

ПРОГРАММА

III Всероссийской акустической конференции

Место проведения: г. Санкт-Петербург, наб. реки Смоленки, д.2
Конгресс-Холл «Василеостровский»

21 сентября, ПОНЕДЕЛЬНИК

Зал № 1

9:00–10:00 — регистрация

10:00–10:10 — открытие конференции

10:10–11:30 — пленарная сессия

11:30–11:50 — кофе-брейк

11:50–13:50 — пленарная сессия

13:50–14:30 — обед

14:30–16:30 — пленарная сессия

16:30–17:30 — вручение премий ASA2019

22 сентября, ВТОРНИК

9:00–11:00 — физическая акустика, геоакустика, архитектурная и строительная акустика, акустика океана (Залы № 1–4)

11:00–11:20 — кофе-брейк

11:20–13:20 — физическая акустика, геоакустика, шумы и вибрации, акустика океана (Залы № 1–4)

13:20–14:00 — обед

14:00–16:00 — оптоакустика, геоакустика (Зал № 1–2)

III Всероссийская акустическая конференция

16:00–16:20 — кофе-брейк

16:20–17:20 — геоакустика, шумы и вибрации, акустика океана,
стендовая сессия (Залы № 1–4)

23 сентября, СРЕДА

9:00–11:00 — ультразвуковые технологии, физическая акустика,
акустика метаматериалов, акустика океана (Залы № 1–4)

11:00–11:20 — кофе-брейк

11:20–13:20 — ультразвуковые технологии, физическая акустика,
акустика метаматериалов, акустика океана (Залы № 1–4)

13:20–14:00 — обед

14:00–16:00 — акустика речи, акустооптика, акустика метаматериалов
(Залы № 1–3)

16:00–16:20 — кофе-брейк

16:20–16:50 — акустика речи, акустооптика, акустика метаматериалов
(Залы № 1–3)

16:50–17:50 — круглый стол редколлегии «Акустического журнала»
(Зал № 1)

24 сентября, ЧЕТВЕРГ

9:00–11:00 — ультразвуковые технологии, аэроакустика,
акустические измерения и стандартизация, акустика океана
(Залы № 1–4)

11:00–11:20 — кофе-брейк

11:20–13:20 — ультразвуковые технологии, аэроакустика,
акустические измерения и стандартизация, акустика океана
(Залы № 1–4)

13:20–14:00 — обед

III Всероссийская акустическая конференция

14:00–16:00 — биомедицинские приложения, электроакустика и электроакустическая аппаратура, акустоэлектроника (Залы № 1–3)

16:00–16:20 — кофе-брейк

16:20–18:20 — биомедицинские приложения, электроакустика и электроакустическая аппаратура, акустоэлектроника (Залы № 1–3)

25 сентября, ПЯТНИЦА

9:00–11:00 — нелинейная акустика, биомедицинские приложения, распространение и дифракция волн, акустика океана (Залы № 1–4)

11:00–11:20 — кофе-брейк

11:20–13:20 — нелинейная акустика, биомедицинские приложения, распространение и дифракция волн, акустика океана (Залы № 1–4)

13:20–14:00 — обед

14:00–16:00 — принятие решения по конференции, закрытие конференции (Зал № 1)

III Всероссийская акустическая конференция

Руководитель секции	Название секции
Сапожников О.А.	ФА(1) — физическая акустика
Хохлова В.А	ФА(2) — физическая акустика
Сапожников О.А	УТ — ультразвуковые технологии
Хохлова В.А	БИО(1) — биомедицинские приложения
Сапожников О.А	БИО(2) — биомедицинские приложения
Хохлова В.А	НА — нелинейная акустика
Миронов М.А	РД — распространение и дифракция волн
Исаев А.Е.	АИС — акустические измерения и стандартизация
Субботкин А.О.	ЭА — электроакустика и электроакустическая аппаратура
Есипов И.Б	ГЕО — геоакустика
Копьев В.Ф	АЭР — аэроакустика
Бобровницкий Ю.И.	ШВ — шумы и вибрации
Томилина Т.М.	АММ — акустика метаматериалов
Кузнецова И.Е	АЭ — акустоэлектроника
Балакший В.И.	АО — акустооптика
Михалевич В.Г.	ОА — оптоакустика
Кравчун П.Н	АСА — архитектурная и строительная акустика
Ляксо Е.Е.	АР — акустика речи
Малый В.В.	АОК — акустика океана

III Всероссийская акустическая конференция

РАСПИСАНИЕ СЕКЦИЙ

Дата, время		Зал №1	Зал №2	Зал №3	Зал №4
21.09.20	09:00 – 10:00	Регистрация			
		(Зал № 1)			
	10:00 – 10:10	Открытие конференции			
	10:00 – 13:50	Пленарная сессия			
	14:30 – 16:30 16:30 – 17:30	Вручение премий ASA2019			
22.09.20	09:00 – 11:00	ФА(1)	ГЕО	АСА	АОК
	11:20 – 13:20	ФА(1)	ГЕО	ШВ	АОК
	14:00 – 16:00	ОА	ГЕО	ШВ	АОК
	16:20 – 17:20	Стендовая секция		ШВ	АОК
23.09.20	09:00 – 11:00	УТ	ФА(2)	АММ	АОК
	11:20 – 13:20	УТ	ФА(2)	АММ	АОК
	14:00 – 16:50	АР	АО	АММ	-
		Круглый стол редколлегии			
	16:50 – 17:50	«Акустический журнал» (Зал № 1)			
24.09.20	09:00 – 11:00	УТ	АЭР	АИС	АОК
	11:20 – 13:20	УТ	АЭР	АИС	АОК
	14:00 – 16:00	БИО(1)	ЭА	АЭ	-
	16:20 – 18:20	БИО(1)	ЭА	АЭ	-
25.09.20	09:00 – 11:00	НА	БИО(2)	РД	АОК
	11:20 – 13:20	НА	БИО(2)	РД	-
	14:00 – 16:00	Принятие решения по конференции Закрытие конференции (Зал № 1)			

21 сентября, понедельник**ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ****Зал № 1****10:00 — ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ****10:10 — АКАДЕМИК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ АНДРЕЕВ —
ОСНОВАТЕЛЬ АКУСТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
(К 140-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

Гладилин А.В., АО Акустический институт им. Н.Н. Андреева, г. Москва
АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева»; Москва,
E-mail: gladilin@akin.ru

В нынешнем — 2020 г. — исполняется 140 лет со дня рождения выдающегося акустика академика Н.Н. Андреева. В 30-е гг. работа Н.Н. Андреева была связана с преподаванием и исследованиями в Ленинграде, в частности, в Физико-техническом институте АН СССР. Его научные работы того времени были, в основном, связаны с воздушной акустикой — вопросы излучения и распространения звука, архитектурная акустика, акустика музыкальных инструментов, звукофикация открытых пространств на выставках и массовых мероприятиях. Особняком стояла главная его работа – руководство акустической частью проектирования будущего Дворца Советов.

В связи с переездом АН СССР в Москву и созданием Физического института имени П.Н. Лебедева (ФИАН), Н.Н. Андреев получил возможность создать Акустическую лабораторию «под крышей» ФИАН.

После Великой отечественной войны интересы Акустической лаборатории были уже тесно связаны с акустикой океана. Быстрые успехи в этой области были связаны с особенностями школы Н.Н. Андреева — подходом, основанным на глубоком понимании физических процессов, высокой квалификацией участников, готовностью браться за новые сложные задачи, что очень важно в такой разветвленной области как акустика. Н.Н. Андреев был хорошо известен зарубежным ученым еще со времен знакомства с А. Эйнштейном в 1905 г., теперь международное признание получила и его школа.

В 1946 г. ученики Н.Н. Андреева Л.М. Бреховских и Л.Д. Розенберг, проводя опыты в Японском море, делают открытие, которое многие эксперты уже 70 лет считают достижением нобелевского уровня. Они открывают т.н.

подводный звуковой канал. В последующие годы открытия в области гидроакустики, потребности ВМФ СССР, мощный потенциал коллектива (около 200 человек) поставили во главу угла задачу превращения Лаборатории в отдельный Акустический институт АН СССР, что и было сделано в 1954 г. Директором-организатором стал чл.-корр. АН СССР Л.М. Бреховских. Н.Н. Андреев, поддерживая своего ученика в вопросах исследований акустики океана, тем не менее ставил задачи диверсификации задач, которые могли бы выполнить сотрудники института. В новом институте он заложил основы изучения фундаментальных основ промышленного ультразвука, биологической, нелинейной, физиологической акустики – направлениями, значение которых в полной мере раскрывается только сегодня.

Научный стиль, заложенный Н.Н. Андреевым, не раз выручал институт в трудные 90-е гг. Так, Акустический институт стал одним из немногих НИИ, которые выигрывают гранты сразу в нескольких подразделениях Российского фонда фундаментальных исследований — физика и астрономия, науки о земле, биология, телекоммуникации, социология науки и технологий. Такое под силу разве что профильным университетам. Другой пример диверсификации состоит в том, что подходы, выработанные специалистами в области гидроакустики, оказались полезными для нефтегазовой отрасли. Акустический институт имени Н.Н. Андреева в постперестроечные годы стал полноправным участником масштабных международных программ.

Сегодня институт переживает новый этап своего развития и создает комплексы различного оборудования для проведения морских геолого-разведочных и подводных технических работ, а также поисковые навигационные и охранные системы.

10:50 — НЕДЕЛЯ ЗВУКА В РОССИИ (СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ)

Ляксо Е.Е., Санкт-Петербургский государственный университет

11:30–11:50 — КОФЕ БРЭЙК

11.50 — НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИКИ

Руденко О.В., Московский государственный университет

12:30 — АКУСТИЧЕСКИЕ И СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ В МАГНИТНЫХ, МАГНИТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТО-УПРУГИХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

Никитов С.А.,

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва

В докладе представлен обзор работ по исследованию свойств акустических и спиновых волн, распространяющихся в твердотельных гетероструктурах и имеющих применения в твердотельной электронике.

В настоящее время исследование свойств акустических волн (в первую очередь, поверхностных акустических волн (ПАВ)) в твердых телах обусловлено в основном развитием технологий применения этих волн для нужд микро- и нанoeлектроники. Если в недавнем прошлом приборная элементная база СВЧ-диапазона (до 1 Гц), то в настоящее время вследствие развития технологии элементная база позволяет возбуждать волны с длинами порядка десятков и единиц микрометров на частотах в несколько ГГц и даже более 10 ГГц, и на их основе создается новая элементная база. В микро- и нанoeлектронике основные применения ПАВ лежат в области создания линий задержки сигналов, фильтров, резонаторов, в том числе для беспроводных технологий и в особенности датчиков различных физических величин. Исследованиям в данной области и посвящена настоящая работа.

13:10 — ДАЛЬНЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ С АНИЗОТРОПНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Куличков С.Н., Чунгузов И.П., Попов О.Е.,

Институт Физики атмосферы РАН

Излагается теория распространения инфразвуковых волн (частоты ниже 20 Гц) в реальной атмосфере с присущими ей мезомасштабными флуктуациями скорости ветра и температуры с периодами от 1 мин до нескольких часов. С помощью теории объясняются наблюдаемые в экспериментах эффекты, которые оказывают мезомасштабные флуктуации на параметры инфразвуковых волн, распространяющихся в разных слоях атмосферы: атмосферном пограничном слое, стратосфере, мезосфере и нижней термосфере. В качестве практических приложений теории предлагается ее использование для зондирования тонко-структурных неоднородностей атмосферы в области высот 0...140 км). Другим практическим применением теории распространения инфразвука в анизотропной флуктуирующей атмосферы является развитие методов инфразвукового мониторинга испытаний ядерных взрывов и опасных для жизни природных явлений (извержения вулканов, цунами, ураганы, землетрясения, торнадо, падение метеоритов и др.). В качестве модели

формирования тонкой слоистой структуры в устойчиво-стратифицированной атмосфере в настоящей работе предложена модель, учитывающая нерезонансные взаимодействия между внутренними волнами, между волнами и горизонтальными вихревыми движениями. Такая модель позволила, исходя непосредственно из уравнений гидродинамики, впервые получить трехмерный пространственный спектр анизотропных флуктуаций скорости ветра и температуры, вызванных ансамблем внутренних волн и горизонтальных вихревых движений. С помощью этого спектра удалось параметризовать статистические характеристики флуктуаций параметров инфразвуковых сигналов (частотного спектра поля рассеянного сигнала, его когерентности, времени распространения и углов прихода). В настоящей работе на основе обнаруженного ранее авторами эффекта рассеяния инфразвуковых сигналов на тонкой слоистой структуре скорости ветра и температуры в стратосфере, мезосфере и нижней термосфере был разработан новый метод зондирования атмосферы с использованием мощных импульсных источников звука (наземных взрывов, вулканов, детонационных генераторов). Восстановленные с помощью этого метода мгновенные вертикальные профили скорости ветра в атмосферном пограничном слое, стратосфере и нижней термосфере (до высоты 140 км) позволили получить недавно новые данные о временной изменчивости, вертикальных спектрах и когерентности анизотропных флуктуаций скорости ветра на высотах верхней стратосферы (30–50 км) и нижней термосферы (90–140 км).

13:50–14:30 — ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД

14:30 — ЖИВЫЕ РОБОТЫ И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Иванов М.П., Калинов М.И., Родионов А.А., Стефанов В.Е.,
Санкт-Петербургский государственный университет, Институт океанологии
им. П.П. Ширшова РАН, СПб отделение СПП РАН

15:10 — РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ НЕЛОКАЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Хантулева Т.А., Санкт-Петербургский государственный университет

15:50 — ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКИХ ВОЛН

Чаликов Д.В., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

16:30 — Вручение премий ASA2019

22 сентября, вторник**Секция ФА (1) — Физическая акустика****Зал № 1**

Руководитель, Сапожников Олег Анатольевич,
oleg@acs366.phys.msu.ru

9:00–9:45

(первые 5 мин — введение и объявление о программе секции на два дня)

**1. АКУСТИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ КАК МЕТОД
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ
ИСТОЧНИКОВ И ИЗЛУЧАЕМЫХ ИМИ ПОЛЕЙ (пленарный)**

Сапожников О.А.

Физический факультет Московского государственного университета им.
М.В.Ломоносова, Москва, E-mail: *oleg@acs366.phys.msu.ru*

Голография основана на возможности восстановления трёхмерного волнового поля на основе двумерных распределений параметров волны, записанных в точках некоторой поверхности. В случае монохроматического процесса голограмма представляет собой запись амплитуды и фазы, а в более общем случае — всей формы волны. При исследовании волновых полей мегагерцового диапазона, излучаемых источниками сантиметровых размеров, корректная запись голограммы требует регистрации формы волны в большом количестве точек поверхности, порядка 10^3 – 10^4 , что достигается в эксперименте путем последовательного размещения миниатюрного приемника в указанные точки с использованием автоматизированной системы позиционирования. Экспериментально записанная голограмма позволяет найти структуру колебаний поверхности источников, а также рассчитать характеристики акустического поля в объёме. В докладе делается обзор по результатам многолетних работ по развитию метода акустической голографии, проводимых в Лаборатории медицинского и промышленного ультразвука МГУ, а также в научных центрах США, Англии и Франции. Работа поддержана грантом РФФИ №19-12-00148.

9:45–10:00**2. НОВЫЕ ЗАКОНЫ И ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ДИФFUЗНОМ РАССЕЯНИИ ВОЛНЫ РЭЛЕЯ**

Чуков В.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля; Российской академии наук, Москва, Россия; E-mail: vchukov@mail.ru

В рамках новых топологических законов рассеяния поверхностной акустической волны Рэлея на шероховатом участке свободной поверхности изотропного твёрдого тела впервые получена аналитическая формула для интенсивности диффузного рассеяния в виде обобщённого ряда Фурье по обобщённому базису Шверда-Лауэ с коэффициентами разложения в виде амплитуд разрывов шероховатости, дающая строго периодический спектр рассеяния для произвольной хаотической решётки разрывов шероховатости. Получен обобщённый закон рассеяния Лауэ-Брэгга-Вульфа. Даны объяснение и полная физическая картина хорошо известных в литературе рассеяния на сверхрешётке, саб-брэгговского рассеяния, отсутствовавшие до сих пор в литературе. Получены и исследованы бифуркации обобщённых периодических резонансов для рассеяния на непериодической решётке, псевдо-брэгговское рассеяние на участке поверхности с непрерывной шероховатостью.

10:00–10:15**3. АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ СДВИГОВОЙ УПРУГОСТИ НАНОСУСПЕНЗИЙ**

Дембелова Т.С., Бадмаев Б.Б., Макарова Д.Н.

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ;

E-mail: tu_dembel@mail.ru

Акустическим резонансным методом с применением пьезокварцевого кристалла определен комплексный модуль сдвига суспензий наночастиц диоксида кремния в полиэтилсилоксановой жидкости. Метод основан на изучении влияния сил добавочной связи на резонансные характеристики колебательной системы. Пьезокварц, закрепленный в точках на узловой линии, колеблется на основной резонансной частоте 73 кГц, совершая тангенциальные смещения. Суспензия наносится на один конец горизонтальной поверхности и накрывается твердой накладкой из плавленого кварца, подвергаясь деформациям сдвига. При увеличении значений вынуждающей силы, колеблющей пьезокварц, резонансные кривые деформируются, что свидетельствует о нелинейности сдвиговой упругости исследуемых суспензий.

Получены зависимости модуля сдвига наносuspensions от амплитуды деформации.

10:15–10:30

**4. ЗВУКОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ КАВИТАЦИОННОГО ШУМА В
ФОКУСИРОВАННОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ**

Гаврилюк В.С., Котухов А.В., Минчук В.С., Николаев А.Л., Дежкунов Н.В.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск; Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
Москва; E-mail: dnv@bsuir.by

Исследовалась связь интенсивности звуколюминесценции (ЗЛ) и спектральных характеристик кавитационного шума. Установлено, что в непрерывном ультразвуковом поле порог возникновения субгармоники в спектре кавитационного шума с точностью не ниже точности измерений совпадает с порогом возникновения ЗЛ. При интенсивности ультразвука, не намного превышающей порог звуколюминесценции, наблюдается корреляция интенсивности ЗЛ и интенсивности субгармоники как в непрерывных так и в импульсных полях. При интенсивности ультразвука намного выше порога ЗЛ в импульсном поле имеются режимы, когда интенсивность ЗЛ растет, а интенсивность субгармоники уменьшается. Интегральная интенсивность широкополосной составляющей коррелирует с интенсивностью звуколюминесценции в более широком диапазоне интенсивностей и параметров импульсов ультразвука, чем субгармоника.

10:30–10:45

**5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ШАРА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАССЕЯНИЯ НА НЁМ АКУСТИЧЕСКОГО
ПУЧКА**

Котельникова Л.М., Николаев Д.А., Цысарь С.А., Сапожников О.А.
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;
E-mail: kotelnikova.lm16@physics.msu.ru

При проведении экспериментов с упругими сферическими рассеивателями необходимо знать их основные параметры, характеризующие внутренние резонансы. В настоящей работе показано, что скорости продольных и поперечных волн в твердотельном шаре могут быть определены из характеристик рассеяния ультразвукового пучка. В качестве рассеивателей использовались шары из стали и нейлона миллиметровых размеров, которые крепились в воде с помощью системы натянутых рыболовных лесок малой толщины. Акустическое поле создавалось плоским пьезоэлектрическим

излучателем, работающим в импульсном режиме в мегагерцовом диапазоне частот. Рассеиватель помещался на оси излучателя. Путем сравнения экспериментальных данных и численных расчетов для амплитуды рассеяния были найдены неизвестные скорости и оценены коэффициенты поглощения упругих волн. Работа поддержана грантом РФФИ №19-12-00148.

10:45–11:00

6. ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЁРДОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ К ТЕМПЕРАТУРЕ СРЕДЫ

Легуша Ф.Ф., Маслов В.Л., Попов Ю.Н., Чижев В.Ю.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург; ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург; E-mail: legusha@smtu.ru

Исследуется процесс взаимодействия плоской бегущей звуковой волны с твёрдой сферической частицей, взвешенной в теплопроводной жидкости. Для частицы выполняется условие $kR \ll 1$, где R — радиус сферы, $k = \omega/c$ — волновое число, $\omega = 2\pi f$ — частота, c — скорость звука в жидкости. Частица является твёрдым абсолютно теплопроводным телом. Показано, что в результате взаимодействия акустической добавки к температуре среды на поверхности сферы возбуждается расходящаяся сферическая неоднородная тепловая волна. При этом в системе наблюдаются два диссипативных процесса, один из которых обусловлен стационарной теплопроводностью жидкости, а второй затуханием тепловой волны. Кроме того, следствием появления тепловой волны в системе наблюдается возбуждение вторичной сферической звуковой волны.

11:00–11:20 — КОФЕ БРЭЙК

11:20–11:35

7. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ К ТЕМПЕРАТУРЕ СРЕДЫ СО СФЕРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТЬЮ, ВЗВЕШЕННОЙ В ЖИДКОСТИ

Легуша Ф.Ф., Маслов В.Л., Попов Ю.Н., Чижев В.Ю.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург; ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург; E-mail: legusha@smtu.ru

В работе исследуются процессы, возникающие при взаимодействии плоской звуковой волны, распространяющейся в безграничной вязкой и

теплопроводной жидкости, в которой имеется неподвижная сферическая полость, заполненная газом. Предполагается, что полость имеет малые волновые размеры $k_1 R \ll 1$, где k_1 — волновое число в жидкости, R — радиус сферы. Кроме того, в объёме полости выполняется дополнительное условие $2\delta T_2 \ll R$, где δT_2 — толщина акустического пограничного слоя в газе. В результате взаимодействия с полостью акустической добавки к температуре среды в ней наблюдаются явления: диссипация акустической энергии за счёт возбуждения в газе, заполняющем сферу; затухающая неоднородная тепловая волна; возбуждение в полости вторичной сферической звуковой волны за счёт термоакустического эффекта.

11:35–11:50

8. МЕХАНИЗМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВУКА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БЕГУЩЕЙ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ С ГРАНИЦЕЙ ЖИДКОСТЬ-ГАЗ

Легуша Ф.Ф., Никущенко Д.В., Попов Ю.Н., Рытов Е.Ю.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург; ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург; E-mail: legusha@smtu.ru

Представлена задача о взаимодействии плоской звуковой волны, распространяющейся в жидкости, с бесконечной поверхностью, контактирующей с газообразной средой. Решение задачи получено с учётом акустической добавки к температуре среды. Показано, что в случае контакта вязких и теплопроводных сред возникает дополнительное излучение звука в газообразную среду. Это является следствием того, что при взаимодействии звуковой волны с поверхностью в газе возникает неоднородная тепловая волна, которая за счёт термоакустического эффекта генерирует в газ вторичную звуковую волну. Амплитуда колебательной скорости вторичной волны U_{2T} растёт пропорционально $\sqrt{f}$, где f — частота волны. В диапазоне частот от 100 Гц до 10,0 кГц выполняется неравенство $U_{2T} \gg U_{m2}$, где U_{m2} — амплитуда прошедшей волны при классическом взаимодействии звуковой волны с границей.

11:50–12:05**9. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ МОРСКИХ ОСАДКАХ**

Лисиутин В.А., Ластовенко О.Р., Ярошенко А.А.

Филиал ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им.

адм. Ф.Ф. Ушакова в г. Севастополь; Севастопольский государственный университет, Севастополь; E-mail: vlisiutin@mail.ru

В загрязненных органикой, заиленных грунтах морские осадки являются газонасыщенными. Насыщение осадков газом приводит к существенному снижению скорости звука. Обычно, для вычисления скорости звука в газонасыщенных осадках применяется формула Вуда, где осадки рассматриваются как суспензия. Однако, немалое влияние на скорость звука и величину затухания оказывает внутреннее трение. Для исследования баланса между силами вязкого и внутреннего трения применяется теория GS+EC. Показывается, что при увеличении степени насыщения осадков газом, т.е. снижения объемного модуля упругости среды, пропорционально увеличивается относительный вклад сил внутреннего межгранулярного трения. Вычисления скорости звука по формуле Вуда дают тем более ошибочный результат, чем больше насыщение среды газом.

12:05–12:20**10. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ГАЗОВОГО ПУЗЫРЬКА ВБЛИЗИ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Максимов А.О., Половинка Ю.А.

Тхоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток; E-mail: maksimov@poi.dvo.ru

Целью исследования является описание влияния границы раздела между средами с различными механическими свойствами на поведение газового пузырька. Возможность описать динамику газового включения при наличии ограничивающих поверхностей аналитическими методами связана с наличием внутренней симметрии в определяющих уравнениях. Это приводит к наличию определенных (тороидальных и бисферических) систем координат, в которых переменные разделены. Этот подход, успешно применяемый ранее для описания объемных колебаний, обобщается в настоящей работе на поверхностные моды. Наличие границы приводит к снятию вырождения. Определена форма искажений поверхностных мод. Найдена зависимость порога параметрической неустойчивости от расстояния до границы. Этот физический параметр является важной характеристикой в новом методе ультразвуковой очистки (активированные звуком потоки).

12:20–12:35**11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ ПЕРЕКОСА ОСЕЙ ТРЁХКООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ**

Николаев Д.А., Цысарь С.А., Сапожников О.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва; E-mail: da.nikolaev@physics.msu.ru

При экспериментальном исследовании акустических полей часто необходимо найти их пространственную структуру. Такие измерения проводятся путем последовательного помещения акустического приёмника (гидрофона или микрофона) в заданные точки пространства с помощью автоматизированной системы позиционирования. Система обычно представляет собой комбинацию из трёх взаимно перпендикулярных линейных систем механического перемещения, в каждой из которых пространственные сдвиги осуществляются под действием шагового двигателя. При соответствующем сканировании поля важно точно знать координаты точек, в которых находится приёмник при регистрации акустического сигнала. Указанные координаты, в принципе, задаются вдоль каждой из координатных осей с высокой точностью, вплоть до единиц микрометров. Однако на практике при сборке и эксплуатации систем позиционирования перпендикулярность механических осей может нарушиться, что неизбежно приведёт к систематической ошибке в позиционировании приемника и, как следствие, к неточным измерениям характеристик акустического поля. С целью выявления и компенсации подобных ошибок в настоящей работе предложен новый прецизионный способ определения углов между механическими осями, основанный на методе акустической голографии. Показано, что нахождение углов между механическими осями можно осуществить на основе голограмм, измеренных на двух параллельных плоскостях на некотором расстоянии друг от друга. Работа поддержана грантом РФФ № 19-12-00148.

12:35–12:50**12. ЭФФЕКТ ЗАВИСИМОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ ФОКУСИРОВАННОГО ПОЛЯ ОТ СООТНОШЕНИЯ РАЗМЕРОВ СФЕРИЧЕСКОГО РАССЕИВАТЕЛЯ И ШИРИНЫ ПУЧКА**

Николаева А.В., Сапожников О.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;

E-mail: av.nikolaeva@physics.msu.ru

В работе численно и экспериментально решается задача повышения эффективности силового воздействия акустических пучков на упругие сферические рассеиватели путём выбора оптимальных параметров пучка.

Расчеты, проведенные для квазигауссовского пучка, показали, что зависимость радиационной силы от ширины пучка имеет четко выраженный максимум при приближении поперечного размера пучка к диаметру рассеивателя. Измерения радиационной силы, действующей на упругий рассеиватель в поле фокусированного пучка, подтверждают указанную закономерность: максимальное значение радиационной силы достигается не в фокусе, где пучок уже, чем рассеиватель, а на некотором расстоянии от фокуса, где размеры рассеивателя и пучка становятся сравнимы между собой. Проведением серии численных расчётов для различных значений упругих параметров материала рассеивателя показано, что физической причиной указанного эффекта является резонансное возбуждение сдвиговых волн акустической волной, распространяющейся вдоль поверхности сферы в жидкости. Работа поддержана грантами РФФИ № 18-32-00659, № 18-02-00991.

12:50–13:05

**13. О ПОТЕРЯХ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ВЯЗКОМ
НЕСЖИМАЕМОМ СЛОЕ С ОДНОЙ КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ И ДРУГОЙ
ЖЁСТКОЙ ГРАНИЦАМИ**

Петров А.А., Кирпичников В.Ю.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр

Санкт-Петербург; E-mail: ptrvc@mail.ru

В работе рассматривается динамика вязкого несжимаемого слоя, ограниченного с одной стороны изгибно колеблющейся пластиной, а с другой – неподвижной стенкой. Исследование проводится на основании решения линеаризованного уравнения Навье-Стокса, описывающего динамику вязкой несжимаемой жидкости. Вычислены удельное механическое сопротивление слоя колеблющейся пластине и коэффициент потерь в пластине, вызванных движением вязкого слоя. Показано, что механическое сопротивление увеличивается с уменьшением волнового размера толщины слоя, причем реактивная часть сопротивления растёт обратно пропорционально kH , а активная часть — обратно пропорционально кубу kH . С увеличением толщины слоя решение асимптотически сходится к известному полученному для случая полубесконечного слоя.

13:05–13:20**14. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Пирозерский А.Л., Смирнова О.И., Недбай А.И., Шевцова О.Д.
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург; E-mail: piroz@yandex.ru

Проведены исследования агрегатных фазовых переходов в растворах диметилсульфоксида, внедренных в пористые стекла с размером пор около 7 нм, методами физической акустики и дифференциальной сканирующей калориметрии. Измерения скорости ультразвука проводились модифицированным импульсно-фазовым методом на продольных акустических волнах частотой 7 МГц, в температурном диапазоне 135–310 К. Показано наличие выраженного температурного гистерезиса между процессами плавления и кристаллизации, смещение температурных интервалов плавления и кристаллизации в сторону низких температур, а также значительное размытие соответствующих фазовых переходов.

13:20–14:00 — ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ****КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИКИ в ANSYS**

Круглов А.И.
АО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс»
Москва

В докладе описаны современные средства компьютерного моделирования ANSYS для акустических задач. Приведены возможности моделирования источников звука в известных инструментах CAE анализа ANSYS Mechanical, ANSYS Fluent, ANSYS Maxwell, с последующей обработкой анализа в частотной и временной области в пакете ANSYS VRXPERIENCE SOUND, позволяющим промоделировать восприятие звука, оценить его качество по набору критериев, использовать полученные данные в платформах виртуальной реальности и автомобильных симуляторах.

Секция ОА — Оптоакустика**Зал № 1**

Руководитель, Михалевич Владислав Георгиевич,
mikhal@kapella.gpi.ru

14:00–14:20**1. ВЫНУЖДЕННОЕ РАССЕЯНИЕ НА УПРУГИХ КОЛЕБАНИЯХ
НАНОЧАСТИЦ В ОПТИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ С
НАНОДИСПЕРСНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ**

Бункин А.Ф., Михалевич В.Г., Стрельцов В.Н.

Институт общей физики имени А. М. Прохорова РАН, Москва;

E-mail: *mikhal@kapella.gpi.ru*

Рассмотрен стационарный режим генерации стокового излучения в оптическом резонаторе с высокой добротностью, заполненном жидкой средой с дисперсной фракцией в виде взвеси диэлектрических сферических наночастиц при внешнем возбуждении резонатора. Физическим механизмом вынужденного комбинационного преобразования частоты падающего на среду электромагнитного излучения является раскачка упругих пульсаций дисперсных частиц под действием пондемоторных сил падающей электромагнитной волны и генерируемых полей комбинационных частот.

14:20–14:40**2. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ РАДИАЛЬНО-
СИММЕТРИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Дегтярев В.П.

Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного
федерального университета, Таганрог, *dvp777@mail.ru*

Проведено экспериментальное исследование параметров акустического поля термоакустического излучателя радиально-симметричной конструкции на выходной апертуре и в дальнем поле. Получены частотные зависимости акустического давления в диапазоне частот от 15 кГц до 150 кГц. Определены неравномерности частотной характеристики и направленности излучателя. Установлено, что степень неравномерности характеристик может регулироваться подбором размера апертуры излучателя. Подтверждена возможность использования термоакустического излучателя в качестве многочастотного источника акустических колебаний в водной среде.

14:40–15:00

3. РАССЕЯНИЕ ДЕФЕКТАМИ ВОЛН РЭЛЕЯ И ЛЭМБА, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ИМПУЛЬСНО-ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Баев А.Р., Кулак Г.В., Митьковец А.И.

Институт прикладной физически НАН Беларуси, Минск; Мозырский государственный педагогический университет, Мозырь; Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск; E-mail: baev@iaph.bas-net.by

Теоретически и экспериментально изучены поля рассеяния волн Рэля и Лэмба, возбуждаемых импульсно-лазерным излучением, луч которого, имеющий в поперечном сечении разную геометрию, перемещается через область дефекта в виде усталостной трещины, модельной поры или прорези, а прием волн производится контактными преобразователями. При оптимальной геометрии пятна лазерного луча и положения относительно трещины изменяется спектр сигнала, а его амплитуда возрастает в 6-7 раз. Подобная картина имеет место и в случае, когда модельный дефект пора. Показана эффективность использования возбуждаемых указанным способом волн Лэмба для дефектоскопии и толщинометрии однослойных и двухслойных пластинчатых материалов. Результаты теоретического анализа находятся в хорошем качественном соответствии с опытными данными.

15:00–15:20

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА В МЕТАЛЛОКОДРЕ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Кожушко В.В., Сергиенко В.П., Митюрин Г.С.

Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого, Гомель, Беларусь; Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь E-mail: vkozhushko@mail.ru

Контроль упругих свойств металлокорда на этапе производства является актуальной задачей. В работе рассматривается комбинация оптико-акустических зондирующих импульсов и электромагнитных акустических преобразователей для измерения скорости продольных ультразвуковых импульсов и определения модуля Юнга. Исследования проводились на отрезках проволоки длиной до 100 мм с диаметрами от 0,22 до 1,83 мм. Проволоку подмагничивали кольцевым магнитом с полем 0,25 Тл. Участок проволоки освещался не фокусированным лазерным импульсом с диаметром пучка приблизительно 6 мм, в результате возбуждался ультразвуковой импульс. Регистрацию импульсов выполняли бесконтактно разработанными преобразователями, в качестве чувствительного элемента использовали промышленные индуктивности с габаритными размерами 2×2×2,5 мм. Предложенный подход позволяет решать задачи диагностики при производстве металлокорда.

Секция ГЕО — Геоакустика**Зал № 2**

Руководитель, Есипов Игорь Борисович, *igor.esipov@mail.ru*

9:00–9:20

**1. ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВАРИАЦИЙ
АМПЛИТУД ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ**

Преснов Д.А.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва,

E-mail: *presnov@physics.msu.ru*

В последние годы широкое распространение получили пассивные сейсмические методы поиска полезных ископаемых, основанные на измерении шумового фона. При этом считается, что микросейсмический шум состоит в основном из поверхностных акустических волн рэлеевского типа. В настоящем исследовании на основе математического моделирования вертикально-слоистой среды вычислена чувствительность спектральной амплитуды фундаментальной моды поверхностной волны к вариациям упругих параметров среды, расположенных на различной глубине. Полученный результат позволяет перейти от качественной интерпретации наблюдений пространственных вариаций относительных амплитуд к оценке скоростных параметров среды в пассивном режиме.

9:20–9:40

**2. ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ГИДРОЛОГО-АКУСТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЧИСЛОВЫХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

Гасников О.А.

АО "Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт", Санкт-Петербург; E-mail: *info@gningi.ru*

Возросшие потоки гидрологических данных предъявляют повышенные требования не только получению, хранению и представлению информации, но и к методам ее обработки и усвоения конечными пользователями. В докладе описана новая технология обработки океанографической информации в интересах обеспечения подводных работ на основе анализа числовых последовательностей, полученных в результате датификации особенностей вертикального распределения значений данных наблюдений. Под датификацией понимается способность обращать в «цифру» ту информацию, которая обычно не оценивается количественно. Оценка «похожести» распределений после датификации проводилась на основе сравнения их как математических объектов с помощью метрик расстояний. Приведён пример

расчёта для одного из районов Норвежского моря с использованием данных буёв АРГО. Показано, что автоматизированная обработка данных на основе анализа числовых последовательностей и расчёта энтропии вполне применима для оценки гидролого-акустических условий.

9:40–10:00

3. ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕКТОРНО-ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В МЕЛКОМ ПРЕСНОМ ВОДОЕМЕ

Гончаренко Б.И., Медведева Е.В., Шуруп А.С.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва; Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва; E-mail: medvedeva.ev15@physics.msu.ru

Характер распространения низкочастотного звука в мелком море во многом определяется параметрами дна, что требует учета при проектировании и проведении работ на акваториях. В работе обсуждаются некоторые результаты натурных измерений, проведенных в летнее и зимнее время на гидроакустическом полигоне МГУ имени М.В. Ломоносова, с использованием комбинированных модулей, позволяющих одновременно регистрировать звуковое давление и три взаимно ортогональные компоненты колебательной скорости. Отличительной особенностью акватории полигона является наличие газонасыщенного слоя в дне, определяющего особенности векторно-фазовой структуры акустического поля. Приводятся результаты сопоставительного анализа экспериментальных данных и результатов численного моделирования, направленные на изучение особенностей формирования акустического поля в мелком водоеме со сложными условиями распространения обусловленными газонасыщенным слоем осадков.

10:00–10:20

4. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА В ПЕРЕМЕННОМ ПО ТРАССЕ ВОЛНОВОДЕ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Сазонтов А.Г., Смирнов И.П.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, sazonov@appl.sci-nnov.ru

Построен адаптивный модовый алгоритм, позволяющий локализовать акустический источник с помощью вертикальной антенной решетки, работающей в условиях неполной информации о пространственной изменчивости волноводного канала распространения. Путем статистического моделирования установлено, что реализованный способ оценивания (не требующий знания матрицы связи амплитуд мод) обладает лучшими потенциальными возможностями по сравнению с традиционными методами MUSIC и максимума правдоподобия, осуществляющих обработку в

пространстве элементов антенны, обеспечивая значительное преимущество как в точности измерения координат, так и в достигаемой с его помощью вероятности правильной локализации.

Приведена верификация предложенного метода с использованием экспериментальных данных, полученных в Ладожском озере. Показано, что соответствующий адаптивный алгоритм (в сочетании с модовой фильтрацией) характеризуется высокой разрешающей способностью, гарантирует устойчивость процедуры оценивания к детерминированному рассогласованию, обусловленному неточным знанием геоакустических характеристик донных осадков, и в отличие от соответствующих традиционных способов позволяет корректно решить обратную задачу.

10:20–10:40

5. 3D ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ В ПЛАВНО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ОСАДОЧНОЙ ДОННОЙ ТОЛЩЕ

Заславский Ю.М., Заславский В.Ю.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук (ИПФ РАН)» Россия, Нижний Новгород, e-
mail:zaslav@appl.sci-nnov.ru

На основе применения метода конечных элементов выполнено 3D численное моделирование и проанализированы особенности при распространении импульсных акустических сигналов в структуре: водный слой конечной глубины над твердым дном, имеющем по вертикали плавную стратификацию по скорости поперечной и продольной волны. Имитируются условия распространения в рыхлых донных морских осадках с линейно нарастающим в глубину модулем Юнга. Отмечено, что каждыйкратноотраженный гидроакустический импульс, падающий на дно, порождает в нем объемную волну, имеющую нарастающий масштаб пространственной периодичности по мере ее ухода вглубь. Наряду с объемной также имеет место распространение вдоль границы медленной поверхностной волны (типа Godin-Chapman). Указанные особенности представляют собой информативные признаки для удаленной диагностики параметров донной толщи. Учет особенностей при волновом распространении в присутствии стратифицированного дна также способствует повышению точности, надежности и предельной дальности удаленного позиционирования источника излучения.

10:40–11:00**6. О СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МЕТОДОМ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН**

Заславский Ю.М., Заславский В.Ю.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН)» Россия, Нижний Новгород, e-mail:zaslav@ appl.sci-nnov.ru

Выполнен численный анализ, на основе которого демонстрируется возможность обнаружения локальных неоднородностей при сейсмоакустическом зондировании грунтовой толщи, а также донных осадков на мелководной акватории методом отраженных волн. При этом амплитудное значение суммарного отклика на выходе приемной антенны представляется как двумерный рельеф – в виде функции двух аргументов: 1 — времени задержки приходящего отраженного импульса и 2 — смещения центра апертуры при пространственном сканировании относительно места предполагаемой локализации неоднородности. Анализируется влияние размера апертуры приемной антенны, длительности зондирующего импульса, декремента поглощения при его распространении в среде, габаритов и глубины залегания локальной неоднородности, на разрешающую способность при зондировании и удаленной диагностике параметров неоднородности. Областью применения является поиск карстовых полостей (инженерная сейсморазведка), поиск марганцевых конкреций, погребенных в заиленных морских осадках (морская сейсморазведка).

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:40****7. НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОНОМНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АКУСТИКО-ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОЛЛЮСК-19**

Ковзель Д.Г., Гриценко В.А., Рутенко А.Н.

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток;

E-mail: ami1984@yandex.ru

Вертикальная акустико-гидрофизическая система Моллюск-19 позволяет измерять на 12 горизонтах вариации акустического давления в частотном диапазоне 10–2000 Гц с динамическим диапазоном 140 дБ, температуру воды с разрешением 0.003 градуса и гидростатическое давление на двух горизонтах. Время автономной работы — 28–30 суток. Применение Моллюска-19 в акустическом мониторинге позволяет контролировать вертикальные структуры поля температуры акустического сигнала, оценивать модовые структуры

акустических и внутренних волн. В докладе приведены некоторые результаты применения Моллюск-19 в 2019 г. в мониторинге сейсморазведочных работ на северо-восточном шельфе о. Сахалин.

11:40–12:00

**8. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА В БУХТЕ ВИТЯЗЬ**

Манульчев Д.С.

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток;

E-mail: manulchevds@gmail.com

В докладе обсуждаются результаты натурных исследований распространения энергии низкочастотных импульсных акустических сигналов в бухте Витязь (Японское море). Показано, что на трассе длиной 2 км при перепаде глубин с 28 до 37 м формируется сигнал в виде двух импульсов с соизмеримыми амплитудами и с задержкой 0.2 с. По-видимому, это вызвано наличием в бухте осадочного слоя. Данное предположение подтверждается результатами численного моделирования при введении в модельный геоакустический волновод песочно-илистой подложки.

12:00–12:20

**9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИН
МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Абрамович А.А., Бурлуцкий С.Б., Недбай А.И., Юша А.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, Ресурсный центр: «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники», С.-Петербург; Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, С.-Петербург; Санкт-Петербургский государственный университет, Физический факультет, С.-Петербург;

E-mail: a.abramovich@spbu.ru

Глины относятся к упруго-вязким телам, реологические свойства которых имеют важное практическое значение в геологии и строительстве [Кригер и др., 1994]. Эти свойства, кроме прочего, обусловлены сложной дисперсной структурой глин и содержащейся в них водой в свободном и связанном состоянии. Упругие свойства глин, связанные с плотностью и скоростями продольных и поперечных упругих волн, являются предметом настоящей работы. Особенностью измерений является применение сравнительно высокой частоты ультразвуковых волн (1,7 МГц), что позволило исследовать образцы глин малых размеров в большом диапазоне влажностей. Полученные результаты обсуждаются в рамках современных представлений молекулярной акустики.

12:20–12:40**10. АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ИСКУССТВЕННЫХ ТРЕЩИНОВАТЫХ ОБРАЗЦАХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ**

Дугаров Г.А., Федин К.В., Колесников Ю.И., Орлов Ю.А.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск; E-mail: DugarovGA@ipgg.sbras.ru

В работе рассматриваются результаты акустических измерений на искусственных образцах, содержащих систему ориентированных пустот (трещин), моделирующих трещиноватую среду. Для изготовления образцов используется технология 3D-печати, которая позволяет проводить контролируемое изменение одного из эффективных параметров трещиноватости при сохранении идентичности прочих. В качестве эффективной (аппроксимирующей однородной) модели для таких сред может рассматриваться модель с трансверсально-изотропной системой симметрии. Результаты проведенных акустических измерений используются для оценки упругих параметров данной эффективной модели, а также тестирования аппроксимационных формул, описывающих их связь с параметрами заданной трещиноватости.

12:40–13:00**11. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ, СОДЕРЖАЩИХ ГИДРАТ МЕТАНА**

Дугаров Г.А., Дучков А.А., Манаков А.Ю., Фокин М.И.;

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск; Новосибирский государственный университет, Новосибирск; Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск; E-mail: DugarovGA@ipgg.sbras.ru

В ресурсном аспекте наибольший интерес представляют природные гидраты в высокопроницаемых песчаных породах, из-за чего гидратонасыщенные пески исследуются интенсивно. Значительно менее изучены другие классы гидратосодержащих пород. Так, ранее была выдвинута гипотеза о возможном наличии газовых гидратов в угольных месторождениях, однако лишь недавно возможность образования газогидратов при наличии связанной воды в углях была доказана экспериментально. В данной работе рассматриваются результаты серии экспериментов по изучению акустических свойств угольных образцов, содержащих лед и гидрат метана. Была выявлена температурная зависимость скоростей продольных и поперечных волн. Приведены результаты экспериментов по изучению влияния на эту зависимость исходного водонасыщения и гидратонасыщения.

13:00–13:20**12. ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ СДВИГОВОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ МОДЕЛЬНОГО РАЗЛОМА.**

Морозова К.Г., Остапчук А.А.

Институт динамики геосфер им. академика М.А.Садовского РАН, Москва;

E-mail: morozova@idg.chph.ras.ru

Динамика гранулированных сред является ключом к пониманию многих природных процессов. Данная работа посвящена лабораторному исследованию фрикционного скольжения разломов — зон локализации очагов землетрясений. Моделирование разломно-блоковой системы проводилось на геомеханическом стенде ИДГ РАН. В ходе экспериментов реализовывалось периодическое формирование динамических срывов — лабораторных аналогов землетрясений.

Впервые в акустоэмиссионных экспериментах убедительно представлено, что в условиях сдвигового нагружения в центральной зоне разлома формируются две структурные подсистемы, которые по-разному реагируют на изменение напряженно-деформированного состояния. До настоящего времени данные структурные подсистемы отчетливо проявлялись только в численных и 2D экспериментах с фотоупругими дисками.

Полученные результаты закладывают основы нового метода мониторинга состояния разломов и подготовки крупных сейсмических событий.

13:20–14:00 — ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД**14:00–14:20****13. НОВЫЙ ПОДХОД К ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОМУ АНАЛИЗУ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

Марапулец Ю.В., Луковенкова О.О., Тристанов А.Б.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка; E-mail: marpl@ikir.ru

Исследования на Камчатке показали высокую эффективность применения акустических методов диагностирования природных сред на масштабах, соответствующих длинам волн звуковых колебаний. Выявлена связь между активизацией деформационных процессов и поведением акустической эмиссии в приповерхностных породах, в том числе при подготовке землетрясений. Акустоэмиссионный сигнал состоит из серий коротких до 200 мс релаксационных колебаний (импульсов) с ударным возбуждением и частотой заполнения от сотен герц до десятков килогерц. Применение стандартных методов для его частотно-временного анализа (преобразование Фурье, вейвлет-преобразование и т.д.) не позволяет получить требуемую точность. Предложен новый подход, основанный на методах разреженной аппроксимации. Для его

реализации построена модель сигнала и разработан адаптивный алгоритм согласованного преследования с базисными словарями, построенными на функциях Берлаге и Гауса. Представлены результаты анализа сигналов с использованием нового подхода.

14:20–14: 40

14. ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОЙ В ОЗ. МИКИЖА (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ)

Щербина А.О., Солодчук А.А.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн, ДВО РАН, с. Паратунка Камчатский край; E-mail: aleksandra@ikir.ru

Представлены результаты оценки мощности источников геоакустической эмиссии, зарегистрированной комбинированным приемником у дна озера Микижа Камчатского края. Оценка проводилась по интенсивности принятого излучения с учетом особенностей локализации его источника. Приведены примеры расчета мощности источников геоакустических сигналов в сейсмически спокойный и активный периоды.

14:40–15:00

15. АКУСТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЙ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛ

Фирстов П.П.; first41@mail.ru

Предложена феноменологическая классификация ударно-волновых и акустических эффектов, базирующаяся на многолетних наблюдениях за волновыми возмущениями в атмосфере во время извержений вулканов Камчатки и Северных Курил. В качестве основных характеристик классов были приняты характерный диапазон частот и физические процессы, в результате которых происходит их генерация.

1. Аэродинамический шум ($f=20-1000$ Гц) возникающий в результате аэродинамического воздействия потока дисперсионного материала на окружающую среду.

2. Импульсные акустические сигналы ($f=1-10$ Гц) генерируются нестационарными процессами в кратерной зоне во время дегазации и фрагментации магмы при ее поступлении на дневную поверхность.

3. Инфразвук ($f=0.003-1.0$ Гц) порождается сильными конвективными процессами, при возникновении и формировании эруптивных облаков.

4. Длинноволновые возмущения ($f<0.003$ Гц) возникают в результате формирования очень мощной эруптивной колонки.

Приведены примеры всех классов волновых возмущений.

15:00–15:20**16. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВОЙ СТРУКТУРЫ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ**

Бубнов Е.Я.

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Н.Новгород;

E-mail: bubnov@vgavt-nn.ru

В докладе проведено исследование механизмов излучения и спектральных характеристик сейсмических и акустических полей железнодорожного транспорта. Детально изучаются вибрационные и акустические поля поезда в дальней зоне с использованием многоэлементной линейной антенны. Выполнены измерения взаимно-корреляционных функций сейсмических сигналов, принятых датчиками антенны. Построены годографы для определения скоростных характеристик зарегистрированных волн и проведена интерпретация волновой структуры сейсмического поля поезда для различных участков железнодорожного пути.

15:20–15:40**17. ОЦЕНКА ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ пос. МОСРЕНТГЕН, г. МОСКВА**

Котов А.Н., Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Жостков Р.А., Нумалов А.С.

Институт Физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Москва;

E-mail: and250195@yandex.ru

Постоянное присутствие микросейсмического фона и его непрерывное воздействие на окружающую среду, в том числе на объекты инфраструктуры и население, является одной из важных причин исследования этого явления. Одной из важных проблем, связанной с микросейсмическим фоном, является его негативное влияние на техническое состояние зданий и санитарно-гигиенические условия их эксплуатации. Целью настоящей работы является исследование закономерности распределения интенсивности микросейсмических и техногенных шумов на территории п.Мосрентген, г.Москва. Данное исследование основано на методе микросейсмического зондирования (ММЗ), т.е. отношения интенсивности микросейсмического шума в различных точках исследуемой территории к этому же параметру в опорном (базовом) пункте. По полученным данным была построена карта загрязнённости исследуемой территории микросейсмическими и техногенными шумами в различных частотных интервалах.

15:40–16:00**18. ДВУХМЕРНЫЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ**

Филиппов А.И., Ковальский А.А., Ахметова О.В.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,

Стерлитамак; E-mail: ahoksana@mail.ru

Получены уравнения и соотношения для описания упругих фильтрационных волн в слоисто-неоднородной изотропной пористой среде в плоском и радиальном случаях. Для этого использовано уравнение движения жидкой фазы с учетом сил трения, которое в случае стационарной фильтрации с параллельными линиями тока совпадает с законом фильтрации Дарси. Уравнения движения и неразрывности, приведенные к волновому уравнению, позволили построить соотношения для волнового числа, коэффициентов поглощения и затухания, а также скорости фильтрационных волн. Развита теория фильтрационно-волновых полей давления уточняет представления о распространении фильтрационных волновых возмущений в пористой среде и подтверждает существенное уменьшение скорости волнового пакета в области малых частот в сравнении со скоростью распространения упругих волн.

16:00–16:20 — КОФЕ-БРЕЙК**16:20–16:40****19. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН**

Филиппов А.И., Ковальский А.А., Зеленова М.А., Валитов Р.Р.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета;

E-mail: marina_ag@inbox.ru

В работах Филиппова и др., [Филиппов А.И., Ахметова О.В. Одномерные монохроматические плоские фильтрационные волны // Инж.-физ. жур. 2015. Т. 88. № 2. С.285-290; Филиппов А.И., Ахметова О.В., Ковальский А.А. Низкочастотное торможение фильтрационной волны в слоисто-неоднородных проницаемых пластах // Прикладная механика и техническая физика. 2018. Т. 59. № 3 (349). С.103-110] предложена новая теория фильтрационных волн. Она базируется на предложенном уравнении движения, учитывающем инерционные силы и внешние поля. Из этого уравнения в частном случае следует закон Дарси. На этой основе найдены новые соотношения, связывающие параметры фильтрационных волн с физическими параметрами среды. Построены частотные зависимости коэффициента поглощения, волнового числа и фазовой скорости для фильтрационно-волновых полей, найдены выражения для волновых фильтрационных полей давления в слоистых средах. Теоретически предсказан эффект низкочастотного торможения, заключающийся в том, что

при уменьшении частоты фазовая скорость волны уменьшается до нуля. Полученные результаты существенно изменяют существующие представления о природе упругих волновых процессов в пористых средах и имеют решающее значение для развития технологии добычи нефти и газа.

Для изучения свойств фильтрационных волн и проверки основ развитой теории, в частности для проверки эффекта низкочастотного торможения, в Стерлитамакском филиале Башкирского государственного университета создана автоматизированная экспериментальная установка, позволяющая измерять различные физические параметры фильтрационных волн. Созданы новые конструкции датчиков, позволяющих регистрировать параметры фильтрационных волн, на основе которых измерены значения скорости волны в среде, фазовых сдвигов, амплитуды волн, а также коэффициента затухания. В докладе обсуждаются некоторые важнейшие результаты, полученные на основе выполненных экспериментальных измерений, а также возникающие проблемы.

СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ

ГЕО-1

20. К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА.

ИПФ РАН

Лебедев А.В.; ИПФ РАН, swan@ipfran.ru

В представленной работе указывается на возможность существенного упрощения вычислений при акустическом зондировании природных сред из скважин (акустическом каротаже). За счет использования приближенной теории тонкостенных труб удается свести задачу к заданию граничного условия импедансного типа, существенно сократив ранг матричных уравнений. Приведены примеры расчетов, показывающие корректность в практически значимых случаях и пределы применимости предложенного приближенного описания.

Секция АСА — Архитектурная и строительная акустика

Зал № 3

Руководитель Кравчун Павел Николаевич, *kravchun@phys.msu.ru*

9:00–9:20

1. АКУСТИКА МЕЧЕТИ КЕТШАВА В АЛЖИРЕ

Алешкин В.М., Субботкин А.О., Буттут А., Бенферхат М.Л.
ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва; Институт общей физики им А.М.Прохорова Российской академии наук; Алжирский центр строительных исследований (CNERIB), г. Алжир, Алжирская Демократическая Народная Республика; Университет Мохамеда Хидера (UMT) г. Бискра, Алжирская Демократическая Народная Республика; E-mail: wsjk@mail.ru

В работе представлены результаты акустического обследования крупной соборной мечети, расположенной в г. Алжир (Алжирская Народная Демократическая Республика). Мечеть построена в XVII веке и является одной из основных достопримечательностей столицы Алжира. Измерения в молельном зале мечети проведены согласно международной методике ISO 3382. Приводятся данные по времени реверберации, разборчивости речи и другим критериям акустического качества. Анализ полученных результатов и субъективная оценка акустики мечети показывают, что разборчивость речи в молельном зале недостаточна. Измеренные акустические критерии сопоставляются с оптимальными значениями и результатами обследования некоторых других мечетей. Формулируются возможные пути решения улучшения качества звучания архитектурно-акустическими методами.

9:20–9:40

2. АКУСТИКА И ОРГАНЫ МАЛЬТИЙСКОЙ КАПЕЛЛЫ И ЛЮТЕРАНСКОЙ ЦЕРКВИ Св. МАРИИ В САНКТ ПЕТЕРБУРГЕ

Кравчун П.Н.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва,
E-mail: gedackt@mail.ru

Рассматриваются акустические характеристики церковных залов исторических зданий Мальтийской капеллы (арх. Дж. Кваренги, 1798–1800) и Лютеранской церкви Святой Марии (арх. Г.Паульсон, 1805) в Санкт-Петербурге, приводятся результаты акустических измерений. Даются сведения об органах, звучавших в указанных зданиях в разные периоды. Обсуждаются акустические проблемы проведения органного концерта в

церкви св. Марии, мероприятия по улучшению ее акустики, перспективы проведения органнх концертов в Мальтийской капелле, а также проблемы использования существующих органов в этих залах с учетом их особенностей.

9:40–10:00

3. СВЯЗЬ МЕЖДУ АЧХ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МОДАЛЬНЫХ ЧАСТОТ В ЗАДАЧЕ ПОИСКА АКУСТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПОМЕЩЕНИЯ

Алешин А.Р., Гнутик А.П., Черезов М.И.

ГК «ТехноСонус», Москва, E-mail: andrei_gnutik@mail.ru

В работах ряда авторов, посвящённых вопросам поиска оптимальных размеров помещений, предназначенных для прослушивания в условиях акустического комфорта, было установлено, что такие размеры существуют. Они получили название акустических и характеризуются минимальным разбросом АЧХ в точке детектора. Однако до сих пор не удалось установить функциональную связь между модальным распределением в диапазоне низких частот и акустическими размерами. В данной работе на базе статистического моделирования и метода конечных элементов формулируется способ обнаружения и обобщения такой связи.

10:00–10:20

4. СИСТЕМА НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЮ И ОЦЕНКЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

Цукерников И.Е., Шубин И. Л., Невенчанная Т.О.

Научно-исследовательский институт строительной физики, Москва;

Московский политехнический университет, Москва; E-mail: 3342488@mail.ru

Рассматриваются особенности введения в Российской Федерации международных стандартов в области измерения и оценки звукоизоляции. Отмечено, что в течение последних восьми лет на базе международных стандартов создана система национальных стандартов России для измерения и оценки звукоизоляции зданий и сооружений и их элементов. Система включает пять стандартов на методы лабораторных измерений изоляции воздушного и ударного шума, два стандарта для одночисловой оценки изоляции воздушного и ударного шума, стандарт, устанавливающий правила определения и применения неопределенностей измерения звукоизоляции. В 2018, 2019 гг. подготовлены проекты двух национальных стандартов на методы определения звукоизоляции фасадами зданий и их элементами и изоляции воздушного шума между двумя помещениями в здании.

10:20–10:40**5. О ГОЛОСНИКАХ**

Канев Н.Г.

Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева, Москва,

nikolay.kanev@mail.ru

Голосники — полые сосуды, вмонтированные в потолок или стены помещения и связанные с ним через небольшие отверстия. Существует устойчивое мнение, что голосники значительно улучшают акустику помещений, в частности в храмах и концертных залах. Однако известные исследования голосников не подтверждают эту точку зрения. В работе рассматривается несколько физических механизмов действия голосников на акустику помещения. Голосник, как резонатор Гельмгольца, может быть эффективным рассеивателем или поглотителем звуковых волн. Также голосник изменяет начальную часть импульсного отклика, что может влиять на субъективную оценку звучания. Рассчитаны характеристики голосников, при которых возможно заметное влияние на акустику помещения.

10:40–11:00**6. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К МОЛЕЛЬНЫМ ЗАЛАМ КАНОНИЧЕСКИХ КОНФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Щиржецкий Х.А., Алешкин В.М., Щиржецкий А.Х.

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики

Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН),

г. Москва, E-mail: wsjk@mail.ru

В работе представлен новый подход к проблеме обеспечения акустического комфорта в молебных залах храмовых помещений, основу которого составляет достижение у прихожан ощущение полной сакральности проводимых религиозных мероприятий. Разработано предложение по использованию специального критерия для объективной оценки этого ощущения (так называемые «меры высоты звучания храма»), оптимизация которого, наряду с коррекцией, в приложении для решения поставленной проблемы, зон оптимумов традиционных объективных параметров акустики залов, позволяет решить задачу систематизации методов акустического проектирования молебных залов православной и мусульманской конфессий.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК

Секция ШВ — Шумы и вибрации**Зал № 3**

Руководители: Бобровницкий Юрий Иванович,
Цукерников Илья Евсеевич, yuri@imash.ac.ru

11:20–11:40**1. ПАРАДОКСЫ ВИБРОАКУСТИКИ САМОЛЕТОВ С
ДВИГАТЕЛЯМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Бакланов В.С., ПАО «Туполев», Москва; E-mail: baklanov@tupolev.ru

Для турбовентиляторных двигателей нового поколения характерна повышенная степень двухконтурности 8–12. Самолеты, оснащенные этими двигателями, успешно выполняют новые стандарты шума на местности (гл. 14 ИКАО). Опыт эксплуатации этих двигателей показал, что произошло существенное перераспределение источников шума. Повышенная степень двухконтурности двигателя приводит не только к значительному увеличению акустической мощности вентилятора, но и к изменению спектра шума. С увеличением диаметра вентилятора концы лопаток вращаются со сверхзвуковой скоростью, генерируя ударные волны. Одна из необходимых мер борьбы с ударными волнами — снижение окружной скорости вентилятора, что требует снижения частоты вращения вала вентилятора. Вибрационный спектр турбовентиляторных двигателей существенно расширяется со сдвигом в низкочастотный диапазон, передаваемый через узлы крепления на конструкцию планера, для которого характерно наличие нескольких десятков собственных форм колебаний в низкочастотной части спектра. Взаимодействие их с возмущающим воздействием силовой установки приводит к генерированию в кабинах самолетов низкочастотных составляющих шума высокого уровня.

11:40–12:00**2. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА И
ЛОКАЛИЗАЦИИ ВИБРОИСТОЧНИКОВ**

Кутузов Н.А., Родионов А.А., Стуленков А.В., Суворов А.С.
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;
E-mail: nik-kutuzov@yandex.ru

Задача определения числа и локализации расположенных на механоакустической конструкции источников виброактивности имеет важное значение при решении проблем снижения шумности и устранения дефекта. Настоящая работа посвящена разработке и сравнительному исследованию методов решения данной задачи. Методы основаны на модификации

применяемых в задачах пеленгации алгоритмов, в частности алгоритма MUSIC. Используются данные конечно-элементного моделирования. Экспериментальная апробация разработанных методов проводилась с использованием сложной механоакустической конструкции и продемонстрировала возможность успешной локализации и правильного определения числа виброисточников.

12:00–12:20

3. КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

А.И. Комкин, В.А. Кулькина, МГТУ им. Н.Э. Баумана

В докладе приведены результаты исследования акустической эффективности шумозащитных экранов с помощью разработанной двумерной конечно-элементной модели. Проанализировано влияние на акустические характеристики экрана подстилающей поверхности, а также наличие в экране шумопоглощающего материала.

12:20–12:40

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА

Ильгамов М.А., Шакирьянов М.М.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, 450054, Уфа;

E-mail: shakmar9@mail.ru

Исследованы изгибные колебания трубопровода, заполненного транспортируемой жидкостью, под действием внутреннего переменного давления и поступательного колебательного движения фундамента. Одна из опор трубопровода неподвижна относительно фундамента, а другая — может скользить по нему. Учитывается взаимное влияние продольной и окружной деформаций, внутреннего давления и изменения кривизны осевой линии трубы. Рассмотрена первая форма колебаний. Отдельно изучены случаи нелинейных вынужденных и параметрических колебаний трубопровода. Для амплитуд этих колебаний получены приближенные аналитические формулы. В окрестностях режимов главного резонанса параметрических и резонанса вынужденных колебаний определены зависимости амплитуд взаимодействующих колебательных движений от их собственной частоты. Приводится сравнение результатов приближенного аналитического и численного решений.

12:40–13:00**5. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ ШУМА В САЛОН АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Рахматов Р. И., Крутолапов В. Е.

ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», Управление FEM моделирование, Москва;

E-mail: rakhmatjon.rakhmatov@nami.ru; vitaliy.krutolapov@nami.ru

В статье представлен метод определения функции передачи шума от основных источников вибраций к микрофонам, расположенным внутри салона. Приведены результаты расчетов звуковых давлений внутри салона автотранспортного средства в диапазоне частот 5–500 Гц. Выявлены панели кузовов, которые вносят значимый вклад в формирования звукового давления внутри салона автотранспортного средства.

13:00–13:20**6. ОЦЕНКА МГНОВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ОКОННЫМ МЕТОДОМ ПРОНИ**

Кечик Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск; E-mail: ya.dan.kechik@yandex.ru

Предлагается метод оценки мгновенных параметров нестационарного сигнала с несколькими базовыми частотами, основанный на оконном авторегрессионном анализе. Его применение повышает разрешающую способность по частоте по сравнению с оконным преобразованием Фурье, позволяет избежать краевых эффектов. На основании коэффициентов авторегрессии методом Прони рассчитываются амплитуды, частоты, фазы, коэффициенты затухания присутствующих в окне компонентов. Изменение амплитуды в окне аппроксимируется экспоненциальным законом, что повышает разрешающую способность для АМ-сигналов. Предлагается учитывать линейное изменение частоты в окне анализа и оценивать коэффициент возрастания частоты методом наименьших квадратов. Оценка мгновенных параметров компонентов сигнала предложенным методом не предполагает единственность источника сигналов.

13:20–14:00 — ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД

14:00–14:20**7. АКТИВНОЕ ГАШЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ВОЗДУХОВОДЕ**

Пудовкин А.А., Кешков Д.И., Китанов М.Ю., Кузнецов Г.Н., Кутаков С.И., Майзель А.Б., Смагин Д.А., Сухарцов А.А.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, “Центральное конструкторское бюро морской техники “Рубин”, Санкт-Петербург;
АО “Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева”, Москва

Исследуется эффективность активного ослабления возмущений в воздуховоде. Демонстрируются результаты физического эксперимента с активным гашением низкочастотных периодических сигналов в воздуховоде. Электрический сигнал периодического возбуждения динамика подавался на частотах 42, 126, 210 и 252 Гц, контроллер гашения использовал внутреннюю модель гасимого сигнала. Показано, что применение активных методов обеспечивает ослабление группы периодических сигналов интегрально на величину не менее 16 дБ, максимальная величина ослабления на всех частотах возбуждения до 35 дБ. Измерения величины активного гашения производились в воздуховоде с воздушным потоком со скоростью не менее 6 м/с.

14:20–14:40**8. ВЛИЯНИЕ КОСВЕННЫХ ПУТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ТЕСТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Зверев А.Я., Черных В.В.

Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского, Москва; E-mail: zverev@dubna.ru, v.v.chernyh@gmail.com

В реверберационных камерах акустического стенда АК-11 проведено комплексное экспериментальное исследование влияния косвенных путей передачи звуковой энергии на оценку звукоизоляции тестовых панелей, моделирующих бортовую самолетную конструкцию.

Определено, что влияние косвенных путей на измеренную звукоизоляцию панелей с различным теплозвукоизолирующим набором, очень существенно на частотах выше 1 кГц. Проведены мероприятия по блокированию прохождения паразитного звука через проем, в результате которых достигнут максимум динамического диапазона камер при данном аппаратном обеспечении, составляющий 91 дБ в полосе частот 12.5 кГц. Последовательная блокировка косвенных путей прохождения энергии привела к увеличению измеренной звукоизоляции до 30 дБ. Дана оценка звукоизоляции панелей при наличии и отсутствии косвенных путей прохождения энергии.

14:40–15:00**9. ЗАЩИТА ЗДАНИЯ ОТ ОДНОВРЕМЕННОГО ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАМВАЕВ И ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Московец М.Е., Канев Н.Г.

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана,
Москва; lambernebula@icloud.com, 2nikolay.kanev@mail.ru

Представлены результаты натурного исследования вибрации рельсового транспорта в жилом здании. Источниками вибрационного воздействия являются трамваи и поезда метрополитена мелкого заложения, расположенные в непосредственной близости к зданию. Проектом предусмотрены мероприятия по защите от вибрации: подземная часть стен здания отделена упругим слоем от грунта. Упругий слой под фундаментом не применяется, поскольку источники вибрации находятся у поверхности грунта и не оказывают значительного динамического за заглубленный фундамент. Приведены результаты измерений, проведенных на этапе строительства и после его завершения в нескольких точках: на грунте, на фундаментной плите, на плитах межэтажных перекрытий. Показано, что вибрационное воздействие в здании соответствует санитарно-гигиеническим требованиям.

15:00–15:20**10. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ КАРКАСНО-ОБШИВНЫХ ПЕРЕГОРОДОК**

Дымченко В.В., Ерофеев В.И., Монич Д.В.

Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Нижний Новгород; ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», Нижний Новгород,
dmitriy.monich@mail.ru

Рассмотрен механизм прохождения звука через каркасно-обшивные перегородки с одинарным каркасом, широко применяемые в настоящее время в гражданском и промышленном строительстве. Метод расчета звукоизоляции разработан на базе теории самосогласования волновых полей. Приведены аналитические выражения для определения предельной звукоизоляции данного типа многослойных ограждений, определяемой инерционным прохождением звука с вынужденными волнами. Исследованы резервы повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок и определен эффективный способ их использования. Для этого необходим выбор рационального отношения поверхностной плотности к приведенной жесткости ограждающей конструкции, обеспечивающий снижение резонансного прохождения звука. Определены рациональные формы стоечных профилей каркаса, обеспечивающие наиболее эффективное

использование резервов повышения звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки без увеличения массы и толщины.

15:20–15:40

11. РАЗРАБОТКА МАЛОШУМНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СУДОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Берестовицкий Э.Г., Кизилов П.И., Пялов Н.В.

АО «Концерн «НПО «Аврора», Санкт-Петербург,

E-mail: mail@aurorasystems.com

В работе приводятся результаты испытаний клетковых малошумных проточных частей в девяти различных конфигурациях, проведенных с целью определения степени корреляции результатов, полученных при стендовых испытаниях проточных частей и результатов моделирования течения жидкости через проточные части рассматриваемого типа. Показана зависимость уровня генерируемого гидродинамического шума от степени плотности перфорации дроссельного участка, наличия и количества установленных перфорированных экранов-сепараторов. Рассмотрены результаты моделирования течения жидкости в испытанных проточных частях методом конечных элементов. Показана возможность использования для определения правильности принимаемых на стадии проектирования конструкторских решений, оказывающих влияние на степень малошумности разрабатываемой арматуры, результатов математического моделирования, таких как распределение скоростей по потоку и распределение акустической мощности.

15:40–16:00

12. ИЗМЕРЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА ПРИБОРОВ В УСЛОВИЯХ СТЕНДА

Берестовицкий Э.Г., Гладилин Ю.А., Франтов А.А.

АО «Концерн «НПО «Аврора»; E-mail: berest40@mail.ru

Гидродинамический шум (ГДШ) элементов систем корабельной гидравлики влияет как на акустический портрет объекта в целом, так и на условия деятельности человека. Пути снижения ГДШ в любой гидравлической системе являются: 1) совершенствование конструкции элементов и 2) применение специальных средств на путях распространения акустической энергии. Для контроля и подтверждения расчётных характеристик гидравлических приборов (ГП) выполняются экспериментальные исследования на специализированных стендах. Такой стенд должен обеспечивать определённый уровень собственных акустических и вибрационных помех. Для этого разрабатываются и применяются средства борьбы с распространяющимся ГДШ и пульсациями давления в системе. В работе

приведены результаты работ по созданию и применению таких средств, зависящих от конструкции и параметров испытаний ГП.

16:00–16:20 — КОФЕ-БРЕЙК

16:20–16:40

13. АНАЛИЗ СХЕМНО-КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ИСПЫТАНИЙ МАЛОШУМНЫХ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Берестовицкий Э.Г., Соловьев М.В.

АО «Концерн «НПО «Аврора», Санкт-Петербург;

E-mail: mail@aurorasystems.com

Снижение шума и вибрации электрогидравлических приборов систем управления судовых и корабельных энергетических установок является одной из актуальных проблем стоящих перед разработчиками этих систем. Рассмотрены различные схемно-конструктивные решения по созданию малошумных электрогидравлических приборов. Особое внимание уделяется теоретическим основам шумообразования в зависимости от типа конструктивных элементов и схемы их расположения. Определяются границы применимости аналитических методов определения малошумности регулирующих органов. Дается обоснование применения трехмерного численного моделирования течения жидкости в проточной электрогидравлических приборов. В качестве итога приведенного исследования представлен внедренный на заказе поставочный образец, обеспечивающие выполнение современных требований по гидродинамическому шуму и виброшумовым характеристикам.

16:40–17:00

14. ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ

Кузьменко П.А., Крылов А.В.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург;

E-mail: krylov6@ksrc.ru

В статье рассмотрено влияние технологий переработки эластомерного материала на физико-механические и акустические характеристики изделий на примере типовых средств акустической защиты.

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению физико-механических, эксплуатационных и упруго-гистерезисных характеристик полиуретанового материала, а также физико-механических

акустических показателей средств акустической защиты, изготовленных на его основе, с использованием различных технологий. Проведен анализ полученных результатов, оценены преимущества и недостатки каждой из рассматриваемых технологий с точки зрения их востребованности при создании средств акустической защиты.

17:00–17:20

**15. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РУК ОТ ВИБРАЦИИ**

Хлопков Е.А., Смирнов В.В., Муравьев С.И., Вьюненко Ю.Н.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург; ООО «ОПТИМИКСТ ЛТД», Санкт-Петербург;

Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья,
Санкт-Петербург; ОАО «НПО ЦКТИ». Санкт-Петербург;

E-mail: hlopkovelisey@mail.ru

Измерена эффективность средств индивидуальной защиты (СИЗ) рук различных конструкций от вибрационного воздействия. Проведена оценка их применимости в некоторых технологических операциях металлообработки, машиностроения, сельского хозяйства. Показано влияние выбора материала и геометрических параметров элементов конструкций на уровень защитных свойств в октавных полосах частотного спектра. Предложена классификация СИЗ по структуре защитных элементов конструкций (дискретные, сплошные, комбинированные). Проверена стабильность эффективности антивибрационных свойств некоторых перчаток и рукавиц во времени.

Секция АОК — Акустика океана**Зал № 4**

Руководитель, Малый Владимир Владимирович, v_malyj@rambler.ru

9:00–9:20

1. О СТРУКТУРЕ РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В СУБАРКТИЧЕСКИХ И СУБТРОПИЧЕСКИХ ВОДАХ ТИХОГО ОКЕАНА

Буланов В.А., Стороженко А.В., Корсков И.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток; E-mail: storozhenko_and@mail.ru

Представлены результаты исследований рассеяния звука в дальневосточных морях и субтропических водах Тихого океана с целью определения изменчивости гидрофизических характеристик и динамики биомассы в верхнем слое океана. Измерения коэффициентов рассеяния звука проводились на различных трассах на ходу судна и на отдельных станциях на частотах от 12 кГц до 200 кГц. Получены новые данные о рассеянии звука в верхнем слое океана в различные сезоны года. Исследования рассеяния звука и сетные обловы планктона *in situ* позволили выявить связь между коэффициентом рассеяния звука и биомассой. Результаты выявили основные отличия частотных характеристик рассеяния звука и распределения биомассы в верхнем слое океана

9:20–9:40

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ШУМОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В МЕЛКОМ МОРЕ

Шатравин А.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;

E-mail: ashatravin@ocean.ru

В работе обсуждается опыт применения методов машинного обучения для декодирования сигнала при осуществлении когерентной звукоподводной связи. Набор экспериментальных данных состоит из нескольких тысяч сеансов связи в мелком море. При использовании стандартных методов компенсации межсимвольной интерференции доля ошибок декодирования варьировалась в очень широких пределах от 0 до 0.1. Использование альтернативных методов декодирования на основе нейронных сетей позволило в некоторых случаях добиться значительного улучшения качества связи. Мы исследуем зависимость качества обучения от временного распределения обучающих выборок, что интуитивно можно интерпретировать как полноту использованного для обучения набора данных

в смысле разнообразия наблюдаемых во время сеансов связи импульсных откликов среды и фоновых шума.

9:40–10:00

3. ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ВЕКТОРНОГО ПРИЁМНИКА В ЗАДАННОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Лосев Г.И., Лукин Г.С., Некрасов В.Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Московская обл.; E-mail: losev-ga@mail.ru

В докладе приведены результаты исследований методов позиционирования измерительных осей комбинированного гидроакустического (векторного) приёмника (КГП) в геодезической системе координат и в системе координат исследуемого морского объекта. Показано, что с помощью электронного компаса, установленного вместе с КГП в корпусе приёмного модуля, возможно произвести привязку измерительных осей КГП к геодезической системе координат, что позволяет исключить влияние колебаний приёмного модуля и расширить возможности обработки и анализа полученных результатов измерений. Позиционирование измерительных осей КГП по курсовому углу морского объекта – носителя КГП (МО) с помощью установленного на МО опорного бортового компаса позволяет точно определить траекторию движения внешнего источника шумоизлучения относительно МО.

10:00–10:20

4. НАПРАВЛЕННОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО АТМОСФЕРНОГО ЗВУКА, ВОЗБУЖДАЕМОГО ИСТОЧНИКАМИ В ВОДЕ

Лебедев А.В.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;
E-mail: swan@ipfran.ru

В представленной работе рассмотрен вопрос о направленности излучения атмосферного инфразвука, возбуждаемого монопольным и дипольным источниками, помещенными в водную среду. Показано, что существует два типа вторичных эквивалентных источников, которые размещены на границе раздела сред. Один из источников является локальным, и его характеристики полностью определяются ближним полем первичного источника. Второй источник является распределенным и связан с наличием вертикальных возмущений поверхности, которые распространяются со скоростью звука в воде вдоль границы раздела сред. Из-за сильного ослабления амплитуды по мере увеличения расстояния от первичного источника такой источник имеет

широкую диаграмму направленности. Представленные в статье качественные соображения и результаты численного моделирования позволяют определить диаграмму направленности низкочастотного звукового излучения в воздухе в зависимости от глубины погружения первичного источника, что может быть использовано для дистанционного исследования свойств атмосферы вблизи морской поверхности.

10:20–10:40

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА В ВОДЕ МЕТОДОМ ГРАВИТАЦИОННОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ

Еняков А.М., Кузнецов С.И., Лукин Г.С.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Московская обл.; E-mail: enyakov@vniiftri.ru, sergeant815@mail.ru, lukin@vniiftri.ru

В докладе приведены результаты метрологических исследований эталонного измерителя полной мощности ультразвукового пучка в воде в диапазоне частот от 0,5 до 20 МГц. Рассмотрен гравитационный метод измерения мощности ультразвука, его особенности, преимущества и недостатки. Проведена оценка источников неопределённости при измерении радиационной силы акустического сигнала на эталонном измерителе мощности ультразвука ЭИМУ-3.

10:40–11:00

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ВОДЕ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Еняков А.М., Кузнецов С.И., Лукин Г.С.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Московская обл.; E-mail: enyakov@vniiftri.ru, sergeant815@mail.ru, lukin@vniiftri.ru

Рассмотрены особенности реализации и основные источники неопределенности измерений мощности ультразвукового пучка высокой интенсивности в воде калориметрическим методом. Произведена оценка источников неопределенности на примере установки для измерения мощности ультразвука ЭИМУ-4.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:40****7. ПОТЕРИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА В МЕЛКОМ МОРЕ С ГОРИЗОНТАЛЬНО-НЕОДНОРОДНЫМ СЛУЧАЙНЫМ ИМПЕДАНСОМ ДНА**

Гулин О.Э., Ярошук И.О.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток;

E-mail: gulinoe@poi.dvo.ru

Рассматривается задача о влиянии горизонтально-неоднородного импеданса жидкого дна, заданного случайными Гауссовыми процессами скорости звука и плотности, на распространение низкочастотного звука в мелководном волноводе. Параметры модели привязаны к условиям распространения звука в регионах морей арктического шельфа. На примере статистического моделирования интенсивности звукового поля в водном слое показано, что флуктуации скорости звука и плотности в дне приводят к аналогичным эффектам, что были установлены ранее для флуктуаций скорости звука в водном слое. Изменения в законе спада интенсивности в значительной мере определяются радиусом корреляции неоднородностей и средней проницаемостью дна, приводящей к затуханию звука при распространении в волноводе.

11:40–12:00**8. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕРИДИАНАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАВИТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ В ФИЛИПИНСКОМ МОРЕ**

Мельников Н.П.

Научно-исследовательский радиофизический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского, г. Нижний Новгород;

E-mail: melnikov50@mail.ru

В работе впервые приводятся экспериментальные данные величины кавитационных порогов на меридианальном разрезе. Обсуждается пространственная изменчивость величины кавитационных порогов и других параметров морской воды. Измерения были выполнены в 14 рейсе Научно-исследовательского судна «Академик Александр Виноградов» весной 1989 г. Отмечается значительная изменчивость этих параметров при пересечении водных масс от 126° в.д. до 140° в.д. на широте около 15° с.ш.

12:00–12:20**9. РАССЕЯНИЕ И ЗАТУХАНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ МОРСКИХ ОСАДКАХ**

Максимов А.О., Половинка Ю.А.

Тхоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток; E-mail: maksimov@poi.dvo.ru

Представлена модель, описывающая колебания газовых пузырьков в осадках. Построена теория многократного рассеяния на скоплении газовых включений. Особенностью распространения акустических волн в такой среде является конверсия волн сжатия и сдвига при рассеянии на включениях. Это приводит к вариациям эффективных скоростей распространения этих мод и, как следствие, к изменениям в отражении от границы раздела: коэффициент отражения становится функцией концентрации включений. Исследована ситуация, когда коэффициент отражения может обращаться в нуль (распространение под углом Брюстера), и описана структура низкочастотных резонансов, связанных с коллективными колебаниями включений. Эти акустические проявления газовых пузырьков отличаются от других неоднородностей морского дна и позволяют разработать соответствующие методы дистанционного обнаружения.

12:20–12:40**10. АКУСТИЧЕСКАЯ ЛОКАЦИЯ АЛЬФЕУСОВ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ СИГНАЛОВ**

Бибииков Н.Г., Попов О.Е.

Акустический институт им. Н.Н. Андреева, г. Москва; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва;

E-mail: nbibikov1@yandex.ru; olegp@mail.ru

Импульсные сигналы альфеусов (раков-щелкунов) в Сухумской бухте регистрировали системой из трех гидрофонов, расположенных в углах треугольника со сторонами 1 м. Регистрация осуществлялась при глубине места 12.6 м и глубине приемного устройства 6м. На шельфе Черного моря плотность креветок не высока, что позволяет поставить задачу выделения отдельных щелчков. Направление на источник определяли, исходя из задержек сигнала на трех гидрофонах. Цифровая модель рельефа позволяла локализовать положение отдельных особей. При идентификации сигналов учитывали форму щелчка. Результаты позволили оценить число особей, а также получить данные, характеризующие частоту следования и особенности

излучения сигналов креветками в естественных условиях их обитания. Работа поддержана грантом РФФИ-Абх-а № 19-04-00215.

12:40–13:00

**11. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ДИНАМИКИ
МЕЛКОГО МОРЯ В ПАССИВНОМ РЕЖИМЕ**

Дмитриев К.В., Липавский А.С.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;

E-mail: kdmtrie@aesc.msu.ru

Описывается проведённый на Белом море эксперимент по пассивной регистрации собственных шумов водоема в условиях мелководья. В процессе обработки данных было обнаружено перемещение максимумов взаимной корреляционной функции записанных сигналов по времени. Ситуация отличается в различных частотных полосах. Замечена связь таких перемещений с приливно-отливными движениями, и предпринята попытка дать им объяснение в рамках модового и лучевого подходов. Приводится сравнение этих подходов в рамках поставленного эксперимента. Полученные данные позволяют определять некоторые характеристики исследуемого водоема.

13:20–14:00 — ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД

14:40–15:00

**12. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА В БУХТЕ ВИТЯЗЬ**

Манульчев Д.С.

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток;

E-mail: manulchevds@gmail.com

Обсуждаются результаты натурных исследований распространения энергии низкочастотных импульсных акустических сигналов в бухте Витязь (Японское море). Показано, что на трассе длиной 2 км при перепаде глубин с 28 до 37 м формируется сигнал в виде двух импульсов с соизмеримыми амплитудами и с задержкой 0.2 с. По-видимому, это вызвано наличием в бухте осадочного слоя. Данное предположение подтверждается результатами численного моделирования при введении в модельный геоакустический волновод песочно-илистой подложки.

15:00–15:20**13. ВОЗМОЖНОСТЬ АДАПТАЦИИ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗВУКОВОГО ИСТОЧНИКА В ОКЕАНЕ**

Пересёлков С.А., Казначеева Е.С., Кузькин В.М., Ткаченко С.А.

Воронежский государственный университет, Воронеж;

E-mail: pereselkov@yandex.ru

Обсуждены возможности реализации интерферометрического метода локализации источника звука. Сформулированы условия разрешения соседних фокальных пятен голограммы. В зависимости от передаточной функции волновода они накладывают ряд ограничений на выбор ширины полосы и время наблюдения, а также на радиальную скорость и удаленность источника, обеспечивающих применимость метода. Предложены два варианта исполнения метода, не требующих информации о передаточной функции волновода, которые реализуются на основе измерений пеленга и частотных сдвигов интерференционных максимумов между двумя разнесенными приемниками.

15:40–16:00**14. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В МЕЛКОМ И ГЛУБОКОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО МОДОВОГО ВКБ-ПРИБЛИЖЕНИЯ**

Аксенов С.П.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г.Москва; E-mail: skbmortex@mail.ru

Для решения целого ряда прикладных гидроакустических задач необходимы вычислительные программы, обладающие высокой производительностью и точностью описания. Выполнена доработка гидроакустической модели поля в мелком или глубоком море в модовом ВКБ-приближении, позволяющем быстро и достаточно точно вычислять передаточную функцию волновода (ПФВ) с учетом большого количества (до десяти тысяч) мод, в том числе в неоднородном волноводе. Верификация программы подтвердила высокую точность расчетов, как интерференционной структуры, так и усредненных законов спада ПФВ.

16:00–16:20 — КОФЕ-БРЕЙК

16:20–16:40**15. АМПЛИТУДНО-ФАЗОВАЯ СТРУКТУРА
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ГЛУБОКОВОДНОМ
СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ВОЛНОВОДЕ**

Аксенов С.П., Кузнецов Г.Н.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
г.Москва; E-mail: skbmortex@mail.ru

Выполняется исследование амплитудно-фазовой структуры сигналов в глубоководном и мелководном морских районах. Показано, что в зонах интерференционных максимумов в глубоком океане, как и в мелководных районах наблюдаются гладкие градиенты фазы, которые могут быть аппроксимированы с использованием эффективной фазовой скорости, применение которой обеспечивает несмещенность оценок пеленга при всех аспектах наблюдения, в том числе при косых углах падения волны на апертуру антенны. Установлено, что эти закономерности инвариантны и выполняются в ближней и дальней зонах освещенности, а также в зоне тени.

16:40–17:00**16. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО
РАЗРЕШЕНИЯ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ СТАБИЛЬНОСТИ РАССЕЯННЫХ КОМПОНЕНТ
ИНТЕНСИВНЫХ МЕШАЮЩИХ СИГНАЛОВ**

Малышкин Г.С.

АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург;

E-mail: genstepmal@yandex.ru

Рассматривается организация вычислительного процесса выборочных данных и анализируются элементы стабильности мешающего поля локальных источников - интервалы корреляции флуктуаций (в пространстве, по частоте, и во времени) при обнаружения слабых сигналов. Проводится оценка влияния этих параметров на собственные числа выборочных оценок корреляционных матриц. Приводятся модельные данные по выделению слабых сигналов при правильном использовании корреляционной структуры рассеянных компонент интенсивных мешающих сигналов.

23 сентября, среда**Секция УТ — Ультразвуковые технологии****Зал № 1**

Руководитель, Сапожников Олег Анатольевич,

*E-mail: oleg@acs366.phys.msu.ru***9:00–9:15****1. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ,
ВОЗБУЖДАЕМОГО ФОКУСИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ В
ЖИДКОСТИ**

Жвания И.А., Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А.

АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва;

E-mail: ikonopatskaya@gmail.com

Представлены результаты экспериментального исследования акустического течения, возбуждаемого ультразвуковыми пучками, формируемыми фокусирующими излучателями, работающими на частотах от 1 до 2 МГц, в жидкой среде. Измерения проводились в стеклянном заглушенном бассейне, размеры которого на два порядка превышали длину звуковой волны использованных излучателей. Измерение скорости течения осуществлялось методом лазерной доплеровской анемометрии. Диапазон максимальных значений давления в фокальной области использованных излучателей составлял от 0.1 до 1.7 МПа. При этом время выхода течения на стационарный режим составляло, в зависимости от интенсивности ультразвука, от 20 до 40 с. Приводится сравнение характеристик измеренного потока течения жидкости с возбуждающим его акустическим полем, а также, зависимость скорости течения от интенсивности возбуждающего пучка.

9:15–9:30**2. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССОВ**

Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Хмелев М.В.

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И.

Ползунова, Бийск; ООО «Центр ультразвуковых технологий», Бийск;

E-mail: grey@u-sonic.ru

Возможность и производительность различных технологий, основанных на применении ультразвукового воздействия, определяется эффективностью этого воздействия. Реализация многих технологических процессов требуется строго дозированного кавитационного воздействия, поскольку при недостаточном ультразвуковом воздействии процесс слабо интенсифицируется, а при

чрезмерном происходит частичное разрушение полезных веществ. Для обеспечения возможности управления процессами осуществляется непрерывный контроль состояния обрабатываемой среды. Контроль реализован за счет измерения электрических параметров пьезоэлектрической ультразвуковой колебательной системы. На основании получаемой информации реализовано согласование электрических параметров ультразвуковой колебательной системы с электронным генератором и управление его выходными параметрами (частотой и амплитудой выходного напряжения) для обеспечения максимальной эффективности кавитационного процесса.

9:30–9:45

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА АМОРФНЫХ ПОЛИМЕРОВ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Сангадиев С.Ш., Дармаев М.В., Машанов А.А.

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, Россия, Улан-Удэ

Импульсным методом молекулярной акустики измерены скорости продольных и поперечных звуковых волн в аморфных органических полимерах. Обсуждается природа упругих свойств аморфных органических полимеров.

9:45–10:00

4. ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ СРЕД В МОЩНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Грудзинская И.С., Винокуров Д.Л.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Научно-производственная фирма ООО «НПФ ГРИММ Н»; E-mail: evitags@mail.ru,

Рассмотрены акустические методы организации потоков приповерхностного массопереноса, исследовано влияние интенсивности ультразвука, физико-химических свойств масел и нефтепродуктов, толщины пленки, положения излучателя. Получена зависимость степени очистки поверхности воды от времени работы установки. Проведена оценка возможности практической применимости метода.

10:00–10:15**5. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КОАГУЛЯЦИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В СТОЯЧЕЙ ВОЛНЕ**

Хмелев В.Н., Нестеров В.А., Шалунов А.В., Сливин А.Н.

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ

им. И.И. Ползунова, Бийск; E-mail: nva@u-sonic.ru

Проблема улавливания субмикронных частиц из газа имеет несомненную актуальность. Для улавливания частиц применяется различное газоочистное оборудование, эффективность которого на субмикронных частицах очень низкая. Одним из перспективных направлений повышения эффективности является их предварительная коагуляция в акустических полях. Формирование стоячей волны является наиболее выгодным режимом, позволяющим максимально эффективно использовать энергию ультразвуковых колебаний при коагуляции высокодисперсных частиц. За счет большого градиента акустического давления частицы стремятся в узловые области, расстояние между частицами изменяется на несколько порядков, за счет чего эффективность коагуляции повышается. Установление оптимальных условий ультразвукового воздействия, зависящих от формы технологического объема, обеспечивает высокую эффективность коагуляции. Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект №19-19-00121).

10:15–10:30**6. ЗВУКОВИДЕНИЕ В ЖИДКОСТИ С ПРИЕМОМ ЭХО-ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ МНОГОКАНАЛЬНОГО ВОЛНОВОДА И ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Петросян С.А., Николаев Д.А., Цысарь С.А. Свет В.Д., Сапожников О.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва;

Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева, Москва;

E-mail: sa.petrosjan@physics.msu.ru

Предложен метод получения акустического изображения объектов в жидкости с помощью двумерной приёмной решетки в комбинации с зеркально-линзовой акустической системой, регистрирующей эхо-импульсные сигналы. Отличительной особенностью разработанного метода по сравнению с традиционными подходами является возможность звуковидения в агрессивной жидкой среде за счёт того, что приёмные элементы находятся на значительном удалении от неё. Исследуемый объект облучается акустическими импульсами от погружённого в жидкость источника. Для эффективного улавливания возникающих эхо-сигналов используется акустическая линза, расположенная около исследуемого объекта так, чтобы он находился вблизи фокуса. После

прохождения через линзу эхо-импульсы отражаются от плоского зеркала и посылаются на вторую линзу, которая направляет акустические сигналы на входной торец многоканального волновода. Указанный волновод представляет собой набор металлических стержней, расположенных параллельно друг другу и объединённых в пучок. Каждый стержень является независимым волноводом, позволяющим с малыми потерями передавать попадающие на его вход акустические сигналы. Выход волноводной системы находится вне жидкости, где производится регистрация акустических сигналов с помощью сопряжённой с торцами стержней матрицы пьезоприёмников. В работе представлены как результаты моделирования, так и экспериментальные изображения, полученные с помощью созданного звуковизора.

10:30–10:45

**7. НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ
ВОЗБУДИТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ**

Асташев В.К., Пичугин К.А.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия; e-mail: v_astashev@mail.ru; pichugin-ka@yandex.ru

Приводятся результаты анализа динамики стержневой системы, предназначенной для ультразвуковой размерной обработки хрупких материалов в среде абразивной суспензии. Система состоит из двух стержней и жестко установленного между ними пьезоэлектрического возбудителя колебаний. Свободный торец рабочего стержня взаимодействует с обрабатываемым изделием. Приводятся уравнения колебаний возбудителя, колебания стержней описываются с помощью выражений их динамических податливостей. Для описания технологического процесса используется нелинейная характеристика жесткопластического материала. В результате решения системы уравнений найдены параметры колебаний как механической, так и электрической частей системы. Построены амплитудно-частотные характеристики при различных положениях пьезопакета. Получены оценки скорости технологического процесса.

10:45–11:00**8. ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВЫХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ**

Рухман А.А., Каримов А.Р., Задорожный В.С., Лопес М.М., Шиканов А.Е., Богданов В.

ОИВТ РАН, Москва, Россия; НИЯУ МИФИ, Москва, , Россия; ООО Ультразвук-резонанс, Екатеринбург, Россия; E-mail: aruhman@mail.ru, arkarimov@mephi.ru

В работе рассматриваются механизмы разрушения и синтеза макромолекул, которые могут стимулироваться внешними акустическими полями в потоках полимерных жидкостей, содержащих большое количество растворенного газа. В данном случае появление огромного числа кавитационных зародышей обусловлено развитой внутренней структурой и наличием различных степеней свободы полимерных макромолекул. Предполагается, что динамика этих пузырьков зависит от изменения геометрии потока и возбуждающих звуковых колебаний в потоке. Особое внимание уделено на процесс изменения плотности жидкости за счет эффекта внутреннего эрлифта в полимерной среде. Механически вызванные кинетические изменения макромолекул (разрушение и синтез полимерных цепей) могут происходить, когда пузырьки схлопываются. Эти особенности могут быть использованы при обработке нефти.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:35****9. ЭФФЕКТИВНЫЙ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ СТЕКЛООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Сандитов Д.С., Сангадиев С.Ш., Дармаев М.В.

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, Россия, Улан-Удэ; Институт физического материаловедения СО РАН, Россия, Улан-Удэ

Применительно к стеклообразным материалам предложено введение нового параметра в теорию упругости, названного эффективным модулем упругости: $K = \rho v_k^2$ (ρ — плотность, v_k — среднеквадратичная скорость распространения упругих волн). Величина K обладает характерными признаками известных трех упругих модулей (E , G и B). У аморфных полимеров и неорганических стекол отношение модуля объемного сжатия B к эффективному модулю упругости K является однозначной функцией коэффициента Пуассона μ : $B/K = (1+\mu)/(2-3\mu)$, что находится в согласии с экспериментальными данными. Одной из особенностей эффективного модуля упругости является его связь с параметром Грюнайзена γ_D — мерой нелинейности силы межатомного

(межмолекулярного) взаимодействия и ангармонизма колебаний решетки: $K=(3/2) B/\gamma D$. Показано, что по полученным формулам параметр Грюнайзена γD удовлетворительно рассчитывается по данным только механических испытаний. Эффективный модуль упругости можно использовать при рассмотрении физико-механических свойств с учетом ангармонизма.

11:35–11:50

10. КОАГУЛЯЦИЯ СУБМИКРОННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Р.Н., Нестеров В.А.

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ
им. И.И. Ползунова, Бийск; E-mail: shalunov@u-sonic.ru

Аэрозоли, формирующиеся в атмосфере за счет антропогенного воздействия человека, а также естественных процессов, являются глобальной проблемой. Среди них наибольшую опасность представляют аэрозоли субмикронных частиц. Для удаления взвешенных субмикронных частиц предложено воздействовать на них ультразвуковыми колебаниями в синусоидальном и нелинейном режимах. Установлено, что ударно-волновое воздействие обеспечивает до 20 раз более высокую скорость коагуляции по сравнению с синусоидальным воздействием при одинаковой суммарной энергии воздействия. Причина заключается в нелинейных эффектах, возникающих при ударно-волновом воздействии (изменение площади сечения столкновения, локальное уплотнение среды, взаимная диффузия газа, окружающего частицу, при переходном режиме обтекания между свободномолекулярным и сплошным). Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-19-00121).

11:50–12:05

11. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СУШКА КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А., Терентьев С.А., Тertiшников П.П.

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ
им. И.И. Ползунова, Бийск; E-mail: shalunov@u-sonic.ru

Одним из перспективных способов повышения эффективности процесса сушки и его реализации при пониженных температурах является воздействие акустическим колебаниями. Однако этот способ не получил широкого распространения ввиду его недостаточной эффективности, обусловленной малым выходом акустической энергии в газовые среды. Для решения этой проблемы разработан новый тип твердотельных излучателей, выполненных в виде изгибно-колеблющихся дисков. Сам процесс сушки предложено

осуществлять при резонансных расстояниях между излучателем и высушиваемым материалом. На примере сушки овощей показано, что ультразвуковое воздействие обеспечивает ускорении процесса не менее чем на 45% при температуре высушиваемого материала не более 50°C.

12:05–12:20

**12. ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПО УЛЬТРАЗВУКОВЫМ
ИЗОБРАЖЕНИЯМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕХАНИКИ
РАЗРУШЕНИЙ КОМПОЗИТОВ**

Титов С.А., Левин В.М., Петронюк Ю.С., Мороков Е.С.

Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва;

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва;

E-mail: sergetitov@mail.ru

Изучение динамики разрушения композитных материалов относится к числу актуальных задач материаловедения. Одним из эффективных методов регистрации изменений в структуре композита под действием внешней механической нагрузки является ультразвуковая визуализация высокого разрешения. В данной работе исследование структуры образцов производилось с помощью импульсного акустического микроскопа, совмещенного со специально разработанной миниатюрной испытательной машиной. Предложен метод измерения деформации образца при его механических испытаниях с *in situ* ультразвуковой визуализацией структурных изменений под действием приложенной силы. Разработан алгоритм обработки акустических изображений, позволяющий определять величины продольной и поперечной деформации. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-29-17039).

12:20–12:35

**13. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССОВ**

Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Хмелев М.В.

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ им.

И.И. Ползунова, Бийск; ООО «Центр ультразвуковых технологий», Бийск;

E-mail: grey@u-sonic.ru

Возможность и производительность различных технологий, основанных на применении ультразвукового воздействия, определяется эффективностью этого воздействия. Реализация многих технологических процессов требуется строго дозированного кавитационного воздействия, поскольку при недостаточном ультразвуковом воздействии процесс слабо интенсифицируется, а при чрезмерном происходит частичное разрушение полезных веществ. Для

обеспечения возможности управления процессами осуществляется непрерывный контроль состояния обрабатываемой среды. Контроль реализован за счет измерения электрических параметров пьезоэлектрической ультразвуковой колебательной системы. На основании получаемой информации реализовано согласование электрических параметров ультразвуковой колебательной системы с электронным генератором и управление его выходными параметрами (частотой и амплитудой выходного напряжения) для обеспечения максимальной эффективности кавитационного процесса. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-19-00121).

12:35–12:50

14. ТЕХНОЛОГИЯ ДОКАВИТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОЩНОГО УЛЬТРАЗВУКА В ЭМУЛЬСИЯХ

Задорожный В.С., Рухман А.А., Литвенчук А.П., Рухман Е.П., Малкин А.А.
ООО «УЛЬТРАРЕЗОНАНС», Екатеринбург; E-mail: aruhman@mail.ru

Предложены импульсные режимы и конфигурации акустического поля, интенсифицирующие коагуляцию и расслоение эмульсии, исключаящие развитие кавитации в среде, реализован опытный образец оборудования для создания серии импульсов высокой мощности. В качестве излучателя в жидкость была выбрана мембрана, подключенная к пьезокерамическому излучателю мощностью 4кВт. Энергетические параметры импульсного режима воздействия хорошо сочетаются со свойствами пьезокерамических преобразователей — высокая мощность в кратковременном режиме, низкая средняя мощность. Данная схема дала хорошие результаты для деэмульсации нефти. На опытной партии было получено расслоение фракций нефть/вода за 30 с обработки в объеме 10 л. До этого нефть находилась отстойнике более 2-х недель.

Секция АР — Акустика речи**Зал № 1**Руководитель, Ляксо Е.Е., E-maillyakso@gmail.com**14:00–14:15****1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧИ, ОТРАЖАЮЩИХ РАЗВИТИЕ УТОМЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА**Яковлев А.В., Матыцин В.О., к.т.н., доцент, ст.науч.сотр.
ВМА им. С.М. Кирова, доцент ГУАП

Дистанционная, бесконтактная оценка различных состояний человека приобретает все большую актуальность в различных областях деятельности. В физиологии труда речь, наряду с изображением человека, являются наиболее перспективными каналами получения информации о человеке. Их регистрация не оказывает никакого влияния на человека и его деятельность. Известно большое число работ, посвященных оценке, на основе анализа речи, эмоциональных состояний человека, функциональных состояний его организма. Вместе с тем, речевые корреляты феномена утомления человека исследованы значительно меньше. В докладе приводятся основные этапы проведенного исследования и обсуждаются полученные результаты. Исследование проводилось на базе научно-исследовательского центра Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова.

14:15–14:30**2. ОСОБЕННОСТИ КОНСОНАНТИЗМА РУССКОГОВОРЯЩИХ ИНОСТРАНЦЕВ**

Крейчи С.А., Кедрова Г.Е.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
филологический факультет, лаборатория фонетики и речевой коммуникации.
Россия, Москва, E-mail: k46-7-47@yandex.ru , kedr@philol.msu.ru,

При изучении иностранного языка фонетическая система родного языка часто интерферирует с фонетической системой изучаемого языка. Это может приводить к остаточным иноязычным явлениям в речи на изучаемом языке. В работе исследовались особенности консонантизма в речи иностранцев, изучающих русский язык на филологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Материалом служила русская речь носителей 14 иностранных языков, содержащаяся в базе данных звучащей речи, разработанной в лаборатории фонетики и речевой коммуникации. Изучался характер отклонений от русской произносительной нормы в сочетаниях согласных, различающихся по месту образования, активному органу и

внутриклассовым признакам (глухость/звонкость, твердость/мягкость). Для сравнительного анализа использовался аналогичный звуковой материал, начитанный носителями русского языка с нормативным литературным произношением. У носителей различных иностранных языков выявлен характер нарушений законов нормативного произношения согласных звуков русской речи, таких как оглушение звонких на конце слова перед паузой, ассимиляция по глухости в сочетаниях звонкий — глухой, и ассимиляция по звонкости в сочетаниях глухой — звонкий. Полученные результаты обсуждаются.

14:30–14:45

**3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОГРАФИЧЕСКОГО И
ЭЛЕКТРОГЛОТТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА**

Ляксо Е.Е., Григорьев А.С., Фролова О.В., Николаев А.С.

Санкт Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;

e-mail: lyakso@gmail.com

В рамках исследования по выявлению акустических признаков речевого сообщения, которые могли бы быть использованы в качестве биологических маркеров заболевания, в частности – расстройств аутистического спектра, синдрома Дауна, умственной отсталости, проведен спектрографический анализ речи и электроглоттографическое исследование взрослых информантов и типично развивающихся детей разного возраста. В работе представлены данные пилотного исследования. Определены связи между значениями частоты основного тона и показателем работы голосовых складок информантов (коэффициентом, отражающим процент колебательных циклов, в которых голосовая щель полностью смыкается) при произнесении разного речевого материала. Прослежена возрастная динамика и гендерная специфичность анализируемых показателей. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 18-18-00063).

14:45–15:00

**4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ПОЛА И ВОЗРАСТА
ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ВРЕМЕННОЙ
ЗАДЕРЖКОЙ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ**

Маркитантов М.В., Карпов А.А.

СПИИРАН, Санкт-Петербург; Университет ИТМО, Санкт-Петербург;

E-mail: m.markitantov@yandex.ru; karpov@iiias.spb.su

Распознавание пола и возраста человека по голосу является важной задачей в области идентификации и верификации дикторов. Существующие системы

не позволяют достичь высокой точности распознавания. Мы исследуем акустические признаки, такие как MFCC и спектрограммы, а также новые подходы, основанные на глубоких нейронных сетях, включая сверточные, полносвязные и нейронные сети с временной задержкой. Архитектура последних называется x-вектор. Эта архитектура позволяет сопоставить высказывание переменной длины в вектор фиксированного размера, который сохраняет всю информацию последовательности. Это достигается с помощью статистической подвыборки. Обучение и тестирование предложенных алгоритмов производилось на корпусе немецкой речи aGender. Предложенные подходы позволили достичь лучшего результата в задаче автоматического распознавания пола и возраста диктора в сравнении с существующими классическими подходами.

15:00–15:15

5. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ РЕЧИ

Астапов С.С., Мельников А.А., Лаврентьев А.В., Кабаров В.И.

Университет ИТМО, Санкт-Петербург; ООО ЦРТ, Санкт-Петербург;

E-mail: astapov@speechpro.com, melnikov-a@speechpro.com,

lavrentyev@speechpro.com, kabarov@speechpro.com

Идентификация диктора на дальнем микрофоне затрудняется искажениями признаков речи при неопределенном расположении диктора в пространстве относительно микрофона. Применение микрофонных решеток для записи речи позволяет определять направление к источникам речи, а также производить полную локализацию диктора. Пространственная информация дополняет речевые признаки, что способствует повышению качества идентификации. Акустическая локализация, однако, затрудняется при наличии в помещении шумов и посторонних источников звука. Данная работа рассматривает возможность применения полигармонических моделей для адаптивного определения частотного паттерна речи и проведения акустической локализации дикторов по выделенным частотным полосам. Результаты исследования показывают, что применение полигармонических моделей повышает качество локализации дикторов на фоне посторонних шумов по сравнению с широкополосной локализацией, что в свою очередь повышает точность пространственных признаков речи

15:15–15:30**6. ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ КОНКУРИРУЮЩИХ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ В НОРМЕ И ПРИ НАРУШЕНИЯХ СЛУХОРЕЧЕВОЙ ФУНКЦИИ**

Огородникова Е.А., Пак С.П., Столярова Э.И., Лабутина О.В.
ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН; Россия,
Санкт-Петербург, Elena-ogo@mail.ru

Исследовали особенности выделения и распознавания целевых речевых сигналов в условиях голосовой конкуренции – одновременного произнесения различных слов дикторами мужского и женского пола. В измерениях приняли участие испытуемые разного возраста (школьники и взрослые испытуемые) с нормой слуха и речи и с нарушениями слухоречевой функции (тугоухость, нарушения речи, пользователи кохлеарных имплантов). Эксперименты проводили в специальном помещении при отсутствии посторонних и фоновых шумов, превышающих 30 дБ (контроль с помощью шумомера). Прослушивание производилось с помощью специальной программы через головные телефоны на комфортном уровне интенсивности (65 дБ). По результатам оценивали: время реакции, количество правильных ответов и ошибок. Сопоставление полученных данных выявило различия между группами сравнения, а также потенциал направленного слухового тренинга (движение высоты, различение голоса). Положительная динамика получена во всех группах испытуемых, включая детей с большими потерями слуха и после кохлеарной имплантации, у которых показатели первичного тестирования были наиболее низкими. Испытуемые с нормой слуха дополнительно прошли дихотическое тестирование с определением ведущего уха по восприятию речи в условиях гипоксической пробы (15 минут, 10.5% кислорода). Результаты свидетельствовали об изменениях в латеральном предпочтении испытуемых с превалированием правостороннего выбора (правое ухо) под воздействием гипоксии. Данные могут быть использованы для решения задач медицинской реабилитации и специального образования.

15:30–15:45**7. РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ РЕЧИ**

Фролова О.В., Городный В.А., Ляксо Е.Е.
Санкт Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;
E-mail: olchel@yandex.ru

С целью изучения отражения эмоционального состояния в речи проведена разработка методики по вызову различных эмоциональных состояний у детей 8–10 лет. Произведена видеозапись поведения и аудиозапись речи детей в

модельных ситуациях, речевой материал аннотирован на эмоциональные состояния — печаль, радость, гнев и нейтральное (спокойное) состояние. Осуществляли перцептивный анализ с участием аудиторов — носителей и не носителей русского языка, спектрографический анализ речи детей в четырёх указанных эмоциональных состояниях. В работе обсуждается связь между акустическими характеристиками речи ребенка и возможностью правильного распознавания эмоционального состояния разными группами аудиторов. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-57-45008 ИНД_a).

15:45–16:00

8. ВЛИЯНИЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПЫТУЕМЫХ НА УСПЕШНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧЕВОГО МАТЕРИАЛА В ПЕРЦЕПТИВНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Григорьев А.С., Городный В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;

E-mail: a.s.grigoriev89@gmail.com

Метод перцептивного эксперимента широко применяется в исследовании различных аспектов речи детей с типичным и атипичным развитием. Целью работы является изучение связи между психофизиологическими характеристиками аудиторов и успешностью выполнения заданий перцептивного эксперимента. На основании статистического анализа выявлены связи между психофизиологическими характеристиками аудиторов — носителей русского языка: профилем функциональной латеральной асимметрии, показателями сформированности фонематического слуха, коэффициентом латерального предпочтения по речи и др. и успешностью распознавания значения сказанного детьми, пола и возраста детей, типа развития (типично или атипично развивающийся ребенок), эмоционального состояния ребенка. Работа выполняется при финансовой поддержке РФ проект №19-78-00057.

16:00–16:20 — КОФЕ-БРЕЙК

16:20–16:35

9. ПЕВЧЕСКАЯ ОСНОВА РУССКОЙ ДИАЛЕКТНОЙ РЕЧИ

Гутова С.Ю.

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург; E-mail: gutik57@mail.ru

Работа посвящена исследованию речевой зоны аутентичных тембров в момент пения, говорения и «голошения». Выявлено, что бытовой говор

русских этнофоров имеет схожие амплитудно-частотные характеристики с вокальной речью традиционного аутентичного пения. С акустической точки зрения это родство характеризуется завышенной областью средней певческой форманты, активного спектра 4500–5000 Гц, преобладанием частоты в ≈ 700 Гц. Таким образом, процессы говорения и пения для деревенских носителей языка тождественны. Исключительным качеством фольклорного темброинтонирования является наличие рече-певческой позиции (РПП) как неотъемлемой черты аутентичной фонации, обладающей определенными акустическими особенностями. Цель: доказать, что РПП это качество диалектной речи и самостоятельный негибридный способ артикулирования, который характеризуется рядом качеств, является преимущественным приемом живого интонирования.

16:35–16:50

10. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ОБУЧАЮЩИХ ДАННЫХ

Кипяткова И.С., Марковников Н.М.

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург;
E-mail: kipyatkova@iias.spb.su

Интегральные (end-to-end) модели распознавания речи позволяют повысить скорость декодирования речевого сигнала, однако требуют больший объем речевых данных для обучения. В докладе исследуются два способа улучшения качества интегральных моделей распознавания речи при недостатке обучающих данных. Первый способ — применение методов аугментации речевых данных, таких как изменение темпа речи, высоты голоса, наложения белого шума и синтез речи. Вторым способом является предобучение моделей с использованием метода переноса знаний, который подразумевает обучение модели на нецелевых данных, а затем перенос обученных параметров в целевую модель. Разработанные модели были внедрены в систему распознавания слитной русской речи и показали большую точность распознавания по сравнению с базовой интегральной моделью.

16:50–17:50

11. КРУГЛЫЙ СТОЛ РЕДКОЛЛЕГИИ «АКУСТИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА»

Секция ФА (2) — Физическая акустика**Зал № 2**

Руководитель, Хохлова Вера Александровна, vera@acs366.phys.msu.ru

9:00–9:15

1. О СОПРОТИВЛЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ КАВИТИРУЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Неверов А. Н.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) Москва; E-mail: neverov_an@mail.ru

Известно, что сопротивление излучения кавитирующей жидкости падает при увеличении интенсивности и амплитуды колебательной скорости излучателя, а при некоторых их значениях стабилизируется на уровне, в 3 – 5 раз меньшем его значения для капельной жидкости. В предлагаемой работе делается попытка объяснения такой зависимости особенностями распространения упругих волн через граничную зону, возникающую между поверхностью излучателя и жидкостью. Свойства этой зоны отличны от свойств обычной капельной жидкости, она рассматривается как элемент акустического контакта между излучателем и жидкостью. Этими же особенностями определяется и изменение знака реактивной составляющей сопротивления жидкости, которое наблюдалось в эксперименте рядом исследователей. Уточняется понятие сопротивления жидкости.

9:15–9:30

2. ИМПУЛЬСНОЕ МОДУЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ РАЗВИТИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБЛАСТИ

Котухов А.В., Минчук В.С., Жарко Н.А., Дежкунов Н.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск; E-mail: dnv@bsuir.by

Влияние импульсного модулирования ультразвукового поля на динамику развития кавитационной области исследовалось с использованием фокусирующего излучателя. Регистрировались: выходной сигнал гидрофона, спектры кавитационного шума, интенсивность звуколюминесценции. Установлено, что варьирование периода следования T и длительности τ импульсов ультразвука позволяет в широком диапазоне варьировать пороги возникновения кавитации. Порог нестационарной кавитации, оцениваемый по наличию звуколюминесценции, увеличивается при уменьшении τ и при увеличении T . При этом T и τ могут быть выбраны таким образом, что кавитация возникает не одновременно с включением ультразвука, а со значительной

задержкой. Это открывает новые возможности разделения вкладов собственно ультразвука и кавитации в воздействие на биологические объекты и физико-химические процессы в жидкостях.

9:30–9:45

3. ЛИДАРНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОФИЛЯ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ФОКУСЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА В ВОДЕ

Першин С.М., Брысев А.П., Гришин М.Я., Бункин А.Ф., Леднев В.Н., Клопотов Р.В.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Joint International Laboratory on Critical and Supercritical Phenomena in Functional Electronics, Acoustics and Fluidics (LIA-LICS); Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

Впервые с помощью лидара реализована диагностика профиля акустического давления в воде с перепадом $P \sim 50$ МПа в фокусе ультразвукового пучка (1.8 МГц). Лазерный пучок (10 нс, 527 нм) фокусировался в ультразвуковую перетяжку под углом 90° . Рассеянные назад фотоны регистрировались спектроанализатором со стробируемым детектором. Установлено, что величина сигнала упругого рассеяния (527 нм) пропорциональна амплитуде акустического давления, а центр ОН-полосы комбинационного рассеяния смещается в сторону низких частот. Профиль акустического давления регистрировался за счет последовательного изменения задержки между импульсами ультразвука и лидара и анализа возникающей при этом трансформации формы ОН-полосы. Сравнение данных лидарного зондирования и прямых измерений с помощью PVDF-гидрофона показало их хорошее соответствие.

9:45–10:00

4. АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АДСОРБИРОВАННОЙ ВОДЫ

Симаков И.Г., Базарва С.Б., Гулгенов Ч.Ж.

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ;

E-mail: sigfizik@mail.ru

Продемонстрирована возможность применения поверхностных акустических волн в качестве инструмента исследования диэлектрических свойств адсорбированной воды. Показано, что частотная зависимость диэлектрических свойств адсорбированной воды хорошо согласуется с уравнением Дебая. Представленный в работе метод может успешно дополнять существующие методы исследования диэлектрических свойств граничных слоев жидкостей и релаксационных процессов в них.

10:00–10:15**5. АКУСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР С РАДИАЛЬНЫМ ВОЗБУЖДАЮЩИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ**

Теплых А.А., Зайцев Б.Д., Бородина И.А., Семенов А.П.

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратовский филиал; E-mail: teplykhaa@mail.ru

В докладе представлен новый тип пьезокерамического акустического дискового резонатора с радиальным возбуждающим электрическим полем. Резонатор представляет собой диск из пьезоматериала кристаллографического класса 6mm, на одну сторону которого нанесены два круглых концентрических металлических электрода с зазором между ними. Преимущество такого резонатора заключается в том, что на его характеристики оказывают влияние механические и электрические свойства нагрузки, нанесенной на другую сторону резонатора, при этом характеристики резонатора можно эффективно вычислять при помощи двумерного метода конечных элементов. Представлена модель свободного резонатора и резонатора, нагруженного пленкой конечной толщины. Рассчитаны характеристики различных мод колебаний для резонаторов из пьезокерамик ЦТС-19 и ЦТБС-3 при различном зазоре между электродами.

10:15–10:30**6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФОКУСИРОВАННОГО ПУЧКА С ПОЛУСФЕРИЧЕСКИМ "ТРАНСФОРМЕРОМ". ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Валуев К.А., Мороков Е.С., Левин В.М.

Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва;

E-mail: Valuevkirill@yandex.ru

В процессе выполнения исследовательской работы разработан новый подход для локального измерения упругих характеристик материала с применением техники импульсной акустической микроскопии и абберационных эффектов фокусированных зондирующих пучков при прохождении границ раздела. Наиболее привлекательным с точки зрения геометрии пучки является преломление на полусферическом элементе, позволяющем формировать в своем объеме коллимированные пучки продольных и поперечных волн. Такие лучи проникают в объем образца без преломления, сохраняя свою параллельность. Измерения с использованием коллимированных пучков очень перспективны, поскольку они существенно увеличивают точность упругих измерений (почти на порядок) за счет устранения систематических погрешностей, неизбежных при использовании фокусированных пучков. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-32-90246.

10:30–10:45**7. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВУКА В ЖИДКУЮ СРЕДУ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИМИ ИСТОЧНИКАМИ**

Васильев Б.П., Пугачев С.И., Разрезова К.В., Чижов Г.В.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург; АО «Концерн «МПО - Гидроприбор», Санкт-Петербург; ЗАО «СПМБМ «Малахит», Санкт-Петербург; E-mail: kv_neveselova@mail.ru

Термоакустические источники звука – термофоны относятся к классу широкополосных нерезонансных безынерционных источников звука. Применение плёночных термофонов открывают широкие возможности их практического использования для решения задач физической и технической акустики. В основу работы термофона положен термоакустический эффект. Излучение звуковой волны от твёрдой поверхности с периодически колеблющейся температурой происходит за счёт возникновения в пристеночном слое жидкости неоднородной тепловой волны. Основным направлением исследования является возможность использования термофонов в качестве излучателей звука в жидкую среду. Для проведения гидроакустических измерений в жидких средах необходимо разрабатывать специальные термофоны, гидроизолированные от проводящей жидкости за счёт иммерсионной жидкости. В природе существует множество жидких диэлектриков. Это позволяет за счёт подбора физических параметров регулировать интенсивность излучения звука термофоном.

10:45–11:00**8. СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ**

Козабаранов Р.В., Борисенко В.А., Диденкулов И.Н., Буркацкий А.С., Егоров А.С., Литвинов Д.А., Чернов В.В.

СарФТИ НИЯУ МИФИ, Саров, Нижегородская область; Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород; E-mail: vaborisenok@mephi.ru

Приведены результаты исследования сонолюминесценции в цилиндрическом резонаторе, изготовленном целиком из пьезокерамики. Численная модель акустического резонатора позволила определить режимы колебаний резонатора для наблюдения сонолюминесценции. Представлены данные о получении и исследовании одно- и многопузырьковой сонолюминесценции в системе вода-воздух. Показано, что условия для возникновения сонолюминесценции создаются в пьезокерамическом резонаторе при

электрических напряжениях, значения которых меньше на порядок величины, чем в резонаторах других типов.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК

11:20–11:35

9. О СПЕКТРОСКОПИИ ПУЗЫРЬКОВ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЖИДКОСТИ С ПУЗЫРЬКАМИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Буланов В.А., Корсков И.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН;
Владивосток; E-mail: bulanov@poi.dvo.ru

Акустика жидкостей, содержащих пузырьки, наиболее полно развита в случае газовых пузырьков. При изменении температуры в широких пределах становится важным вопрос об учете эффектов фазовых превращений, так как при нагреве пузырьки из чисто газовых превращаются в паровые пузырьки. Обсуждаются результаты экспериментальных исследований распространения звука в воде с пузырьками при температурах от 200°C до 920°C. Показана существенность влияния фазовых превращений при увеличении содержания паров воды по сравнению с концентрацией газа в пузырьках. Обсуждена частотная зависимость поглощения звука и акустической нелинейности воды с пузырьками при различных температурах. Показана необходимость учета эффектов фазовых превращения для реализации акустической спектроскопии пузырьков в воде при различных температурах.

11:35–11:50

10. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВ В ПРОТОЧНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Диденкулов И.Н., Корчагина Т.С., Прончатов-Рубцов Н.В

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский
государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород;
E-mail: diniap@mail.ru

В акустическом поле на пузырьки, помимо силы Архимеда, действует радиационная сила. При наличии течения жидкости на пузырьки дополнительно действует сила вязкого трения. В проточных акустических резонаторах и волноводах за счет радиационной силы возникает неравномерное распределение концентрации пузырьков. В работе рассматривается действие радиационной силы на распределение концентрации пузырьков в проточных акустических системах.

11:50–12:05**11. ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ, СТРУКТУРЫ И ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ В КРИСТАЛЛАХ И НАНОСТРУКТУРАХ**

Чарная Е.В.

Физический факультет, С. Петербургский Государственный Университет,
С. Петербург, charnaya@mail.ru

Предлагается обзор физических основ, лежащих в основе применения методов акустики для изучения фазовых переходов, структурных особенностей и ионной проводимости в кристаллических материалах и наноструктурированных системах. Рассматриваются структурные переходы (сегнетоэлектрические и сегнетоэластические) и полиморфизм, переходы в магнитоупорядоченные фазы и процессы плавления и кристаллизации. Обсуждается чувствительность акустических методов к изменению ионной проводимости. Теоретический анализ сопровождается примерами экспериментальных исследований. В заключение анализируются возможности акустических методов применительно к топологическим фазам.

12:05–12:20**12. ИЗМЕНЕНИЕ ЯДЕРНОЙ СПИНОВОЙ РЕЛАКСАЦИИ В УСЛОВИИ АКУСТИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО НАСЫЩЕНИЯ ЛИНИИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В КРИСТАЛЛАХ**

Микушев В.М., Чарная Е.В.

Физический факультет, С. Петербургский Государственный Университет,
С. Петербург, charnaya@mail.ru

Приводятся результаты экспериментальных исследований акустического и магнитного стационарного и импульсного воздействия резонансной частоты на скорость ядерной спин-решеточной релаксации в диэлектрических кристаллах. Показывается универсальный характер уменьшения скорости релаксационных процессов в результате насыщения линии ЯМР. Полученные результаты интерпретируются в рамках разработанной модели подавления релаксации, идущей с участием спиновой диффузии, за счет локального перегрева спиновой системы вблизи парамагнитных центров. Модель согласуется с обнаруженным различием скорости релаксации при положительной и отрицательной интегральных температурах ядерной спин-системы.

12:20–12:35**13. АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ** **$\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$**

Турчин П.П., Бурков С.И., Турчин В.И., Юркевич С.В., Семишин Е.И.
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия; Институт физики
им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия;
E-mail: pturchin@sfu-kras.ru

Тригональные монокристаллы $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ относятся к числу редкоземельных оксиборатов $\text{RMe}_3(\text{BO}_3)$ (где, $\text{R}=\text{Y}$, La-Lu ; $\text{Me}=\text{Fe}$, Al , Cr , Ga , Sc), и обладают магнитной подсистемой. Известные результаты исследований материальных свойств этого монокристалла не включают экспериментальные значения электромеханических постоянных. В работе эхо-импульсным ультразвуковым и квазистатическими методами получены значения упругих C_{ijkl}^E и пьезоэлектрических e_{ijk} постоянных и пьезомодулей d_{ijk} монокристаллов $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$. На их основе исследована анизотропия параметров объемных и поверхностных акустических волн.

12:35–12:50**14. СОВРЕМЕННЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ ПОДВЕСКИ ТРУБОПРОВОДОВ РАБОЧИХ СРЕД**

Волкова Н.В.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург
E-mail: wolfnvl@mail.ru

Рассмотрены конструкции современных эффективных виброизолирующих подвесок трубопроводов рабочих сред, которые получили широкое применение в промышленности, в том числе, и в судостроении. Представлена конструкция упругого элемента подвесок для трубопроводных систем с использованием унифицированного элемента.

Секция АО — Акустооптика**Зал № 2**

Руководитель, Балакший Владимир Иванович,
balakshy@phys.msu.ru

14:00–14:20**1. АКУСТООПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ДВУОСНЫХ КРИСТАЛЛОВ**

Балакший В.И., Купрейчик М.И., Манцевич С.Н.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;

E-mail: *balakshy@phys.msu.ru*

Представлен детальный анализ акустооптического эффекта в двуосных кристаллах на примере кристаллов ромбической сингонии $\square$ -НfO3 и Tl3AsS4. Основное внимание уделено особенностям частотных зависимостей углов Брэгга для разных направлений распространения световых и акустических волн, а также расчету коэффициентов акустооптического качества для вариантов изотропной и анизотропной дифракции. Найден оптимальные срезы кристаллов для таких акустооптических устройств как модуляторы, дефлекторы и фильтры. В частности, показано, что коллинеарный фильтр на основе $\square$ -НfO3 может превосходить хорошо известный фильтр на основе молибдата кальция в два раза по разрешению и при этом потреблять в 3.5 раза меньшую мощность. Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РФФ, грант 19-19-00606.

14:20–14:40**2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЛАБЛЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН СВЧ ДИАПАЗОНА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ДВУХ КРИСТАЛЛОВ**

Сучилин А.В. Заварин С.В. Никишин Е.Л. Павлова М.В. Бирзул А.С.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия; E-mail: *nikel55@rambler.ru*

Исследуется ослабление упругих волн СВЧ диапазона при прохождении акустической связки двух кристаллов. Приводится теоретический расчет коэффициента отражения для кристаллов со сферической поверхностью. Представлены экспериментальные измерения отраженной и проходящей волны СВЧ диапазона акустооптическим методом. В качестве соединяющего вещества использовались вода, фенилсалицилат и индий.

14:40–15:00**3. ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ α -BaB₂O₄ И β -BaB₂O₄ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА**

Марунин М.В., Поликарпова Н.В.

Физический факультет Московского государственного университета им.

М.В.Ломоносова, 119991 Москва, Россия; polikarp@phys.msu.ru

На сегодняшний день особый интерес представляют акустooптические устройства, работающие в ультрафиолетовом диапазоне электромагнитного спектра. Основная проблема создания указанных устройств заключается в отсутствии материалов, прозрачных на длинах волн 0.2–0.4 мкм и имеющих при этом высокую акустooптическую эффективность.

Двулучепреломляющие кристаллы бората бария (α -BaB₂O₄ и β -BaB₂O₄) прозрачны для ультрафиолетового диапазона длин волн вплоть до 0.19 мкм. Поэтому указанные кристаллы могут быть рекомендованы к применению в акустooптических устройствах ультрафиолетового диапазона.

В данной работе решена акустическая задача, получены значения коэффициентов акустooптического качества материалов, а также найден срез кристалла, который может быть рекомендован для использования в акустooптических фильтрах ультрафиолетового диапазона. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Научного фонда РФ № 19-19-00606.

15:00–15:20**4. НЕОБЫЧНЫЕ СЛУЧАИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД**

Поликарпова Н.В., Марунин М.В.

Физический факультет Московского государственного университета им.

М.В.Ломоносова, Москва, Россия; polikarp@phys.msu.ru

Рассмотрены особенности преломления акустических волн при пересечении границы раздела двух анизотропных сред. В качестве исследуемых материалов, были выбраны кристаллы парателлурита и ниобата лития, наиболее часто используемые в акустooптике. Сильная анизотропия упругих свойств рассматриваемых материалов позволяет наблюдать новые эффекты, которые невозможно реализовать в изотропной среде, такие как, обратное преломление волны на границе раздела. Обсуждается возможность использования обнаруженных особенностей распространения акустических волн при построении акустooптических устройств. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Научного фонда РФ № 19-19-00606.

Секция АММ — Акустические метаматериалы**Зал № 3**

Руководители: Бобровницкий Юрий Иванович и Томилина Татьяна Михайловна, *tatiana@imash.ac.ru*

9:00–9:40**1. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (пленарный)**

Томилина Т.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук;

E-mail: *tatiana@imash.ac.ru*

В настоящее время появляется все больше публикаций с лабораторными экспериментами по акустическим и вибрационным метаматериалам (ММ), которые представляют собой материалы-конструкции со сложной внутренней структурой, которая и определяет их особые «сверх» волновые свойства. Это связано как с получением ряда фундаментальных результатов в этой области, так и с появлением новых аддитивных технологий, позволяющих реализовать некоторые модели ММ-структур для лабораторных испытаний. В данной работе представлены теоретические модели и результаты экспериментальных исследований тестовых ММ-образцов высокоэффективных поглотителей акустической и вибрационной энергии, полученные в ИМАШ РАН. Показана принципиальная возможность создания таких поглотителей на базе метаматериалов. Обсуждаются принципы моделирования ММ-структур и влияние технологии изготовления на волновые свойства натуральных образцов.

9:40–10:00**2. МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ДИОДА**

Драчёв К.А., Римлянд В.И., Хаит Р.М.

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск,

E-mail: *kirill@pnu.edu.ru*

Методами численного моделирования проведено исследование амплитудно-частотных характеристик модели акустического диода (устройство, которое пропускает звук только в одном направлении) в диапазоне частот 4–15 кГц. Рассмотрено влияние угла падения на коэффициент пропускания — отношение амплитуды волны, прошедшей в прямом направлении, к амплитуде в обратном направлении. Исследовалась модель диода, предложенная в работе [Yi-FanZhu, Xin-YeZou, BinLiang, andJian-ChunCheng. Acoustic one-way open tunnel by using

metasurface. Applied Physics Letters 107, 113501 (2015)]. Моделирование производилось методом конечных элементов. Результатом моделирования являлась построение амплитуды волны как функции времени, регистрируемой виртуальным приемником. Возбуждение акустического сигнала проводилось виртуальным излучателем.

10:00–10:20

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ С ЧАСТИЦАМИ С ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ

Диденкулов И.Н., Сагачева А.А.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород;
E-mail: diniap@mail.ru

Суспензии часто встречаются в природе и в технологических процессах. Считается, что суспензии частиц нейтральной плавучести и сжимаемости, не оказывают влияние на распространение звука. Однако, в случае, если центр масс частицы смещен, такая частица в акустическом поле совершает вращательные колебания, которые сопровождаются вязким трением и приводят к потере энергии акустической волны. В работе анализируется распространение звука в суспензиях подобных частиц.

10:20–10:40

4. ФОНОННЫЙ КРИСТАЛЛ С ПЕРЕМЕННЫМИ ВО ВРЕМЕНИ ПАРАМЕТРАМИ ЕГО СТРУКТУРЫ

Балошин Ю.А., Дамдинов Б.Б.

Университет ИТМО, Россия, г. Санкт-Петербург, Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск, Бурятский государственный университет имени Д. Банзарова, Россия, 670000, г. Улан-Удэ.
E-mail: abaloshin1940@mail.ru, bdababa@mail.ru

С помощью численного моделирования в данной работе проведено исследование фононного кристалла, в котором акустические характеристики элементов его структуры меняются с частотой, сопоставимой с частотой распространяющегося звука. Показано влияние таких изменений на прохождение волновых пакетов акустических волн различных по форме и начальной фазе. Проводится анализ дисперсионных характеристик такого типа материалов. Кроме этого, было показано, что при определённых условиях фононный кристалл приобретает свойства фазового фильтра. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-02-00523а.

10:40–11:00**5. ОБРАТНЫЕ ВОЛНЫ И ВОЛНЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ УГЛОМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В ОДНОРОДНЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ ГРАНИЧАЩИХ СРЕДАХ**

Ломухин Ю.Л.

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ;

E-mail: lomukhin_yuriy@mail.ru

В работе показано, что при облучении границы раздела сред на ряду с преломленной и отраженной модами возбуждается обратные волны в направлении источника излучения и отрицательно преломленные моды. При этом обратные волны и волны с отрицательным углом преломления являются соответственно результатом преломления и отражения на границе раздела встречного к преломленной моде излучения. Источником встречной волны является флуктуационное поле, которое образуется в результате эффекта перехода затухающей с глубиной проникновения в среду когерентной преломленной волны во флуктуационное состояние. Важную роль при этом играет собственное тепловое излучение. Явление рассмотрено на примере электромагнитных волн, аналогичный эффект имеет место и в акустике.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:40****6. ОБРАТНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В ПЬЕЗОПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИНАХ**

Кузнецова И.Е.

ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, Москва, e-mail: kuziren@yandex.ru

В последнее время большой интерес исследователей привлекают обратные акустические волны, которые характеризуются противоположно направленными фазовой и групповой скоростями. Такие волны существуют как в изотропных пластинах, так и в многослойных структурах, фоновых кристаллах, трубах, оболочках и полых цилиндрах. Следует отметить, что в мировой литературе к настоящему времени отсутствуют работы, посвященные исследованию распространения обратных акустических волн в пьезополупроводниках. В связи с этим в данной работе проведено исследование возможности существования обратных акустических волн в таких пьезополупроводниках как арсенид галлия и оксид цинка. Обнаружены частотные диапазоны их существования и определено влияние проводимости на их характеристики. Работа частично поддержана проектом РФФИ №19-07-00070 и Минобрнауки РФ.

11:40–12:00**7. ЧИСЛЕННО-АСИМПТОТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
Вещественного и комплексного спектра
поверхностных акустических волн в слоистых телах
с тонкими функционально-градиентными
покрытиями и прослойками**

Захаров Д.Д., Кузнецов С.В.

Российский университет транспорта (МИИТ), Москва; Институт проблем механики РАН, Москва; Московский государственный технический университет им. Баумана, Москва; E-mail: dd_zakh@mail.ru

Построены асимптотически точные модели динамики тонких покрытий и прослоек из функционально-градиентных материалов. Показано, что модели 1-го и 2-го порядка точности являются квазистатическими, тогда как модель 3-го порядка учитывает волновые эффекты. Рассмотрены различные варианты граничных условий на лицевых поверхностях покрытия/прослойки. Предложены эффективные алгоритмы расчета спектров гетерогенных сред из классических упругих материалов и функционально-градиентных покрытий/прослоек. Проведены сопоставления с прямыми методами расчета, основанными на 6-мерном формализме Коши и матричных рядах. Сочетание новых методов обоих типов позволяет находить вещественные, чисто мнимые и комплексные дисперсионные кривые в практически значимых диапазонах частот для гетерогенных метаматериалов и эффективно предсказывать сложные волновые поля.

12:00–12:20**8. МЕТОД ВОЛНОВОГО УСРЕДНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНЫЕ
ПАРАМЕТРЫ АММ**

Бобровницкий Ю.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук;
E-mail: yuri@imash.ac.ru

Под акустической средой, непрерывной или дискретной, понимается такая материальная среда или периодическая структура, в которой могут существовать нормальные плоские волны только одного типа. Общей одномерной моделью в непрерывном случае является однородная акустическая среда, описываемая уравнением Гельмгольца, а в дискретном случае — периодическая цепочка из одинаковых масс и упругостей (модель Ньютона). Обе модели описываются двумя эффективными параметрами — упругим модулем K и плотностью ρ в непрерывном случае или массой m_{eff} и упругостью $keff$ в дискретном случае. Акустический метаматериал (АММ)

это периодическая структура, состоящая из сложных ячеек с многими степенями свободы. Чтобы такая цепочка была эквивалентна акустической среде, у ячейки периодичным должно быть только два входа, которыми она соединяется с соседними ячейками. Связь между двумя эффективными параметрами модели и множеством материальных параметров реальной ячейки устанавливается с помощью того или иного критерия эквивалентности АММ и акустической модели на основе некоторого метода усреднения поля колебаний сложной ячейки. В методе волнового усреднения таким критерием является равенство дисперсионных уравнений АММ и модели. В докладе показано, что, в отличие от других многочисленных методов усреднения и критериев эквивалентности, эффективные параметры, полученные методом волнового усреднения, позволяют точно вычислять фазовую и групповую скорости нормальных волн в АММ, а также все энергетические характеристики, в частности, поток и плотность энергии. В непрерывном случае формула для плотности энергии совпадает с известной формулой Бриллюэна.

12:40–13:00

9. ПРОХОЖДЕНИЕ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ СЛОЙ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ, ПЕРИОДИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

А. В. Клячкин, ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматривается распространение звуковых волн из нижнего в верхнее полупространство через слой с горизонтальной, периодически неоднородной структурой. На основе предложенного аналитического метода удалось полностью и для любых значений управляющих параметров (длина и угол падения звуковой волны, период и амплитуда неоднородностей, характерные плотности и скорости звука) решить поставленную задачу. Были найдены выражения для импедансов, коэффициентов прохождения и отражения звуковой волны с учетом наличия пространственной неоднородности в слое. Аналитические выражения для акустических полей в верхнем и нижнем полупространствах, полученные в виде пространственных спектров, позволили найти энергетические характеристики (мощность, среднеквадратичное давление).

13:00–13:20**10. ТРЕХМЕРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРИСТАЛЛА ФУЛЛЕРИТА**

Павлов И.С., Ерофеев В.И.

Институт проблем машиностроения РАН — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Нижний Новгород, E-mail: ispavlov@mail.ru

В настоящее время всё больше технологических применений находят материалы на основе углерода. Одним из таких материалов, наряду с нанотрубками и графеном, являются фуллериты – твердотельные структуры, образованные на основе фуллеренов (как C₆₀, так и высших фуллеренов – C₇₀, C₇₆, C₇₈, C₈₀, C₈₂ и т.д.). Принадлежность фуллеритов к кристаллам молекулярного типа позволяет рассматривать образующие их фуллерены подобно молекулам, способным совершать как трансляционные, так и вращательные движения. Сверх- и ультратвердые фуллериты характеризуются уникально высокими значениями скоростей продольных упругих волн и широким диапазоном этих значений в пределах от 11 км/с до 26 км/с в зависимости от их структуры, определяемой условиями синтеза. При температуре ниже 250 К кристаллическая структура фуллерита C₆₀ перестраивается в простую кубическую решетку.

В данной работе построена математическая модель трехмерной кристаллической среды с простой кубической решеткой, аналогичной по структуре фуллериту, позволяющая установить аналитические зависимости скоростей акустических и вращательных (ротационных) волн от параметров микроструктуры такой среды. Произведены численные оценки скоростей ротационных волн и параметров дисперсии. Показана возможность решения задачи параметрической идентификации предложенной модели по известным экспериментальным данным. Проведенные в работе исследования открывают возможности проектирования метаматериалов с заранее заданными свойствами.

13:20–14:00 — ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД

14:00–14:20**11. НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ**

Карпов И.А., Ким А.А., Гребенников А.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук;

E-mail: karpov@imash.ac.ru

Экспериментальное определение потерь в акустических средах и упругих конструкциях является одной из не до конца решенных проблем. В докладе изложен новый метод, основанный на параметрическом моделировании измеренных случайных вибрационных или акустических колебаний. Метод опробован в лабораторном эксперименте и показал перспективность метода.

14:20–14:40**12. АНАЛИТИЧЕСКИЙ И ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОГЛОТИТЕЛЯ ЗВУКА ИЗ АММ**

Асфандияров Ш.А., Бахтин Б.Н., Бобровницкий Ю.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук;

E-mail: asfandiyarov@imash.ac.ru

Описаны результаты и особенности аналитического и численного расчета звукового поля и эффективности звукопоглотителя из метаматериала в волноводе с учетом параметров волновода. Аналитический расчет основан на моделировании звукового поля плоскими волнами. Численный расчет производился с помощью программного обеспечения COMSOL Multiphysics. Цель расчета — определение значения импеданса поглотителя, обеспечивающего максимальную мощность поглощения в заданном диапазоне частот.

14:40–15:00**13. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОГЛОТИТЕЛЯ ЗВУКА С ПОТЕРЯМИ**

Бахтин Б.Н., Смелов В.Г., Сафин А.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук;

Самарский университет им. С.П. Королева, Самара;

E-mail: bakhtin@imash.ac.ru

Известно, что потери энергии акустических колебаний имеют место в основном у твердых стенок и обусловлены вязким трением и

теплопроводностью. В работе экспериментально получена зависимость этих потерь от параметра шероховатости стенок. Этот результат позволяет рассчитывать величину потерь у стенок с заданной шероховатостью путем введения поправочного коэффициента к расчетному значению для гладких стенок, например, для резонансных звукопоглотителей, изготовленных по аддитивным технологиям. Исследования проводились в импедансной трубе на образцах резонансных поглотителей звука.

15:00–15:20

14. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ ОБРАЗЦОВ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Агаповичев А.В., Вдовин Р.А., Томилина Т.М.

Самарский университет им.С.П.Королева; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им.

А.А. Благодина Российской академии наук; E-mail: 1pdla_smelov@mail.ru

Аддитивные технологии, которые могут воспроизводить различные объекты по их компьютерным 3D моделям, до настоящего времени развивались для повышения эффективности изготовления промышленных изделий. Однако интерес представляет возможность их использования для создания принципиально новых материалов и сред, которые не могут быть реализованы существующими средствами, например, так называемых акустических метаматериалов. Особенность состоит в том, что и метаматериалы, и аддитивные технологии мало изучены, и связать требуемые характеристики метаматериалов с параметрами технологического процесса, чтобы можно было прогнозировать свойства готового изделия, пока невозможно. В данной работе представлены результаты исследований свойств образцов акустических метаматериалов, изготовленных по технологии 3D печати Polyjet и SLM из фотополимера и металла в частотном диапазоне 200–600 Гц. Даны рекомендации по использованию аддитивных технологий для получения характеристик образцов, соответствующих теоретической модели.

15:20–15:40**15. НАИЛУЧШИЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ И ЕГО СВОЙСТВА**

Бобровницкий Ю.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук;

E-mail: yuri@imash.ac.ru

Наилучшим поглотителем звука называется тело конечных размеров, которое среди всех возможных линейных упругих тел той геометрии поглощает максимум энергии падающего поля. Как ранее было показано его матрица поверхностных импедансов равна эрмитово сопряженной матрице импедансов излучения. В докладе приводится анализ основных физических свойств наилучшего поглотителя, следующих из этого матричного равенства, приведено сравнение с черным телом, а также даются некоторые рекомендации по его реализации с помощью акустических метаматериалов.

15:40–16:00**16. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ ПЕРИОДИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ, ПОМЕЩЕННУЮ В ЖИДКУЮ ИЛИ РЕЗИНОПОДОБНУЮ СРЕДЫ**Кокшайский А.И., Володарский А.Б., Ширгина Н.В., Одина Н.И., Коробов А.И.
Кафедра акустики, физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

В работе экспериментально изучены особенности прохождения продольной акустической волны через периодическую систему из акустического метаматериала, изготовленного методом 3D печати из ABS- пластика, в виде набора плоских периодических решеток, помещенных в жидкую (вода) и резиноподобную (агар) среды. Объемные упругие этих сред были практически одинаковы. Были измерены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) системы при прохождении продольной волны, распространяющейся перпендикулярно плоскости образца. На АЧХ были обнаружены запрещенные зоны, в которых наблюдалось увеличение затухания упругих волн. Было установлено, что с увеличением количества слоев решеток в системе увеличивалось затухание звука в запрещенных зонах АЧХ. Исследована дифракционная картина рассеяния ультразвука на образцах. Работа поддержана грантом РФФ № 19-12-00098.

СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ**АММ-1****17. АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ ВАКУУМНОГО МАСЛА ВО ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

Курилов А.Д.

МИРЭА — Российский технологический университет, Москва; Московский государственный областной университет, Мытищи;

E-mail: ad.kurilov@gmail.com

Работа посвящена изучению акустических свойств магнитной жидкости на основе вакуумного масла во внешних магнитных полях. Проведён анализ применимости существующих теорий феррогидродинамики к описанию экспериментальных данных по анизотропии коэффициента поглощения ультразвука магнитными жидкостями. Существующие на данный момент теории жидких намагничивающихся сред не способны количественно описать поведение магнитных жидкостей во внешних магнитных полях, в особенности динамически изменяющихся. Установлено, что для качественного описания полученных зависимостей наилучшим образом подходит теория анизотропии поглощения звука нематическими жидкими кристаллами, что свидетельствует о целесообразности первых попыток её применения при изучении данных систем.

Секция АОК — Акустика океана**Зал № 4**

Руководитель, Малый Владимир Владимирович, v_malyj@rambler.ru

9:00–9:20

1. АДДИТИВНАЯ И МУЛЬТИПЛИКАТИВНАЯ ОБРАБОТКА ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ

Малышкин Г.С., Мельканович В.С.

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург;

E-mail: genstepmal@yandex.ru

Разработаны варианты мультипликативной обработки сигналов совместно с быстрыми проекционными алгоритмами, обеспечивающими ограничение мощности сильных сигналов. Предлагаемый вариант обработки позволяет устранить искажения пеленгационного рельефа и обеспечить высокую разрешающую способность при обнаружении слабых сигналов.

9:20–9:40

2. ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СКОРОСТИ ЗВУКА В МОРСКОМ ДНЕ НА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННУЮ СТРУКТУРУ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В МЕЛКОМ МОРЕ

Григорьев В.А., Петников В.Г.

Воронежский государственный университет, г. Воронеж;

E-mail: grig4@yandex.ru

Проведены расчеты интерференционной структуры низкочастотного акустического поля в водном слое в одном из районов Карского моря с использованием данных 3D сейсморазведки о пространственно-неоднородном распределении скорости звука в осадочном слое дна. Показано, что на расстояниях от источника звука до десяти глубин водного слоя для удовлетворительного описания поля в рамках модовой теории необходим учет не только нормальных мод, но и квазимод, а также необходим учет взаимодействия мод. Впервые получены уравнения, позволяющие учитывать взаимодействие между модами, среди которых присутствуют квазимоды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 19-02-00127 и № 14-02-00330), а также программы президиума РАН № 5 “Фотонные технологии в зондировании неоднородных сред и биообъектов”.

9:40–10:00**3. КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОМ ПОДВОДНОМ ЗВУКОВОМ КАНАЛЕ: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В КАНАЛЕ КАК ФАКТОРА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

Лабутина М.С., Малеханов А.И., Смирнов А.В.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород;

E-mail: lexsmial@ipfran.ru

Проведено численное моделирование коэффициента усиления (выигрыша) вертикальной антенной решетки, размещенной в случайно-неоднородном канале мелкого моря и принимающей многомодовый сигнал удаленного источника на фоне анизотропных шумов моря, имеющих компоненту модового спектра (модовых шумов). Показано, что положение элементов антенны в канале является фактором, существенно влияющим на величину достигаемого выигрыша (при заданном методе пространственной обработки), что указывает на возможность специального выбора положения антенны для его повышения. Анализ и моделирование выполнены для двух практически интересных постановок: (1) варьирование по глубине положения антенны как целого при фиксированном межэлементном расстоянии и (2) варьирование межэлементного расстояния при фиксированной глубине первого элемента (в обоих случаях — при фиксированном числе элементов). Получены количественные оценки дополнительного выигрыша антенны в результате оптимизации ее положения, показана роль условий распространения сигналов в подводном канале — соотношения модовых составов полезного сигнала и шумов, взаимных корреляций модовых амплитуд сигнального поля.

10:00–10:20**4. ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ЭФФЕКТЫ РАССЕЯНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ МОД В ОКЕАНИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ**

Завольский Н.А., Раевский М.А.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород;

E-mail: raevsky@ipfran.ru

Анализируются энергетические и корреляционные характеристики акустических мод в волноводе с анизотропным ветровым волнением. Основное внимание уделяется расчету и количественной оценке горизонтальной анизотропии статистических характеристик узкополосного сигнала, что представляет практический интерес для анализа эффективности

горизонтальных приемных антенн в составе гидроакустических комплексов. Приводятся результаты численного моделирования для типичных условий распространения низкочастотного звукового сигнала в канале мелкого моря (на примере Баренцева моря).

10:20–10:40

5. ГРАДИЕНТ — ОСНОВНОЙ ПАРАМЕТР АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЙ

Гузевич С.Н.

АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», Санкт-Петербург; E-mail: mail@gningi.ru

Рассмотрено использование парной проективной системы координат для повышения достоверности, точности и разрешающей способности акустических измерений. Парная проективная система координат отображает образ объекта в перспективе, где в форме образа совмещены размеры объекта и параметры измеряемого поля.

Проекции образа отображаются на осях проективной системы координат, характеризуя скорость (градиент) изменений параметра в размерах преобразователя, экстремальные значения которых выделяют границы объекта. При использовании двух преобразователей в одном измерителе, разнесенных на известной базе, разность их измерений характеризуют ускорение изменений параметра. Выделенные границы объекта и полученные оценки приращений параметра в его границах позволяют выполнить последовательное тройное суммирование для оценки значений параметра поля в границах объекта. Одновременное нормирование базы измерений и проекций размеров объекта на общей измерительной оси системы координат позволяют управлять разрешающей способностью. Тройное последовательное суммирование ускорений измеренного параметра в границах выделенного размера образа объекта обеспечивает повышение разрешающей способности измерений в кубе, которое не достигается другими методами, в оценках которых отсутствует влияние вариаций и помех окружающей среды.

10:40–11:00**6. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ОЦЕНОК АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ, ФОРМИРУЕМЫХ В ПИЛЬТУНСКОМ ПРИБРЕЖНОМ РАЙОНЕ КОРМЛЕНИЯ СЕРЫХ КИТОВ СУДАМИ, РАБОТАЮЩИМИ С ПЛАТФОРМАМИ ПА-Б И МОЛИКПАК**

Рутенко А.Н., Фершалов М.Ю., Ущиповский В.Г.

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток;

E-mail: mfershalov@gmail.com

Методика основана на специально-проведенных натурных пространственных измерениях и 3D численного моделирования, выполненного с помощью модового параболического уравнения. Построены спектральные функции эквивалентных точечных источников антропогенных акустических шумов, формируемых в прибрежном Пильтунском районе летне-осеннего нагула серых китов, обслуживающими платформы ПА-Б и Моликпак судами компании Сахалин Энерджи Инвестмент Компании Лтд. На основе полученных спектральных функций рассчитаны пространственные функции параметров антропогенного акустического поля, формируемого в районе кормления серых китов. Результаты моделирования согласуются с натурными измерениями. (XV Всероссийская конференция «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики»).

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:40****7. АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В АРКТИЧЕСКИХ, СУБАРКТИЧЕСКИХ И СУБТРОПИЧЕСКИХ ВОДАХ ТИХОГО ОКЕАНА**

Буланов В.А., Стороженко А.В.

Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток; E-mail: bulanov@poi.dvo.ru

Акустическое зондирование на основе обратного рассеяния звука позволяет изучать мелкомасштабную структуру морской среды и ее изменчивость, связанную с турбулентными образованиями, проявлением внутренних волн, наличием пузырьков, твердых взвесей, а также планктона и других биологических объектов. Представлены результаты исследований рассеяния звука в верхнем слое дальневосточных морей и субтропических водах Тихого океана. Были получены новые данные о рассеянии звука на различных частотах в верхнем слое океана. Результаты выявили основные отличия рассеяния звука и распределения биомассы в арктических, субарктических и субтропических водах Тихого океана.

12:20–12:40**8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН НАБЛЮДЕНИЯ МОНОСТАТИЧЕСКИХ И БИСТАТИЧЕСКИХ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ЦЕЛИ**

Малый В.В., Цыбин В.С.

АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург;

E-mail: v_malyj@rambler.ru

В работе рассмотрены особенности оценки эффективности моностатических и бистатических гидролокационных систем на основе моделирования и визуализации ожидаемых зон наблюдения с учетом угловой зависимости гидролокационной заметности цели, движущейся заданным курсом.

12:40–13:00**9. ВЛИЯНИЕ ВОЛНЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В АВАЧИНСКОМ ЗАЛИВЕ**

Волгин П.Н., Ковалевский Н.Г., Малый В.В.

АО «СПИИРАН — Научно-техническое бюро высоких технологий»,

Санкт-Петербург; АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург;

E-mail: volginp@mail.ru, v_malyj@rambler.ru

Особенностью применения гидроакустических средств в Авачинском залива является необходимость учета сложной составляющей шумовой помехи. Наибольший уровень помех обусловлен интенсивным судоходством. Однако значительное волнение моря (более 3-х баллов) обеспечивает превышение данного вида помехи над всеми другими её составляющими. В процессе функционирования системы освещения подводной обстановки данного районе важен учет влияния волнения на эффективность применения гидроакустических средств. Это позволит организовать совместное функционирования гидроакустических средств и средств освещения подводной обстановки, влияние волнения на которые распространяется в значительно меньшей степени.

24 сентября, четверг**Секция УТ — Ультразвуковые технологии****Зал № 1**

Руководитель, Сапожников Олег Анатольевич,

*E-mail: oleg@acs366.phys.msu.ru***9:00–9:15****1. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Нестеров В.А., Генне Д.В., Цыганок С.Н.
Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский
государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск;
E-mail: roman@bti.secna.ru

Большие и малые внеземные объекты, такие как планеты, кометы, астероиды, являются объектами для изучения. Исследуют как атмосферу этих внеземных объектов, так и сам объект на предмет определения химического состава, структуры, обнаружения различных форм жизни. Забор грунта, как правило, осуществляется в виде кернов, извлекаемых с различных глубин при бурении полым трубчатым инструментом. Глубина бурения при этом может составлять несколько метров, при диаметре керна до 50 мм. Другой задачей является закрепление космических аппаратов на малых космических объектах (с низкой гравитацией) при помощи анкерных элементов, устанавливаемых в грунт, в заранее пробуренные каналы. В работе рассматривается проблема повышения эффективности ультразвукового (УЗ) бурения твердых материалов в процессе исследования грунтов планет, астероидов и других больших и малых космических тел. Рассматривается конструкция ультразвукового бурильного инструмента, способного одновременно с ультразвуковым, осуществлять воздействие низкочастотными макроколебаниями и дополнительным вращательным движением рабочей кромки инструмента. Испытания практической конструкции созданного устройства показали возможность повышения скорости ультразвукового бурения за счет дополнительных низкочастотных колебаний и псевдовращения до 1.5 раз.

9:15–9:30**2. ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОБРАЗУЮЩИХ ЕГО ПЬЕЗОПЛАСТИН**

Быстрова Н.А., Степанов Б.Г.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург;

E-mail: bystrova.etu@gmail.com

Рассматриваются результаты расчетов в импульсном режиме работы сверхширокополосного пластинчатого преобразователя, содержащего две пьезопластины, разделенных пассивным слоем и возбуждаемых разными по амплитуде и фазе электрическими напряжениями, определенными из решения для него задачи синтеза. Показана возможность излучения перестраиваемых по частоте коротких (1–1.5 периодов колебаний) акустических импульсов. Анализируется влияние параметров конструкции и нагруженности преобразователя на вид импульсов возбуждения.

9:30–9:45**3. МЕХАНИЗМ ЗВУКООБРАЗОВАНИЯ В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА**

Иванов Е.Г., Трегубова Е.В.

Нижегородская государственная с/х академия, Нижний Новгород;

Нижегородская государственная с/х академия, Нижний Новгород;

E-mail: ivanov.e.g@mail.ru

В технологических процессах с жидкими средами получают все более широкое распространение акустико-кавитационные технологии, сущность которых заключается в создании в жидкостях звукового поля с давлением $p_0 \geq 3p_{at}$. Чередование вакуумметрических и манометрических фаз звуковых волн обуславливает образование и коллапс кавитационных каверн, сопровождающийся уплотнением энергии, что ускоряет многие известные технологии и реализует ранее невозможные. Недостатком этих процессов является низкий коэффициент преобразования энергии 6%. Одним из преобразователей является вихревая камера. С целью вскрытия ресурсов устройства в работе рассмотрен и описан с использованием системы уравнений Эйлера механизм звукообразования, установлены закономерности изменения амплитуды, она кратна размерам устройства, и частоты от кинематических параметров потока жидкости.

9:45–10:00**4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЬЕЗОКЕРАМИКИ АМД-МЕТОДАМИ**

Кустов А.И., Мигель И.А.

Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж;
Военный учебно-научный центр ВВС ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина, Воронеж; E-mail: vuaik@mail.ru

Применение пьезокерамики в научных и промышленных приложениях получило широкое распространение. Задача быстрого и надежного контроля свойств таких материалов, безусловно, актуальна. Для её успешного решения предлагается использовать активно развивающееся исследовательское направление — акустомикроскопическую дефектоскопию. Суть этого направления в получении акустических изображений структуры приповерхностных слоев твердотельных материалов, а также в экспрессном измерении ряда их акустических характеристик. Бесспорно, что между различными физическими характеристиками материалов существуют определенные связи. На основании результатов изучения таких связей было предложено по набору акустических характеристик рассчитывать значения электрических. Были получены серии акустических изображений, на которых с высоким контрастом выявлены области пониженной плотности. По результатам локальных измерений скоростей акустических волн и уровней их затухания оптимизированы процессы обработки керамик. Полученные данные подтвердили перспективность предложенных акустических методов измерений.

10:00–10:15**5. ЧТО ИЗМЕРЯЕТ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ РАСХОДОМЕР ГАЗА?**

Мансфельд А.Д., Волков Г.П., Беляев Р.В., Громов П.Р., Климкина Н.Е.
Институт прикладной физики РАН. Н. Новгород; ra3tas@gmail.com

Рассматривается принцип действия и устройство ультразвукового корреляционного расходомера газа с накладными датчиками. Датчики располагаются на внешней поверхности трубы без контакта с потоком. Работа расходомера основана на зондировании ультразвуком потока в двух сечениях с последующем измерением задержки сигналов по взаимно-корреляционной функции. Приводятся сравнительные результаты лабораторных экспериментов по одновременному измерению скорости потока с помощью ультразвукового расходомера и двух термоанемометров разнесенных между собой. Показано, что ультразвуковой расходомер, благодаря фокусирующему действию стенки трубы, регистрирует пролет вихрей, распространяющихся в центре трубы. Отмечается также меньшая скорость пролета вихрей по отношению к скорости

потока в центре трубы. Измерения скорости потока проводились с помощью трубки Пито-Прандтля. По данным корреляционных измерений вычислена объемная скорость потока и оценена погрешность.

10:15–10:30

**6. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛН ЛЭМБА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И
ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛАХ**

Муякшин С.И., Диденкулов И.Н., Вьюгин П.Н., Чернов В.В., Хабаров С.Э.
Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород; Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; НИЦ ИРТ, Москва; E-mail: serg_mun@list.ru

Исследован метод обнаружения и локализации неоднородностей в пластинах из композитного материала. Метод основан на сравнении распределения амплитуд волн Лэмба ультразвуковых частот по поверхности пластины до и после появления неоднородности. Показано, что изгибные волны Лэмба дифрагируют на неоднородностях типа отверстие, расслоение и массовая нагрузка на поверхности, что позволяет создавать различные системы обнаружения и локализации таких неоднородностей.

10:30–10:45

**7. АКУСТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ КАК ИНДИКАТОР
АВТОВОЛН ЛОКАЛИЗОВАННОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
МЕТАЛЛОВ**

Третьяков Д.А., Беляев А.К.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург; Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург; E-mail: dmitry.tretyakov93@yandex.ru

Путем ультразвукового неразрушающего контроля исследовался процесс одноосного неупругого растяжения образцов из алюминиевого проката. Измерялась величина акустической анизотропии, определяемая как фазовый сдвиг между скоростями распространения поперечных волн взаимно ортогональной поляризации. Было обнаружено, что величина акустической анизотропии нелинейно зависит от величины осевых деформаций основного объема материала и чувствительна к пластическим деформациям, локализованным в поверхностном слое металла. Путем измерения акустической анизотропии наблюдался процесс распространения автоволн локализованного пластического течения, обнаруженный ранее научной группой под руководством Л.Б. Зуева с помощью метода спекл-интерферометрии. Результаты работы могут быть использованы при неразрушающем ультразвуковом контроле пластических деформаций в

металлах. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-19-00413.

10:45–11:00

8. УЛЬТРАЗВУКОВОЕ РАВНОКАНАЛЬНОЕ УГЛОВОЕ ПРОТЯГИВАНИЕ ПРОВОЛОКИ

Царенко Ю.В., Рубаник В.В.

Институт технической акустики НАН Беларуси, г. Витебск, labpt@vitebsk.by

Исследована структура ультрамелкозернистых материалов, полученных деформационными способами при воздействии ультразвуковых колебаний; предложены новые способы и устройства интенсивной пластической деформации с наложением ультразвуковых колебаний, позволяющие формировать ультрамелкозернистую структуру в протяженных материалах; определены оптимальные режимы пластической деформации и термообработки, позволяющие достичь наиболее высокую термостабильность и пластичность в сочетании с высокой прочностью материалов. Разработаны конструкции ультразвуковых колебательных систем для получения протяженных объемных наноструктурированных материалов, и опробована технологическая схема получения ультрамелкозернистой проволоки с использованием ультразвуковой обработки при равноканальном угловом протягивании. Показано, что данный процесс деформационной обработки может быть совмещен в единый технологический цикл с волочением проволоки. Применим в машиностроении, приборостроении и кабельной промышленности.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК

11:20–11:35

9. ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ И УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРОВОЛОКУ ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ

Царенко Ю.В., Рубаник В.В., Столяров В.В., Угурчиев У.Х.

Институт технической акустики НАН Беларуси, г. Витебск, Институт машиноведения РАН, г. Москва, labpt@vitebsk.by, vlstol@mail.ru

Использование различных физических воздействий интенсифицировать обработку материалов. К числу таких воздействий, дающих наибольший эффект, относятся концентрированные потоки энергии, в том числе ультразвуковые колебания и воздействие импульсным электрическим током. В работе представлены результаты исследования совместного действия обоих эффектов на проволоку никеля и никелида титана. Установлено, что за счет импульсов тока при одновременном воздействии ультразвука наблюдается суммарный эффект по снижению напряжения течения проволоки из никеля и

никелида титана от обоих воздействий. Показано, что направление и величина скачков механических напряжений при растяжении в сплавах с памятью формы отличаются от скачков, наблюдаемых в металлах и сплавах без фазовых превращений при ультразвуковом воздействии и электропластическом эффекте. Для упрочненной проволоки влияние ультразвука и импульсов тока на снижение усилия деформирования уменьшается, причем величина эффекта зависит от температуры и скорости деформации.

11:35–11:50

10. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВИХРЕВОГО КАВИТАТОРА ЗА СЧЁТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ РЕЗОНАТОРА

Кокорин Н.В., Иванов Е.Г.

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия,
Нижний Новгород; E-mail: nikia_6500@mail.ru

На базе Нижегородской ГСХА разработано несколько опытных образцов устройства (вихревого кавитатора), предназначенного для звуковой обработки жидких сред. В основу его работы заложено явление кавитации, позволяющее получить значительное выделение полезной энергии. Существенную долю в величине энергии, реализуемой в кавитационный процесс, играет резонатор устройства, так как в его корпусе происходит усиление, за счёт образования стоячей волны, созданного вихревой камерой акустического сигнала. Установлено, что не абсолютное отражение акустической волны в корпусе резонатора практически исключает появление стоячей волны. Предлагается, для повышения эффективности работы кавитатора, а именно увеличения амплитуды звуковых колебаний и добротности колеблющегося контура, заменить имеющийся резонатор устройства усовершенствованным, с оптимально подобранными геометрическими параметрами.

11:50–12:05

11. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

Елисеев Н.Ю., Черноуцан А.И.

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва;
E-mail: eliseev@gubkin.ru

В последнее время растёт использование технологий ультразвуковой обработки добываемых нефтей, однако, механизмы и последствия подобной обработки всё ещё не достаточно изучены. Нами изучалась высоковязкая нефть, с содержанием асфальтенов 15–16%. Обработка высоковязкой нефти проводилась в ультразвуковой ванне мощностью 35 Вт, частотой 43–45 кГц, время воздействия варьировалось. В ходе исследований установлено, что

воздействие маломощного ультразвукового облучения может быть позитивным, т.е. приводить к снижению вязкости обработанной нефти, при достаточно высоких температурах и больших скоростях сдвига. Для каждого конкретного типа нефти, пластовых условий, источника ультразвука существуют свои оптимальные условия обработки, обеспечивающее достижение максимального позитивного эффекта. Однако, после обработки нефти ультразвуком наблюдались и негативные последствия (увеличение вязкости, выпадение осадков). Считаем, что ультразвуковые методы воздействия лучше рассматривать как дополнительные к термическим методам обработки нефти.

12:05–12:20**12. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МАСЕЛ**

Марфин Е.А., Абдрашитов А.А.

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН», Казань; E-mail: marfin_ea@mail.ru

В работе исследовано влияние акустического воздействия на вязкость минерального масла с различным содержанием парафина и битума. Сравнивались значения вязкости обработанного ультразвуком и необработанного флюида при одинаковых температурах. Воздействие осуществлялось на частоте 22 кГц с различной продолжительностью по времени. Наибольший эффект снижения вязкости наблюдался при 25% содержании битума. Продолжительные непрерывные измерения на вибрационном вискозиметре выявили, что после прекращения воздействия вязкость жидкостей восстанавливается и в большинстве случаев становится выше первоначальных значений. Полученные результаты могут быть использованы при выборе режимов акустического воздействия на нефть для более эффективного снижения затрат на ее добычу и транспортировку.

12:20–12:35**13. АНАЛИЗ ОПЫТНО-ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА СКВАЖИНАХ САМОТЛОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Муллакаев М.С., Салтыков Ю.А., Салтыков А.А., Муллакаев Р.М.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, ООО "Илмасоник-Наука-Сервис", ООО "Илмасоник-Наука", РГУ нефти и газа (НИУ) им.И.М. Губкина) E-mail: mullakaev@mail.ru

В работе представлен анализ опытно-промысловых испытаний (ОПИ) ультразвуковой (УЗ) технологии и оборудования, проведенный на 68 нефтяных скважинах Самотлорского месторождения. Выполнен анализ механизмов

акустического воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП), который обусловлен сложностью и разнообразием процессов в ней, а также показано, что акустическое воздействие имеет комплексный характер, хотя тот или иной эффект играет преобладающую роль. Теоретически и экспериментально обоснована эффективность УЗ обработки (УЗО) для интенсификации добычи нефти. Проведён анализ результатов ОПИ скважин с особенностями геолого-физических характеристик обрабатываемых пластов, которые позволили сформулировать алгоритм подбора скважин-кандидатов для УЗО. Анализ результатов доказал высокую эффективность применения УЗ технологии очистки ПЗП, дополняющей существующие методы интенсификации нефтедобычи.

12:35–12:50

14. УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИИ

Вьюгинова А.А., Лбов А.А., Новик А.А.

СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург; ООО «ИНЛАБ-Ультразвук»,
Санкт-Петербург; alenanovik@rambler.ru

Ультразвуковые технологии, основанные на возникновении эффекта кавитации в жидкой среде, широко используются в самых различных областях промышленного производства, позволяя инициировать и интенсифицировать разнообразные технологические процессы. К конструкционным элементам оборудования и акустическим системам, работающим под непосредственным воздействием мощного ультразвукового излучения и кавитации, всегда предъявляются специальные требования, но еще более сложные условия для работы оборудования и системы управления возникают в случаях, когда необходимо производить ультразвуковую обработку химически агрессивных сред, сред, имеющих высокую температуру и находящихся под давлением — в этих случаях требования к оборудованию серьезно возрастают. В данной работе рассмотрены особенности ультразвукового оборудования, предназначенного для реализации технологических процессов в агрессивных средах в сложных условиях.

Секция БИО (1) — Биомедицинские приложения

Зал № 1

Руководитель Хохлова Вера Александровна,

E-mail: vera@acs366.phys.msu.ru

14:00–14:40

1. МОЩНЫЙ ФОКУСИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЗВУК КАК НЕИНВАЗИВНЫЙ МЕТОД ФОКАЛЬНОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ (пленарный)

Хохлова В.А.

Физический факультет Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, Москва; E-mail: vera@ac366.phys.msu.ru

В настоящее время активно развиваются минимально инвазивные методы лечения больных с локализованным раком предстательной железы, направленные на разрушение отдельных таргетных участков простаты. Одним из таких методов, получивших название фокальной терапии, является фокусируемый ультразвук высокой интенсивности (HIFU — High Intensity Focused Ultrasound). Метод уже более 25 лет успешно используется в клиниках многих стран мира. Тем не менее, механизм тепловой абляции ткани, на котором основано использование существующих HIFU-устройств, приводит к ряду ограничений. Это, например, недостаточно точное определение границ получаемого разрушения вследствие эффектов диффузии тепла, а также ограниченные возможности визуального контроля за воздействием. В связи с этим растущий интерес вызывают недавно предложенные методы механического разрушения тканей простаты (гистотрипсии), позволяющие преодолеть указанные ограничения. В докладе делается обзор существующих ультразвуковых методов фокальной терапии рака предстательной железы, а также развиваемого в Лаборатории медицинского и промышленного ультразвука МГУ метода гистотрипсии, основанного на использовании ударно-волновых импульсов миллисекундной длительности. Работа поддержана совместным грантом РФФИ-ОНКО №17-54-33034 и NIH R21CA219793.

14:40–14:55**2. ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ЭМБРИОНОВ НИЗШИХ ПОЗВОНОЧНЫХ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ**

Титов С.А., Бурлаков А.В., Зинин П.В.

Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва;

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва;

E-mail: sergetitov@mail.ru

Неинвазивная ультразвуковая визуализация структурных органов эмбрионов низших позвоночных и изучение динамики изменения их акустических свойств представляются актуальными для понимания процессов эмбрионального развития. В данной работе представлена методика ультразвукового исследования зародышей рыб, развитие которых происходит в иммерсионной ячейке акустического микроскопа. В частотном диапазоне 50–100 МГц получены серии акустических изображений отдельных органов эмбриона выюна с временным периодом, позволяющим наблюдать их структурные изменения на различных этапах. Разработаны методики измерения скорости и коэффициента затухания ультразвука в органах эмбрионов, имеющих сложную форму. Разработанные методики апробированы на ряде ультразвуковых фантомов, имитирующих структуру живых эмбрионов.

14:55–15:10**3. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИИ ПО ЗВУКАМ ВТОРОГО ТОНА СЕРДЦА**

Красикова М.В., Грамович В.В., Выборов О.Н., Андреев В.Г., Руденко О.В.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва; ФГБУ

“НМИЦ кардиологии” Минздрава России, Москва;

E-mail: mv.lesik@physics.msu.ru

Предложен метод неинвазивной оценки давления в легочной артерии, который основан на вычислении и анализе временной задержки между аортальной и пульмональной компонентами сигнала второго тона сердца. В ФГБУ «НМИЦ Кардиологии» МЗ РФ записаны 104 фонокардиограммы и электрокардиограммы пациентов с помощью специально разработанного комплекта аппаратуры. Построена зависимость временной задержки между компонентами и нормированной на длительность сердечного цикла временной задержки от среднего и систолического давления в легочной артерии, определенных с помощью катетеризации правых отделов сердца. Полученные зависимости использованы для предсказания величины давления по вычисленным временным задержкам у 4 пациентов с легочной гипертензией. Корреляция предсказанных и

измеренных значений на ограниченной выборке составила 0.76 для среднего давления и 0.65 для систолического давления в легочной артерии.

15:10–15:25

4. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ МИОПИИ ГЛАЗА НА МОДЕЛИ ЯПОНСКОГО ПЕРЕПЕЛА *COTURNIX JAPONICA*

Храмцова Е.А., Петронюк Ю.С., Титов С.А., Зак П.П., Трофимова Н.Н., Мисяков А.Н., Гурьева Т.С., Дадашева О.А., Левин В.М.

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва; Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва; Институт медико-биологических проблем РАН, Москва; E-mail: alyonushk@gmail.com

Миопия является наиболее массовым нарушением детского зрения. Выявление механизмов возникновения и профилактика заболевания требуют исследований на лабораторных животных в динамике его развития. Перспективными в данной области являются неинвазивные методы акустической микроскопии. В докладе представлены результаты ультразвуковых исследований геометрии глаза на экспериментальной животной модели – разновозрастных цыплятах японского перепела в режимах: А-сканирования *in vivo*, В-,С-, В/D-сканирования *in situ* в норме и при развитии патологии. Акустические измерения позволили определять аксиальный размер глаза, геометрические параметры роговицы и хрусталика, выявлять изменения в области склеры. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 17-04-00708), Министерства науки и высшего образования РФ (проект 1201253306).

15:25–15:40

5. АКУСТИЧЕСКОЕ МАНИПУЛИРОВАНИЕ ЛЕВИТИРУЮЩИМИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ СФЕРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

Крохмаль А.А., Сапожников О.А., Кудан Е.В., Цысарь С.А., Петров С.В., Сиена Ф., Хесуани Ю.Д., Энгелькамп Х., Граннеман С., Парфенов В.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва; Биотехнологическая лаборатория «3Д Биопринтинг Солюшенс», Москва; Университет Неймегена им. Св. Радбода, Неймеген, Нидерланды; E-mail: doro1212@yandex.ru

Задача манипулирования микроскопическими телами с помощью акустической радиационной силы может иметь множество применений, в том числе в направлениях биофабрикации, когда в качестве акустических мишеней выступают живые клетки или тканевые сфероиды (сферические конгломераты клеток размером до 0.2 мм), а сформированная конструкция имеет функции живой ткани. С помощью цилиндрического пьезоэлектрического

преобразователя из полистироловых шариков (имитаторов тканевых сфероидов) были сформированы объекты в виде трубочек миллиметровых размеров, при этом шарики находились в состоянии магнитной левитации в сильном магнитном поле, индукция которого достигала 15 Тл. Было изучено влияние конфигурации акустического и магнитного поля на форму сфабрикованной трубочки.

15:40–15:55

**6. ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ИЗ
БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОРИСТЫХ НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ С
ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА**

Егошина В.Д., Андреев В.Г., Гонгальский М.Б., Осминкина Л.А., Свиридов А.П.
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;
E-mail: goshina.vd16@physics.msu.ru

Данное исследование посвящено как теоретическому, так и экспериментальному исследованию ультразвуковой активации мезопористых наночастиц кремния, нагруженных лекарственными препаратами, с помощью облучения ультразвуком средней интенсивности в диапазоне МГц. Учитывается роль двух фундаментальных эффектов — акустической кавитации и теплового осаждения, индуцированного ультразвуком. Эксперименты по высвобождению доксорубина (DOX) показывают эффективный выход препарата из кремниевых наночастиц даже при низких интенсивностях ультразвука. Этот эффект также подтверждается значительным ингибированием пролиферации раковых клеток *in vitro*.

16:00–16:20 — КОФЕ-БРЕЙК

16:20–16:35

**7. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРА
АКУСТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ И
БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ**

Панфилова А. В., Чен. Ц., Чен. П., Слоун Р., Вейкстра Х., Сапожников О.А., Миски М.

Технический университет Эйндховена, Эйндховен, Нидерланды;
E-mail: A.P.Panfilova@tue.nl

Многочисленные исследования показали, что параметр акустической нелинейности В/А отражает состояние биологической ткани и поэтому может быть использован при диагностике ряда заболеваний. При измерении указанного параметра в биологических тканях необходимо учитывать особенности частотной зависимости коэффициента поглощения ультразвука. В настоящей

работе представлен усовершенствованный метод экспериментального определения параметра акустической нелинейности среды при произвольной зависимости коэффициента поглощения от частоты. Для проверки метода была создана экспериментальная установка, с помощью которой был определён параметр B/A некоторых жидкостей и биологических тканей. Измерения показали, что параметр B/A кукурузного масла равен 10.8 ± 0.8 (10.3), свиной печени — 5.1 ± 0.8 (6.9), жира — 11.9 ± 1.6 (10.9), что находится в хорошем согласии с литературными данными.

16:35–16:50

8. ПОРОГИ АКУСТИЧЕСКОЙ АТОМИЗАЦИИ КОАГУЛИРОВАННОЙ КРОВИ В ИМПУЛЬСНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКАХ С РАЗЛИЧНЫМИ УГЛАМИ ФОКУСИРОВКИ

Пономарчук Е.М., Хохлова В.А., Сапожников О.А., Хантер К.2, Хохлова Т.Д. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики, Москва; Центр промышленного и медицинского ультразвука, Лаборатория прикладной физики, университет штата Вашингтон, Сиэтл, США; Департамент гастроэнтерологии, Медицинская школа, университет штата Вашингтон, Сиэтл, США;
E-mail: msu.ekaterina.ponomarchuk@gmail.com

В современной неинвазивной хирургии активно исследуются возможности применения мощного фокусированного ультразвука для механического разрушения биологической ткани (гистотрипсии), в частности, для разжижения внутренних гематом. Работа посвящена изучению безопасности метода гистотрипсии в случае, когда окружающие гематому ткани соседствуют с газосодержащими органами, такими как легкие либо кишечник. В качестве модели использовались образцы коагулированной говяжьей крови кубической формы, частично погруженные в воду: нижняя горизонтальная грань находилась в воде, а верхняя грань контактировала с воздухом. Волновой пучок распространялся снизу вверх от расположенного в воде источника и фокусировался в толщу образца. Использовались три излучателя с частотой 1.5 МГц и различными углами фокусировки. Исследовалось влияние угла фокусировки и положения фокуса под акустически мягкой границей образца с воздухом на разрушение этой поверхности. При приближении фокуса к мягкой границе, начиная с некоторого расстояния, на ней возникало растущее по площади поверхностное разрушение. Из более ранних исследований известно, что механизмом этого разрушения является атомизация (ультразвуковое распыление) вещества. В данной работе показано, что с увеличением угла фокусировки уменьшается как площадь указанного разрушения, так и критическое расстояние, при котором достигается порог атомизации. Работа

поддержана грантом РФФИ № 17-54-33034 и фондом развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

16:50–17:05

9. ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ДВУМЕРНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНЕРА ДЛЯ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА

Росницкий П.Б., Хохлова В.А., Сапожников О.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва;

E-mail: pavrosni@yandex.ru

Одна из остро стоящих проблем современной медицинской диагностики это высокоточное ультразвуковое исследование (УЗИ) структур головного мозга. В этом случае стандартные техники построения изображения неприменимы, поскольку наличие черепа оказывает серьезное влияние на распространение акустических волн. В связи с трудоемкостью транскраниального УЗИ большой интерес представляют способы проведения виртуальных численных экспериментов с реалистичными моделями черепа и ультразвукового сканера для планирования практических подходов. В работе реализован такой численный эксперимент для УЗИ мозга через высокоточную модель черепа, полученную из данных компьютерной томографии. В качестве сканера использовалась модель существующей двухмерной 400-элементной диагностической решетки с центральной частотой 2 МГц. Моделирование проводилось при помощи численной псевдо-спектральной модели Кельвина-Фойгта (программа k-Wave). Получены и проанализированы эхосигналы, зарегистрированные датчиком. Проведен анализ возможности построения качественного изображения модельного рассеивателя. Работа поддержана грантом РНФ № 19-12-00148 и стипендией Президента РФ СП-2644.2018.4.

17:05–17:20

10. ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЧЕРЕПА ЧЕЛОВЕКА НА ФОКУСИРОВКУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА ПРИ ТРАНСКРАНИАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА РАЗЛИЧНОЙ ГЛУБИНЕ

Чупова Д.Д., Хохлова В.А., Гаврилов Л.Р., Росницкий П.Б.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва;

АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»;

E-mail: daria.chupova@yandex.ru

Использование в неинвазивной ультразвуковой хирургии многоэлементных фазированных решеток позволяет фокусировать акустический пучок через череп в заданные участки мозга, вызывая их разрушение. Задание фазовых задержек на

элементах решетки дает возможность частично компенсировать aberrации, вызванные неоднородностями черепа. При этом, однако, возникают побочные максимумы давления, которые усиливаются при малой глубине фокусировки и при этом могут попадать на череп. В работе исследуется уровень побочных максимумов относительно амплитуды давления в фокусе при использовании 256-элементной решетки с частотой 1 МГц для транскраниальной фокусировки на глубину от 3 см до 7 см. При расчете поля и компенсации aberrаций используется акустическая модель головы, построенная по данным МРТ. Моделирование проводится на основе численной модели Кельвина-Фойгта, реализованной в программе k-Wave. Проведена оценка амплитуд акустического давления в фокусе и в побочных максимумах в заданном диапазоне глубин фокусировки. Показано, что учет aberrаций позволяет существенно улучшить качество фокусировки. Работа поддержана грантами РНФ № 19-12-00148 и РФФИ 19-02-00035, стипендиями Президента РФ СП-2644.2018.4 и Фонда развития теоретической физики «Базис».

17:20–17:35

11. ВЛИЯНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФОКУСА НА РАВНОМЕРНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ТКАНЬ

Пестова П.А, Карзова М.М, Юлдашев П.В., Хохлова В.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва;

E-mail: ppolina-98@yandex.ru

В методе гистотрипсии с кипением ударно-волновое ультразвуковое воздействие применяется для механического разрушения объема биологической ткани. При таком воздействии важно отсутствие тепловой денатурации ткани, однако её нагрев неизбежен за счет поглощения энергии ультразвукового пучка. На данный момент остается актуальным вопрос выбора оптимального протокола облучения в режиме гистотрипсии с кипением, при котором пиковые температуры в объеме ткани будут наименьшими, а температурное поле наиболее равномерным. В работе был проведен численный эксперимент по облучению образца ткани печени ex vivo методом гистотрипсии с кипением с помощью терапевтической решетки клинической системы MRg HIFU Sonalleve V2 с фокусным расстоянием $F=140$ мм. Фокусировка ультразвукового пучка описывалась с помощью уравнения Вестервельта, а температурное поле моделировалось с помощью уравнения теплопроводности. Рассматривались траектории облучения ткани, состоящие из дискретных фокусов, расположенных на концентрических окружностях. Также исследовалось влияние времени воздействия и различных начальных температур на эффективность нагрева центра объема ткани. Было показано, что выбор протокола облучения, при

котором временной интервал между повторным облучением одной и той же точки фокуса наибольший, обеспечивает максимально однородную структуру температурного поля. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-32-70142.

17:35–17: 50

**12. ИСКАЖЕНИЕ И ЗАТУХАНИЕ СФОКУСИРОВАННОГО
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ
БРЮШНУЮ СТЕНКУ В ЗАДАЧАХ НЕИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ
АБДОМИНАЛЬНЫХ ГЕМАТОМ**

Бобина А.С., Росницкий П. Б., Хохлова Т.Д., Юлдашев П. В., Хохлова В.А
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва;
Университет шт. Вашингтон, Сизтл, США; E-mail: bobina.as14@physics.msu.ru

Возможность применения высокоинтенсивного сфокусированного ультразвука для неинвазивной ликвидации абдоминальных гематом представляет интерес для современных клиницистов. Численный эксперимент по расчету ультразвукового поля внутри тела человека является важным инструментом планирования операции при фокусировке ультразвука через брюшную стенку. В работе проведено моделирование поля сфокусированного пучка, создаваемого излучателем с частотой 1 МГц, через реалистичную акустическую модель торса человека, полученную по результатам сегментации изображений компьютерной томографии. Расчет поля проводился с использованием псевдоспектрального метода решения линейного волнового уравнения (программа k-Wave). Исследовано смещение фокального максимума поля в пространстве и уменьшение максимально достижимой интенсивности поля, связанные с аберрациями. Выбрано наиболее выигрышное расположение излучателя относительно тела человека для минимизации искажений. Работа выполнена при поддержке фонда развития теоретической физики «Базис».

17:50–18:05

**13. ИЗМЕРЕНИЕ СДВИГОВОЙ УПРУГОСТИ МЯГКОЙ ТКАНИ
УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДОПЛЕРОВСКИМ МЕТОДОМ**

Асфандияров Ш.А., Крит Т.Б., Андреев В.Г.
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия; E-mail: asfandiiarov.sa14@physics.msu.ru

Изучается возможность оптимизации известного доплеровского метода для измерения упругости скелетных мышц. Сдвиговые волны возбуждаются вибратором на поверхности объекта в диапазоне частот 80–140 Гц, а возникающие смещения регистрируются зондирующими импульсами длительностью 3.2 мкс на частоте 2.2 МГц. Измеряется изменение частоты

зондирующих импульсов, отраженных от рассеивателей, расположенных на различной глубине от поверхности и колеблющихся со скоростями, зависящими от фазы сдвиговой волны в измеряемых точках. Для генерации заметных сдвиговых смещений внутри объекта, перпендикулярных поверхности используются вибрирующие насадки в форме полых цилиндров. Значения упругости фантома из желатина, измеренные предложенным методом и методом вдавливания твердого шарика совпали в пределах погрешности.

Секция АЭР — Аэроакустика**Зал № 2**

Руководитель, Копьев Виктор Феликсович,
aeroacoustics@tsagi.ru

9:00–9:15**1. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ
ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В АТМОСФЕРЕ**

Чунчузов И.П., Куличков С.Н., Перепелкин В.Г., Попов О.Е., Варданян А.А.,
Айвазян Г.Е.

Институт Физики Атмосферы им. Обухова РАН, 11 Москва Инновационный
центр “Barva”, Талин, Армения; E-mail: igor.chunchuzov@gmail.com

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния тонкой слоистой структуры устойчиво-стратифицированного атмосферного пограничного слоя (АПС) на параметры (форму, время пробега и азимут распространения) акустических импульсов, генерируемых с определенным периодом (1 мин) искусственным детонационным генератором. Получены мгновенные вертикальные профили флуктуаций скорости ветра в тонких слоях АПС, расположенных на разных высотах (до 700 м) над землей и на разных расстояниях от источника (до 2.75 км). Исследуется возможность физического моделирования рассеяния инфразвуковых сигналов, генерируемых импульсными источниками инфразвука (поверхностные взрывы, вулканы), на слоистых неоднородностях скорости ветра и температуры в стратосфере и нижней термосфере, путем изучения рассеяния акустических импульсов, излучаемых детонационным генератором, на тонкой слоистой структуре устойчиво-стратифицированного АПС. Исследуется также влияние таких неоднородностей на временные флуктуации азимута и времени пробега сигналов. Дана оценка погрешности акустической локализации импульсных источников из-за влияния слоистых неоднородностей скорости ветра и температуры на азимут распространения сигналов. Показано подобие между распространением инфразвуковых сигналов от поверхностных взрывов (20–70 т ТНТ) в «мелком» тропосферном волноводе и распространением моды Лэмба от ядерных взрывов. Проведено также моделирование распространения инфразвуковых сигналов от наземных взрывов в стратосферных волноводах путем экспериментального изучения волноводного распространения акустических импульсов в АПС в утренние часы (после восхода солнца), когда конвекция под приподнятым слоем инверсии температуры формирует вертикальный профиль эффективной скорости звука, подобный такому профилю в стратосферном волноводе. Работа выполнена при поддержке РФФИ N 18-55-05002.

9:15–9:30**2. ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПЕРЕХОД В УСЛОВИЯХ
ВНЕШНЕГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Гапонов С.А.

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича;
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск;
E-mail: gaponov@itam.nsc.ru

Многочисленные экспериментальные исследования ламинарно-турбулентного перехода сверхзвуковых пограничных слоев (СПС) показали, что положение перехода зависит от уровня акустического поля. В данной работе для расчета его положения используется амплитудный метод, основанный на пороговом значении Рейнольдсовых напряжений. Величина последних зависит от возмущений скорости, которые достигают больших значений в критическом слое, где скорость потока равна фазовой скорости акустической волны. Поэтому наибольшее влияние на переход оказывает медленная волна (распространяющаяся навстречу основного течения), которую предлагается использовать в качестве основной при определении положения перехода. Эффективность метода продемонстрирована на примере экспериментальных результатов ИТПМ СО РАН, полученных в аэродинамической трубе Т-325.

9:30–9:45**3. ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ИСТЕЧЕНИЯ
СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ ИЗ КАНАЛА, В КОТОРОМ ОБРАЗУЕТСЯ
ПСЕВДОСКАЧОК И БЕЗ ЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Кисловский В.А., Мельников А.Ю.

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича
СО РАН, Новосибирск; E-mail:kislovsky_v@mail.ru

Решение вопроса снижения шума истекающей сверхзвуковой струи, связано с нормами безопасности при сбросе технических газов. В проведенной работе экспериментально было рассмотрено несколько случаев истечения сверхзвуковой струи, при которых рассматривалась возможность снижения акустического шума создаваемого струей. Для снижения шума истекающей сверхзвуковой струи было рассмотрено применение насадки с продольными прорезями и многотрубчатой насадки. Обе насадки рассматривались с точки зрения применения на канале, в котором образуется псевдоскачек и без его образования. Выбор конфигураций насадок осуществлялся на основе предварительных результатов численного моделирования.

9:45–10:00**4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ПЕРЕНОСА НА ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ШУМ В СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЯХ**

Гурбатов С.Н., Демин И.Ю., Лисин А.А., Карабасов С.А., Kalyan A.
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород; Queen Mary, University of London, United Kingdom; University of
Southampton, University Road, United Kingdom; E-mail: gurb@rf.unn.ru

Разработана новая гибридная трехслойная модель широкополосного спектра ударно-волнового шума в сверхзвуковых струях с учетом нелинейного переноса. Особенностью модели является учет зарождения и переноса звука, возникающего при взаимодействии турбулентных вихрей с квазистационарными ударно-волновыми ячейками. Проведена валидация модели для ряда "нерасчетных" струй из эксперимента LTRAC (Laboratory for Turbulent Research in Aerospace and Combustion, университет Monash, Австралия). Также проведено исследование влияния числа Маха струи и расстояния до дальней акустической зоны на трансформацию спектральной мощности шума в силу нелинейных эффектов. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№19-12-00256).

10:00–10:15**5. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПРИНИМАЕМОГО УРОВНЯ ШУМА ВОЛНЫ ЗВУКОВОГО УДАРА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ**

Юлдашев П. В., Карзова М.М., Хохлова В.А.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва;
E-mail: petr@acs366.phys.msu.ru

Волна звукового удара, генерируемая сверхзвуковыми самолетами, представляет собой крайне громкий и резкий импульсный шум, который является основной причиной запрета полета сверхзвуковых самолетов над населенными территориями. На форму волны, ее амплитуду и ширину ударного фронта, которые определяют уровень шума, существенное влияние оказывают случайные фокусировки и дефокусировки акустического поля в процессе распространения через приземный турбулентный слой. В данной работе было проведено численное моделирование процесса распространения волны звукового удара через слой однородной изотропной турбулентности с помощью однонаправленного нелинейного волнового уравнения в двумерной геометрии. К полученным профилям был применен фильтр Mark VII, который часто используется для оценки воспринимаемого уровня шума волны звукового удара. Исследованы зависимости среднего уровня и

разброса уровня шума от амплитуды ударной волны и толщины турбулентного слоя. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №18-72-00196.

10:15–10:30

6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМА ЗАДНЕЙ КРОМКИ РОТОРА

Бойчук И.П.

Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,
Новороссийск; E-mail: igor_boichuk@mail.ru

В работе представлено моделирование шума, обусловленного взаимодействием турбулентности пограничного слоя на каждой лопатке ротора с ее задней кромкой, при помощи полуаналитической модели широкополосного шума. Источник шума моделируется точечным диполем, в котором учтены эффекты некомпактности. Для учета нестационарной нагрузки на лопастях переднего и заднего ротора используется теория изолированного аэродинамического профиля. В качестве функции отклика на пластине выбирается функция Амита. Моделирование поверхностного давления, вызванного турбулентным пограничным слоем, производится при помощи различных полуэмпирических моделей. Приведено сравнение рассчитанных параметров шума с использованием полуэмпирических моделей для выбора наиболее подходящей модели.

10:30–10:45

7. ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ЗВУКА СТРУЙНЫМ ОСЦИЛЛЯТОРОМ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Абдрашитов А.А., Марфин Е.А.

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН»,
Казань, E-mail: abdary@mail.ru

Исследована модель струйного осциллятора Гельмгольца. Этот акустический излучатель скомбинирован из двух самостоятельных устройств: струйной генерирующей системы сопло–струя–кромка, размещённой внутри камеры объёмного резонатора. Изучено влияние радиуса скругления R соплового входа на эпюру скорости и формирование зоны обратных токов в сопле диаметром d_c , вихревую дорожку Кельвина-Гельмгольца и амплитуду генерации в камере резонатора. Отмечено, что скругление входной кромки сопла $R=d_c/2$ и заполнение эпюры скорости в канале сопла приводит к значительному увеличению амплитуды генерации. Дальнейшее увеличение плавности соплового входа до $R=d_c$ не приводит к такому замечательному результату. Струйный осциллятор Гельмгольца может быть использован в качестве скважинного излучателя при воздействии на нефтяной пласт.

10:30–10:45**8. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЗАГЛУШЕННЫХ КАМЕР НА СТРУКТУРУ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ**

Вишняков А.Н., Макашов С.Ю.

ООО «Экофизика», Москва; Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского, Москва; E-mail: smakashov@yandex.ru

В заглушенных акустических камерах АК-2 и АК-11 ЦАГИ получены оценки влияния технологического оборудования на структуру звукового поля. С помощью метода двунаправленного свип-сигнала определены искажения звукового поля на приемнике звукового давления, возникающие за счет наличия микрофонных стоек, державок модели, координатных устройств. Измерения выполнены с использованием специализированного программно-аппаратного комплекса. Результаты могут быть использованы как для оценки неопределенности измерений, так и для оптимизации конструкции вспомогательных устройств.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:40****9. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И АЭРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ, ИСТЕКАЮЩИХ В ЗАТОПЛЕННОЕ ПРОСТРАНСТВО**

Волков К.Н., Емельянов В.Н.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

Для практического использования методов аэроакустики необходима оптимизация используемых вычислительных технологий, исключающая или сводящая к минимуму неоправданные затраты компьютерных ресурсов. Задачи аэроакустики имеют несколько особенностей, обуславливающих их высокую вычислительную стоимость. В аэроакустике возникает необходимость использования разностных схем повышенного порядка точности для того, чтобы корректно воспроизводить турбулентное течение и акустические волны, имеющие небольшую амплитуду по сравнению с турбулентными пульсациями. В области ближнего поля, где происходят процессы генерации шума, требуется высокое разрешение по пространству. Требование высокого разрешения по времени объясняется необходимостью получения широкополосных спектров в сочетании с интегрированием и осреднением по длительному временному интервалу.

Рассматриваются модели, лежащие в основе вычислительной газовой динамики и аэроакустики, а также интегральные методы расчета шума в дальнем поле и особенности численной реализации соответствующих математических моделей.

Возможности разработанных средств численного моделирования демонстрируются на примере расчета шума, генерируемого сверхзвуковыми недорасширенными струями. Обсуждается влияние перепада давления на структуру струи, а также распределения газодинамических и акустических характеристик. Представленные средства численного моделирования задач вычислительной газовой динамики и вычислительной аэроакустики представляют собой инструменты решения исследовательских и инженерных задач, а также служат основой разработки новых методов и вычислительных алгоритмов.

Основу вычислительного алгоритма составляют схемы повышенной точности с определением переменных в узлах неструктурированных сеток с произвольной топологией ячеек, что позволяет моделировать обтекание геометрически сложных объектов. Для пространственной дискретизации используется конечно-объемная схема повышенного порядка точности. Для интегрирования по времени применяются различные явные и неявные схемы. Результаты расчетов позволяют воспроизвести широкополосный шум от ударно-волновых ячеек, распространяющийся в основном в боковом направлении и вверх по потоку, волны Маха, а также шум, обусловленный турбулентным смешением, источник которого располагается в конце потенциального ядра и сверхзвуковой зоны струи. Разработанные подходы позволяют с удовлетворительной точностью проводить расчеты нестационарных трехмерных турбулентных течений вязкого сжимаемого газа и акустических процессов, происходящих при истечении сверхзвуковых струй газа из сопла в затопленное пространство, а применение суперкомпьютерных технологий приводит к сокращению времени, затрачиваемого на исследования.

11:40–12:00

10. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ ШУМООБРАЗОВАНИЯ В ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЯХ

Крашенинников С.Ю., Бендерский Л.А., Семенёв П.А., Польшаков Н.А.
Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова,
Москва, sykrashennnikov@ciam.ru

Анализируются результаты вычислительного моделирования течения в турбулентной струе, полученные на основе численного решения уравнений Навье–Стокса с использованием LES технологии и Фурье–анализа, а также известные данные об эволюции турбулентности в потоке. Анализ показывает, что шумообразование является следствием динамического воздействия нестационарного движения среды в слое турбулентного смешения на окружающую среду. Согласно результатам исследования, акустические пульсации возникают на периферии слоя смешения, в ближнем поле струи. Приведены данные, полученные на основании анализа свойств турбулентных пульсаций в слое смешения струи, объясняющие этот эффект.

12:00–12:20**11. ОСОБЕННОСТИ СНИЖЕНИЯ ШУМА АВИАЦИОННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА ЭКРАНИРОВАНИЯ**

Денисов С.Л., Остриков Н.Н.

Центральный Аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е.Жуковского, Жуковский; E-mail: stanislav.denisov@tsagi.ru, nnostrikov@yandex.ru

Представлены результаты исследования снижения на местности шума авиационной силовой установки с помощью реализации эффекта экранирования. Проведена адаптация Геометрической Теории Дифракции (ГТД) для расчета эффективности экранирования плоскими полигональными экранами некомпактных источников шума (воздухозаборник и струя). В качестве модели, описывающей шум струи, использовалась корреляционная теория шума струи, а излучение шума из канала воздухозаборника описывалось на основе точного решения Вайнштейна. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало высокую степень соответствия, что позволило разработать методику расчета шума на местности для летательных аппаратов, реализующих эффект экранирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-11-2018-178 (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI62818X0011).

12:20–12:40**12. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ПО ШУМУ В САЛОНЕ**

Лавров В.Н., Мошков П.А., Рубановский В.В.

АО «Гражданские самолеты Сухого», Москва; E-mail: p_moshkov@scac.ru

Рассмотрена проблема шума в салоне современных гражданских самолетов. На базе акустических испытаний самолета SSJ-100 показано, что основными источниками шума в салоне самолета с классической компоновкой силовой установки (два турбовентиляторных двигателя на пилонах под крылом) на режиме крейсерского полета являются система кондиционирования и вентиляции воздуха и поля пульсаций давления в турбулентном пограничном слое на поверхности фюзеляжа. Рассмотрена проблема проектирования таких самолетов с учетом требований по шуму в салоне. Представлена структура проблемы и основные направления инженерных и фундаментальных исследований, необходимых для проектирования самолета по заданным на этапе концептуального проектирования параметрам акустического комфорта. Рассмотрены основные способы борьбы с шумом в салоне.

12:40–13:00**13. О ПРОБЛЕМЕ ШУМА НА МЕСТНОСТИ ВИНТОВЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Мошков П.А., Остриков Н.Н., Самохин В.Ф.

АО «Гражданские самолеты Сухого», Москва; НИМК ЦАГИ, Москва;

E-mail: p_moshkov@scac.ru

Проблему шума на местности винтовых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) необходимо рассматривать отдельно для аппаратов военного и гражданского назначения. Для военных БПЛА необходимо обеспечивать неслышимость и незаметность отечественных БПЛА и при этом иметь возможность обнаружения, идентификации и определения в режиме реального времени траектории полета БПЛА противника. Для гражданских БПЛА с различными типами винтовых движителей пониженные уровни шума на местности являются в настоящее время их конкурентным преимуществом, но в перспективе возможна разработка и внедрение международных норм, регламентирующих предельно допустимые уровни шума таких аппаратов по аналогии с нормами ИКАО для самолетов. В работе представлена структура проблемы акустики винтовых БПЛА и основные направления исследований.

13:00–13:20**14. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНТОВ МАЛОГО МАСШТАБА**

Гринек А.В., Бойчук И.П., Кондратьев С.И., Руденко В.В.

Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,

Новороссийск; Национальный аэрокосмический университет им.

Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков; E-mail: igor_boichuk@mail.ru

В работе рассматривается потенциал мелкомасштабных экспериментов для имитации акустики крупномасштабных соосных противовращающихся винтов. Модель экспериментального ротора была основана на дизайне F7/A7, разработанном компанией General Electric. Винты диаметром 160 мм были изготовлены путем 3D печати и приводились в действие двумя бесщеточными двигателями постоянного тока. Исследования проводились на частоте вращения до 10000 об/мин. Акустические съемки дальнего поля выполнялись в шумозаглушенной безэховой камере. В тестах было зафиксировано тональное и широкополосное содержание шума изолированных и соосных противовращающихся винтов.

13:20–14:00 — ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД

**Секция ЭА — Электроакустика
и электроакустическая аппаратура
Зал № 2**

Руководитель, Субботкин Антон Олегович,
subov-an@yandex.ru

14:00–14:40

**1. МИКРОФОНЫ. ОТ ПЕРВЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ К
СОВРЕМЕННЫМ РАЗРАБОТКАМ (пленарный)**

Субботкин А.О., Вахитов Ш.Я.

Институт общей физики им А.М. Прохорова Российской академии наук,
Москва; Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург;
E-mail: subov-an@yandex.ru

В обзорной работе представлены результаты анализа истории развития микрофонной техники. Рассмотрены следующие этапы:

- изобретение первого угольного микрофона в конце XIX века;
- разработка электростатического и электромагнитного преобразователей, а также первых конденсаторных, ленточных и катушечных микрофонов на их основе в период до 30-х годов;
- появление трубчатых микрофонов для формирования острой характеристики направленности и современных остронаправленных интерференционных микрофонов;
- дальнейшее развитие микрофонной техники в XX веке и появление однонаправленных микрофонов;
- кратко описываются современные цифровые микрофоны.

Представлен исторический обзор развития электроакустики и микрофонной техники в СССР и России.

14:40–15:00

**2. О ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ,
ОСНОВАННОМ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ
ЯВЛЕНИЙ**

Шарфарец Б.П., Курочкин В.Е., Сергеев В.А., Дмитриев С.П., Телятник С.Г.
ИАП РАН, Санкт-Петербург, АО «АКВАМАРИН», Санкт-Петербург,
bshar@yandex.ru

Предлагается электроакустический преобразователь, основанный на использовании такого электрокинетического явления, как электроосмос. В качестве тела преобразователя используется капиллярно-пористая

структура, заполненная жидкостью. К пористой структуре приложена сумма постоянного и переменного электрического поля. Движение жидкости вызывается наличием двойного электрического слоя на границе раздела фаз. Наличие постоянного напряжения вызывает значительное усиление выходных параметров акустического поля. Показано теоретически, а затем подтверждено экспериментально и на вычислительных моделях, что при приложении к пористой структуре, заполненной жидкостью суммы постоянного и переменного электрических полей происходит электроакустическое преобразование с амплитудой давления, растущей по мере увеличения постоянного электрического поля при фиксированной амплитуде переменного электрического поля. Выявлено увеличение амплитуды выходного давления при увеличении величины постоянного электрического поля до 30 дБ и более. Этот эффект был также подтвержден с помощью численного эксперимента на вычислительном пакете COMSOL при моделировании процесса применительно к случаю, когда пористая структура заменяется единичным капилляром, заполненным жидкостью. Выявлен теоретически и подтвержден экспериментально факт того, что при некотором критическом значении величины постоянного электрического поля (напряжения накачки) даже при отсутствии переменного электрического поля в процессе электроакустического преобразования возникают паразитные акустические пульсационные колебания, вызванные возникновением турбулентного режима движения жидкости в пористой среде. Создана действующая рабочая модель электрокинетического излучателя. В результате получены условия для оптимизации устройства и режимов работы предлагаемого электроакустического преобразователя нового типа.

15:00–15:20

**3. О АКУСТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ,
ОСНОВАННОМ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ
ЯВЛЕНИЙ**

Шарфарец Б.П., Курочкин В.Е., Сергеев В.А.

ИАП РАН, Санкт-Петербург, АО «АКВАМАРИН», Санкт-Петербург,

bshar@yandex.ru

Показано теоретически, что при приложении к пористой структуре, заполненной жидкостью, электродов возможна реализация акусто-электрического преобразования, основанного на электрокинетическом эффекте «потенциал течения», обратном электроосмосу. При этом преобразовании в результате приложения к пористой структуре стороннего акустического поля на электродах образуется разность потенциалов,

пропорциональная давлению исходного акустического поля. Выявлено, что при добавлении к электродам постоянного напряжения накачки происходит эффект усиления переменного электрического отклика преобразователя пропорционально величине напряжения накачки. Показано, что этот эффект является следствием нелинейности гидродинамических явлений, происходящих в пористой структуре акусто-электрического преобразователя. Рассмотрены смежные вопросы, касающиеся реализации электрокинетических преобразователей нового типа: 1) выведена система электрогидродинамики применительно к электроосмосу; 2) рассмотрен вопрос диссипации энергии в электроосмотическом процессе; 3) рассматривается критерий подобия применительно к электроосмотическим задачам.

15:20–15:40

4. УРАВНЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ПОРШНЕВОЙ МОДЕ В ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ АНТЕННЕ

Субботкин А.О., Вахитов Ш.Я.

Институт общей физики им А.М. Прохорова Российской академии наук,
Москва; Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург;
E-mail: subov-an@yandex.ru

В работе рассматривается колебательный процесс на поршневой (нулевой) моде, возникающий в интерференционной антенне вследствие промежуточных отражений от сечения боковых входов (импедансных включений). Получены уравнения колебательного процесса (уравнения для описания волны звукового давления и волны колебательной скорости в любой точке антенны) на поршневой (нулевой) моде в интерференционной антенне и в узкой трубе цилиндрического сечения с импедансными включениями. Представлены результаты расчета частотной характеристики неравномерности уровня звукового давления, действующего на мембрану микрофона для реальной конструкции остронаправленного интерференционного микрофона.

15:40–16:00**5. УРАВНЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНЫХ СИСТЕМ ТИПА «ДИПОЛЬ» И «ТРИПОЛЬ» С НЕИДЕНТИЧНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ**

Субботкин А.О., Пудовкин А.А., Кузнецов Г.Н.

Институт общей физики им А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва; E-mail: subov-an@yandex.ru

В работе получены следующие оригинальные теоретические результаты. Сформулирована математическая модель для приемных (микрофонных или гидрофонных) систем типа «диполь» и типа «триполь», состоящих из ненаправленных приемников (приемников звукового давления) с неидентичными амплитудными и фазовыми характеристиками. Получены все основные аналитические выражения для электроакустических характеристик приемных системы (чувствительность, направленность, уровень неравномерности чувствительности, коэффициенты перепада чувствительности).

16:00–16:20 — КОФЕ-БРЕЙК**16:20–16:40****6. ПРИНЦИПЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ КОЛОННОГО ТИПА**

Шуев Е.Ю.

ООО «Арис», г. Москва, RCF S.p.A., Италия; evgeny.shuev@arispro.ru

В работе рассматриваются принципы функционирования управляемых звуковых колонн RCF VSA. Обозначаются базовые принципы работы звуковых колонн, определяются условия формирования вертикальной составляющей диаграммы направленности и управления наклоном оси излучения. Приводятся алгоритмы цифровой обработки звукового сигнала в DSP громкоговорителя на примере структурной схемы колонны VSA 2050. Освещаются способы удаленного управления колоннами, возможности ПО. Рассматриваются преимущества применения управляемых звуковых колонн в условиях неблагоприятной акустической среды на примере озвучивания лекционного зала Liceo Virgilio Mantova базилики Сан Марко в Венеции.

16:40–17:00**7. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В ЖИДКОСТЯХ**

Беленьков Р.Н., Мелентьев В.В.

Курский государственный университет, Курск,

E-mail: belenkov.roman@bk.ru.; mels@inbox.ru

На основе ПЛИС Cyclone V (Altera) разработана автоматизированная система измерения скорости ультразвука в жидкостях, реализующая импульсно-фазовый метод фиксированного расстояния. Система включает в себя генератор сигнала Г5-4Б, работающий в мегагерцовом диапазоне, согласованный с резонансной частотой пьезокерамических излучателя и приемника в акустической ячейке. Для оцифровки сигнала с приемника применяется АЦП AD9226 (Analog Devices) с разрядностью 12 бит и частотой дискретизации 65 МГц. Благодаря высокой скорости обработки данных устройство позволяет накапливать большие объемы выборок скорости ультразвука и осуществлять их статистическую обработку. Для подавления шума и увеличения точности измерений в ПЛИС используется корреляционное детектирование. Апробация установки выполнена на химически чистых органических жидкостях.

17:00–17:20**8. ГЕНЕРАТОРЫ МОЩНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАЮЩИХ АНТЕНН**

Александров В.А., Буянов А.П., Казаков Ю.В.,

АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург;

E-mail: mail@oceanpribor.ru

Рассматривается задача испытаний мощных, преимущественно низкочастотных гидроакустических излучающих антенн с использованием широкополосных генераторных устройств. Обоснована предпочтительность перехода к ключевым усилителям мощности с широтно-импульсной модуляцией, обеспечивающим кратное уменьшение потерь энергии и габаритов приборов при работе на комплексную нагрузку, характерную для гидроакустических преобразователей. Показана эффективность применения многоканальных систем ключевого усиления для повышения выходной мощности и показателей качества генерируемых широкополосных сигналов. Представлены результаты разработки и апробации широкополосных усилителей мощности для испытаний гидроакустических преобразователей звукового и ультразвукового диапазона. Отмечена значимость решения

вопросов согласования для повышения эффективности возбуждения гидроакустических излучающих антенн.

17:20–17:40

9. ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПОМЕХ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ И ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ АНТЕНН

Глебова Г.М., Кузнецов Г.Н.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
г.Москва

Исследуются спектры и уровни псевдозвуковых помех на скалярных и векторных приемниках (СП и ВП). Показано, что на высоких частотах, для которых интервал пространственной корреляции турбулентных псевдозвуковых пульсаций меньше размеров ВП, величина помех на 1.5–3 дБ превышает помеху на СП. На низких частотах, на которых интервал пространственной корреляции псевдозвуковых пульсаций больше чем размер ВП, помехи ослабляются на 5–8 дБ, что является существенным с точки зрения увеличения отношения сигнал/помеха и увеличения дальности обнаружения слабых сигналов.

17:40–18:00

10. ОЦЕНКА ЧИСЛА ИСТОЧНИКОВ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХРАЗРЕШАЮЩИХ МЕТОДОВ В АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ

Иваненков А.С., Родионов А.А., Савельев Н.В.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;
E-mail: ivanenkov@ipfran.ru

В работе рассматривается задача построения акустических изображений нескольких близких источников звука с использованием решеток микрофонов. Для её решения применяются известный метод MUSIC, широко использующийся для оценок направления прихода плоских волн, а также новый метод оценки параметров сигналов в антенных решетках — метод максимально правдоподобной классификации сигналов (МПКС). Важнейшим вопросом при использовании этих методов является определение общего числа локализуемых источников. В работе проведено исследование современных методов оценки числа источников, основанных на классических информационных критериях. Также был предложен критерий, выведенный из метода максимального правдоподобия. Приведены результаты численного моделирования и эксперимента в безэховой камере.

Секция АИС — Акустические измерения и стандартизация**Зал № 3**Руководитель, Исаев А.Е., isaev@vniiftri.ru**9:00–9:20****1. КАЛИБРОВКА ИСТОЧНИКА ЗВУКА В БАССЕЙНЕ С
ОТРАЖАЮЩИМИ ГРАНИЦАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА
ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Вировлянский А.Л., Казарова А.Ю., Любавин Л.Я.,

Институт прикладной физики Российской Академии наук, Нижний Новгород,
viro@appl.sci-nnov.ru

Обсуждается реконструкция диаграммы направленности источника звука в свободном пространстве по измерениям поля, возбуждаемого этим источником в бассейне. Процедура реконструкции базируется на использовании эталонного акустического монополя. Поле калибруемого источника сопоставляется с полями, излученными монополем из нескольких специально выбранных точек бассейна. Сигналы источника и эталонного монополя регистрируются одними и теми же приемниками. На основе этих измерений поле источника в бассейне аппроксимируется суперпозицией полей акустических монополей. Сформулированы условия, при которых поле источника в свободном пространстве можно представить в виде суперпозиции полей тех же монополей. Это позволяет вычислить диаграмму направленности калибруемого источника в свободном пространстве. Работоспособность метода подтверждена результатами конечно-элементного моделирования.

9:20–9:40**2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
СПЕКТРА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ПРАКТИЧЕСКИХ
ЗАДАЧАХ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ КОЛМОГОРОВА-СМИРНОВА**

Калью В.А., Петрова В.В., Смирнов Д.А.,

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург,
V_Kalyu@ksrc.ru

Обсуждается возможность вероятностного подхода к определению понятия дискретной составляющей спектра виброакустического сигнала, когда квазигармоническое колебание на некотором интервале времени, называемой интервалом внутренней когерентности, с соответствующей вероятностью может восприниматься, как гармоническое. Рассматривается функция распределения вероятностей значений автокорреляционной функции сигнала. Критерий Колмогорова-Смирнова позволяет сравнить указанную функцию

распределения с эталонной функцией, соответствующей гармоническому сигналу, и связать значения интервала внутренней когерентности и вероятности классификации квазигармонического сигнала на этом интервале, как гармонического. Сравнение вычисляемых по этим данным математических ожиданий интервалов внутренней когерентности даёт возможность отличать квазигармонические сигналы от узкополосного шума, что помогает решать задачи поиска источников

9:40–10:00

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ КОРРЕКТНОСТИ КАЛИБРОВКИ ВЕКТОРНОГО ПРИЁМНИКА ПО ПОЛЮ В РЕВЕРБЕРАЦИОННОМ ЗВУКОВОМ ПОЛЕ БАССЕЙНА

Исаев А.Е., Матвеев А.Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Московская область; isaev@vniiftri.ru, matveev@vniiftri.ru

Рассмотрены причины, затрудняющие калибровку по полю векторного приёмника подводного звука тонально-импульсным методом. Обсуждаются результаты эксперимента, выполненного в целях подтверждения корректности калибровки векторного приёмника в реверберационном звуковом поле незаглушенного бассейна при излучении непрерывных сигналов с распределённой по частоте мощностью. Суть эксперимента — звуковой волной, отражённой от границы раздела вода-воздух, вносили «эталонные» искажения в прямую волну излучателя, убеждались, что параметры искажения, измеренные с использованием векторного приёмника в реверберационном звуковом поле, совпадают с предсказанными. Предложенный приём позволил экспериментально установить возможность выделять в реверберационном звуковом поле бассейна векторную величину прямой волны излучателя в частотном диапазоне, перекрывающем диапазон тонально-импульсного метода, и продолженном до частот камеры стоячей звуковой волны.

10:00–10:20

4. ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ

Исаев А.Е., Айвазян Ю.М., Поликарпов А.М.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Московская область, isaev@vniiftri.ru

На примере эксперимента по измерению коэффициента отражения звука от образца материала продемонстрирована некорректность использования

сферической звуковой волны для облучения образца. Обсуждаются преимущества и недостатки генерации акустического пучка с плоским фронтом решёткой Тротта, как альтернативы исследованию акустических свойств материалов в дальнем поле. Использование виртуальной решётки, синтезирующей акустический пучок методом сканирующего излучателя, позволяет обойтись без громоздких и сложных в технической реализации конструкций и создать акустически прозрачную решётку с любым шагом из любого количества элементов. Рассмотрены варианты постановки измерительного эксперимента с использованием виртуальных излучающей и приёмной решёток. Использование малоэлементной сканирующей ячейки позволяет сократить продолжительность измерительного эксперимента. Перспективность предложенного подхода подтверждена результатами математического моделирования.

10:20–10:40

5. ПЛАНАРНАЯ МНОГОДИАПАЗОННАЯ ЛИНИЯ ЗАДЕРЖКИ НА ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ ДЛЯ АНТИКОЛЛИЗИОННЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ МЕТОК В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ СВЫШЕ 5 ГГц

Сучков С.Г., Сучков Д.С., Николаевцев В.А., nikolaevcev@yandex.ru

Для продвижения систем радиочастотной идентификации в более высокочастотные диапазоны исследована возможность создания планарной трехдиапазонной линии задержки на объемных акустических волнах (ОАВ) с интеграцией трех акустических каналов в один. Преобразователем электромагнитного сигнала в ОАВ и обратно служит фазированная решетка поверхностных электродов, расположенных на поверхности кристаллической подложки из сапфира, покрытой пленкой нитрида алюминия (AlN). Построены 3D карты углового спектра возбуждения продольной, быстрой и медленной поперечных волн от частоты и разности фаз между элементами фазированной решетки. Исследовано распространение пучка ОАВ в пластине при многократном отражении от ее границ. Рассчитаны амплитудно-частотные характеристики линии задержки с входными и выходными преобразователями в виде фазированных решеток, расположенных в одном акустическом канале, в трех поддиапазонах в разрешенном для использования в радиочастотной идентификации диапазоне частот 5650–6425 МГц.

10:40–11:00**6. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Вервейко В.Н., Вервейко М.В.

Курский государственный университет, Курск, verveykovn@mail.ru

Инженерные и научные расчеты требуют высокой точности и надежности данных о физико-химических свойствах жидкостей. Скорость ультразвука — один из наиболее информативных параметров. Установка для измерения скорости ультразвука и плотности жидкости, созданная авторами, состоит из ЭВМ, служащей для визуального наблюдения, программного управления работой установки и вычисления искомых физических величин; электронного блока генерации, приема и обработки сигналов на базе ПЛИС «ЦОС-310-2К»; акустического пьезометра; системы термостатирования и измерения температуры; системы создания и измерения давления. Установка позволяет измерять и рассчитывать в рамках предложенной авторами кластерной модели акустические, релаксационные, структурные, оптические и теплофизические свойства жидкостей с высокой точностью в широком интервале температур, давлений и частот ультразвука.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:35****7. АМПЛИТУДНО-ФАЗОВАЯ СТРУКТУРА И ЗАКОНЫ СПАДАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ ПОЛЕЙ В ВОЛНОВОДЕ**

Кузнецов Г.Н., Степанов А.Н.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г.Москва, skbmortex@mail.ru

Выполнен анализ пространственно-частотной структуры градиентов фазы в горизонтальной и вертикальной плоскости, формирующийся в волноводе. Анализируются закономерности эффективной фазовой скорости (ЭФС), рассчитанные аналитически по различным моделям и полученные экспериментально. Установлено их хорошее согласие. Исследуются зависимости ЭФС от расстояния, частоты и глубины источника и приемника. Обосновывается физическая природа вариации ЭФС. Даются практические рекомендации по применению ЭФС с целью устранения смещения оценок пеленга при скользящих углах приема. Анализируются зависимости законов спадания для различных мультиполей и глубин расположения корреспондирующих точек.

11:35–11:50**8. АКУСТОМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Кустов А.И., Деркачев И.С.

Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж,

E-mail: vuaik@mail.ru

Изучение физических параметров сталей – по-прежнему актуальная задача. Эти материалы широко распространены и, при профессиональной обработке, составляют конкуренцию самым современным материалам. При этом, необходимо использовать весь возможный арсенал средств улучшения их свойств, для чего используются внешние воздействия – термические, механические, химические и проч. На наш взгляд, для изучения упруго-механических параметров сталей и их зависимостей от внешних воздействий перспективны методы акустомикроскопической дефектоскопии (АМД-методы). Она позволяют визуализировать с помощью акустических волн подповерхностную структуру металлических материалов, анализировать распределение, форму, глубину залегания дефектов. V(Z)-метод обеспечивает количественные измерения значений скоростей акустических волн, уровня их затухания, дисперсию свойств. Полученные результаты подтверждают перспективность АМД-методов.

11:50–12:05**9. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ И ПЕРЕДАЧЕ ЕДИНИЦЫ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ**

Исаев А.Е., Черников И.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, р.п. Менделеево, Московская обл.,

E-mail: isaev@vniiftri.ru, iii@vniiftri.ru

Рассматриваются особенности калибровки гидрофонов в диапазоне температур от 0,5°C до 35°C при избыточных статических давлениях до 60 МПа. Рассмотрен состав, принципы функционирования, и метрологические характеристики измерительной установки для калибровки глубоководных гидрофонов в условиях, приближенных к условиям применения. Проведён анализ источников погрешности. Представлены экспериментально полученные частотные характеристики чувствительности гидрофонов в зависимости от избыточного статического давления и температуры.

12:05–12:20**10. ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ВОЛНЫ РАЗРЕЖЕНИЯ ПРИ ФОКУСИРОВКЕ НА ОСЬ СИММЕТРИИ В ПУЗЫРЬКОВОЙ ЖИДКОСТИ**

Кедринский В.К., Журавлева Е.С.

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, СО РАН, Новосибирск;

E-mail: kedr@hydro.nsc.ru

Согласно экспериментальным данным начальный этап численного анализа сложной осесимметричной постановки позволяет свести задачу к фокусировке волны разрежения (ВР) от свободной поверхности на ось симметрии в одномерном цилиндрическом слое и расчете кавитации за ее фронтом. Процесс начинается с задания УВ-импульса в окрестности оси слоя поршнем в форме экспоненты с максимальными скоростями до 200 м/с и показателем экспоненты до 40 мкс. Отражение УВ от свободной поверхности формирует ВР, динамика ее структуры и развития кавитации за ее фронтом проводились в рамках уравнений многофазной системы Иорданского–Когарко–ван Вайнгаардена. Обнаружено появление положительной фазы давления в ВР, сильное влияние начальных размеров и концентрации зародышей микро пузырьков, при которых конечная концентрация менялась от 2 до 16%.

12:20–12:35**11. ШИРОКОПОЛОСНАЯ КАЛИБРОВКА ДВУМЕРНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕШЕТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ**

Цысарь С.А., Николаев Д.А., Сапожников О.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва;

E-mail: sergey@acs366.phys.msu.ru

Применение двумерных ультразвуковых (УЗ) решёток открывает широкие горизонты в медицинской диагностике и неразрушающем контроле в промышленности. В то же время, их использование сопряжено с рядом трудностей, одна из которых – отсутствие точных данных об акустических характеристиках всех элементов при работе в разных режимах. В настоящей работе для определения чувствительности элементов на излучение и определения соответствия элемента и номера канала УЗ системы предложен и опробован метод импульсной акустической голографии. В эксперименте была исследована 384-элементная ультразвуковая решётка с центральной частотой 2 МГц (Меделком, Литва). При калибровке в полосе частот 0.1–15 МГц продемонстрировано, что предложенный метод обладает высокой пространственно-временной разрешающей способностью, что позволяет

визуализировать колебания отдельных элементов и обнаружить дефекты на поверхности источника. Работа поддержана грантом РФФ № 19-12-00148.

12:35–12:50

12. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Сыч Т. В., Бехер С.А.

Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск;

E-mail: tatyna979@mail.ru

В работе рассмотрены способы определения АЧХ преобразователей акустической эмиссии (АЭ) как одной из основных характеристик преобразователя. Обсуждаются результаты экспериментальных исследований параметров сигналов АЭ, полученных для различных типов полосовых преобразователей АЭ в производственных и лабораторных условиях. Изучено влияние на АЧХ регистрируемых сигналов акустической эмиссии таких факторов как: локация преобразователя на поверхности объекта контроля, применяемые волноводы, способ крепления, контактная среда. В обработке результатов использован многофакторный анализ, математическое моделирование. В работе предложена методика определения параметров АЭ преобразователя, которая основана на регистрации широкополосного акустического сигнала, генерируемого источником акустического шума. Для повышения достоверности проведения акустико-эмиссионного контроля, приведены сравнительные результаты использования двух методик — стандартизированной и предлагаемой.

12:50–13:20

13. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Канев Н.Г.

ООО «Акустические материалы», Москва, E-mail: nk@acoustic.ru

Проанализированы действующие методики и рекомендации измерения нормируемых параметров вибрации в зданиях, вызванной движением рельсового транспорта. На примере длительного мониторинга вибрационного воздействия метрополитена продемонстрированы недостатки методик, приводящие к возможным искажениям гигиенической оценки. Кроме этого, достоверный результат измерения вибрации должен содержать не только измеренное значение, но и параметр, характеризующий неопределенность измерения. Однако, в настоящее время отсутствуют какие-либо стандарты или подходы, позволяющие оценить неопределенность измерений с учетом специфики вибрации рельсового транспорта. Предложено применить

статистический подход к интерпретации результатов измерений: необходимо использовать параметр, характеризующий максимальное вибрационное воздействие и рассчитываемый по результатам измерений нескольких событий прохождения поезда с учетом известного или предполагаемого закона распределения.

Секция АЭ — Акустоэлектроника**Зал № 3**

Руководитель Кузнецова Ирен Евгеньевна,

*E-mail: kuziren@yandex.ru***14:00–14:20****1. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ КЕРАМИЧЕСКОГО КАРКАСА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЬЕЗОКРАМИКИ ПКП-33 ИСПОЛЬЗУЕМОГО В АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Нагаенко А.В., Свирская С.Н.

Институт высоких технологий и пьезотехники ЮФУ, г. Ростов-на-Дону,
nagalexandr@gmail.com

Исследованы зависимости свойств пьезокерамики ПКП-33 от структуры керамического каркаса, полученной различными методами. Первый метод — спекание заготовок по обычной керамической технологии. Во втором случае спекание проводили методом горячего прессования.

Показано, что для керамики, изготовленной первым методом, вследствие вторичной рекристаллизации размер зерна увеличивается с ростом температуры, в то время как на образцах, изготовленных вторым методом процесс вторичной рекристаллизации сведен к минимуму. При этом наблюдается уменьшение значений коэрцитивных полей при переходе от первого метода ко второму. Установлено, что максимальные значения основных электрофизических параметров на образцах, полученных методом горячего прессования на 15–20% выше, чем в случае их получения по обычной керамической технологии.

14:20–14:40**2. ВЛИЯНИЕ ПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКИ С КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНОЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗОНАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ**

Зайцев Б.Д., Теплых А.А., Семёнов А.П., Бородина И.А.

Саратовский филиал института радиотехники и электроники им.

В.А. Котельникова РАН, Саратов, E-mail: zai-boris@yandex.ru

Экспериментально изучено влияние проводящей пленки конечной толщины, нанесенной на свободную сторону резонатора с поперечным электрическим полем из пьезокерамики, на его резонансные характеристики. Проводящие пленки с разной проводимостью и заданной толщиной были изготовлены на основе быстросыхающего лака с микрочастицами графита. Частотная зависимость электрического импеданса резонатора показала наличие трех резонансов в диапазоне 50–500 кГц. Частотная зависимость электрического

импеданса резонатора с пленкой также рассчитывалась методом конечных элементов. Коэффициенты упругости и вязкости пленки, а также диэлектрическая проницаемость и проводимость, необходимые для теоретического анализа, определялись методом акустической спектроскопии. Теоретические результаты оказались в хорошем соответствии с экспериментом. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №19-07-00300.

14:40–15:00

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ДИСКОВОМ РЕЗОНАТОРЕ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ЦТСНВ-1

Семёнов А.П., Зайцев Б.Д., Теплых А.А., Бородина И.А.

Саратовский филиал института радиотехники и электроники им.

В.А. Котельникова РАН, Саратов, E-mail: alex-sheih@ya.ru

Изучены особенности колебаний дискового резонатора с продольным возбуждающим электрическим полем, изготовленного из пьезокерамики ЦТСНВ-1. Экспериментально и теоретически исследовано влияние диаметра диска резонатора на его резонансные характеристики. Теоретический анализ проводился при помощи метода эквивалентных схем и метода конечных элементов. Установлено, что для радиальных колебаний резонатора резонансные частоты параллельного и последовательного резонансов обратно пропорциональны диаметру резонатора. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №19-07-00300.

15:00–15:20

4. УПРАВЛЕНИЕ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫМ ДЕТЕКТОРОМ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ЧАСТОТ ЧЕРЕЗ МАГНИТОУПРУГОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Попов П.А., Сафин А.Р., Никитов С.А., Кирилюк А.И.

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва;

Московский физико-технический институт, Москва; Национальный

исследовательский университет «МЭИ», Москва; Лаборатория

«Метаматериалы», Саратовский государственный университет им.

Н.Г. Чернышевского, Саратов; Университет Неймегена имени святого

Радбода Утрехтского, Неймеген, Нидерланды;

E-mail: paavali.popov@gmail.com, arsaфин@gmail.com, nikitov@cplire.ru

Возбуждение и детектирование терагерцовых колебаний в антиферромагнитных наноструктурах является важным направлением спинтроники. Ранее двуслойная структура, состоящая из антиферромагнетика

(АФМ) и слоя тяжелого металла (ТМ) использовалась для генерации терагерцовых колебаний постоянным током. В данной работе численно исследуется управление частотой колебаний в антиферромагнетике за счет инъекции спин-поляризованных электронов проводимости из слоя тяжелого металла с сильным спин-орбитальным взаимодействием (например, платины) при использовании структуры АФМ-ТМ, как перестраиваемого, узкополосного детектора, а также чувствительность к внешнему переменному току. В работе предложена схема перестраиваемого приемника электромагнитных волн терагерцового диапазона частот на основе антиферромагнитной тонкой пленки и слоя тяжелого металла, управляемого магнитоупругим взаимодействием. Перестройка частоты обеспечивается подачей электрического напряжения на слой пьезоэлектрика, упруго связанного с антиферромагнетиком.

15:20–15:40

5. АНАЛИЗ ВОЗБУЖДЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ZnO НА ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ

Недоспасов И.А., Кузнецова И.Е., Колесов В.В., Смирнов А.В.

ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, Москва; e-mail: kuziren@yandex.ru

В настоящее время актуальным направлением в микроэлектронике является разработка микромощных электронных автономных устройств для самонастраивающихся телекоммуникационных сенсорных сетей и устройств микроробототехники. Данные устройства нуждаются в надежных малогабаритных энергоемких автономных источниках питания длительного действия. Питание для таких устройств может быть получено непосредственно из окружающей среды при наличии соответствующих преобразователей различных видов энергии в электричество. В последнее время появились работы, в которых предлагается использовать пьезоэффект для получения электрической энергии из механически нагружаемого пьезоэлектрика. В данной работе при помощи метода конечных элементов проведено моделирование возбуждения и распространения акустических волн в непьезоэлектрической подложке из кремния при помощи системы цилиндрических стержней из ZnO , нанесенных на подложку. Возбуждение акустической волны происходило за счет приложения электрического напряжения к стержням из ZnO . Работа частично поддержана проектом РФФИ №18-57-7802 и Минобрнауки РФ.

15:40–16:00**6. ФОРМИРОВАНИЕ ЗАПРЕЩЕННЫХ ЗОН ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В МАГНОННОМ КРИСТАЛЛЕ С МАГНИТОСТРИКЦИЕЙ**

Матвеев О.В., Морозова М.А., Шараевский Ю.П.

Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского, Саратов; Московский физико-технический институт, Москва;

E-mail: olvmatveev@gmail.com

Исследованы особенности резонансных явлений при распространении магнитоупругих волн в магнонном кристалле с магнитострикцией. Магнонный кристалл представляет собой ферромагнитную пленку, на поверхности которой нанесена периодическая система канавок. Выявлен механизм формирования запрещенных зон в области брэгговского резонанса. Показано, что в такой структуре наряду с основной запрещенной зоной, связанной с взаимодействием прямой и отраженной магнитостатических волн, образуется дополнительная запрещенная зона за счёт взаимодействия прямой акустической и отраженной магнитостатической волн. За счёт изменения параметра магнитострикции и периода структуры возможно управление характеристиками и взаимным расположением запрещенных зон, что важно для создания устройств для функциональной обработки сигнала на принципах магноники и акустики. Работа выполнена при поддержке РФФИ (19-29-03049-мк) и РНФ (19-79-20121).

16:00–16:20 — КОФЕ-БРЕЙК**16:20–16:40****7. ДАТЧИК НА ОСНОВЕ РЕЗОНАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ ИЗ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ЦТС ДЛЯ АНАЛИЗА БАКТЕРИАЛЬНЫХ КЛЕТОК В ЖИДКОСТИ**

Бородина И.А., Зайцев Б.Д., Теплых А.А., Гулий О.И.

Институтрадиотехники и электроники им. В.А Котельникова РАН,

Саратовский филиал, Саратов; Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов; E-mail: borodinaia@yandex.ru

Экспериментально исследован датчик на основе резонатора с поперечным электрическим полем из керамики ЦТС. На одной стороне пластины были нанесены электроды. Другая сторона служила дном контейнера для суспензии клеток. В таком резонаторе поперечная компонента механического смещения, не приводящая к радиационным потерям при контакте с жидкостью, является превалирующей. В диапазоне 50–500 МГц были обнаружены три резонанса с добротностью ~150. Для анализа бактериальных

клеток измерялись частотные зависимости электрического импеданса датчика с суспензией клеток до и после добавления антител. Добавление специфичных антител приводило к существенному изменению указанных зависимостей, что позволяло определять и идентифицировать тип клеток. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №19-07-00304.

16:40–17:00

**8. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛЕНОК ИЗ МИЦЕЛИЯ
БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ
СЕНСОРНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Смирнов А.В., Асафьев Н.О., Сорокин Б.П., Зянгинова М.Ю.,
Краснопольская Л.М., Кузнецова И.Е.

ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, Москва; ФГБНУ «Технологический
институт сверхтвердых и новых углеродных материалов», Троицк, Москва;
Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков
имени Г.Ф.Гаузе, Москва); e-mail: andre-smirnov-v@yandex.ru

В работе представлены результаты исследования физических и морфологических свойств пленок из мицелия базидиальных грибов. В ходе работы разработана базовая методика получения органических пленок на основе экстрактов биомассы базидиального гриба *Ganoderma lucidum* для использования в акустоэлектронных газовых сенсорах. Получены органические пленки на основе экстрактов биомассы базидиального гриба *Ganoderma lucidum*. Проведено погружное культивирование базидиомицетов на модельной питательной среде - получение биомассы, после чего получены экстракты биомассы с использованием двухкомпонентных систем растворителей (вода/этанол) с различными объемными соотношениями. Разработан и создан СВЧ акустический резонатор на основе пьезоэлектрической слоистой структуры $\text{Me1}/\text{AlN}/\text{Me2}/\text{алмаз}$. Разработана технология нанесения пленки мицелия на указанные СВЧ резонаторы. Измерены параметры ненагруженного и нагруженного СВЧ акустического резонатора. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-00173).

17:00–17:20**9. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ПВДФ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛЕНГМЮРА–БЛОДЖЕТТ**

Горбачев И.А., Смирнов А.В., Кашин В.В., Юдин С.Г., Анисимкин В.И., Колесов В.В.

ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, Москва; Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова, ФНИЦ “Кристаллография и фотоника РАН”, Москва; e-mail: andre-smirnov-v@yandex.ru

Методом Ленгмюра-Блоджетт созданы гибкие пьезоэлектрические пленки на основе поливинилиденфторида (ПВДФ). Поляризация полимера осуществлялась в процессе формирования монослоя на поверхности субфазы. Для исследования пьезоэлектрических свойств созданных пленок на их поверхности создавались планарные электродные структуры методом протравки проводящими чернилами. Морфологические и структурные свойства полученных пьезоэлектрических плёнок и электродных структур изучались с помощью сканирующей электронной микроскопии. Состав определялся с помощью энергодисперсионного анализа. Методом Фурье — спектроскопии было оценено относительное изменение количества пьезоактивной β -фазы ПВДФ, до и после процесса отжига. При помощи пьезоэлектрического зонда была измерена пьезоконстанта d_{33} . Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ № 19-07-00145, №20-37-70021 и Минобрнауки РФ.

17:20–17:40**10. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАССОВОЙ НАГРУЗКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ И НАЧАЛЬНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНЫ ЛЭМБА В ПЛАСТИНЕ НИОБАТА ЛИТИЯ**

Плетнев О.Н., Бурков С.И., Турчин П.П., Золотова О.П.

Сибирский Федеральный Университет, Красноярск; Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева. Красноярск; E-mail: opletnev@sfu-kras.ru

В этой статье мы рассмотрим влияние на дисперсионные характеристики волн Лэмба массовой нагрузки в виде двух металлических слоев на свободных поверхностях пьезоэлектрической пластины ниобата лития, который широко используются в разработке различных АЕ-устройств. На основе теории распространения акустических волн в пьезоэлектриках, подвергнутых воздействию одноосного механического давления, были также выполнены

оценки возможной компенсации изменения фазовых скоростей мод волны Лэмба приложением одноосного механического давления к пьезоэлектрической пластине. Отмечены условия приложения одноосного механического давления, когда изменения фазовых скоростей мод волны Лэмба максимальные либо отсутствуют, что может иметь большое значение для разработки управляемых акустоэлектронных устройств.

17:40–18:00

11. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА ТОЛСТОСТЕННЫХ ЕМКОСТЕЙ

Стратунов О.В., Грот А.Н., Симаков И.Г., Доильницын В.А., Акатов А.А.
Общество с ограниченной ответственностью «Александра-Плюс», Вологда;
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (ТУ),
Санкт-Петербург; E-mail: mail@alexplus.ru

Образование отложений на теплопередающих поверхностях выпарных аппаратов, используемых для упаривания жидких радиоактивных отходов, является серьезной проблемой, как при эксплуатации оборудования, так и при выводе их из эксплуатации. В работе рассматривается возможность передачи ультразвуковых колебаний в раствор через стенку толщиной 16 мм, оценивается оказываемое воздействие на процесс удаления отложений; проверяется возможность передачи ультразвуковых колебаний в нижнюю часть аппарата при размещении ультразвуковых излучателей в его верхней части, подобраны физические модели в соответствии с граничными условиями; проведены опытные испытания в сопоставимых условиях с реальными опытно-промышленными выпарными аппаратами; разработана схема размещения ультразвуковых излучателей для обеспечения оптимального кавитационного воздействия с учетом конструктивных особенностей выпарного аппарата.

Секция АОК — Акустика океана**Зал № 4**

Руководитель, Малый Владимир Владимирович, v_malyj@rambler.ru

9:00–9:20

1. ЗВУКОПОДВОДНАЯ СВЯЗЬ В МЕЛКОВОДНОЙ АКВАТОРИИ, ПОКРЫТОЙ ЛЬДОМ. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Волков М.В., Кучер К.М., Луньков А.А., Макаров М.М., Петников В.Г., Шатравин А.В.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г.Москва; E-mail: volkov_mv@kapella.gpi.ru

Продемонстрированы возможности звукоподводной связи в мелководной акватории с ледовым покровом в случае применения вертикальных приемных антенн, перегораживающих весь водный слой. Глубина акватории (≈ 30 м) выбиралась много меньшей, чем расстояние до приемной антенны (сотни метров). Исследовалась возможность передачи тестового сигнала с двоичной фазовой манипуляцией и несущей частотой 750 Гц. Эксперимент был проведен на оз. Байкал при толщине ледового покрова от 60 до 70 см. Показано, что в случае применения вертикальной антенны коэффициент битовых ошибок уменьшается до 5%, тогда как при приеме на одиночные приемники антенны он не опускается ниже 18%.

9:20–9:40

2. ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО ФАЗОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ И РАССЕВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛОЖНОЙ ЦЕЛИ

Муякшин С.И.

ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород; E-mail: serg_mun@list.ru

Эхолоты, как однолучевые, так и с «расщепленным лучом», широко применяются для поиска и определения характеристик подводных пузырьковых выходов газа, которые широко распространены на материковом склоне, в крупных озерах и водохранилищах. В докладе представлена имитационная модель фазометрического эхолота. С ее помощью исследована способность такого устройства определять угловые координаты и рассеивающую способность локализованной в пространстве цели, состоящей из многих дискретных частиц. Исследованы зависимости погрешности измерения направления на цель и ее рассеивающей способности от отношения сигнала к шуму и геометрических параметров. Найден алгоритм

обработки данных, позволяющий достигнуть высокой точности измерения даже при низком отношении сигнала к шуму.

9:40–10:00

3. 3D ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН РЕЛЕЯ-ШОЛТА НА ШЕЛЬФЕ С ПЛАВНОЙ СТРАТИФИЦИЕЙ ДНА

Заславский Ю.М., Заславский В.Ю.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород;

E-mail: zaslav@appl.sci-nnov.ru

На основе применения метода конечных элементов выполнено 3D численное моделирование распространения импульсных акустических сигналов в структуре: водный бассейн конечной глубины над твердым дном, имеющем по вертикали плавную стратификацию по скорости поперечной и продольной волны. Исследованы особенности объемной волны, уходящей вглубь дна, а также медленной поверхностной волны (типа Godin-Chapman), распространяющейся вдоль границы. Регистрация гидроакустических и сейсмических волн составляет основу решения проблемы инверсии в слоях донных осадков на шельфе и задач удаленного позиционирования гидроакустического источника.

10:20–10:40

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ И ПЕРЕДАЧЕ ЕДИНИЦЫ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Черников И.В., Исаев А.Е.

ФГУП «ВНИИФТРИ», Московская область; E-mail: iii@vniiftri.ru

Рассматриваются особенности калибровки гидрофонов в диапазоне температур от 0,5°C до 35°C при избыточных статических давлениях до 60 МПа. Рассмотрен состав, принципы функционирования, и метрологические характеристики измерительной установки для калибровки глубоководных гидрофонов в условиях, приближенных к условиям применения. Проведён анализ источников погрешности. Представлены экспериментально полученные частотные характеристики чувствительности гидрофонов в зависимости от избыточного статического давления и температуры.

10:40–11:00**5. ИЗМЕРЕНИЕ МОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ МНОГОЧАСТОТНЫМ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ МОДУЛЯЦИИ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА ТУРБУЛЕНТНОСТЬЮ**

Есипов И.Б., Кенигсбергер Г.В., Попов О.Е.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва; E-mail: olegp@mail.ru

Обсуждаются результаты эксперимента по измерению скорости морского течения с применением ненаправленного источника и приемников звука. Флуктуации фазы сигнала зависят от соотношения между масштабами турбулентности и размером зоны Френеля акустического сигнала. В результате флуктуации амплитуды и фазы огибающих сигналов разных частот будут когерентными для низких частот, когда масштаб турбулентности потока больше размеров зоны Френеля, и некогерентными для высоких частот флуктуаций. В ходе работ профиль течения контролировался акустическим доплеровским измерителем течений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-02-00434 и проект 19-52-40004)

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:40****6. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗВУКА В УСЛОВИЯХ ВЫРАЖЕННОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ**Есипов И.Б., Кенигсбергер Г.В., Попов О.Е., Поддубняк В.Я., Михеев В.И.
Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, г.Москва; E-mail: igor.esipov@mail.ru

Приведены результаты морских экспериментов изучения флуктуаций сигналов при распространении звука в условиях выраженной горизонтальной рефракции. В прибрежной акватории Чёрного моря на стационарных трассах длиной от 80 до 170 м при среднем наклоне дна около 25 градусов проводились измерения средних значений и флуктуаций энергии, азимутальных углов, углов скольжения и времени отдельных приходов импульсных сигналов. Для измерений использовалась приёмная система из трёх гидрофонов и ненаправленный излучатель. Излучались линейно-частотно-модулированные импульсы различной длительности в диапазоне частот 1500–15000 Гц. Получены статистические характеристики флуктуаций измеренных характеристик сигналов. Работа выполнена при поддержке РФФИ проект 19-52-40004.

25 сентября, пятница**Секция НА — Нелинейная акустика****Зал № 1**

Руководитель, Хохлова Вера Александровна,

*E-mail: vera@acs366.phys.msu.ru***9:00–9:20****1. ВИБРАЦИИ СТРУННЫХ РЕШЕТОК, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВОЗЛЕ ПЛОСКИХ ПРЕПЯТСТВИЙ**

Крупенин В. Л., Андрианов Н. А.

ФГБУН Институт машиноведения им. А. В. Благодного РАН, Москва;

E-mail: krupeninster@gmail.ru

Решетчатые конструкции распространены во многих отраслях промышленности. Важный подкласс таких систем – плоские (2D-) решетки, при помощи моделей которых могут исследоваться стоячие и распространяющиеся волны в акустических метаматериалах, композитных материалах с периодическим армированием, кристаллах и т. д. В этой работе рассмотрены, в основном, результаты теоретического и экспериментального изучения струнных решеток с треугольными и прямоугольными ячейками. Главный концентр рассмотрений – изучение нелинейных явлений, проявляющихся в результате систематических соударений решеток с установленными вблизи них плоскими ограничителями. Изучаются нелинейные резонансные эффекты. Предлагаются дискретные и континуальные модели процессов. Работа выполнена за счет гранта РФФИ (проект 19-19-00065).

9:20–9:40**2. ТРАНСФОРМАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СЛОИСТЫХ СРЕДАХ С МОДУЛЬНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

Гусев В.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва,

E-mail: vgusev@bk.ru

Рассмотрено распространение акустических волн в слоистых средах, обладающих нелинейностью модульного типа. Такая нелинейность характерна для ряда природных материалов, а также искусственных метаматериалов, которые содержат внутреннюю структуру или дефекты. Рассчитана трансформация временных профилей в таких средах. Рассмотрено формирование локализованных поверхностных акустических

волн на границе упругой бимодульной среды и жидкого слоя. Показано, что в бимодульной среде временной профиль волны принципиально несимметричен, что приводит к формированию однополярного предельного профиля. Рассмотрено прохождение волн через слой среды с модульной нелинейностью и рассчитаны коэффициенты прохождения и отражения. Предложен метод определения параметров такого слоя. Проанализированы особенности волноводного распространения в среде с модульной нелинейностью.

9:40–10:00

3. РЕАЛИЗАЦИЯ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ РЕЖИМОВ ФОКУСИРОВКИ В КЛИНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ HIFU

Карзова М.М., Юлдашев П.В., Пестова П.А., Крейдер В., Хохлова Т.Д.,
Бейвик К., Партанен А., Сапожников О.А., Хохлова В.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
г.Москва, Россия; Университет шт. Вашингтон, г. Сиэтл, США; Profound
Medical Corp., г.Миссиссога, Канада;

E-mail: masha@acs366.phys.msu.ru

Многие новые клинические применения HIFU (аббр. High Intensity Focused Ultrasound) основаны на использовании нелинейных ударно-волновых импульсно-периодических режимов, при которых средняя по времени мощность пучка остается постоянной, а увеличение пиковой мощности в импульсе компенсируется уменьшением коэффициента заполнения. Главным преимуществом таких режимов является быстрое тепловыделение на ударном фронте волны и получение разрушения в строго заданной области. В работе исследована возможность достижения ударно-волновых режимов фокусировки в клинических системах MRgHIFU Sonalleve V1 и V2 (Profound Medical Corp.), ультразвуковые излучатели которых являются многоэлементными антенными решетками, состоящими из 256 элементов диаметром 6.6 мм с рабочей частотой 1.2 МГц и несколько различающимися углами фокусировки. В численном эксперименте и прямых гидрофонных измерениях в воде показано, что в более фокусированной системе V1 характерная амплитуда развитого ударного фронта составляет 92 МПа и достигается при 60% от максимальной мощности решетки. В менее фокусированной системе V2 развитый разрыв формируется при меньшей мощности решетки (45% от максимальной), однако имеет меньшую амплитуду (82 МПа). Исследование поддержано грантом РФФИ № 20-32-70142 и FUSF.

10:00–10:20**4. МАГНИТОУПРУГИЕ ВОЛНЫ В НЕЛИНЕЙНОЙ
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ТВЕРДОЙ МИКРОПОЛЯРНОЙ СРЕДЕ**

Ерофеев В.И., Мальханов А.О.

Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Нижний Новгород; E-mail: erof.vi@yandex.ru

Предложена нелинейная модель твердой электропроводящей микрополярной среды, взаимодействующей с внешним магнитным полем. Деформируемое состояние такой среды описывается двумя несимметричными тензорами: деформаций и изгиба-кручения. Напряженное состояние среды описывается двумя несимметричными тензорами: напряжений и моментных напряжений. Предполагается, как это принято в магнитоупругости, что действие электромагнитного поля на поле деформаций происходит посредством сил Лоренца. Из системы уравнений Максвелла следуют уравнения для электрической и магнитной индукций, которые, вместе с электромагнитными уравнениями состояния, нужно добавить к уравнениям динамики микрополярной среды. В рамках предложенной модели изучается формирование пространственно-локализованных нелинейных магнитоупругих волн сдвига-вращения. Показано, что поведение «дозвуковых» и «сверхзвуковых» волн будет качественно различным.

10:20–10:40**5. НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИИ В ДВУМЕРНЫХ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТКАХ**

Порубов А.В., Антонов И.Д.

Институт Проблем Машиноведения, Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет им. Петра Великого, Санкт-Петербург; E-mail: alexey.porubov@gmail.com

Исследовано поведение двумерных волн деформации на основании ранее выведенных новых модельных континуальных уравнений для двумерных решеток графена и квадратной решетки. Показано, что продольные и поперечные плоские и двумерно-локализованные волны ведут себя по-разному, что обусловлено различными нелинейными слагаемыми в модельных уравнениях. Эти отличия касаются поперечной неустойчивости плоской локализованной волны, искривления волнового фронта и двумерной локализации. Установлены различия в поведении двумерных волн в квадратной и графеновой решетках.

10:40–11:00**6. ОСЦИЛЛЯЦИИ МЕЖДУ РЕГУЛЯРНЫМ И ХАОТИЧЕСКИМ РЕЖИМАМИ ДВИЖЕНИЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ОСВС**

Климчук Е.Г., Парахонский А.Л.

Институт структурной макрокинетики РАН, Черноголовка; Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка; E-mail: eklim777@mail.ru

Акустическая эмиссия органического самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (ОСВС) рассматривается в качестве открытой динамической системы. Фазовое пространство управляющего параметра (интенсивность звука) ОСВС отражает эволюцию системы: кинетику, механизм твердофазного горения образца и формирование конденсированных продуктов. Фазовые портреты, иллюстрирующие характер акустической эмиссии ОСВС, находятся в хорошем согласии с результатами статистического и спектрально-корреляционного анализа. Анализ метрической энтропии акустических аттракторов ОСВС выявляет переходные процессы при реакции: от регулярных к хаотическим и обратно. Это связано с перколяционным механизмом горения. Автокорреляционные функции последовательных стадий акустической эмиссии ОСВС демонстрируют осциллирующий периодический характер. Наименьший период этих осцилляций отражает, по-видимому, минимальный размер перколяционного “акустогенного” кластера, коррелирующий с характерным гетерогенным размером смеси.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК**11:20–11:35****7. ПОЛЯ РАДИАЦИОННЫХ СИЛ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ**

Гусев В.А., Жарков Д.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва; E-mail: denis.Zharkov2014@yandex.ru

Исследуются акустические явления в слоистых средах, содержащих вязкую жидкость, и особенности формирования полей радиационных сил применительно к задачам структурирования ансамблей взвешенных частиц. Рассчитаны акустические поля, формируемые поверхностной волной на границе вязкого жидкого слоя и упругого полупространства. Проведен анализ влияния вязкости и сдвиговых компонент акустического поля на пространственное распределение поля. Показано, что для слабвязких жидкостей изменение дисперсионных характеристик незначительно и наибольшее влияние испытывает затухание волны. Это означает, что для

расчета скорости волны при малой вязкости можно использовать упрощенные схемы. При увеличении вязкости сдвиговые компоненты начинают заметно влиять на пространственную структуру поля. Рассчитаны поле радиационной силы, формируемой стоячей поверхностной волной в жидкой среде.

11:35–11:50

8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКОВ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ВЕСТЕРВЕЛЬТА

Коннова Е.О., Юлдашев П. В., Хохлова В.А

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва;

E-mail: helen.7aprel@gmail.com

При проектировании мощных ультразвуковых преобразователей медицинского назначения возникает задача моделирования нелинейных фокусированных пучков. Для ее решения удобной волновой моделью является однонаправленное нелинейное уравнение Вестервельта. Большой волновой размер излучателей (около сотни длин волн), малый размер фокальной области высоких гармоник основной частоты (доли миллиметра), а также учет большого числа гармоник (до 1000), приводит к необходимости построения численного решения уравнения на больших пространственных сетках с размером матриц порядка 10000 на 10000. Реализация данной задачи на центральном процессоре (CPU) занимает много времени вплоть до нескольких суток. Целью работы было распараллеливание алгоритмов вычисления оператора дифракции методом углового спектра, оператора нелинейности с помощью метода Рунге-Кутты четвертого порядка и оператора поглощения по пространственным координатам на графическом процессоре (GPU). Реализация данной задачи позволила ускорить расчеты на GPU в несколько раз по сравнению с CPU. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-32-70142.

11:50–12:05

9. НЕЛИНЕЙНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В УЗКИХ ТРУБКАХ

Комаровский К.О., Гусев В.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;

E-mail: kirill_komarovsky_1998@mail.ru

Рассмотрены явления, возникающие при распространении волн в узких трубках. Для нелинейных волн, описываемых обобщенным уравнением типа Вебстера, получено нелинейное уравнение. Оно учитывает низкочастотную

геометрическую дисперсию, которая приводит к несимметричному искажению профиля периодической волны, качественно похожему на искажение нелинейной волны в дифрагирующем пучке. В модели модифицированного обобщенного уравнения Вебстера исследованы аналитические решения задачи о распространении звуковых волн в канале переменного сечения. Обсуждаются результаты теоретических исследований процессов взаимодействия и самовоздействия сильно искаженных волн, содержащих ударные фронты. Такие пилообразные возмущения формируются при распространении волн в средах, где нелинейность преобладает над конкурирующими факторами — дисперсией, дифракцией и поглощением.

12:05–12:20

**10. РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА
ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВНУТРЕННИХ СТРУКТУР БИООБЪЕКТА НА
ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ КАРТИНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
АКУСТИЧЕСКОГО НЕЛИНЕЙНОГО ПАРАМЕТРА**

Чернов Н. Н., Вареникова А.Ю. Лагута М. В.

Южный федеральный университет, Таганрог, E-mail: rebelludwig@gmail.com

В работе рассматривается вычислительный алгоритм визуализации внутренних структур биотканей. Разрабатываемый алгоритм построен на процессе восстановления акустического нелинейного параметра, характеризующего структуру исследуемого объекта. Представлены физико-математические модели получения значения акустического нелинейного параметра в отдельно взятой точке и в плоском сечении биологического объекта путем измерения амплитудных характеристик высших гармоник прошедшей акустической волны. Получение проекционных данных осуществляется с помощью преобразования Радона с учетом специфики используемого акустического нелинейного параметра. Получены выражение для акустической проекции и уравнения, описывающие взаимосвязь между подвижной и неподвижной системами координат. Все этапы процесса визуализации последовательно отражены в блок-схеме вычислительного алгоритма, реализованного в пакетах прикладных средств математического моделирования.

12:20–12:35**11. МЕХАНИЗМЫ УСИЛЕНИЯ ЗВУКОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СИЛЬНО РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ЧАСТОТЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ**

Котухов А.В., Минчук В.С., Скорб Е.В., Дежкунов Н.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск; Университет ИТМО, Санкт-Петербург;
E-mail: dnv@bsuir.by

Показано, что неаддитивное усиление звуколюминесценции во взаимодействующих ВЧ и НЧ ультразвуковых имеет место не только при одновременном воздействии полей на жидкость, но также и в ВЧ поле после воздействия на жидкость НЧ полем. Выделено два механизма данного эффекта: снижение порога ВЧ кавитации в фазе разрежения НЧ поля и генерирование дополнительных зародышей при захлопывании пузырьков, кавитирующих в НЧ поле. В отрицательном полупериоде НЧ поля ($P_{НЧ} < 0$) суммарное квазистатическое по отношению к НЧ полю давление уменьшается. Поэтому зародыши кавитации в ВЧ поле вырастают до больших размеров и порог ВЧ кавитации уменьшается, число кавитирующих пузырьков увеличивается, что и приводит к увеличению активности кавитации.

12:35–12: 50**12. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК ЗВЕРЕВА-КАЛАЧЕВА КАК УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЗНАЧЕНИЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ВОДЕ**

Железный В.Б., Ивлиев С.В., Островский Д.Б.

АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург; АО «СПМБМ «Малахит», Санкт-Петербург; E-mail: mail@oceanpribor.ru , info-ckb@malachite-spb.ru

На основе ранее проведенных исследований рассматриваются особенности использования параметрического приемника Зверева-Калачева с короткой базой для определения и передачи значения звукового давления в условиях распространяющегося акустического поля в воде на частотах от нескольких сот Гц до нескольких кГц. Отмечается, что при использовании приемника Зверева-Калачева в больших гидроакустических бассейнах требуется только контролировать относительные акустические величины и измерять значения фазовой модуляции тональной накачки, плотности воды, скорости звука, длин баз и углов поворота базы приемника относительно низкочастотного излучателя в условиях организации фиксированной базы между приемником и излучателем. Полученные результаты показывают возможность применения параметрического приемника Зверева-Калачева в качестве

устройства передачи значения звукового давления традиционным гидрофонам.

12:50–13: 05

13. СОПОСТАВЛЕНИЕ ДВУХ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВУКА, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ

Железный В.Б.

АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург; E-mail: mail@oceanpribor.ru

Рассматриваются две модели описания параметрического излучения звука при взаимодействии сферически расходящихся волн накачки. Для определения давления сигнала разностной частоты на оси круглого плоско-поршневого излучателя накачки одна из моделей использует предположение о последовательном преобразование части энергии расходящихся волновых фронтов накачки в волновой фронт разностной частоты, а другая модель использует интегрирование виртуальных источников в расходящихся пучках (развитие модели Зверева-Калачева). Показано, что полученные по этим моделям значения давления на разностных частотах заметно различаются. По результатам моделирования можно отметить, что описание параметрического излучения звука по-прежнему остается сложной физической задачей, вследствие чего требуется проведение дальнейших исследований по развитию и сопоставлению основных моделей параметрических излучающих антенн.

13:05–13: 20

14. ПРИМЕНЕНИЕ КЕПСТРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЭХОСИГНАЛОВ ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АНТЕНН

Кириченко И.А., Старченко И.Б., Вишневецкий В.Ю.

Южный федеральный университет, Таганрог, ООО Параметрика, Таганрог,

E-mail: ibstarchenko@gmail.com

При разведке донных отложений важной задачей является детерминирование границ слоистой структуры. Эхоимпульс является суперпозицией отражений от нескольких границ раздела и акустическая ситуация становится неинформативной. При перекрытии эхосигналов от различных границ, превышающем 50% от длительности импульса, был применен метод кепстрального анализа отраженных сигналов. Кепстр эхосигнала от слоистой структуры позволил выделить моменты прихода составляющих отражений. Показано, что кепстр низкочастотного эхоимпульса позволяет однозначно определить момент прихода эхосигнала от второй границы раздела при

перекрытии меньше 90%. Введение обработки эхоимпульса прямоугольным окном позволяет существенно повысить помехоустойчивость кепстра эхоимпульса.

Секция БИО (2) — Биомедицинские приложения**Зал № 2**

Руководитель Сапожников Олег Анатольевич,

*E-mail: oleg@acs366.phys.msu.ru***9:00–9:15****1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОРОГИ СЛУХА ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ И НЕПОДВИЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА ДЛЯ РАССТОЯНИЙ, ТИПИЧНЫХ ПРИ КОММУНИКАЦИИ**

Ситдигов В.М., Гвоздева А.П., Андреева И.Г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, г. Санкт-Петербург; E-mail: sitvlad@mail.ru

Выполнена оценка порогов пространственного слуха на расстояниях 1–4 м типичных для коммуникации. Исследование проведено в условиях свободного поля в звукоизолированной анэхоидной камере с участием группы из 20 взрослых испытуемых с нормальным слухом. Изменение положения неподвижного широкополосного источника или его движения по радиальной координате моделировалось путем разнонаправленных изменений интенсивности звука одновременно на двух динамиках, расположенных напротив испытуемого на разных расстояниях. Измерения величины порогов были проведены адаптивным психоакустическим методом. Средние по группе значения порогов по расстоянию для неподвижного и движущегося источников звука составили 9 и 14% и согласуются с результатами полученными методом постоянных рядов, применявшимся ранее.

9:15–9:30**2. ДИНАМИКА ТАКТИЛЬНОЙ И БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПАЛЬЦЕВ РУК СТУДЕНТОВ – МЕДИКОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ МАНУАЛЬНЫМ ТЕХНИКАМ**

Вартанян И.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург; E-mail: vart939@mail.ru

Исследование с помощью высокочастотного фокусированного ультразвука (2.67 мГц) показало статистически значимые изменения тактильной и болевой чувствительности пальцев рук студентов медиков в процессе профессионального обучения. Исходная пороговая тактильная и болевая чувствительность, а также ее динамика в процессе обучения была различной у мужчин и женщин. Асимметрия тактильной и болевой чувствительности,

обнаруженная у мужчин, после обучения сохранилась или увеличилась. Более чем у половины женщин до обучения асимметрия тактильной и болевой чувствительности не выявлена. Однако после обучения у женщин также обнаружена асимметрия тактильного и болевого восприятия. Полученные данные свидетельствуют о том, что в процессе обучения мануальным техникам изменяются центральные механизмы регуляции сенсорной чувствительности. Результаты дают основания полагать, что тактильная и болевая чувствительность регулируются различными полушарными механизмами. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №18-015-00188) и федерального бюджета и по госзаданию на 2018-2020 гг. (№ регистрации темы АААА-А18-118013090245-6).

9:30–9:45

3. ВЛИЯНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМА НА СЛУХОВЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ СТВОЛА МОЗГА МЫШИ

Акимов А.Г., Егорова М.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург; E-mail: agakimov@yandex.ru

С целью подбора параметров экспериментальной модели нейросенсорной тугоухости выполнено исследование эффектов продолжительного воздействия белого шума на слуховые потенциалы ствола мозга (СВП) домовой мыши, вызванные звуковыми щелчками. Уровень шума составлял 107 дБ УЗД, продолжительность воздействия 3, 6 или 14 часов. Озвучивание мышей в течение трех – шести часов приводило к повышению порогов СВП в среднем на 20 дБ. Амплитуда пиков СВП при этом уменьшалась в 2–2.5 раза. Шумовое воздействие в течение 14-ти часов вызывало существенную потерю слуха экспериментальных животных. Пороги СВП увеличивались не менее чем на 40 дБ, вплоть до полной глухоты. Амплитуда пиков СВП падала в 5–10 раз. Работа выполнена при поддержке федерального бюджета по госзаданию на 2018–2020 гг. (№ регистрации темы АААА-А18-118013090245-6).

9:45–10:00

4. СТИМУЛ-СПЕЦИФИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ В РЕАКЦИЯХ НЕЙРОНОВ ВЫСШИХ СЛУХОВЫХ ЦЕНТРОВ МОЗГА МЫШИ

Егорова М.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург; E-mail: ema6913@yandex.ru

Выполнено нейрофизиологическое исследование стимул-специфической адаптации нейронов слухового центра среднего мозга и слуховой коры домовой

мышь. Мышам предъявляли на фоне адаптации к последовательности из четырех идентичных тональных сигналов, имитирующих временную структуру серий криков дискомфорта мышат, пятый стимул, отличающийся от первых четырех по частоте. У половины исследованных нейронов, как в слуховом центре среднего мозга, так и в первичных полях слуховой коры это приводило к освобождению от адаптации в ответах на пятый стимул, т.е. величина ответа на пятый стимул превышала ответы на второй - четвертый стимулы. Обсуждается роль стимул-специфической адаптации в реакциях на новизну, в том числе в ориентировочных реакциях на звук. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-015-00188) и федерального бюджета по госзаданию на 2018-2020 годы (№ регистрации темы АААА-А18-118013090245-6).

10:00–10:15

5. АКУСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОКАЛИЗАЦИЙ ДОМОВОЙ МЫШИ (MUS MUSCULUS)

Лупанова А. С., Егорова М.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург; E-mail: aslupanova@gmail.com

В работе выполнен спектрально-временной анализ низкочастотных вокализаций домовой мыши – гибридов линий СВА и C57BL/6. Произведена аудио-видео регистрация акустического поведения мышей при имитации элементов агонистического, полового и родительского поведения. Выполнен акустический анализ более 1500 криков 32 половозрелых мышей (14 самцов и 18 самок) и 57 мышат. По результатам спектрально-временного анализа выявлены наиболее стабильные характеристики всех исследованных низкочастотных сигналов: высокая интенсивность, гармонический каркас крика, число основных формант (3-5), сосредоточение основной энергии сигнала в полосе частот до 35 кГц, расположение основной частоты в низкочастотном диапазоне слуховой чувствительности мыши (2–5 кГц). Обсуждается становление вокального репертуара и роль низкочастотных вокализаций в акустическом поведении мышей.

10:15–10:30**6. МЕХАНИЗМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРАСТА ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ БИОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ И РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ**

Мороков Е.С., Демина В.А., Седуш Н.Г., Храмцова Е.А., Григорьев Т.Е., Левин В.М., Чвалун С.Н.

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва; НИЦ «Курчатовский институт», Москва; E-mail: es_morokov@yahoo.com

Визуализация процессов деградации полимеров является одной из привлекательных возможностей применения высокочастотных ультразвуковых методов (100, 200 МГц), обеспечивающих визуализацию объемной микроструктуры и оценку упругих свойств. В работе представлены результаты исследования биоразлагаемых полимеров на протяжении 6 месяцев гидролиза. Показано, что аморфная и кристаллическая фазы, внутренние дефекты, вариации плотности упаковки и другие особенности микроструктуры полимеров, изменяющиеся в течение гидролиза, влияют на упругие характеристики и механизмы акустического контраста при ультразвуковой визуализации. Эволюция внутренней микроструктуры и изменения скоростей продольных и поперечных волн сопоставлялись с изменениями молекулярной массы, плотности, данными ДСК и рентгеновского анализа. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-00133).

10:30–10:45**7. РАССЕЯНИЕ ОПТОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА МОДЕЛЯХ ЭРИТРОЦИТОВ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ С КОНТРАСТНЫМИ НАНОАГЕНТАМИ**

Кравчук Д.А., Старченко И.Б., Орда-Жигулина Д.В., Воронина К.А.

Южный федеральный университет, Таганрог; ООО Параметрика, Таганрог;

Южный научный центр Российской академии наук, Таганрог;

E-mail: mail@mail.ru

Оптоакустика является перспективным направлением в неинвазивных исследованиях внутренних тканей биообъектов. Цель данного исследования состоит в исследованиях возможностей оптоакустического метода по определению свойств эритроцитов крови и их количественному содержанию в крови. Проведено математическое моделирование эритроцитов различной формы и разработаны теоретические модели рассеянных оптоакустических сигналов. Проведены экспериментальные исследования формирования оптоакустического сигнала в жидкостях, содержащих модели эритроцитов в виде полистирольных сфер и дисков. В качестве контрастных агентов использованы углеродные наночастицы, иммобилизированные к моделям

эритроцитов. Полученные профили акустических сигналов для серии лазерных импульсов позволяют сделать вывод о возможности оценок качественного и количественного состава эритроцитов в облучаемой лазером жидкости.

10:45–11:00

8. ВЛИЯНИЕ МОЩНЫХ КОМПАКТНЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА МОРСКИЕ СВЕЯЩИЕСЯ ПЛАНКТОННЫЕ ВИДЫ

Бритенков А.К., Машукова О.В., Боголюбов Б.Н., Силаков М.И., Речкин А.И. ФГБНУ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; ФГБУН ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь; ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород; E-mail: olgamashukova@yandex.ru

«Акустическое загрязнение» является опасной антропогенной нагрузкой на экологию Мирового океана. Гидроакустические излучатели используются для целей дальней связи, телеуправления и для проведения геолого-, сейсмо- и рыбопромысловой разведки. В обеспечении коммуникации с подводными объектами и радиобуями используют мощные низкочастотные излучатели. Воздействие низких частот на гидробионтов практически не изучено. Целью данной работы является разработка методики изучения влияния низкочастотного мощного излучения на планктонные морские организмы путем исследования параметров биолуминесценции, являющейся одним из индикаторов функционального состояния светящихся планктонных организмов.

11:00–11:2 — ОКОФЕ-БРЕЙК

11:20–11:35

9. АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА VERASONICS С ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ: ФИЗИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ

Демин И.Ю., Лисин А.А., Спивак А.Е.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород; E-mail: demin@rf.unn.ru

Исследовательская акустическая система Verasonics с открытой архитектурой была разработана как удобный инструмент для передачи, приёма и обработки ультразвуковых сигналов. Все аспекты современных ультразвуковых систем представлены пользователю для создания новых методов сбора и обработки ультразвуковых сигналов в задачах медицинской акустики. Основным достоинством системы Verasonics является то, что она предоставляет широкие

возможность исследователю как в разработке новых методов формирования ультразвуковой волны настраиваемыми массивами преобразователей, так и создание новых алгоритмов обработки изображений, используя среду программирования MATLAB. Приведены результаты по физическому и численному моделированию эволюции сдвиговых волн в мягких биологических тканях применительно к новому ультразвуковому диагностическому методу в медицине - эластографии сдвиговых волн. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№18-42-520056).

11:35–11: 50

10. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ЭЛАСТОГРАФИИ СДВИГОВОЙ ВОЛНОЙ: СОПОСТАВЛЕНИЕ КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СКАНЕРОВ И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ VERASONICS С КАЛИБРОВАННЫМИ ФАНТОМАМИ

Демин И.Ю., Гурбатов С.Н., Лисин А.А., Спивак А.Е., Рыхтик П.И., Сафонов Д.В.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород; Приволжский окружной медицинский центр ФМБА России, Нижний Новгород; Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород; E-mail: demin@rf.unn.ru

С использованием калиброванных фантомов — CIRS Model 049 Phantom Spherical и фантом молочной железы BP1901 — проведена сравнительная оценка точности выполнения эластографии сдвиговой волной ультразвуковыми сканерами разных производителей — Aixplorer (Supersonic Imagine, Франция) и Acuson S2000 (Siemens, Германия). Для всех сканеров попарно определены формулы пересчета значений модуля Юнга E и скорости сдвиговых волн V . Рассмотрены два метода эластографии: точечная — point Shear Wave Elastography и двухмерная эластографии сдвиговой волной — two dimensional Shear Wave Elastography. Проведено сопоставление с результатами физического моделирования, выполненными на акустической системе Verasonics (Verasonics Inc., США). Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№18-42-520056).

11:50–12: 05**11. ДИАГНОСТИКА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ МЕТОДОМ ЭЛАСТОГРАФИИ СДВИГОВОЙ ВОЛНЫ**

Иванова А.Д., Камалов Ю.Р., Крит Т.Б.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия; ФГБНУ "РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского",
E-mail: timofey@acs366.phys.msu.ru

С помощью стандартного ультразвукового оборудования измерен модуль сдвига в двуглавых мышцах плеч добровольцев при нагрузках от 0 до 50 Н. Измерения проведены методом эластографии сдвиговой волны в клинике в соответствии с медицинским протоколом. Для создания нагрузки испытуемый удерживал спортивный снаряд известной массы. При помощи ультразвукового датчика в мышце возбуждалась сдвиговая волна на заданной глубине. Регистрировалась скорость сдвиговой волны в сечении мышцы, определяемом положением датчика. Измеренный методом эластографии модуль сдвига мышечных волокон растёт при увеличении нагрузки от 10 до 60 кПа и возвращается к 10 кПа спустя 1 мин после снятия нагрузки. Измерены карты распределения модуля сдвига вблизи точек измерения скоростей.

12:05–12:20**12. ИЗМЕРЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЛОЖЕННОЙ НАГРУЗКИ, НЕИНВАЗИВНЫМ СПОСОБОМ**

Крит Т.Б.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия; E-mail: timofey@acs366.phys.msu.ru

Скелетные мышцы в организме человека отвечают за выполнение всех видов произвольных движений тела и его частей. Сокращение мышц — жизненно важная функция организма, необходимая для поддержания пищевых, дыхательных, двигательных и других ключевых физиологических процессов. В организме человека более 600 скелетных мышц. Они составляют от 30 до 50 процентов массы тела. Диагностика мышц позволяет выявить патологии и последствия травм, чтобы своевременно приступить к их лечению. Проведён сравнительный анализ разработанных нами неинвазивных методов диагностики скелетных мышц, а также сравнение этих методов с признанными эталонами. Продемонстрирована работоспособность предложенных методов. На примере двуглавой мышцы плеча измерена зависимость модуля сдвига от приложенной к мышце нагрузки.

12:35–12:50

**13. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ
КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ТЕРМОТОМОГРАФИИ С ФОКУСИРОВКОЙ**

Дмитриев К.В., Юрченко С.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;
kdmtriev@aesc.msu.ru; burov@phys.msu.ru

Экспериментально реализована корреляционная схема акустической пассивной томотографии. Метод основан на измерении слабого собственного шумового акустического излучения нагретого объекта. Для корреляционной схемы с двумя приемниками, фокусированными на общий элемент разрешения, экспериментально восстановлено динамическое изменение температуры модельного объекта. В этом же эксперименте измерена взаимная относительная АЧХ приёмников на основе полученного полезного коррелированного термоакустического сигнала. Она позволяет создать оптимальный фильтр для входящего сигнала. Получена высокая разрешающая способность корреляционной схемы, позволяющая рассматривать элемент разрешения с линейными размерами 2–3 мм на глубине около 10 см, в отличие от интенсификационного метода, основанного на регистрации мощности сигнала одним приемником.

12:35–12: 50

**14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОГО РАСХОДА КРОВИ В
КРОВЕНОСНОМ СОСУДЕ ПО СОБСТВЕННЫМ ЧАСТОТАМ
ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Тимербулатов Ш.В., Хакимов А.Г.

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа; Института механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, Уфа; E-mail: hakimov@anrb.ru

Исследованы собственные изгибные колебания кровеносного сосуда с движущейся кровью, находящегося под действием растягивающей силы и давления в сосуде. Кровеносный сосуд находится в упругой среде под давлением и действием растягивающей силы. Используется уравнение изгибных колебаний кровеносного сосуда по модели Кирхгоффа. С помощью формул Феррари определяются волновые числа, а используя граничные условия находится частотное уравнение. Получено, что с увеличением силового параметра частоты изгибных колебаний увеличиваются. Показано, что с увеличением массы кровеносного сосуда с жидкостью на единицу длины происходит уменьшение собственных частот изгибных колебаний сосуда. По двум частотам изгибных колебаний можно определить скоростной параметр, относительную массу крови на единицу длины кровеносного сосуда и как следствие массовый расход крови

по кровеносному сосуду. Полученные результаты могут быть использованы для акустического метода определения скорости крови, относительной массы крови на единицу длины кровеносного сосуда и массового расхода крови по кровеносному сосуду.

12:50–13: 05

15. ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО КРОВОТОКА ПРИ КОМПРЕССИИ

Ерофеев А.В., Аносов А.А., Субочев П.В., Шаракишанэ А.А., Щербаков М.И. Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, г.Москва; ИПФ РАН, г.Нижний Новгород; ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г.Москва;
E-mail: aastroragat@gmail.com

Проведено исследование изменений поверхностного кровотока ладони при компрессии. Измерения проводились различными методами: с помощью оптоакустического (ОА) микроскопа, разработанного в ИПФ РАН (Нижний Новгород), и с помощью ИК-термографа (ООО "Иртис", Москва). ОА визуализация позволила провести высококонтрастную ангиографию с субмиллиметровым пространственным разрешением на глубине до 2 мм. При компрессии ладони сосуды на ангиографических изображениях начинали пропадать. При критической степени сжатия сосуды пропадали совсем. ИК-термометрия дает информацию температуру тела на глубине до 0.1 мм. Эта температура определяется в основном кровотоком на поверхности кожи. При компрессии ладони ее поверхностная температура снижалась, причем, чем больше было давление, тем сильнее снижалась температура. Таким образом, результаты, полученные разными методами, коррелировали. Также мы оценивали, в какой мере изменения поверхностного кровотока влияют на глубинный кровоток. Эту информацию можно получить, измеряя глубинную температуру тела человека. Для этой цели использовали пассивную акустическую термометрию. Эксперимент не показал существенных изменений глубинной температуры ладони при ее компрессии.

13:05–13: 20

16. АНАЛИЗ ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ БЕДСТВИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПТИЦ

Силаева О.Л., Вараксин А.Н. Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ), Москва; E-mail: silaeva.o@gmail.com; var1961@mail.ru

Исследованы ритмические структуры сигналов бедствия опасных для полётов авиации видов птиц. Известно, что используемые в аэродромной среде для управления поведением птиц сигналы с урезанными паузами не дают

длительного положительного эффекта. Выявлены значительные видовые различия в структурах «импульс–пауза», что свидетельствует об информационной значимости этих структур для птиц. Анализ просодических характеристик сигнала необходим также для создания универсального синтезированного сигнала управления поведением смешанных стай птиц. Начаты экспериментальные работы по изучению воздействия на птиц естественных сигналов бедствия скворцовых, чайковых и врановых на основе новейшего звуковоспроизводящего оборудования АИ–300 для последующего использования результатов не только в авиационной экологии, но и в других эколого-хозяйственных ситуациях.

Секция РД — Распространение и дифракция волн**Зал № 3**

Руководитель, Миронов Михаил Арсеньевич,

*E-mail: mironov_ma@mail.ru***9:00–9:15****1. ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ РАССЕЯНИЯ ДЛЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МАЛОГО ВОЛНОВОГО РАЗМЕРА**

Дмитриев К.В., Румянцева О.Д., Фадеев Е.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва:

E-mail: kdmitrie@aes.msu.ru, ruburov@phys.msu.ru

Акустическое поле, рассеянное на неоднородности малого волнового размера, состоит преимущественно из монопольной и дипольной компонент. Они могут быть описаны введенными комплексными коэффициентами рассеяния. Установлено, что область допустимых значений каждого из этих компонент представляет собой круг при наличии поглощения и окружность — в его отсутствии. Решение обратной задачи для рассматриваемого класса неоднородностей может сталкиваться с проблемами, вызванными рассеянием назад. В результате избыточно расширяется пространственный спектр рассеивателя, и превносится ошибка в результаты восстановления. На комплексной области установлены множества значений коэффициента рассеяния, для которых этот эффект проявляется в наибольшей степени, а также области устойчивого восстановления.

9:15–9:30**2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ В ОКЕАНИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ**

Красулин О.С., Шуруп А.С.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; Институт физики

Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва; *E-mail: krasulin.os15@physics.msu.ru*

Акустические методы являются основными при исследовании процессов, протекающих в толще неоднородного движущегося океана. Среди этих методов акустическая томография занимает особое место, так как позволяет получать оперативную информацию о параметрах океана в региональном и глобальном масштабах, что обладает весомым преимуществом по сравнению с контактными методами измерений. Однако большинство практических

методов акустической томографии являются приближенными, что ограничивает область их возможного применения. В работе рассматривается трехмерная модель модовой томографии океана не требующая ни построения матриц возмущений, ни привлечения дополнительных процедур регуляризации. Восстановление основано на функционально-аналитическом алгоритме Новикова-Сантацесариа и использовании функций Карунена-Лоэва. Приводятся результаты численного моделирования, указывающие на перспективность развиваемого подхода.

9:30–9:45

3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ

Пересёлков С.А., Казначеева Е.С., Кузькин В.М., Ткаченко С.А.
Воронежский государственный университет, Воронеж, Институт общей
физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, Москва,
E-mail: pereselkov@yandex.ru; el.kaznacheeva@gmail.com; kumiov@yandex.ru

Приведены результаты анализа частотно-временной структуры звукового поля. Обсуждены возможности реализации интерферометрического метода обработки звукового поля для локализации источника звука. Сформулированы условия разрешения соседних фокальных пятен голограммы. В зависимости от передаточной функции волновода они накладывают ряд ограничений на выбор ширины полосы и время наблюдения, а также на радиальную скорость и удаленность источника, обеспечивающих применимость метода. Предложены два варианта исполнения метода, не требующих информации о передаточной функции волновода, которые реализуются на основе измерений пеленга и частотных сдвигов интерференционных максимумов между двумя разнесенными приемниками. Эти измерения на этапе обнаружения позволяют определять характеристики передаточной функции волновода, связывающие положения максимумов фокальных пятен с радиальной скоростью и удаленностью источника. Получена оценка максимальной удаленности источника, при которой сохраняется работоспособность метода. Приведены результаты численного моделирования, иллюстрирующие работоспособность метода в условиях отсутствия знания о характеристиках среды распространения.

9:45–10:00**4. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ СТРУКТУРА ШУМОВОГО ПОЛЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ**

Пересёлков С.А., Кузькин В.М., Кузнецов Г.Н., Рыбьянец П.В., Куцов М.В.
Воронежский государственный университет, Воронеж, Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, Москва,
E-mail: kumiov@yandex.ru; pereselkov@yandex.ru

Приведены результаты экспериментального и аналитического исследования интерференционной структуры шумового поля движущегося источника зарегистрированного одиночной цилиндрической малогабаритной векторно-скалярной антенной. В работе для анализа используется частотно-временная обработка, согласованная с пространственной интерференционной структурой, формируемой прямым и отраженным от свободной поверхности сигналами. Дано качественное и количественное объяснение экспериментальным данным. Получены зависимости от времени пеленга, радиальной скорости, удаленности и глубины источника. Для оценки дальности и глубины используется лучевая (двухлучевая) модель. Показано, что в соответствии с особенностями интерферометрической структуры на голограмме формируемой звуковым полем фокусируется звуковая энергия, которая эффективно накапливается в течение достаточно длительного интервала времени в широком диапазоне частот.

10:00– 0:15**5. ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ ИНТЕНСИВНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ОКЕАНИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ**

Пересёлков С.А., Badiey M., Казначеева Е.С., Кузькин В.М., Малыхин А.Ю.
Воронежский государственный университет, Воронеж, Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, Москва, University of Delaware, Newark, USA; kumiov@yandex.ru; badiey@udel.edu; pereselkov@yandex.ru; el.kaznacheeva@gmail.com; al_and@inbox.ru

Приведены результаты анализа распространения звукового поля в условиях гидродинамической изменчивости, обусловленной интенсивными внутренними волнами на океаническом шельфе. Исследована частотно-временная структура звукового поля в точке приема при наличии интенсивных внутренних волн, распространяющихся под различными углами к акустической трассе. Представлены результаты обработки данных эксперимента SWARM-95 на двух стационарных трассах, когда интенсивные внутренние волны приводили к горизонтальной рефракции и взаимодействию мод акустического поля источника. Двукратным преобразованием Фурье

интерференционной картины (интерферограммы), формируемой источником, на голограммах получены отдельные области локализации спектральной плотности в форме фокальных пятен, вызванные невозмущенным и возмущенным полями. Фильтруя эти области, и применяя к ним обратные двукратные преобразования Фурье, реконструированы интерферограммы этих полей. Это позволило восстановить передаточную функцию невозмущенного волновода и временную изменчивость океанической среды. По голограмме возмущенного поля оценена скорость распространения интенсивных внутренних волн. На основе результатов обработки предложен метод передачи неискаженного модуля спектра источника на фоне неоднородностей океанической среды.

10:15–10:30

6. ШИРОКОУГОЛЬНЫЕ МОДОВЫЕ ПАРАБОЛИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В АКУСТИКЕ МЕЛКОГО МОРЯ

Петров П.С., Ehrhardt Matthias, Тыщенко А.Г.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН; BergischeUniversitaetWuppertal; Дальневосточный федеральный университет; petrov@poi.dvo.ru

Обсуждается методика численного решения задач акустики мелкого моря с помощью модовых уравнений однонаправленного распространения в адиабатическом приближении. Данные уравнения могут быть решены с использованием метода SSP, однако при этом необходимо правильным образом выбрать начальные условия и установить искусственные границы расчетной области. В докладе обсуждаются используемые при этом математические методы, а также результаты расчетов в конкретных тестовых задачах акустики. Предлагается несколько вариантов стартеров, позволяющих моделировать точечный источник звука. Рассматриваются варианты решения ограничения расчетной области с использованием поглощающих слоев (PML) и условий прозрачной границы.

10:30–10:45

7. КОРРЕКТНАЯ ПОСТАНОВКА ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ПЕКЕРИСА И ЕЁ РЕШЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КЛАССАХ ФУНКЦИЙ

Злобина Н.В., Касаткин Б.А., Касаткин С.Б.

Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток; E-mail: zlobina@marine.febras.ru

В работе проанализирована граничная задача Пекериса. Рассмотрены особенности решения этой граничной задачи на примерах работ Бреховских Л.М, Крупина В.Д., Завадского В.Ю. и Gao Tain-Fu - Shang E.C.

Исследован вопрос о соответствии указанных решений друг другу и вопросы корректности исходной постановки граничной задачи. Приведена классификация решений граничной задачи, полученных в различных модельных постановках, выполнена сравнительная оценка этих решений и представлены компьютерные модели звуковых полей, иллюстрирующие характерные особенности решений, полученных в соответствии с различными модельными постановками.

10:45–11:00

8. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ОБЪЕКТАХ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В., Коновалов Г.Е.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск;

E-mail: baev@iaph.bas-net.by

Выявлены закономерности формирования в объеме выступа поля краевых поперечных и продольных волн, генерируемых в результате рассеяния на радиусном переходе волны Рэлея, при варьировании безразмерного радиуса радиусного перехода (0–10,4), частоты волны (1–5 МГц), формы выступа, а также определены соответствующие коэффициенты трансформации мод. Установлено, что результирующее поле поперечной моды является суперпозицией поля сопутствующей, а также двух краевых мод, использование которых позволяет дистанционно выявлять в подобных объектах потенциально опасные дефекты со слабой отражающей способностью. Определены коэффициенты трансформации и прохождения волн Рэлея и Стоунли при наличии на объекте призматического тела разной геометрии и тонкого контактного слоя смазки, включая изменение ее фазового состояния.

11:00–11:20 — КОФЕ-БРЕЙК

11:20–11:35

9. ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ЦУНАМИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ВЗАИМНОСТИ

Королев Ю.П.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск;

E-mail: Yu_P_K@mail.ru

Цунами — волны в океане, описываемые уравнениями мелкой воды, сводящимися к волновому уравнению двух пространственных переменных с переменными коэффициентами. Несмотря на успехи в численном моделировании, численные расчеты не могут быть применимы в оперативном

режиме для краткосрочного прогноза цунами. Проблема оперативного прогноза является одной из главных проблем цунами. Задача в потребительской постановке формулируется следующим образом: по данным о цунами в одной точке в океане рассчитать форму ожидаемого цунами в заданном пункте вблизи побережья. Способ решения задачи основан на применении принципа взаимности. Способ оперативного прогноза цунами использует сейсмологические данные только о времени начала и координатах эпицентра землетрясения. Прогноз выполняется с заблаговременностью, достаточной для принятия решения и объявления тревоги только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную угрозу.

11:35–11:50

10. ЗВУК УДАРА ПО ТОНКОМУ ЛЬДУ - ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СИНХРОНИЗМА ВОЛН В ТОНКОМ СЛОЕ ЛЬДА И В ВОЗДУХЕ

Миронов М.А., Шанин А.В.

Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева, Москва; Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва;
E-mail: mironov_ma@mail.ru

Рассматривается излучение звука в воздух пластиной, возбужденной коротким ударом. Вследствие дисперсии широкополосный импульс изгибных волн, распространяющихся по пластине, содержит, в частности, волны, имеющие фазовую скорость звука, равную/близкую к скорости звука в воздухе. Эти волны эффективно излучают квазитональный звук. Приведены записи звука, создаваемого ударом по тонкому льду замерзшего водоема. Дано теоретическое описание этого эффекта и сопоставление теории и эксперимента.

11:50–12:05

11. ЗАТУХАНИЕ ВОЛН В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КЛИНЕ С ЖИДКОСТЬЮ

Коробов А.И., Агафонов А.А., Изосимова М.Ю., Кокшайский А.И., Жостков Р.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва;
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН;
E-mail: agafonov.alexander94@gmail.com

Представлены результаты исследований особенностей распространения клиновых волн в цилиндрических клиньях из сплава алюминия, граничащих с жидкостью, методом сканирующей лазерной виброметрии. Наличие жидкости, контактирующей с одной из границ образца, приводит к увеличению затухания, вследствие возможности «вытекания» клиновой волны в

продольную волну в жидкости. Проведено сравнение результатов эксперимента с результатами численного моделирования методом конечных элементов. Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 17-02-01123 А.

12:05–12:20

12. ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ВОЛНОВОДА ПЕКЕРИСА ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ АКУСТИКИ МЕЛКОГО МОРЯ МЕТОДОМ СОГЛАСОВАННОГО ИМПУЛЬСНОГО ПОЛЯ

Лисиутин В.А., Маленко Ж.В., Ярошенко А.А.

Филиал ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова в г. Севастополь»; Севастопольский государственный университет, Севастополь; E-mail: vlisiutin@mail.ru

Основная модель волновода мелкого моря — модель Пекериса. Для решения задач инверсии характеристик дна часто применяется метод согласования модельного и экспериментально измеренного закона дисперсии мод или закона изменения амплитуды импульсного поля. При этом полагается, что скорость звука в дне постоянна, дисперсии нет, а коэффициент затухания пропорционален частоте. Для проверки адекватности модели дна без дисперсии выполняются сравнительные расчеты импульсной характеристики волновода для двух моделей дна — жидкое дно без дисперсии и пористое дно с дисперсией и переменной добротностью. Показывается, что для волновода с глубинами 3–30 м модель дна без дисперсии вполне адекватна, для волновода с глубинами 30–200 м неадекватна.

12:20–12:35

13. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ С УПРУГИМИ СТЕНКАМИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ВОЛНЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Попов Ю.Н. Румянцев К.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», доцент Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; ФГУП «Крыловский государственный научный центр»; 2360460yk@gmail.com

Рассматривается задача о формировании и распространении акустических волн в волноводе ограниченных размеров при его возбуждении механической системой на одном из концов. Построена конечноэлементная модель волновода с излучателем, представляющим механическую систему с сосредоточенными параметрами, для моделирования акустического поля,

создаваемого отдельными элементами акустических приборов. Проведена верификация на примере классической задачи о возбуждении поля колеблющимся диском. Выполнен анализ формируемого акустического поля вблизи излучателя с учетом характеристик излучателя и импедансных условий на стенках волновода.

12:35–12: 50

14. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА В НЕСТАЦИОНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ

Миронов М.А., Пятаков П.А., Шуляпов С.А.

АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева». Москва;

E-mail: ppyatakov@mail.ru

Экспериментально исследовано влияние искусственного уменьшения длительности реверберационного отклика на время и радиус корреляции принимаемых сигналов в нестационарном волноводе. Показано, что уменьшение длительности анализируемого сигнала в образце из стали от 30 мс до величин порядка нескольких миллисекунд не приводят к существенным изменениям в величине радиуса корреляции, но заметно увеличивает время корреляции, что улучшает в случаях сильной нестационарности волновода надежность определения местоположения источника акустической эмиссии. Продемонстрирована также возможность увеличения пространственного разрешения при обработке искусственно укороченных импульсов в условиях использования многоканального (двухканального) приема. Полученные результаты могут найти применение в области акустико-эмиссионного контроля образцов, подвергаемых сильным внешним воздействиям, например, во время сварки.

12:50–13: 05

15. СИНТЕЗ ПЛАНАРНЫХ РАЗРЕЖЕННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПЕЛЕНГАЦИИ

Родионов А.А., Савельев Н.В.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;

E-mail: saveliyev@appl.sci-nnov.ru

В работе исследованы возможности неэквидистантных разреженных планарных антенных решеток (АР) для решения задач обнаружения и оценки параметров источников. Для синтеза неэквидистантных АР с желаемыми характеристиками применен предложенный ранее для линейных АР метод, основанный на случайных бросаниях положения элементов при фиксации среднего межэлементного расстояния. Показано, что этот метод позволяет успешно синтезировать и планарные разреженные антенны, для которых при

незначительном увеличении отношения «сигнал-шум», характеристики обнаружения сохраняются такими же, что и для эквидистантной антенны, а точность пеленгации растёт пропорционально увеличенному размеру решетки. Для количественного описания возможностей планарной разреженной антенной решётки в работе используется ранее предложенная характеристика — вероятность обнаружения и оценки и указана методика её расчёта.

13:05–13:20

16. ШУМОПЕЛЕНГАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ С ПОМОЩЬЮ РЕШЕТОК МИКРОФОНОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Бархоткин А.А., Дмитриев В.А., Кутузов Н.А., Родионов А.А., Семенов В.Ю.
АО «ФНПЦ «НИИРТ», Нижний Новгород; Институт прикладной физики,
Нижний Новгород; alexr@appl.sci-nnov.ru

Рассмотрена возможность пеленгации источников звука с помощью микрофонных антенных решеток, установленных на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). В качестве основной проблемы при решении указанной задачи рассматривалось наличие мощной акустической помехи, связанной с работой двигателя БПЛА. В работе предложен алгоритм подавления такой помехи в предположении, что сигнал помехи отличается для разных микрофонов лишь задержкой и амплитудой. Предложенный алгоритм основан на использовании метода максимального правдоподобия в предположении, что полезный сигнал, как и помеха, представляет собой детерминированный процесс с неизвестной временной формой. Предложенный алгоритм был исследован как на численных моделях, так и на экспериментальных сигналах от разных БПЛА.

СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ

РД-1

17. ЗВУКОВОЕ ПОЛЕ В МОРСКОМ ВОЛНОВОДЕ С НЕОДНОРОДНОЙ СКОРОСТЬЮ ЗВУКА ПО ГЛУБИНЕ И ТРАССЕ

Папкина Ю.И.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь;
E-mail: yulia.papkova@gmail.com

При волноводном распространении звука в морской среде одной из основных характеристик является скорость звука. В гидрофизических волноводах скорость звука является главным образом функцией глубины, радиальная координата вносит поправки второго порядка малости. Тем не менее, в ряде случаев возможны существенные изменения характеристик волновода по

радиальной координате, например в результате влияния антропогенных факторов, течений и др. В представленной работе строится аналитическое представление для звукового поля точечного источника в плоскостойском морском волноводе, имеющем неоднородную скорость звука по глубине и трассе волновода. Данное решение строится на основе декомпозиции области волновода на цилиндрические области, допускающие построение аналитического решения уравнения Гельмгольца. Приводятся результаты численного моделирования, дается анализ влияния неоднородности на характеристики звукового поля.

РД-2

18. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДЛЕДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА НА МЕЛКОВОДЬЕ

Горовой С.В.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток;

E-mail: GorovoySV@mail.ru

Описана методика проведения и результаты исследования распространения звука от ненаправленного источника под зимним льдом в диапазоне частот 300–5000 Гц в одной из бухт залива Петра Великого Японского моря. Глубина места в районе исследований при удалении от берега свыше 500 м достигает 10 м и более, дно – песок, водоросли, толщина льда до 1 м. Приведены результаты анализа зависимости от частоты уровней сигналов, зарегистрированных вблизи берега расположенными вертикально в водном слое глубиной 4 м гидрофонами при различных расстояниях до источника излучения и глубинами его погружения.

Секция АОК — Акустика океана**Зал № 4**

Руководитель, Малый Владимир Владимирович, v_malyj@rambler.ru

9:00–9:20

**1. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО
ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В КАНАЛЕ С ПРЕПЯТСТВИЕМ**

Карпенко А.Г.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;

E-mail: aspera.2003.ru@mail.ru

Производится численный расчет течения воды в круглой трубе с установленной поперек потока балкой. Для моделирования турбулентности используется гибридный метод DDES, что позволяет получить подробное нестационарное поле пульсаций давления в любой точке течения, в том числе и на стенках канала. Произведен спектральный анализ пульсаций давления на стенках и получены амплитуды пульсаций в каждой точке поверхности при различных частотах. Эти данные могут быть использованы для определения гидродинамического шума, а так же как входные для моделирования виброшумовых характеристик течения в канале.

9:20–9:40

**2. КОЛЕБАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ В ЖИДКОСТИ,
ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ДИСКРЕТНЫМИ СИЛАМИ**

Косарев О.И., Пузакина А.К.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г.Москва;

E-mail: oikosarev@yandex.ru

Разработка метода расчета звукового давления в дальнем поле, создаваемого колеблющейся конечной цилиндрической оболочкой, остается актуальной задачей. Для расчета используется формула Кирхгофа, в которую составной частью входит перемещение оболочки, определяемое из расчета вынужденных колебаний оболочки.

Предложен численно-аналитический метод расчета вынужденных колебаний оболочечной конструкции. Конструкция в целом состоит из набора конечных упругих цилиндрических оболочек и упругих колец, к которым приложены сосредоточенные дискретные возмущающие силы. Приведены примеры расчета амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) колебаний оболочечной конструкции в вакууме и в жидкости.

9:40–10:00**3. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ И ВИДЕО ИНФОРМАЦИИ**

Анисимов И.М., Римский-Корсаков Н.А., Тронза С.Н.
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва;
E-mail: oceanbreak@gmail.com

В работе рассматривается способ представления гидролокационных и видео данных, позволяющий оценить состояние исследуемых объектов на морском дне в мезо- и микро масштабе. Методы гидролокации бокового обзора являются необходимым инструментом при исследовании подводных объектов естественного или техногенного происхождения. Интерпретация гидролокационных изображений осуществляется, главным образом, сравнением с изображениями известных форм рельефа или объектов. Однако, из-за многообразия форм рельефа и различных ракурсов съемки, изображения могут существенно отличаться друг от друга.

10:00–10:20**4. ТРЕБОВАНИЯ К ВЕЛИЧИНЕ ШАГА СЕТКИ ПРИ РАСЧЁТЕ ПРОГНОЗА ПАРАМЕТРОВ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МАКСИМУМОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА**

Корецкая А.С., Мельканович В.С.
АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург;
E-mail: allakoretskaya@yandex.ru

Произведён анализ влияния величины шага сетки при расчёте прогноза задержек корреляционных максимумов на вероятность ошибок временного (вертикального разностно-дальномерного) метода оценки координат источника сигнала. Основываясь на результатах анализа изменения значений задержек корреляционных максимумов по дистанции, сформулированы требования к величине шага сетки.

10:20–10:40**5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КВАЗИОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ ЧАСТИЧНО-КОГЕРЕНТНОГО СИГНАЛА, ПРИНИМАЕМОГО НА ФОНЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПОМЕХИ**

Заболотный И.А., Малеханов А.И., Смирнов А.В.

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород; E-mail: almal@ipfran.ru

Проведен сравнительный анализ методов пространственной обработки частично-когерентного сигнала, распространяющегося в случайно-неоднородном канале, на фоне интенсивной помехи, приходящей с некоторого заданного угла. В качестве критерия эффективности обработки используется величина коэффициента усиления антенной решетки по величине отношения сигнал/(шум+помеха). Основное внимание уделено количественной оценке эффективности методов, близких к оптимальной квадратичной обработке, в широкой области параметров задачи, которые характеризуют когерентные свойства сигнала на входе решетки, угловые положения источников и их интенсивности на входе решетки. В качестве таких методов обработки рассмотрены методы линейной и квадратичной обработки, включая метод фазированной решетки с аподизацией амплитудного распределения, метод некогерентного накопления выходных сигналов отдельных подрешеток, в каждой из которых осуществляется когерентное накопление полезного сигнала по приемным элементам. Определены сценарии приема сигналов, для которых указанные методы становятся квазиоптимальными, что представляется важным с точки зрения практических приложений.

10:40–11:00**6. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОСАДКОВ В МЕЛКОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМА КОРАБЛЯ**

Кацнельсон Б.Г., Луньков А.Ю., Шабанова Т.М.

Воронежский госуниверситет, физический факультет, Воронеж;

E-mail: katz@phys.vsu.ru

Представлены результаты эксперимента по определению параметров газонасыщенных осадков в озере (глубина ~40 м) с использованием записи на вертикальную антенну широкополосного шума движущегося корабля; спектр в области 20–100 Гц. Оценка производится на основе анализа глубинной зависимости спектральных интенсивностей звукового поля, как функции расстояния от антенны до источника (от 2 до 6 км). На основе сравнения наблюдаемых данных с расчетными, построена частотная зависимость модальных коэффициентов потерь, получены скорость звука, и, соответственно концентрация газовых пузырьков, в осадках.

**25 сентября, пятница
Зал № 1**

14:00–15:00 — Принятие решения по конференции.

15:00–16:00 Закрытие конференции

**Оргкомитет Конференции оставляет за собой право вносить
изменения в Программу в рабочем порядке**

Подписано в печать 05.08.2020. Формат 60х84/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 9,88. Тираж 305. Заказ 0421.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного составителями,
в Издательско-полиграфическом центре
Санкт-Петербургского политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.