее количество соавторов – 19 человек. На пленарном докладе Лившица А.Я., Пономарева А.М. и Канева Н.Г. (ООО “Акустические материалы”, ТПО Резерв) “Акустика концертного зала “Зарядье” в Москве” представлены характеристики объемно-планировочного решения и результаты акустического обследования нового филармонического зала на 1600 мест, открытого в 2018 году. Основным акустический параметр зала – время реверберации – имеет значение 2.8 с на частотах 500–1000 Гц в зале без зрителей, прогнозное время реверберации для заполненного зала составляет около 2 с. В докладе приводятся измеренные значения других акустических параметров и производится сопоставление параметров нового зала с лучшими концертными залами мира.

Традиционно значительная часть докладов была посвящена акустике помещений и концертных залов. В докладе Кравчуна П.Н. (МГУ) рассматривается новое акустическое решение Концертного зала Мурманской филармонии, реализованное при его капитальной реконструкции в 2015–2016 гг., а также особенности нового концертного органа, установленного в зале.

Акустике общественных помещений большой вместимости посвящены работы Канева Н.Г. (АКИН) и Перетокина А.В., Лившица А.Я., Орлова А.В., Ширгиной Н.В. (ООО “Акустические материалы”, ПИ АРЕНА), в которых приведены результаты исследований общественных зон торговых центров и футбольных стадионов, предложены рекомендации по улучшению акустики этих помещений.

Шевцовым С.Е. и Соменковым Е.А. (ООО “ТАМ”, ГИТИС) представлены результаты акустических измерений в старейших католических церквях, а Алешкин В.М., Щиржецкий Х.А., Субботкин А.О. (НИИСФ) предложили использовать низкочастотные резонаторы для коррекции акустики молельных залов мечетей.

Два доклада посвящено акустике малых помещений. Щиржецкий Х.А., Сухов В.Н. (НИИСФ) предложили новый метод акустического проектирования малых музыкальных помещений, сочетающий принципы волновой, статистической и геометрической акустики. В докладе Гнутика А.П., Черезова М.И. (ГК “ТехноСонус”) рассмотрена

модель влияния формы помещения различного объема на параметры распределения низкочастотных мод.

В работе Сумбатяна М.А., Боева Н.В. (ЮФУ) рассмотрена задача об отражении звука от криволинейных поверхностей: проанализирована возможность замены криволинейных отражателей набором плоских граней. Лаврова М.А., Канев Н.Г. (МГТУ, АКИН) представили результаты экспериментального исследования свойств звукорассеивающих поверхностей новым методом.

Два доклада посвящены вопросам борьбы с шумом: Субботкин А.О., Щиржецкий Х.А., Алешкин В.М. (ИОФ, НИИСФ) развивают метод расчета снижения шума в помещении за счет внесения дополнительного звукопоглощения; Колмаков А.В. (УрГАХУ) исследует архитектурные концепты шумозащитных мероприятий для городской среды.

### СЕКЦИЯ АА – АТМОСФЕРНАЯ АКУСТИКА

*Руководитель секции д. ф.-м. н. С.Н. Куличков  
(ИФА РАН)*

На секции представлено 6 докладов. В пленарном докладе Красненко Н.П. (ИМКЭС СО РАН, ТУСУР, Томск) рассматривалось состояние дел в атмосферной акустике. Это касалось создания мощных излучающих систем звукового вещания и акустического воздействия, узконаправленных приемных микрофонов, приземного распространения звука, ультразвуковых метеорологических измерений, акустического зондирования атмосферы. Приведены как отечественные результаты, так и зарубежные. В двух докладах Русакова Ю.С. и соавторов (ФГБУ “НПО “Тайфун”, г. Обнинск) рассмотрены комплексы инфразвукового мониторинга атмосферы (КИЗ), автономно работающие на протяжении последних трех лет в 7 пунктах РФ, и новый метод обработки данных, поступающих от разнесенной на местности группы датчиков, для автоматического выделения и оценки параметров акустических, в частности, инфразвуковых волн в пункте наблюдения. В двух докладах Куличкова С.Н., Попова О.Е., Чунчузова И.П. (ИФА РАН, Москва) рассмотрено распространение инфразвукового сигнала, излученного при падении Челябинского метеороида, приведены результаты моделирования распространения инфразвука в приземном звуковом канале. Рассмотрены особенности работы станций Международной системы инфразвукового мониторинга. В работе Чунчузова И.П., Перепелкина В.Г., Куличкова С.Н. и соавторов (ИФА РАН, Инновационный технический центр Барва) представлены результаты экспериментальных исследований влияния мелкомасштабной слоистой структуры устойчиво-стратифицированного атмосферного

пограничного слоя (УАПС) на флуктуации параметров акустических сигналов, генерируемых с определенным периодом (30 с—1 мин) детонационным генератором, созданным для предотвращения выпадения града.

## СЕКЦИЯ АЭР – АЭРОАКУСТИКА

*Руководитель секции д. ф.-м. н. В.Ф. Копьев (ЦАГИ)*

В докладе Бычкова О.П., Копьева В.Ф., Фараносова Г.А. продемонстрировано, что даже в условиях наличия ограниченной информации о ближнем поле струи, а также усложненной геометрии конфигурации, предложенная модель позволяет предсказывать основные характеристики шума взаимодействия струи и крыла самолета. Продемонстрированы результаты валидации модели при наличии спутного потока.

В докладе Крашенинникова С.Ю., Миронова А.К. дан упрощенный подход к анализу шума струи на основе теории Лайтхилла. Проанализирован процесс шумообразования при распространении дозвуковой турбулентной струи в неподвижной среде того же состава, что и вещество струи.

В докладе Зверева А.Я. рассмотрены направления использования стенда АК-11 за 30 лет эксплуатации. Представлен обзор исследований, проводившихся в его звукомерных камерах. Реверберационные и заглушенные камеры являются традиционными установками для проведения акустических испытаний. Все они являются уникальными. Однако даже на фоне зарубежных стендов установка АК-11, представляющая собой связанный комплекс из двух реверберационных и одной заглушенной камер, выделяется своей многофункциональностью.

В докладе Бакланова В.С., Голубева А.Ю., Потокина Г.А. обсуждаются результаты исследований по определению акустических нагрузок в носовой части сверхзвукового самолета на различных режимах их работы. Показано, что суммарный уровень шума в носовой части самолета, включая кабину экипажа, при максимальных режимах работы двигателей существенно ниже требований ГОСТ РВ 20.39.304-98.

В докладе Миронова М.А. рассмотрены теоретические примеры эффективного поглощения спиральных волн при различных значениях импедансов ЗПК. Спиральные волны в круглом волноводе “прижаты” к стенке волновода. Их групповая скорость вдоль оси волновода мала, поэтому при правильном выборе импеданса ЗПК, размещаемой на стенке, имеется возможность эффективного поглощения спиральных волн даже при небольшой длине волновода. Приведены значения импедансов, при которых излучаемая спиральная волна полностью поглощается.

В докладе Копьева В.Ф., Острикова Н.Н., Яковца М.А., Пальчиковского В.В., Корина И.А., Берсенева Ю.В. представлены результаты сравнительных испытаний в заглушенной камере ПНИПУ крупномасштабной модели воздухозаборника диаметра 1.783 м в условиях твердых стенок, однородных ЗПК и однородных ЗПК с одной, тремя и пятью накладками, обеспечивающими перекрытие полной длины окружности однородных ЗПК на величину соответственно 6, 18 и 30%, что создает относительную азимутальную неоднородность импеданса ЗПК эквивалентную указанным процентам.

Доклад Острикова Н.Н., Яковца М.А., Ипатова М.С. посвящен исследованию влияния параметров потока в канале установки “Интерферометр с потоком” ЦАГИ на процесс определения импеданса образцов звукопоглощающих конструкций. Проведена серия экспериментов в лабораторных условиях и в условиях заглушенной камеры АК-2, что позволило измерить характеристики ЗПК при различных профилях скорости. Показано существенное влияние профиля скорости на импеданс ЗПК, что требует доработки существующих методов извлечения импеданса на случай неоднородного потока.

В докладе Александрова В.Г., Осипова А.А. представлены результаты математического моделирования аэроакустических явлений, сопряженных с распространением по проточному тракту авиационного двигателя тонального шума, характерного для работы вентилятора и компрессора низкого давления, а также шума внутренних источников (турбины низкого давления) турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД), и излучением этого шума из воздухозаборника и выхлопного сопла в окружающее пространство в условиях внешнего обтекания мотогондолы.

В докладе Титарева В.А. дано обобщение кода “Гербера” на задачи моделирования аэродинамики и аэроакустики распределенных силовых установок, представляющих собой комбинацию нескольких вращающихся винтов на пилоне. Приведены результаты обтекания тематической геометрии с 3 винтами, полученные на системе РСК-Торнадо, установленной в суперкомпьютерном центре Санкт-Петербургского Политехнического Университета.

В докладе Бычкова О.П., Фараносова Г.А. представлены результаты численного моделирования шума изолированной струи и струи вблизи прямоугольной пластины, имитирующей крыло самолета, для статических условий и условий полета. Моделирование проведено методом LES с помощью решателя на основе схемы КАБАРЕ. Расчеты обеспечивают приемлемую точность моделирования характеристик течения, а также шума взаимодействия струи и крыла в дальнем поле.

В докладе Шорстова В.А., Макарова В.Е. на примере задач о развитом турбулентном течении в плоском канале и шуме задней кромки профиля NASA012, обтекаемого при нулевом угле атаки, протестирован неравномерный закон стенки для модели Спаларта–Аллмараса (SA) совместно с IDDES SA, направленный на улучшение результатов в случае равных шагов сетки по тангенциальным направлениям. Показана сходимость как параметров пограничного слоя, так и спектра в дальнем поле, для расчетов на сетках с сильно отличающимся размером пристеночных ячеек.

В докладе Боженко А.Н., Пахова В.В., Зверева А.Я. представлены диаграммы направленности двух однотипных всенаправленных источников акустического излучения, их анализ и сравнение характеристик излучения источников в третьоктавных полосах. Сделан вывод о равномерности диаграммы направленности источника КАИ-А1 и его потенциальной пригодности к различным видам акустических исследований.

### СЕКЦИЯ БИО – БИОАКУСТИКА И МЕДИЦИНСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

*Руководитель секции д. биол. н. Н.Г. Бибииков*

В пленарном докладе Хохловой В.А. речь идет о хирургическом методе, основанном на использовании пучка высокоинтенсивного ультразвука (УЗ) (МГУ, Москва). Сотрудниками МГУ представлены еще 4 доклада (Росницкий П.Б., Сапожников О.А., Юлдашев П.В. и др.; Юлдашев П.В., Карзова М.М., Мездрохин И.С. и др.; Цысарь С.А., Николаев Д.А., Сапожников О.А.; Крохмаль А.А., Сапожников О.А. и др.). В одной из работ рассматривается сочетание двух методов воздействия на организм – УЗ с ионизирующим излучением.

Исследованию УЗ методик анализа мягких сред были посвящены доклады: Демин И.Ю., Лисин А.А., Спивак А.Е. и др. (Нижегородский университет); Клочков Б.Н. (ИПФ РАН) и Богдан О.П., Муравьева О.В., Волков В.В., Подсизерцева М.А. (ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, Ижевск).

Направление исследований, связанное с именем В. Пасечника, продолжено в работе Ерофеева А.В., Аносова А.А., Мансфельда А.Д. и др. (Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва, ИПФ РАН, ИРЭ РАН).

Медицинское применение методов звукового анализа описано в докладе: Лесик М.В., Королькова Е.В., Грамович В.В. и др. (МГУ, ФГБУ “НМИЦ кардиологии” Минздрава России, Москва).

Вторая часть секции посвящена работам, относящимся к анализу звуковых сигналов человеком и животными. В работе принимали участие сотрудники центра аудиологии, которые, наряду

с внедрением в практику системы кохлеарной имплантации, занимаются также реабилитацией больных после операции. Эти работы способствуют пониманию проблем, связанных с функционированием слухового анализатора (Гойхбург М.В., Бахшиян В.В., Нечаев Д.И., Супин А.Я., Таварткиладзе Г.А. из ФГБУ “РНКЦ АиС” ФМБА России, Москва, ФГБОУ ДПО “РМАНПО” МЗ России, Москва, ФГБУН ИПЭЭ РАН, Москва).

Работы в области психоакустики здоровых лиц и лиц с сенсоневральной тугоухостью представлены двумя докладами (Римская-Корсакова Л.К., АО “АКИН” и Андреева И.Г., Клишова Е.А., и др., ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург, ФГБУЗ “Городской гериатрический медико-социальный центр”, Санкт-Петербург).

Представительной оказалась часть секции, связанная с электрофизиологическим изучением работы слухового анализатора. Это контрастирует с реальным положением дел в этой области науки, в которой ранее отечественная школа электрофизиологии слуха была представлена весьма широко, но в настоящее время переживает кризис. К этой части относятся доклады из Петербургского института им. Сеченова (Егорова М.А. и соавторы, ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург) и один доклад из Акустического института им. академика Н.Н. Андреева (Бибииков Н.Г., АО “АКИН”).

Специалисты из Дальневосточного отделения РАН представили два доклада, касающиеся акустических характеристик форсированного выдоха. Эти работы можно отнести и к тематике первой подсекции, хотя здесь акцентируются именно фундаментальные аспекты проблемы, связанные с характеристиками вокального тракта (Сафронова М.А., Ширяев А.Д., Коренбаум В.И., ТОИ ДВО РАН, Владивосток; Кабанцова О.И., Почкутова И.А., Малаева В.В. и др. ТОИ ДВО РАН).

К разделу биоакустики, которая интересуется звуками животных, следует отнести сообщение Лупановой А.С., Егоровой М.А., ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург.

И, наконец, можно пожалеть, что направление работ по сигналам дельфинов, ранее широко разрабатываемое отечественными учеными, представлено только одним докладом Иванова М.П., Бибиикова Н.Г., Данилова Н.А. и др. (СПбГУ, Санкт-Петербург, АО “АКИН”, 3ФГУП “ГосНИИПП”, Санкт-Петербург, ФГБУН “Каралагская научная станция им. Т.И. Вяземского РАН”, Крым).

### СЕКЦИЯ ГЕО – ГЕОАКУСТИКА

*Руководитель секции проф.,  
д. т. н. А.С. Вознесенский (НИТУ МИСиС)*

По секции “Геоакустика” представлены 14 докладов из 9 организаций: Институт Космофизических исследований и распространения радио-

волн ДВО РАН (ИКИР ДВО РАН), с. Паратунка, Камчатский край; Институт прикладной физики РАН; Институт физики Земли РАН; МГУ; Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”; ООО “ГЕОДЕВАЙС”, г. Санкт-Петербург; ООО “Морские Инновации”, г. Москва; ООО “Сплит”, г. Москва; Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), г. Жуковский МО.

По тематике выделяются 4 направления: акустические свойства и строение геосред на образцах и в массивах (4 доклада), волновые процессы в геосредах различных конфигураций, свойств и сочетаний (7 докладов), анализ акустических сигналов и волн различных источников (1 доклад), акустическая эмиссия геосред при различных воздействиях (2 доклада).

**Теоретические исследования.** В докладе Смирнова И.П., Калининой В.И., Хилько А.И. (ИПФ РАН) исследован метод повышения точности и устойчивости определения геоакустических параметров морского дна, основанный на их послойной реконструкции с использованием параметрических моделей формирования сейсмоакустических (СА) импульсов, отраженных от слоистого полупространства, при зондировании дна когерентными сигналами. В докладе Жарникова Т.В., Никитина А.А. (ЦАГИ, МГУ) описан подход к классификации собственных функций волновода в наклонной трансверсально анизотропной среде, полученных в рамках полуаналитического метода конечных элементов (SAFE). Приводятся результаты сравнительного анализа различных критериев классификации. В докладе Манакова С.А., Конькова А.И. (ИПФ РАН, ООО “ГЕОДЕВАЙС”) представлены результаты развития метода пассивной томографии на поверхностной волне Рэлея. Предлагается проводить совместный анализ частотных зависимостей фазовой скорости и отношения проекций смещения для реконструкции профилей скоростей обеих упругих волн. Представлены результаты применения метода к реальным и синтетическим данным.

**Экспериментальные исследования.** Доклад Хилько А.И., Мерклиной Л.Р., Плешкова А.Ю., Бирюкова Е.А., Долгачева А.И., Маева П.А., Смирнова И.П., Калининой В.И., Малеханова А.И. (ИПФ РАН, ООО “Морские Инновации”, ООО “Сплит”) посвящен анализу результатов сейсмоакустического импульсного зондирования морского дна в мелководном районе Черного моря в присутствии реверберационных помех и шумов судоходства при буксировке в подводном положении когерентного излучателя, работающего в режиме излучения ЛЧМ импульсов, и горизонтальной приемной решетки. Обсуждаются возможности подавления реверберационных помех пу-

тем использования излучающих решеток. В докладе Красиловой М.Н., Куткина Я.О., Тютчевой А.О., Насибуллина Р.Р., Лучниковой А.О. (НИТУ “МИСиС”) приведены результаты использования акустической эмиссии при испытаниях образцов-балок гипсосодержащих пород при циклическом изгибе по трехточечной схеме. Регистрация числа импульсов эмиссии позволила прогнозировать время жизни образца до разрушения.

**Фундаментальные исследования.** В докладе Зайцева В.Ю., Радостина А.В., Матвеева Л.А. (ИПФ РАН) анализируются модели, описывающие влияние дефектов на упругие модули твердых тел, определяемые по изменению скоростей продольных и поперечных волн в зависимости от давления, оказываемого на среду. Рассматриваются связи давления и концентрации трещин со свободными параметрами, подбирая значение которых можно добиться согласования модельных и экспериментальных зависимостей от давления. В докладе Лебедева А.В. (ИПФ РАН) предложена модель, объясняющая возникновение нестационарности на микроскопическом уровне и связанной с ней генерации шума фильтрации в пористых средах. Модель находится в согласии с экспериментальными данными. Во втором докладе автора исследовано распространение сейсмоакустических волн в трехслойной среде, состоящей из однородного твердого слоя, нагруженного на пористый слой, насыщенный жидкостью. Выявлены особенности дисперсионных кривых и пространственного распределения полей мод, позволяющие устанавливать наличие под верхним слоем грунта насыщенного жидкостью пористого слоя и определять его параметры.

**Прикладные исследования.** В докладе Лебедева А.В., Манакова С.А. рассмотрены методические аспекты дистанционного исследования слоистых сред с использованием поверхностных волн рэлеевского типа. Определены особенности использования вибрационных источников и даны рекомендации по организации полевых работ.

**Арктика и Север России.** В докладе Новикова Е.А., Зайцева М.Г., Назмиевой А.Х. (НИТУ “МИСиС”) рассмотрены закономерности акустической эмиссии в мерзлых грунтах различного состава, подверженных многократным циклам растепления-заморозки и находящихся под действием квазистатической механической нагрузки. Сформулированы подходы, позволяющие оценить опасность деструктивных процессов в грунтовых основаниях сооружений, расположенных в северных регионах России. В докладе Преснова Д.А., Собищевича А.Л., Шурупа А.С. (ИФЗ РАН, МГУ) представлены результаты натуральных испытаний в ледовых условиях Ладожского озера морских сейсморазведочных излучателей (ООО ГЕОДЕВАЙС) и площадной измерительной сейсмоакустической

системы на основе автономных буев вмораживаемого типа (ИФЗ РАН совместно с МФТИ). Результаты используются для развития методов обработки шумовых сигналов и разработки пассивных технологий мониторинга среды.

**Прогноз землетрясений.** В докладе Луковенковой О.О., Солодчука А.А. (ИКИР ДВО РАН) описан аппаратно-программный комплекс для регистрации импульсных сигналов высокочастотной геоакустической эмиссии, возникающих в результате динамической перестройки структуры пород, развернутой в сейсмоактивном регионе на полуострове Камчатка в пункте наблюдения “Микижа”. Анализируются особенности пред- и постсейсмических сигналов, которые можно использовать в качестве индикаторов изменения напряженно-деформируемого состояния пород. Авторы Марапулец Ю.В., Щербина А.О. (ИКИР ДВО РАН) представили результаты исследования направленности геоакустического излучения в сейсмоактивном регионе Камчатка. Для локации источников эмиссии использована точечная приемная система на основе комбинированного приемника, которая была установлена у дна природного водоема озеро Микижа.

**Безопасность.** Вопросам безопасности подземных горных работ посвящен доклад Вознесенского А.С., Красилова М.Н., Куткина Я.О., Корякина В.В. (НИТУ “МИСиС”). Обсуждаются результаты оценки прочности пород в кровле подземных горных выработок в массиве гипсовых пород методом неразрушающего контроля анкерного крепления с помощью прибора ударно-спектрального действия “Анкер-Тест”. Метод может быть использован для неразрушающего контроля прочности, усталости и ресурса пород вокруг горных выработок.

## СЕКЦИЯ НА – НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА

*Руководитель секции д. ф-м. н. И.Б. Есипов  
(РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина)*

На секции “Нелинейная акустика” заслушано 18 докладов. Представлены доклады из 15 лабораторий Москвы, С.-Петербурга, Таганрога, а также Сибири, Дальнего Востока и Абхазии. Обсуждались как взаимодействия волн, так и возможности практического применения методов нелинейной акустики для решения прикладных задач.

В докладе Савицкого О.А. (АО “АКИН”) “Отражение акустической волны от поверхности, движущейся по заданному закону. Приложения к задаче активного звукогашения” обсуждается идея использования эффекта Доплера, возникающего при отражении волны от движущейся поверхности, для активного гашения звука. В работе Буланова В.А., Корскова И.В. (ТОИ ДВО РАН) “О рассеянии звука и акустической нелинейности воды с

пузырьками при различной температуре” приводятся результаты по температурной зависимости нелинейности морской воды с пузырьками воздуха. Анализ нелинейных акустических свойств структуры метаматериала приведен в докладе Хватова А.А. (СПбГМТУ, Университет ИТМО) “Анализ бесконечной периодической структуры и ее конечной части с учетом слабой нелинейности”. Большое внимание уделяется экспериментальным исследованиям излучения, распространения и дифракции нелинейных акустических волн, в том числе ударных волн. Результаты представлены в докладах Гурбатова С.Н., Дерябина М.С., Касьянова Д.А., Курина В.В., Тюриной А.В. (ННГУ, ИПФ РАН) “Экспериментальное исследование дифракции ударных акустических волн на краю экрана”, Красненко Н.П., Ракова Д.С., Ракова А.С. (ИМКЭС СО РАН, ТУСУР, ТПУ, Томск) “Характеристики звуковых волн, генерируемых ультразвуковым параметрическим излучателем”. В докладах Коробова А.И., Одиной Н.И. (МГУ) “Нелинейное взаимодействие амплитудно-модулированных волн в металлических резонаторах”, а также Гусева В.А. (МГУ) “Радиационные силы и акустические течения в жидком слое на упругой подложке” приводятся результаты по взаимодействиям акустических волн в резонаторах и упругих подложках. К этой группе работ можно отнести и доклад Ерофеева В.И., Леонтьевой А.В. (ИПМ РАН, Нижний Новгород) “Несинусоидальные продольные волны в стержне, погруженном в нелинейно-упругую среду”. В докладе Быкова А.И., Комкина А.И., Миронова М.А. (МГТУ, АО “АКИН”) “Акустическая нелинейность отверстия в широком диапазоне амплитуд” обсуждается частотная зависимость акустической нелинейности импеданса отверстия. Эта задача имеет прикладное значение для расчета характеристик интенсивного звука в конструкциях.

## СЕКЦИЯ ОА – ОПТОАКУСТИКА И АКУСТООПТИКА

*Руководитель секции к. ф-м. н. В.Б. Волошинов  
(МГУ им. М.В. Ломоносова)*

На секции “Оптоакустика и акустооптика” XXXII-й сессии Российского Акустического общества выступили специалисты с 6-ю докладами. Авторы представляли МГУ, МИСИС, СПбГУ, а также компанию “Green Optics” из Южной Кореи. Тематика докладов относилась к акустооптике (4 доклада) и оптоакустике (2 доклада). Один из докладов представил данные теоретических исследований в области акустооптики и один доклад содержал результаты экспериментов в области оптоакустики. В остальных 4-х докладах содержались как теоретические, так и экспериментальные данные.

В докладе Поликарповой Н.В. и Волошинова В.Б. приводятся результаты исследования закономерностей распространения и многократного отражения объемных акустических волн в кристалле двуокиси теллура. Кристалл был выбран из-за чрезвычайно большой упругой анизотропии и исключительно высокого коэффициента акустооптического качества материала. Исследовано явление многократного отражения волн от двух свободных граней кристалла, в эксперименте наблюдалось не менее пяти отраженных волн. Оценены величины фазовых скоростей, углов акустического сноса, коэффициентов отражения и затухания ультразвука. Предложена новая модификация многоканального квазиколлинеарного перестраиваемого акустооптического фильтра на кристалле парателлурита.

В докладе Хоркина В.С. и Волошинова В.Б. представлены результаты исследования анизотропных вариантов акустооптического взаимодействия, успешно применяемых для управления световыми потоками в современных дефлекторах и перестраиваемых акустооптических фильтрах. Для создания искусственной оптической анизотропии приложено регулируемое внешнее статическое давление. В эксперименте наблюдались картины Шефера–Бергмана, позволившие определить значения фазовых скоростей акустических волн. Предложена конфигурация акустооптического дефлектора на основе кристалла KRS-5 с приложенным внешним статическим давлением.

Доклад Балакшия В.И., Купрейчика М.И., Манцевича С.Н. посвящен исследованию волновых явлений в акустооптических устройствах с секционированными пьезопреобразователями. Установленные в работе особенности анизотропного АО взаимодействия в пространственно периодическом акустическом поле, создаваемом фазированной решеткой пьезопреобразователей с антифазным возбуждением соседних секций, открывают перспективы для разработки АО приборов нового типа для управления неполяризованным оптическим излучением, в частности, модуляторов и дефлекторов световых пучков.

В докладе Пороховниченко Д.Л., Рю Чж., Зинкина Д.Г., Волошинова В.Б. представлен анализ акустооптических характеристик кристалла бромида ртути в режиме широкоапертурной дифракции света на ультразвуке. Определены оптимальные углы падения света, а также значения акустических частот, соответствующих режимам широкоапертурной дифракции света в бромиде ртути. Экспериментальное исследование планируется проводить на кристалле бромида ртути, выращенного в компании “Green Optics”.

В докладе Соколовской Ю.Г., Подымовой Н.Б., А.А. Карабутова представлены результаты экспериментальной проверки выполнения соотноше-

ний Крамерса–Кронига в углепластике, в котором реализуется сразу два механизма потерь энергии акустической волны – рассеяние и поглощение. Углепластики – композиты на основе полимерной матрицы и углеродных волокон. Получены зависимости коэффициента затухания и фазовой скорости от частоты в спектральном диапазоне 1–10 МГц для образцов полимерной матрицы и углепластиков с различным значением пористости. Показано, что соотношения Крамерса–Кронига между затуханием и фазовой скоростью продольных ультразвуковых волн выполняются для всех образцов независимо от конкретного механизма уменьшения энергии волны.

В докладе Сарнацкого В.М., Судьенкова Ю.В., Шилина В.Д. обнаружены особенности акустического отклика (амплитуды ультразвуковых колебаний и спектра) при лазерном возбуждении магнитострикционных образцов поликристаллического никеля, монокристаллических пленок железитриевого граната и пластин монокристаллов марганец-цинковой шпинели.

## СЕКЦИЯ РДВ – РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН

*Руководитель секции к. ф-м. н. М.А. Миронов (АО “АКИН”)*

В секции представлено 6 докладов из 5 лабораторий Москвы, Екатеринбурга, Нижнего Новгорода.

Доклад Косарева О.И., Остапишина Н.М., Пузакиной А.К. из Института машиноведения РАН посвящен расчету вторичного дальнего гидроакустического поля, переизлученного конечной упругой цилиндрической оболочкой в жидкости. Виброперемещение оболочки определяется из решения задачи о ее вынужденных колебаниях под действием суммы падающего и рассеянного полей давления. Получено аналитическое выражение для дальнего рассеянного поля.

В докладе Бырдина В.М., Косарева О.И., Мамоновой М.Г., Пузакиной А.К. (Институт машиноведения РАН) рассмотрены особенности дифракционных задач на плоской границе раздела для сред, обладающих “отрицательными” свойствами.

Расчет поля монополя в твердом волноводе проведен в докладе Лапина А.Д. (АО “АКИН”). Методом Фурье–Бесселя получены интегральные представления для скалярного и векторного потенциалов и вычислены амплитуды волн Лэмба.

В докладе Хачай О.А., Хачай А.Ю., Хачай О.Ю. (Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург) развит метод моделирования активного акустического мониторинга с использованием источника продольных и поперечных волн слоисто-блоковой упругой среды с несколькими включениями

различного физико-механического и фазового иерархического строения. Разработан итерационный процесс решения прямой задачи для иерархических включений на основе использования 2D интегро-дифференциальных уравнений. Результаты моделирования могут быть использованы при проведении мониторинга флюидоотдачи нефтяных месторождений и для анализа динамического состояния горного массива глубокозалегающих месторождений.

Грязнова И.Ю., Иващенко Е.Н., Лабутина М.С. (ННГУ) получили выражение для средней интенсивности обратного рассеяния при учете статистической зависимости взаимного расположения рассеивателей. Сравнение с результатами модельного эксперимента показало точность теоретической модели.

В докладе Бычкова А.Е., Грязновой И.Ю., Дерябина М.С., Курина В.В., Хилько А.И. (ННГУ, ИПФ РАН) исследована вертикальная структура коротких модовых импульсов вблизи критических толщин волноводов постоянной и переменной глубины с различными моделями дна. Разработана математическая модель распространения в волноводах постоянной и переменной глубины. Изложены результаты экспериментальной проверки закономерностей распространения модовых импульсов.

## СЕКЦИЯ УТ – УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Руководитель секции д. ф-м. н. О.А. Сапожников  
(МГУ им. М.В. Ломоносова)*

Секция посвящена применениям ультразвука (УЗ) для создания технологий и устройств, которые могут найти применение в промышленности, медицине и строительстве. В докладе Петросяна С.А. и соавторов (МГУ, АКИН) предлагается метод обнаружения и визуализации объектов в агрессивных жидкостях с использованием сканирующей эхо-импульсной системы, акустические сигналы в которой подаются и принимаются через волноводы в виде стальных стержней. Изображения объектов миллиметровых размеров в воде продемонстрировали работоспособность системы. В работе Высотина Н.Г. и Винникова В.А. (НИТУ “МИСиС”) приведены результаты лазерно-ультразвуковой структуроскопии образцов горных пород. Таким способом удается оценить степень неоднородности исходных образцов и образцов, подвергшихся предварительной нагрузке. Доклад Брысева А.П. и соавторов (ИОФ РАН) представляет результаты наблюдений деструктивного воздействия мощных сфокусированных УЗ импульсов на гипсовые фантомы почечных камней. Обращается внимание на отличие характера деструкции гипсовых фантомов импульсами сфокусированных

УЗ пучков с несущей частотой до 1 МГц и более 1 МГц. Во втором случае разрушения образца, как целого, не происходит, а имеет место локализованная деструкция его поверхности. Новик А.А. и Бьюгинова А.А. (ЛЭТИ, Санкт-Петербург) рассматривают волноводы-излучатели в виде дисков переменной толщины, колеблющиеся в изгибной моде, с рабочими частотами 22 и 44 кГц, для решения задачи излучения мощных УЗ колебаний в газовую среду. Анализируются частотные свойства и параметры таких колебательных систем, исследуются и оптимизируются моды колебаний. В докладе Неверова А.Н. (МАДИ, Москва) проведено экспериментальное исследование нелинейных свойств составных стержневых колебательных систем с резьбовым соединением элементов на низких УЗ частотах в режиме стоячей волны. Иляхинский А.В. и Родюшкин В.М. (ИПМ РАН) описывают нестандартную схему измерительного тракта для УЗ дефектоскопии материалов. Возбуждение зондирующей волны проводилось излучателем с резонансной частотой 2 МГц, а регистрация – приемником с резонансной частотой 5 МГц. Изучение формы зондирующей волны в образцах осуществлялось методом спектрального анализа, при этом в качестве диагностирующего параметра использовалось отношение амплитуд первой и второй гармоник. В докладе Конопацкой И.И. и соавторов (АКИН) представлено исследование акустического фонтана, индуцированного с помощью сферического фокусирующего излучателя, в жидкой слоистой среде, представляющей собой слой нефти на поверхности воды. Установлено наличие пороговой толщины приповерхностного слоя, при которой струя становится однородной по составу со 100% содержанием нефти. Те же авторы в другом докладе рассматривают эффект горения полимера “Юнисил” в поле интенсивного УЗ. При воздействии фокусированного УЗ на полимерные компаунды наблюдалось изменение внутренней структуры полимера, сопровождавшееся свечением, постепенно переходящим во внутреннее горение.

## СЕКЦИЯ ФА – ФИЗИЧЕСКАЯ АКУСТИКА

*Руководитель секции д. ф-м. н. О.А. Сапожников  
(МГУ им. М.В. Ломоносова)*

В докладе Жвани И.А. и соавторов (АКИН) представлены результаты исследования акустического течения, возбуждаемого в воде УЗ фокусированным пучком. Измерение скорости течения производилось методом лазерной доплеровской анемометрии с одновременным измерением гидрофоном акустического давления в пучке. Получена линейная зависимость скорости течения от электрического напряжения, подаваемого на излучатель. Николаева А.В. и соавторы (МГУ)

представили результаты изучения радиационной силы фокусированного пучка, действующей на упругую сферу в жидкости. Если ширина пучка в фокусе намного меньше диаметра рассеивателя, то наиболее эффективное воздействие происходит в области до и после точки фокуса, где ширина пучка превышает размеры рассеивателя. Николаев Д.А. и соавторы (МГУ) предложили метод измерения коэффициента поглощения и скорости звука в плоскопараллельном слое с использованием голографического метода. В докладе Сапожникова О.А. (МГУ) предложено использование одномерной линейной решетки приемников для измерения поперечной структуры УЗ пучков. Алгоритм записи полного поля заключается в измерении сигналов на элементах при различных углах поворота решетки, устанавливаемых путем вращения решетки вокруг оси, перпендикулярной ее поверхности. Крутянский Л.М. и соавторы (ИОФ РАН) представили результаты реализации нелинейного параметрического взаимодействия УЗ и гравитационно-капиллярных волн на свободной поверхности жидкости. Особенностью механизма связи волн является зависимость радиационного давления плоской УЗ волны от формы поверхности, на которую они действуют. В работе Буланова В.А. (ТОИ ДВО РАН) представлены результаты теоретических исследований распространения акустических импульсов в кристаллизующейся жидкости, содержащей центры кристаллизации. Показано существенное влияние фазовых превращений на рассеяние, поглощение и нелинейную трансформацию акустических сигналов в кристаллизующейся жидкости. Обсуждается возможность дистанционной диагностики состояния приповерхностного слоя морской воды по результатам регистрации отраженных и рассеянных акустических импульсов. В докладе Мелентьева В.В. и Постникова Е.Б. (Курский ГУ) представлены результаты изучения влияния изомеризации на акустические и флуктуационные свойства хлорпропана по данным экспериментальных исследований. Миронов М.А. и соавторы (АКИН) сообщают о результатах исследования влияния реверберации на разрешающую способность корреляционного метода определения местоположения источника акустической эмиссии. В работе Журавлевой Е.С. и Кедринского В.К. (ИГ СО РАН) рассматривается формирование ударной волны и волны разрежения при импульсном нагружении слоя жидкости со свободной поверхностью. Приводятся результаты численного анализа формирования ударной волны для двух состояний жидкости — однофазной чистой воды и воды с микропузырьками свободного газа. Полунин В.М. и соавторы (ЮЗ ГУ) изучили динамику захвата пузырьков магнитной жидкостью в области “магнитного вакуума” кольцевого магнита. Получены данные о влиянии концентрации маг-

нитной жидкости на прочность магнитожидкостных перемычек при воздействии внешнего давления. Эти сведения полезны для разработки стенда для испытания магнитной жидкости, применяемой в герметизаторах, где жидкости испытывают подобные воздействия. В докладе Субботкина А.О. (ИОФ РАН) представлено уравнение колебательного процесса на поршневой моде в цилиндрической трубе с импедансными включениями и в акустической интерференционной антенне (трубы с боковыми отверстиями). Определен импеданс торцевого входа трубы с импедансными включениями, а также входной и выходной импедансы боковых отверстий антенны. Автор с коллегами в другом докладе представил результаты исследования микрофонных систем типа “диполь” и “триполь” с неидентичными приемниками. Коробов А.И. и соавторы (МГУ) сообщают о результатах экспериментального исследования упругих свойств сверхпроводящей керамики  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  методами акустической диагностики. Измерены температурные зависимости амплитуд первой и второй гармоник продольной и сдвиговых волн, а также температурные зависимости скоростей этих волн. При температуре порядка 91 К в образце ВТСП-керамики обнаружено аномальное поведение линейных и нелинейных упругих характеристик, которое связывается с переходом в сверхпроводящее состояние. В другом докладе представлены результаты аналогичного измерения упругих свойств поликристаллического титана. Теплых А.А. и соавторы (ИРЭ РАН) исследовали щелевую моду акустической волны, которая распространяется в структуре из двух пьезопластин, разделенных узким вакуумным зазором. Рассчитаны зависимости вносимых потерь и фазы сигнала, которые количественно соответствуют результатам эксперимента. Пирозерский А.Л. и соавторы (СПбГУ, ФТИ) исследовали особенности плавления и кристаллизации галлий-индиевых сплавов в нанокompозитах на основе пористых стекол. В работе Симакова И.Г. и соавторов (Ин-т физического материаловедения СО РАН) изучено влияние температуры адсорбента на динамику адсорбции паров воды на поверхности звукопровода из ниобата лития. Показано, что параметры поверхностных акустических волн (ПАВ) зависят от температуры и динамики адсорбционного процесса. В докладе Турчина П.П. и соавторов (Сибирский федеральный университет) приведены результаты исследования акустических волн в монокристаллах  $YAl_3(BO_3)_4$ . Получены экспериментальные значения электромеханических постоянных этих монокристаллов и на их основе исследована анизотропия параметров волн различного типа: объемных, поверхностных, Лява и Лэмба. Плетнев О.Н. и соавторы (Сибирский федеральный университет) провели исследование дисперсионных зависимостей характеристик



волн Лэмба в пластинах кристалла  $\text{LiNbO}_3$  при воздействии механического давления. В работе Николаевцева В.А. с соавторами (Саратовский ГУ) исследованы эффективность и селективность возбуждения волн Лэмба в пластинах различных сортов стекла (закаленное листовое стекло, флинтглас и боратное стекло) клиновидным УЗ преобразователем из оргстекла с фазированной решеткой пьезопреобразователей из пьезокерамики PZT-4. Показано, что эффективное селективное возбуждение основных мод Лэмба в длинноволновой области в исследованных пластинах невозможно обычным клиновидным УЗ преобразователем. В двух докладах Кузнецова Г.Н. и Степанова А.Н. (ИОФ РАН) исследованы особенности распространения акустических волн в мелком море. Выполнено численное и аналитическое исследование закономерностей ослабления регулярных составляющих звукового давления и ортогональных — горизонтальной и вертикальной проекций вектора колебательной скорости. Расчеты выполнены для низкочастотных полей, образованных этими источниками в волноводе Пекериса. Выполнено численное и аналитическое исследование пространственной структуры и закономерностей ослабления звукового давления и проекций вектора колебательной скорости в ситуации, когда в качестве источников выступают инфразвуковые мультиполи различного типа, размещенные в волноводе Пекериса. В двух докладах Ахмеджанова Ф.Р. и соавторов (Узбекистан) рассматривается распространение УЗ в металлах и пьезокристаллах. Получены данные по упругим свойствам и коэффициенту Грюнайзена поликристаллических сплавов алюминия АМГ-2 и CaB-1, широко применяемых в машиностроении и реакторостроении. Исследованы упругие свойства и определены параметры анизотропии пьезоэлектрических кристаллов силиката висмута, германата висмута и сульфида диспрозия.

## СЕКЦИЯ ШВ – ШУМЫ И ВИБРАЦИИ

*Руководитель секции д. ф.-м. н. Ю.И. Бобровницкий (ИМАШ РАН)*

Представлено 18 докладов — 15 устных и 3 стендовых. В работе секции приняли участие ведущие предприятия, решающие виброакустические проблемы на транспорте (АКИН, ИПФ РАН, ЦКБ МТ Рубин, ЦАГИ, ПАО Туполев), в строительстве и архитектуре (НИИ СФ, МВТУ). Особенностью секции является разнообразие — от активных методов подавления шума в элементах конструкций до виброакустического проектирования авиационных двигателей нового поколения.

В работе Суворова А.С., Кутузова Н.А., Ступенкова А.В., Родионова А.А. (ИПФ РАН) рассмотрена задача локализации источника вибраци-

онной активности в сложной механоакустической системе. Сравнивается эффективность методов для тонального и широкополосного сигнала, а также для одного или нескольких источников. Численное моделирование и эксперимент показали, что методы позволяют с высокой достоверностью проводить локализацию виброисточника при использовании усреднения по частотам.

В докладе Иваненкова А.С., Родионова А.А., Савельева Н.В. (ИПФ РАН) рассмотрена задача построения акустических изображений двух близких источников звука с использованием гибких микрофонных решеток. Получены результаты локализации акустических источников при численном моделировании, а также в экспериментах в безэховой камере.

В докладе Белоусова Ю.И., Гладилина А.В., Савицкого О.А., Степанова В.Б. (АКИН) приводятся варианты применения принципа взаимности для определения зависимостей звукового поля как от угла, так и от расстояния. Конструкции могут быть возбуждены сосредоточенной динамической силой, воздушным шумом внутри, вибрациями корпуса. Поле может быть определено как при наличии границ, так и в безграничном пространстве.

В работе Белоусова Ю.И., Степанова В.Б. (АКИН) с использованием концепций статистической энергетической модели колебания механической структуры получено выражение для определения величины эквивалентной среднеквадратичной силы, вызывающей колебания структуры с заданной вибрационной скоростью. Базовое соотношение модифицировано для инженерного расчета эквивалентной силы по измеряемой величине уровней виброускорения. Приведен пример расчета для отрезка стальной трубы, подкрепленной системой кольцевых ребер жесткости.

Авиационные двигатели нового поколения и их акустические особенности рассмотрены в докладе Бакланова В.С. (ПАО “Туполев”). Для них характерны повышенная степень двухконтурности и, как следствие, расширение спектра шума в низкочастотный диапазон.

В работе Жарникова Т.В. (ЦАГИ) задача о колебаниях струны рассматривается в связи с проблемой звукоизоляции. Анализируется влияние переменного распределения физических параметров на звукоизолирующую способность конструкции.

В докладе группы авторов из ЦКБ “Рубин”, ИОФ и АКИН — Пудовкина А.А., Кешкова Д.И., Китанова М.Ю., Кузнецова Г.Н., Кутакова С.И., Майзеля А.Б., Смагина Д.А., Сухарцова А.А. — решается задача активного подавления широкополосного шума в воздуховоде. Показано, что применение активных методов обеспечивает ослабление широкополосных сигналов во всей ра-

бочей полосе частот на 10–12 дБ, максимальные спектральные плотности на частотах 100–150 Гц подавляются на 16–18 дБ.

В работе Сутырина В.И. (Балтийский Федеральный Университет, Калининград), Шинкаренко И.А. (АО “Прибалтийский судостроительный завод “Янтарь”, Калининград) предложена новая конструкция подвески судового трубопровода. Приведены сравнительные результаты натурных исследований подвески предлагаемой конструкции и стандартных судовых виброизолирующих подвесок.

Доклад Цукерникова И.Е., Шубина И.Л., Невенчанной Т.О., Смирнова В.А. (НИИСФ, Московский политехнический университет) посвящен проблеме оценки непостоянной вибрации, создаваемой рельсовым транспортом в помещениях зданий. Показано, что в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 в качестве нормируемого параметра вибрации следует принимать эквивалентное значение частотно-корректированной виброскорости или виброускорения или их уровней, и именно для этих величин установлены ужесточенные в 0.32 раза (на –10 дБ) допустимые значения. Приведены доводы в пользу принятия в качестве нормируемого параметра в помещениях соответствующих значений виброскорости. Отмечена целесообразность включения в состав нормируемых параметров максимального значения указанных величин и одновременной оценки обоих значений параметров. Даны нормативные и предельные значения нормируемых параметров в октавных полосах типичного для рельсового транспорта диапазона частот, которыми можно руководствоваться при подборе средств виброзащиты.

В докладе Геча В.Я., Либермана М.Ю., Шматкова А.В. (ВНИИЭМ) изучены метрологические возможности метода акустической интенсивности при проведении аттестации заглушенной камеры в низкочастотном диапазоне. При аттестации камеры с использованием стандартной методики (ГОСТ ISO 3745-2014, Приложение А) в низкочастотном диапазоне метрологические проблемы обусловлены влиянием систематических погрешностей на результаты измерений. Эти проблемы связаны, в частности, с проведением акустических измерений в ближней зоне комплексного акустического поля. Показано, что метод интенсивности позволяет устранить влияние погрешности (обусловленной формированием реактивной компоненты комплексного акустиче-

ского поля в объеме камеры) на результаты измерений.

Доклад Карпова И.А. (ИМАШ РАН, МГУ) посвящен параметрическим методам анализа виброакустических случайных процессов, основанным на построении моделей – авторегрессионной (АР), скользящего среднего (СС) и АРСС-моделей. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими (минимальное число модельных параметров, высокое спектральное разрешение, экономия вычислений), однако в акустике они почти не применяются. Описан алгоритм построения параметрических моделей, созданы компьютерные программы, которые применены к реальным акустическим и вибрационным сигналам при спектральном оценивании и нахождении передаточной функции динамических систем.

Защите зданий от воздействия наземных видов транспорта и метрополитена посвящены два доклада. Канев Н.Г., Московей М.Е. (МГТУ) изучили метод защиты с помощью плавающих полов. Роденков В.Н., Жадов Я.С., Канев Н.Г. (ООО “Акустические материалы”, ГК STONE HEDGE, Москва) предложили “отсечение” фундамента от грунта по его периметру упругим слоем. Приведены результаты измерений уровней вибраций на конструкциях здания: проведена оценка выполнения санитарно-гигиенических требований и проанализированы особенности передачи вибрации по конструкции.

Шум систем охлаждения (чиллеров, драйкулеров) изучен в докладе Антипушина Ю.М., Клименковой О.И. (ООО “ЭкоКонцепт”, г. Москва).

В работе Шлычкова С.В. (Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола) исследованы виброакустические характеристики конструкций из древесины.

В работе Гордеева А.Б. (Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия) предложены методы измерения виброперемещений путем акустического зондирования исследуемой поверхности, сформулированы требования к аппаратуре.

Авторы из Санкт-Петербурга – Хлопков Е.А., Литвинов М.Ю., Смирнов В.В., Сятковский А.И., Бьюненко Ю.Н. – рассмотрели индивидуальные средства защиты от вибраций. Приведены результаты исследования антивибрационных рукавиц.

Авторы Щугорев В.Н., Хроматов В.Е., Радин В.П., Щугорев А.В. (МЭИ) сравнили методы измерения собственных колебаний конструкций из композиционных материалов.