

**ПРОГРАММА**

**АННОТАЦИИ  
ДОКЛАДОВ**

**II Всероссийской акустической  
конференции,  
совмещенной с XXX сессией  
Российского акустического общества**

**6 - 9 июня 2017, Нижний Новгород  
Институт прикладной физики РАН**

<http://acoust-conference.ipfran.ru>

## СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

*Акуличев Виктор Анатольевич* – академик, президент Российского акустического общества  
*Есинов Игорь Борисович* – профессор, председатель Научного совета по акустике РАН  
*Мареев Евгений Анатольевич* – член-корреспондент РАН, заместитель директора  
по научной работе ИПФ РАН

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

<i>Гурбатов Сергей Николаевич</i>	ННГУ – сопредседатель
<i>Руденко Олег Владимирович</i>	МГУ – сопредседатель
<i>Бибиков Николай Григорьевич</i>	АКИН
<i>Бобровницкий Юрий Иванович</i>	ИМАШ РАН
<i>Буланов Владимир Алексеевич</i>	ТОИ ДВО РАН
<i>Вировлянский Анатолий Львович</i>	ИПФ РАН
<i>Вознесенский Александр Сергеевич</i>	НИТУ МИСис
<i>Демин Игорь Юрьевич</i>	ННГУ
<i>Диденкулов Игорь Николаевич</i>	ИПФ РАН
<i>Егерев Сергей Викторович</i>	АКИН
<i>Ерофеев Владимир Иванович</i>	ИПМ РАН
<i>Канев Николай Георгиевич</i>	АКИН
<i>Копьев Виктор Феликсович</i>	ЦАГИ
<i>Коротин Павел Иванович</i>	ИПФ РАН
<i>Кузнецова Ирен Евгеньевна</i>	ИРЭ РАН
<i>Куличков Сергей Николаевич</i>	ИФА РАН
<i>Ляксо Елена Евгеньевна</i>	СПбГУ
<i>Лучинин Александр Григорьевич</i>	ИПФ РАН
<i>Максимов Герман Адольфович</i>	АКИН
<i>Малеханов Александр Игоревич</i>	ИПФ РАН
<i>Миронов Михаил Арсеньевич</i>	АКИН
<i>Петников Валерий Георгиевич</i>	ИОФ РАН
<i>Потапова Родмонга Кондратьевна</i>	МГЛУ
<i>Прончатова-Рубцов Николай Васильевич</i>	ННГУ
<i>Салин Борис Михайлович</i>	ИПФ РАН
<i>Сапожников Олег Анатольевич</i>	МГУ
<i>Серебряный Андрей Нинелович</i>	АКИН, ИО РАН
<i>Тарасов Сергей Павлович</i>	ТРТУ ЮФУ
<i>Цукерников Илья Евсеевич</i>	НИИСФ РААСН
<i>Шкурятник Владимир Лазаревич</i>	НИТУ МИСис

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

<i>Андреанова Татьяна Анатольевна</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Баженова Екатерина Дмитриевна</i>	<b>АКИН, РАО</b>
<i>Демин Игорь Юрьевич</i>	<b>ННГУ</b>
<i>Диденкулов Игорь Николаевич</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Голубев Владимир Николаевич</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Казарова Анна Юрьевна</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Коньков Андрей Игоревич</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Кротова Светлана Владимировна</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Лабутина Мария Сергеевна</i>	<b>ННГУ</b>
<i>Малеханов Александр Игоревич</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Манаков Сергей Александрович</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Салин Михаил Борисович</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Смирнов Алексей Владимирович</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Турко Анатолий Николаевич</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Чернов Владимир Викторович</i>	<b>ИПФ РАН</b>
<i>Юдина Елена Васильевна</i>	<b>АКИН, РАО</b>

**РАСПИСАНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ**

Дата						
<b>06.06.17</b>	09:00 – 16:00	Регистрация				
	11:00 – 13:00	Открытие, Пленарная сессия 1				
	14:00 – 16:00	АЭР	ГЕО	НА	ФА	АИ
	16:20 – 18:00	АЭР	ГЕО	НА	ФА	АЭ
<b>07.06.17</b>	09:00 – 11:00	Пленарная сессия 2				
	11:20 – 13:00	АО	ГЕО	НА	ФА	АР
	14:00 – 16:00	АО	ГЕО	АСА	ФА	ШВ
	16:20 – 18:00	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 1 Секции АЭР, ГЕО, НА, ФА, АИС, АСА, АР, ШВ, АЭ				
<b>08.06.17</b>	09:00 – 11:00	Пленарная сессия 3				
	11:20 – 13:20	АО	БИО	РДВ	ШВ	
	14:00 – 16:00	АО	БИО	РДВ	ШВ	
	16:20 – 18:00	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ 2 Секции АО, БИО, РДВ, ШВ, УТ, ОА				
<b>09.06.17</b>	09:00 – 11:00	АО	БИО	РДВ	УТ	
	11:20 – 13:00	АО	ОА	ТС		
	13:00 – 14:00	ЗАКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ				

**Регламент конференции: пленарные доклады – 40 минут, приглашенные секционные доклады – 30 минут, секционные доклады – 20 минут (включая вопросы).**

©Российское акустическое общество

©Российский фонд фундаментальных исследований

©ИПФ РАН

©Научный совет по акустике РАН

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

РАСПИСАНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ	3
РАСПИСАНИЕ ПЛЕНАРНЫХ СЕССИЙ	5
ПРОГРАММА РАБОТЫ СЕКЦИЙ	6
АЭРОАКУСТИКА – 6.06.2017 – 14.00-18.00	6
ГЕОАКУСТИКА – 6.06.2017 – 14.00-18.00	7
НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА – 6.06.2017 – 14.00-18.00, 7.06.2017 – 11.20-13.00	8
ФИЗИЧЕСКАЯ АКУСТИКА – 6.06.2017 – 14.00-18.00, 7.06.2017 – 11.20-16.00	9
АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ – 06.06.2017 – 14.00-16.00	10
АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА – 06.06.2017 – 16.20-18.00	11
АКУСТИКА ОКЕАНА – 7.06.2017 – 11.20-16.00, 8.06.2017 – 11.20-16.00, 9.06.2017 – 09.00-13.00	11
АРХИТЕКТУРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА – 7.06.2017 – 14.00-16.00	14
АКУСТИКА РЕЧИ – 7.06.2017 – 11.20-13.00	14
ШУМЫ И ВИБРАЦИИ – 7.06.2017 – 14.00-16.00, 8.06.2017 – 11.20-16.00	15
БИОМЕДИЦИНСКАЯ АКУСТИКА 8.06.2017 – 11.20-16.00, 9.06.2017 – 09.00-11.00	16
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН – 8.06.2017 – 11.20-16.00, 9.06.2017 – 09.00-13.00	17
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 9.06.2017 – 09.00-11.00	19
ОПТОАКУСТИКА И АКУСТООПТИКА – 9.06.2017 – 11.20-13.00	19
ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР - 9.06.2017 – 11.20-13.00	20
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ – 7.06.2017 – 16.20-18.00, 8.06.2017 – 16.20-18.00	20
АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ	25
ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 1	25
ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 2	26
ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 3	27
Секция АЭР – АЭРОАКУСТИКА	30
Секция ГЕО – ГЕОАКУСТИКА	38
Секция НА – НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА	50
Секция ФА – ФИЗИЧЕСКАЯ АКУСТИКА	62
Секция АИ – АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	76
Секция АЭ – АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА	82
Секция АО – АКУСТИКА ОКЕАНА	87
Секция АСА – АРХИТЕКТУРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА	109
Секция АР – АКУСТИКА РЕЧИ	113
Секция ШВ – ШУМЫ И ВИБРАЦИИ	118
Секция БИО – БИОМЕДИЦИНСКАЯ АКУСТИКА	129
Секция РДВ – РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН	140
Секция УТ – УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	149
Секция ОА – ОПТОАКУСТИКА И АКУСТООПТИКА	154
Технический семинар (ТС)	157

## ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

### ПЛЕНАРНЫЕ СЕССИИ

#### ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 1

06.06.17 - 11.30-13.00

Посвящена 40-летию Института прикладной физики РАН

**Сергеев А.М.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИПФ РАН

**Коротин П.И.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ИПФ РАН  
В ОБЛАСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 2

07.06.2017 – 09.00-11.00

Посвящена 100-летию со дня рождения Л.М.Бреховских

**Серебряный А.Н.** *ИО РАН, АКИН, Москва*  
О НАУЧНОМ И ЖИЗНЕННОМ ПУТИ АКАДЕМИКА Л.М. БРЕХОВСКИХ

**Зверев В.А.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ВСПОМИНАЯ ЛЕОНИДА МАКСИМОВИЧА...

**Вировлянский А.Л.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
УСТОЙЧИВЫЕ КОМПОНЕНТЫ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
В ПОДВОДНОМ ЗВУКОВОМ КАНАЛЕ

**Авилов К.В.** *ИМАШ РАН, Москва*, **Куличков С.Н.** *ИФА РАН, Москва*, **Попов О.Е.**  
*ИФА РАН, Москва*

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ДАЛЬНЕМ  
РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗВУКА В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ: В ОКЕАНЕ,  
В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ, В АТМОСФЕРЕ И ИХ КОМБИНАЦИЯХ

#### ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 3

08.06.2017 – 09.00-11.00

**Егерев С.В.** *АКИН, Москва*  
ФЕМТО-, ПИКОСЕКУНДНАЯ И ТЕРАГЕРЦОВАЯ ОПТОАКУСТИКА:  
ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Сапожников О.А.** *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
ФИЗИЧЕСКАЯ АКУСТИКА ПОЧЕЧНЫХ КАМНЕЙ: ДИАГНОСТИКА,  
МАНИПУЛЯЦИЯ, ФРАГМЕНТАЦИЯ

**Жуков В.Б., Катунин А.А., Селезнев И.А.** *Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург*

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ  
НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЬЕЗОМАТЕРИАЛОВ

## ПРОГРАММА РАБОТЫ СЕКЦИЙ

### Секция АЭР – Аэроакустика

Копьев Виктор Феликсович, руководитель

06.06.2017 - с 14.00 до 18.00

1. Копьев В.Ф.<sup>1,2</sup>, Зайцев М.Ю.<sup>1,2</sup>, Храмцов И.В.<sup>2</sup>, Черенкова Е.С.<sup>2</sup>, Юдин М.А.<sup>1,3</sup>  
<sup>1</sup>ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского (НИМК), Москва; <sup>2</sup>ПНИПУ, Пермь; <sup>3</sup>МФТИ, Жуковский,  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА ТУРБУЛЕНТНОГО ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА
2. Акиншин Р.В.<sup>1,2</sup>, Юдин М.А.<sup>1,2</sup> <sup>1</sup>ЦАГИ (НИМК), Москва; <sup>2</sup>МФТИ, Жуковский  
СТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОНКОГО ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА И ЕГО ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ  
КОЛЕБАНИЯ
3. Копьев В.Ф.<sup>1</sup>, Храмцов И.В.<sup>2</sup>, Черенкова Е.С.<sup>2</sup>, Пальчиковский В.В.<sup>2</sup>, Берсенёв Ю.В.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>НИМК ЦАГИ, Москва, <sup>2</sup>ПНИПУ, Пермь  
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ В ЗАГЛУШЕННОЙ  
КАМЕРЕ ПНИПУ
4. Остриков Н.Н.<sup>1,2</sup>, Соболев А.Ф.<sup>1</sup>, Яковец М.А.<sup>1,3</sup>  
<sup>1</sup>ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского, Москва; <sup>2</sup>ПНИПУ, Пермь; <sup>3</sup>МФТИ, Жуковский  
ПОЛУЧЕНИЕ ТОЧНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ МОД В  
ПРЯМОУГОЛЬНОМ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛАХ С ПОТОКОМ ПРИ НАЛИЧИИ СКАЧКА  
ИМПЕДАНСА
5. Кустов О.Ю., Храмцов И.В., Федотов Е.С., Пальчиковский В.В., Синер А.А., Писарев П.В.  
ПНИПУ, Пермь  
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЗОНАТОРОВ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
6. Валиев Х.Ф., Осипов А.А., Пьянков К.С., Яковлев Е.А. ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В СОТОВЫХ РЕЗОНАНСНЫХ  
КОНСТРУКЦИЯХ
7. Замтфорт Б.С. ЦАГИ, Москва  
НЕКОТОРЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРДД РАЗНЫХ КЛАССОВ ТЯГИ И ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ ШУМА
8. Воронцов В.И., Зайцев М.Ю., Карабасов С.А. ЦАГИ, Москва  
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТНОГО ВИНТА НА РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО  
ПОЛЕТА, СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ПОЛУЧЕННЫМИ ДАННЫМИ И ДРУГИМИ  
РАСЧЕТАМИ
9. Бендерский Л.А., Крашенинников С.Ю., Миронов А.К. ЦИАМ, Москва  
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ БЛИЖНЕГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ  
СТРУЙ
10. Фараносов Г.А.<sup>1,2</sup>, Бычков О.П.<sup>1,3</sup> <sup>1</sup>НИМК ЦАГИ, Москва; <sup>2</sup>ПНИПУ, Пермь; <sup>3</sup>МФТИ, Жуковский  
РАСЧЕТ НИЗКОЧАСТОТНОГО УСИЛЕНИЯ ШУМА СТРУИ ВБЛИЗИ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ  
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О ПУЛЬСАЦИЯХ ДАВЛЕНИЯ В БЛИЖНЕМ ПОЛЕ ИЗОЛИРОВАННОЙ  
СТРУИ
11. Грязев В.М.<sup>1</sup>, Карабасов С.А.<sup>2</sup>, Горбачев Д.В.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ТулГУ, Тула; <sup>2</sup>Queen Mary University of London, Лондон, Великобритания  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОЛОЖЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ШУМА В ГОРЯЧЕЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУЕ
12. Городкова Н.А., Чурсин В.А., Бурдаков Р.В., Берсенев Ю.В. АО "Авиадвигатель", Пермь  
РАЗДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ШУМА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
13. Крашенинников С.Ю., Маслов В.П., Миронов А.К. ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ НА  
АКУСТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШЕВРОННЫХ СОПЕЛ В КОМПОНОВКЕ  
С ПИЛОНОМ И КРЫЛОМ
14. Дорофеева А.А., Жарников Т.В. SchlumbergerMoscowResearch; МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЯ ШУМА ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ОТ ПАРАМЕТРОВ  
ТЕЧЕНИЯ

**Секция ГЕО – Геоакустика**

**Вознесенский Александр Сергеевич, руководитель**

**06.06.2017 - с 14.00 до 18.00**

**07.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

1. **Собисевич А.Л.** (приглашенный доклад) *ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, Москва*  
НАВЕДЕННЫЕ ГЕО-ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ, ПОРОЖДАЕМЫЕ  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СИСТЕМЕ «ЛИТОСФЕРА – ГИДРОСФЕРА –  
ЛЕДОВЫЙ ПОКРОВ – АТМОСФЕРА» – ОСНОВА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
МОНИТОРИНГА ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ И ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ В  
АРКТИКЕ
2. **Каменев О.Т., Кульчин Ю.Н., Петров Ю.С., Ромашко Р.В., Колчинский В.А.**  
*ИАПУ ДВО РАН, Владивосток*  
РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ НИЗКОЧАСТОТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ  
НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ СЕЙСМОПРИЕМНИКАМИ
3. **Малеханов А.И.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
РАЗВИТИЕ КОГЕРЕНТНЫХ МЕТОДОВ МОРСКОЙ СЕЙСМОАКУСТИКИ В ПРИЛОЖЕНИИ К  
ДИАГНОСТИКЕ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА
4. **Петников В.Г.<sup>1</sup>, Григорьев В.А.<sup>2</sup>, Кочетов О.Ю.<sup>3</sup>, Луньков А.А.<sup>1</sup>, Черноусов А.Д.<sup>1,4</sup>,  
Шатравин А.В.<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup> *ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва,* <sup>2</sup> *ВГУ, Воронеж,* <sup>3</sup> *ИО им. П.П.Ширшова РАН,*  
<sup>4</sup> *АКИН, Москва*  
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ
5. **Преснов Д.А.<sup>1</sup>, Собисевич А.Л.<sup>1</sup>, Шуруп А.С.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup> *ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва,* <sup>2</sup> *МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*  
МЕТОД ПАССИВНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ГЛУБИННЫХ  
НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МОРСКОГО ДНА
6. **Долгих Г.И.** *ТОИ им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток*  
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТОМОГРАФИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ШЕЛЬФА И ГЛУБОКОГО МОРЯ  
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДЕФОРМОГРАФОВ И  
ШИРОКОПОЛОСНЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ
7. **Есипов И.Б.** *РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина; АКИН, Москва*  
ТОМОГРАФИЯ ШЕЛЬФА И МОРСКОЙ АКВАТОРИИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОЩНОГО  
ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЗВУКА
8. **Петров И.Б.** *МФТИ, Долгопрудный*  
РАЗРАБОТКА НОВОГО ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА СОВМЕСТНОЙ ИНВЕРСИИ  
СЕЙСМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ, ВКЛЮЧАЯ НЕЛИНЕЙНУЮ  
ИНВЕРСИЮ, И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА ЕГО ОСНОВЕ
9. **Дмитриев К.В., Зотов Д.И., Румянцева О.Д., Сергеев С.Н., Шуруп А.С.** *МГУ, Москва*  
РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ  
РАССЕЯНИЯ
10. **Борисов С.А., Борисов А.С.** *ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск*  
АКУСТИЧЕСКИЕ МОДЫ ВОДОЗАПОЛНЕННОЙ СКВАЖИНЫ ГФО «ШИКОТАН»
11. **Гаврилов В.А., Бусс Ю.Ю., Морозова Ю.В., Полтавцева Е.В.**  
*ИВиС ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*  
СКВАЖИННЫЕ ГЕОАКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОМПЛЕКСНОГО  
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ
12. **Горбачевич Ф.Ф., Тришина О.М., Ковалевский М.В.** *Геологический ин-т КНЦ РАН, Апатиты*  
УПРУГО-АНИЗОТРОПНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД РАЗНОГО ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И  
ФАЦИЙ МЕТАМОРФИЗМА СЕВЕРО-ВОСТОКА БАЛТИЙСКОГО ШИТА
13. **Коньков А.И.<sup>1,2</sup>, Лебедев А.В.<sup>1</sup>, Манаков С.А.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup> *ИПФ РАН, Н.Новгород,* <sup>2</sup> *ООО «Геодевайс», Санкт-Петербург*  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДЛЕННОЙ РЕЛАКСАЦИИ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ В НАСЫЩЕННОМ  
ВОДОЙ ГРУНТЕ
14. **Лебедев А.В.<sup>1</sup>, Островский Л.А.<sup>1,2</sup>**  
<sup>1</sup> *ИПФ РАН, Н.Новгород,* <sup>2</sup> *Университет Колорадо, Боулдер, США*  
ЭФФЕКТЫ МЕДЛЕННОЙ ДИНАМИКИ В КОНСОЛИДИРОВАННЫХ И СЫПУЧИХ  
ГРАНУЛИРОВАННЫХ СРЕДАХ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

15. **Бредихин В.В., Казаков В.В., Лебедев А.В., Манаков С.А.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
16. **Вознесенский А.С., Куткин Я.О., Красилов М.Н.** *Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва*  
ВЗАИМОСВЯЗЬ АКУСТИЧЕСКОЙ ДОБРОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ
17. **Дугаров Г.А., Дучков А.А., Дучков А.Д., Дробчик А.Н.**  
*ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск*  
ЛАБОРАТОРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРАТОСОДЕРЖАЩИХ ОСАДКОВ
18. **Зайцев В.Ю., Радостин А.В., Матвеев А.Л., Матвеев Л.А.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНЫЕ СРЕД ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКОРОСТЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ И СДВИГОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ОТ ДАВЛЕНИЯ В ТРЕЩИНОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ
19. **Зайцев В.Ю., Радостин А.В., Сарычев А.В., Матвеев А.Л., Матвеев Л.А.** *ИПФ РАН, Н.Новгород*  
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ ТРЕЩИНОВАТОЙ СРЕДЫ С РАЗДЕЛЕННЫМИ СДВИГОВОЙ И НОРМАЛЬНОЙ ПОДАТЛИВОСТЬЮ ТРЕЩИНЫ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕАЛЬНЫХ СРЕД И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕАЛЬНЫХ СРЕД
20. **Губайдуллин А.А., Болдырева О.Ю., Дудко Д.Н.** *ТюмФ ИТПМ СО РАН, Тюмень*  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ГАЗОВЫЙ ГИДРАТ
21. **Иванова Э.А.<sup>1,2</sup>, Михайлов Д.Н.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*МФТИ (ГУ), Долгопрудный,* <sup>2</sup>*Московский научно-исследовательский центр «Шлюмберже», Москва*  
РЕЗОНАНСЫ ВНУТРИ АНСАМБЛЯ ПОР КАК ВОЗМОЖНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ ПОРИСТЫЕ СРЕДЫ
22. **Красилов М.Н.** *Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва*  
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЭЛЕЕВСКОЙ МОДЕЛИ ЗАТУХАНИЯ УПРУГИХ ВОЛН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМОГРАММ И АКУСТИЧЕСКУЮ ДОБРОТНОСТЬ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

**Секция НА – Нелинейная акустика**

**Гурбатов Сергей Николаевич, руководитель**

**06.06.2017 - с 14.00 до 18.00**

**07.06.2017 - с 11.20 до 13.00**

1. **Ерофеев В.И., Леонтьева А.В., Мальханов А.О.** *Ин-т проблем машиностроения РАН, Н.Новгород*  
ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ЛОКАЛИЗАЦИЮ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В МАТЕРИАЛАХ
2. **Гурбатов С.Н.<sup>1</sup>, Дерябин М.С.<sup>1,2</sup>, Касьянов Д.А.<sup>2</sup>, Курин В.В.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;* <sup>2</sup>*ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И САМОВОЗДЕЙСТВИЕ ИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ
3. **Дерябин М.С.<sup>1,2</sup>, Касьянов Д.А.<sup>1</sup>, Курин В.В.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;* <sup>2</sup>*ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ
4. **Неверов А.Н.** *МАДИ, Москва*  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА САМОРАСКРУЧИВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЯХ
5. **Коробов А.И.<sup>1</sup>, Прохоров В.М.<sup>2</sup>, Кокшайский А.И.<sup>1</sup>, Ширгина Н.В.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,* <sup>2</sup>*ТИСНУМ, Троицк*  
УПРУГИЕ СВОЙСТВА ИЗОТРОПНОГО ГРАФИТА
6. **Княшко С.Б., Назаров В.Е., Радостин А.В.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
САМОПОДОБНЫЕ ВОЛНЫ В СРЕДАХ С РАЗНОМОДУЛЬНОЙ И ГИСТЕРЕЗИСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ
7. **Порубов А.В.** *Институт Проблем Машиноведения РАН, Санкт-Петербург*  
УПРАВЛЕНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

8. Буланов В.А. *ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*  
АКУСТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ
9. Павловский А.С., Семёнова Н.Г. *СПбГУ, Санкт-Петербург*  
НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПОЛЕ ВЯЗКИХ ВОЛН
10. Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А., Фатеев В.О. *АКИН, Москва*  
ИЗМЕРЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ФОНТАНА
11. Агрест Э.М.<sup>1</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>2</sup>, Мельников Н.П.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>*Johnson&WalesUniversityCharlotte, USA;* <sup>2</sup>*НЦВИ ИОФ РАН, Москва*  
<sup>3</sup>*НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*  
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК КАВИТАЦИОННОЙ ЗОНЫ
12. Карзова М. М., Юлдашев П. В., Сапожников О.А., Хохлова В.А.  
*МГУ им.М.В. Ломоносова, Москва*  
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИРЕЙТИНГА НЕЛИНЕЙНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ  
МЕДИЦИНСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ
13. Асфандияров Ш.А., Крит Т.Б., Андреев В.Г. *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
ВОЗБУЖДЕНИЕ СТОЯЧИХ ВОЛН В ВЯЗКОУПРУГОМ РЕЗОНАТОРЕ ПРИ НАЛИЧИИ  
СТАТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА
14. Юлдашев П.В., Бобина А.С., Сапожников О.А., Хохлова В.А. *МГУ, Москва*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СФОКУСИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКОВ В  
ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ПЛАВНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МЯГКИХ ТКАНЕЙ
15. Анненкова Е.А.<sup>1</sup>, Сапожников О.А.<sup>1,2</sup>, Саймон Д.<sup>2</sup>, Крайдер У.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*МГУ, Москва,* <sup>2</sup>*Центр промышленного и медицинского ультразвука, Лаборатория прикладной  
физики, университет штата Вашингтон, Сизтл, США*  
АКУСТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ КАК МЕХАНИЗМ ВЗРЫВОВ ЖИДКИХ КАПЕЛЬ В  
АКУСТИЧЕСКИХ ФОНТАНАХ
16. Крупенин В.Л. *ИМАШ РАН, Москва*  
СТРУННЫЕ ВИБРОУДАРНЫЕ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ УДАРНЫМИ  
ЭЛЕМЕНТАМИ

**Секция ФА – Физическая акустика**

**Сапожников Олег Анатольевич, руководитель**

**06.06.2017 - с 14.00 до 18.00**

**07.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

1. Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А. *АКИН, Москва*  
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ВОЛНОВОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ
2. Недоспасов И.А., Можяев В.Г., Кузнецова И.Е. *ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, Москва*  
ИЗУЧЕНИЕ ОБРАТНЫХ СДВИГОВЫХ ВОЛН В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ  
КРИСТАЛЛОВ КЛАССА 2ММ НА ОСНОВЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ  
ДИСПЕРСИОННЫХ УРАВНЕНИЙ
3. Коробов А.И., Одина Н.И., Асеев Е.М. *МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОЙ И МЕДЛЕННОЙ ДИНАМИКИ  
КРУТИЛЬНЫХ ВОЛН В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕДИ
4. Одина Н.И., Коробов А.И. *МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*  
ЛИНЕЙНЫЕ УПРУГИЕ СВОЙСТВА Н-ТЕТРАКОЗАНА В ОБЛАСТИ ПЛАВЛЕНИЯ
5. Перов Д.В., Ринкевич А.Б., Немыгова О.В. *Институт физики металлов УрО РАН, Пермь*  
ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОСТЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛН ЛЭМБА
6. Андреев В.Г., Свиридов А.П., Тамаров К.П., Тимошенко В.Ю. *МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*  
КАВИТАЦИЯ И НАГРЕВ СУСПЕНЗИЙ НАНОЧАСТИЦ В ПОЛЕ БЕГУЩЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ  
ВОЛНЫ
7. Андреев В.Г., Лесик М.В., Соловьев С.И. *МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*  
ЗАХВАТ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТВЕРДЫХ МИКРОЧАСТИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЗАКРУЧЕННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА
8. Полунин В.М., Ряполов П.А., Шельдешова Е.В. *ЮЗГУ, Ростов-на-Дону*  
НИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ЭЛЕМЕНТА В СИЛЬНЫХ  
МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

9. **Винокуров Н.А., Сарнацкий В.М., Судьенков Ю.В., Шилин В.Д.** *СПбГУ, Санкт-Петербург*  
ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПЛЕНКАХ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА (ЖИГ)
10. **Есипов И.Б.<sup>1,2</sup>, Коновалов В.Н.<sup>2</sup>, Черноусов А.Д.<sup>2,3</sup>, Попов О.Е.<sup>4</sup>**  
*<sup>1</sup>РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, <sup>2</sup>АКИН, <sup>3</sup>НЦВИ ИОФ РАН, <sup>4</sup>ИФА РАН, Москва*  
МНОГОЧАСТОТНЫЙ АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТУРБУЛЕНТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ТЕЧЕНИЯ
11. **Максимов А.О., Половинка Ю.А.** *ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*  
ДИНАМИКА ГАЗОВОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ВБЛИЗИ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
12. **Максимов Г.А.** *АКИН, Москва*  
ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ОТ ВЯЗКОУПРУГОСТИ К ПЛАСТИЧНОСТИ. ОПИСАНИЕ НА ОСНОВЕ  
ОБОБЩЕННОГО ВАРИАЦИОННОГО ПРИНЦИПА ДЛЯ ДИССИПАТИВНОЙ МЕХАНИКИ  
СПЛОШНЫХ СРЕД
13. **Бадмаев Б.Б.<sup>1</sup>, Дембелова Т.С.<sup>1</sup>, Дамдинов<sup>2</sup> Б.Б., Макарова Д.Н.<sup>1</sup>, Намдакова Е.Д.<sup>1</sup>**  
*<sup>1</sup>ИФМ СО РАН, Улан-Удэ; <sup>2</sup>БГУ, Улан-Удэ*  
АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ
14. **Теплых А.А., Зайцев Б.Д., Шихабудинов А.М., Бородина И.А.** *ИРЭ РАН, Саратов*  
УТОЧНЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ КОНСТАНТ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ЦТС-19 ПРИ ПОМОЩИ  
АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В ВИДЕ ДИСКА
15. **Федотовский В.С., Кругликов Ю.С., Михайлова Т.А., Орлов А.И.**  
*ГНЦ РФ ФЭИ им. А.И.Лейпунского, Обнинск, Калужская обл.*  
ДИНАМИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ И ОБОБЩЕННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ЖИДКОЙ ДИСПЕРСНОЙ  
СРЕДЫ СО СФЕРИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ
16. **Кузнецова И.Е., Недоспасов И.А.** *ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва*  
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОБРАТНЫХ ВОЛН ПО ТОЛЩИНЕ  
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ
17. **Теплых А.А., Зайцев Б.Д., Шихабудинов А.М., Бородина И.А.**  
*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Саратов*  
ВАРИАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В ФОРМЕ  
ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА
18. **Павловский А.С., Июдина С.А., Семёнова Н.Г.** *СПбГУ, Санкт-Петербург*  
НЕОДНОРОДНЫЕ ВЯЗКИЕ ВОЛНЫ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ ПЛАСТИНАМИ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ
19. **Макалкин Д.И.<sup>1</sup>, Брысев А.П.<sup>1</sup>, Преображенский В.Л.<sup>1</sup>, Перно Ф.<sup>2</sup>, Зоештиг Ф.<sup>3</sup>**  
*<sup>1</sup>НЦВИ ИОФ РАН, Москва; <sup>2</sup>Institute of Electronics, Microelectronics and Nanotechnology, Lille, France, Lille, France; <sup>3</sup>University of Lille, Institute of Electronics, Microelectronics and Nanotechnology, Lille, Франция*  
ЭМИССИЯ КАПЕЛЬ И КОЛЕБАНИЯ ГРАНИЦЫ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ,  
НАХОДЯЩИХСЯ В МАЛОМ ОБЪЕМЕ, ИНИЦИИРОВАННЫЕ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИМ  
СФОКУСИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ПУЧКОМ
20. **Терзи М.Е., Цысарь С.А., Юлдашев П.В., Сапожников О.А.** *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ ЗАКРУЧЕННЫХ ПУЧКОВ  
ПОВОРАЧИВАТЬ ПОГЛОТИТЕЛИ БОЛЬШИХ ВОЛНОВЫХ РАЗМЕРОВ
21. **Борисенок В.А.** *СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров Нижегородской обл.*  
ПУЗЫРЬКОВЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

**Секция АИ – Акустические измерения**

**Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель  
06.06.2017- с 14.00 до 16.00**

1. **Черепанова Ж.В., Сапожников О.А., Цысарь С.А., Крыжановский М.А.** *МГУ, Москва*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ, ОКАЗЫВАЕМОЙ НА ПРОТЯЖЁННЫЙ  
ПОГЛОТИТЕЛЬ, ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ  
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА ЧЕРЕЗ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ
2. **Иваненков А.С., Родионов А.А.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЧИСЛА ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА В  
ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ РЕШЕТКИ МИКРОФОНОВ
3. **Симаков И.Г., Гулгенов Ч.Ж.** *ИФМ СО РАН, Улан-Удэ*  
ВЗАИМОСВЯЗЬ ТОЧКИ РОСЫ С ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ВРЕМЕНИ  
ЗАДЕРЖКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СИСТЕМЕ АДСОРБИРОВАННАЯ  
ВОДА – НИОБАТ ЛИТИЯ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

4. **Грищенко А.И., Третьяков Д.А., Семенов А.С.** *СПбПУ им. Петра Великого, Санкт-Петербург*  
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРОМ АКУСТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ И  
МЕРАМИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
5. **Лебедев М.В.** *АКИН, Москва*  
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
НАБЛЮДЕНИЯ
6. **Попова А.В.** *НИУ МГСУ, Москва*  
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОВРЕЖДЁННОСТИ  
МАТЕРИАЛА ПО ИЗЛУЧАЕМОМУ АКУСТИЧЕСКОМУ ПОЛЮ
7. **Чернышева Т.В., Соболев И.В.** *МТУСИ, Москва*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ САБВУФЕРА НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ
8. **Чижев В.Ю.** *Крыловский научный центр, Санкт-Петербург*  
О ПЕРСПЕКТИВЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ ОТРАЖЕННЫХ  
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
9. **Шлемов Ю.Ф.** *Крыловский научный центр, Санкт-Петербург*  
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОРАБЛЕЙ ДЛЯ  
ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИХ ПОДВОДНОГО ШУМА

**Секция АЭ – Акустоэлектроника**

**Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель  
06.06.2017 - с 16.20 до 18.00**

1. **Зайцев Б.Д., Шихабудинов А.М., Теплых А.А., Бородина И.А.** *ИРЭ РАН, СФ, Саратов*  
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ВБЛИЗИ СВОБОДНОЙ СТОРОНЫ  
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ  
НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ
2. **Бородина И.А., Зайцев Б.Д., Теплых А.А.** *ИРЭ РАН, СФ, Саратов*  
ВЛИЯНИЕ ЖИДКОСТИ С РАЗЛИЧНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ, ВЯЗКОСТЬЮ И  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЕЛЕВОЙ МОДЫ В  
АКУСТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ
3. **Анисимкин В.И.<sup>1</sup>, Дагесян С.А.<sup>2</sup>, Колесов В.И.<sup>1</sup>, Кузнецова И.Е.<sup>1</sup>, Мельников А.Е.<sup>2</sup>,  
Солдатов Е.С.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва*, <sup>2</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова*  
РАЗРАБОТКА НАНОБИОСЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
4. **Воронова Н.В.<sup>1</sup>, Анисимкин В.И.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*АО «НИИ «Элта», Москва*;  
<sup>2</sup>*ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва*  
ИНТЕГРАЛЬНАЯ РЕШЕТКА АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ  
ЖИДКОСТЕЙ МИКРОЛИТРОВОГО ОБЪЕМА
5. **Кулакова Л.А., Аверкиев Н.С., Лютецкий А.В.** *ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург*  
АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОРАЗМЕРНЫХ ГЕТЕРОЛАЗЕРАХ

**Секция АО – Акустика океана**

**Петников Валерий Георгиевич, руководитель  
Вировлянский Анатолий Львович, руководитель  
07.06.2017 – с 11.20 до 16.00  
08.06.2017 – с 11.20 до 16.00  
09.06.2017 – с 09.00 до 13.00**

1. **Артельный П.В., Вировлянский А.Л., Казарова А.Ю., Коротин П.И., Любавин Л.Я.,  
Стуленков А.В.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
НАБЛЮДЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ КОМПОНЕНТ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ В НАТУРНЫХ  
ИЗМЕРЕНИЯХ В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ
2. **Голубев В.Н., Смирнов И.П.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В ОКЕАНЕ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

3. **Хилько А.И.<sup>1</sup>, Сидоровская Н.<sup>2</sup>, Рихтер К.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ИПФ РАН, Н.Новгород, <sup>2</sup>Ун-т Луизианы, Лафайет (США)  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ И ПРОГНОЗ ИХ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСФЕРУ В МЕЛКОМ МОРЕ
4. **Луныков А.А.<sup>1</sup>, Петников В.Г.<sup>1</sup>, Черноусова Д.<sup>1,2</sup>**  
<sup>1</sup>ИОФ РАН, <sup>2</sup>АКИН, Москва  
ЗАТУХАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ВОЗБУЖДАЕМЫХ НАПРАВЛЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ ЗВУКА НА ОКЕАНСКОМ ШЕЛЬФЕ
5. **Ярина М.В., Луныков А.А.** ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
ЛУЧЕВАЯ СТРУКТУРА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ СО СЛОЕМ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОСАДКОВ
6. **Луныков А.А., Петников В.Г.** ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В МЕЛКОВОДНОМ АРКТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ
7. **Кацнельсон Б.Г.<sup>1</sup>, Zhongtao Hu<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ВГУ, Воронеж, <sup>2</sup>Institute of Acoustics, Chinese Academy of Science, Beijing, Пекин, КНР  
ЗВУКОВОЕ ПОЛЕ В ПРИБРЕЖНОМ КЛИНЕ В ОБЛАСТИ КАСАНИЯ ТЕРМОКЛИНА ДНОМ
8. **Кацнельсон Б.Г.<sup>1</sup>, Григорьев В.<sup>1</sup>, Lynch J.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ВГУ, Воронеж, <sup>2</sup>Woods Hole Oceanographic Institute, США  
ВАРИАЦИИ АМПЛИТУДНОГО И ФАЗОВОГО ФРОНТА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ПРИСУТСТВИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МЕЛКОМ МОРЕ (ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ)
9. **Григорьев В.А.<sup>1</sup>, Петников В.Г.<sup>2</sup>, Шатравин А.В.<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>ВГУ, Воронеж; <sup>2</sup>ИОФ РАН, Москва, <sup>3</sup>ИО им. П.П. Ширшова РАН, Москва  
ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА В МЕЛКОМ МОРЕ С ДНОМ В ВИДЕ ГАЗОНАСЫЩЕННОГО ОСАДОЧНОГО СЛОЯ, ЛЕЖАЩЕГО НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ
10. **Салин М.Б., Байдаков Г.А., Потапов О.А., Салин Б.М., Стуленков А.В., Разумов Д.Д.**  
ИПФ РАН», Нижний Новгород  
НАБЛЮДЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ РАССЕЙАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА НА ПОВЕРХНОСТНОМ ВОЛНЕНИИ: ТРАДИЦИОННАЯ БРЭГГОВСКАЯ И НОВАЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ РАССЕЙАНИЯ
11. **Гулин О.Э., Ярошук И.О.** ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток  
О ЛОКАЛЬНОМ ЭФФЕКТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОД НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОМ ДВУМЕРНОМ МЕЛКОМ МОРЕ
12. **Макаров Д.В.** ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток  
МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ МАТРИЦ
13. **Клячин Б.И.** МГППУ, Москва  
СИЛЬНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ШУМОВЫХ ПОЛЕЙ В ОКЕАНЕ
14. **Бибиков Н.Г.** АКИН, Москва  
ОСОБЕННОСТИ ЗВУКОВ РАКОВ-ЩЕЛКУНОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ
15. **Гончаренко Б.И., Гусев В.А.** МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В СЛОИСТОЙ ГАЗОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ
16. **Смирнов И.П.<sup>1</sup>, Хилько А.А.<sup>2</sup>, Коваленко В.В.<sup>3</sup>, Лучинин А.Г.<sup>1</sup>, Мареев Е.А.<sup>1</sup>, Малеханов А.И.<sup>1</sup>, Хилько А.И.<sup>1</sup>, Кравченко В.Н.<sup>4</sup>**  
<sup>1</sup>ИПФ РАН, <sup>2</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород; <sup>3</sup>Научный совет по комплексн. проблеме «Гидрофизика» РАН, Москва; <sup>4</sup>ОАО «ЦНИИ «Атолл», Дубна  
АДАПТИВНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ВБЛИЗИ ПОРТОВЫХ ЗОН И МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В ОКЕАНЕ
17. **Хилько А.И.<sup>1</sup>, Смирнов И.П.<sup>1</sup>, Машошин А.И.<sup>2</sup>, Шафранюк А.В.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород, <sup>2</sup>АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», Санкт-Петербург  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ
18. **Щуров В.А.<sup>1,2</sup>, Щеглов С.Г.<sup>1</sup>, Ляшков А.С.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток; <sup>2</sup>МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток  
ВЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖИТЕЛЯ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

19. **Кузнецов Г.Н.<sup>1</sup>, Курчанов А.Ф.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва  
<sup>2</sup>ВНИИФТРИ, Менделеево, Московская область  
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПЕЛЕНГОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОГО МОДУЛЯ
20. **Глебова Г.М.<sup>1</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ЮФУ, Ростов-на-Дону, <sup>2</sup>Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОСТИ ПРИЕМА, ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ И ГЛУБИНЫ ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКАЛЯРНЫХ И ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ АНТЕНН
21. **Некрасов В.Н.** ВНИИФТРИ, Московская область, Солнечногорский район, п/о Менделеево  
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ
22. **Родионов А.А.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
ИССЛЕДОВАНИЕ БАЙЕСОВА МЕТОДА ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЗВУКА В ВОЛНОВОДЕ С НЕТОЧНО ЗАДАННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ
23. **Турчин В.И.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
АНАЛИЗ РОБАСТНЫХ АЛГОРИТМОВ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА
24. **Кузнецов Г.Н.<sup>1</sup>, Кузькин В.М.<sup>1</sup>, Казначеев И.В.<sup>2</sup>, Пересёлков С.А.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>НЦВИ ИОФ РАН, Москва, <sup>2</sup>ВГУ, Воронеж  
ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОГРАММЫ К ЛОКАЛИЗАЦИИ ШУМОВОГО ИСТОЧНИКА В МЕЛКОМ МОРЕ
25. **Сазонтов А.Г., Смирнов И.П.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОМ ОКЕАНИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО ОБОБЩЕННОГО АЛГОРИТМА MUSIC
26. **Муханов П.Ю.<sup>1</sup>, Гончаров В.В.<sup>2</sup>, Веденев А.И.<sup>2</sup>, Сергеев С.Н.<sup>1</sup>, Шуруп А.С.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва; <sup>2</sup>ИО им. П.П. Ширшова РАН, Москва  
СОВМЕСТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОГО СЛОЯ И ДНА МЕЛКОГО МОРЯ МЕТОДАМИ МОДОВОЙ ТОМОГРАФИИ
27. **Серебряный А.Н.<sup>1,2</sup>, Кенигсбергер Г.В.<sup>1</sup>, Елистратов В.П.<sup>1</sup>, Сабинин К.Д.<sup>2</sup>, Попов О.Е.<sup>4</sup>, Сवादковский А.Н.<sup>2</sup>, Тарасов Л.Л.<sup>2</sup>, Денисов Д.М.<sup>2</sup>, Химченко Е.Е.<sup>1</sup>, Чекайда В.Н.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ИО им. П.П. Ширшова РАН, Москва; <sup>2</sup>АКИН, Москва, <sup>3</sup>ИФА РАН, Москва, <sup>4</sup>ИФА им. А.М. Обухова РАН, Москва;  
АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА АБХАЗСКОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ
28. **Калинина В.И., Смирнов И.П., Хилько А.И.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЕВ ДНА МОРСКОГО ШЕЛЬФА С ПОМОЩЬЮ ЗОНДИРОВАНИЯ КОГЕРЕНТНЫМИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМИ ИМПУЛЬСАМИ
29. **Половинка Ю.А., Максимов А.О.** ТОИ ДВО РАН, Владивосток  
ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДВОДНЫХ УТЕЧЕК ГАЗА С ПОМОЩЬЮ ОБРАЩЕННЫХ ВО ВРЕМЕНИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
30. **Завольский Н.А., Малеханов А.И., Раевский М.А., Смирнов А.В.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПРИНИМАЕМОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ СИГНАЛА В МЕЛКОМ МОРЕ ПРИ ВЕТРОВОМ ВОЛНЕНИИ
31. **Громашева О.С.<sup>1</sup>, Матирный О.Е.<sup>2</sup>, Радаев И.Р.<sup>2</sup>, Чупин В.А.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>ТОИ ДВО РАН, <sup>2</sup>МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток  
ОБРАБОТКА СЕЙСМО-АКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА
32. **Родионов А.А., Семенов В.Ю.** ИПФ, Нижний Новгород  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОГЕРЕНТНОГО АПЕРТУРНОГО СИНТЕЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА И ДЛИНЫ ТРАЕКТОРИИ НОСИТЕЛЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ
33. **Бритенков А.К., Боголюбов Б.Н., Смирнов С.А., Перфилов В.А.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ПЕЧАТИ НА ОСНОВЕ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ПРОДОЛЬНО-ИЗГИБНОГО ТИПА
34. **Коренбаум В.И.** ТОИ ДВО РАН, Владивосток  
МЕТОДЫ ВИБРОЗАЩИТЫ ВЕКТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ
35. **Львов К.П., Фомин А.А.** АО «Океанприбор», Санкт-Петербург  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ОБРАТНОГО ДОННОГО РАССЕЯНИЯ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

36. **Кириллов А.Г.<sup>1</sup>, Рейман А.М.<sup>1</sup>, Циберев А.В.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород, <sup>2</sup>ООО НТЦ «Мониторинг», Нижний Новгород*  
АКУСТИЧЕСКИЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕЧЕНИЙ (ПРОФИЛОМЕТРЫ)  
И СПЕКТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ
37. **Максимов Г.А., Денисов Д.Н., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Григорьев А.Г., Корольков З.А.**  
*АКИН, Москва*  
ЦИФРОВАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ БУКСИРУЕМАЯ СЕЙСМОКОСА МАЛОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ  
МОРСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

**Секция АС – Архитектурная и строительная акустика**

**Канев Николай Георгиевич, руководитель**

**07.06.2017- с 14.00 до 16.00**

1. **Жукова В.О.<sup>1</sup>, Канев Н.Г.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>МГТУ им. Баумана, Москва; <sup>2</sup>АКИН, Москва*  
ГРОМКОСТЬ РЕЧИ - ПАРАМЕТР ДЛЯ ОЦЕНКИ АКУСТИКИ УЧЕБНЫХ АУДИТОРИЙ
2. **Андрющенко А.К.** *БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург*  
ИСПЫТАНИЕ И РАСЧЕТ ПОДВЕСНЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ
3. **Щиржецкий Х. А., Алешкин В. М., Субботкин А. О., Сухов В. Н.** *НИИСФ РААСН, Москва*  
К ВОПРОСУ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ АКУСТИКИ СВЯЗАННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ
4. **Шевцов С.Е.<sup>1,2</sup>, Шумаков С.Н.<sup>1</sup>**  
*<sup>1</sup>ООО «Лаборатория архитектурной акустики», Москва*  
*<sup>2</sup>Уральская Государственная консерватория им. М.П.Мусоргского, г. Екатеринбург*  
АКУСТИКА НОВОГО РЕПЕТИЦИОННОГО ЗАЛА СВЕРДЛОВСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
АКАДЕМИЧЕСКОЙ ФИЛАРМОНИИ
5. **Канев Н.Г.** *АКИН, Москва*  
АКУСТИКА КОНЦЕРТНЫХ ЗАЛОВ РОССИИ. ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ
6. **Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Гребнев П.А., Щёголев Д.Л., Монич Д.В.**  
*ННГАСУ, Н.Новгород*  
ПРОХОЖДЕНИЕ ЗВУКА ЧЕРЕЗ ОДНОСЛОЙНЫЕ И МНОГОСЛОЙНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ  
КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ
7. **Лившиц А.Я.** *ООО «Акустик Групп», Москва*  
ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ТОНКИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ  
КАРКАСОМ

**Секция АР – Акустика речи, акустические проблемы лингвистики**

**Ляксо Елена Евгеньевна, руководитель**

**07.06.2017- с 11.20 до 13.00**

1. **Крейчи С.А., Кедрова Г.Е., Байрамова Ф.О., Потемкин С.Б., Фролова О.Е.**  
*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*  
МЕЖЪЯЗЫКОВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ НА УРОВНЕ ПРОСОДИИ
2. **Потапова Р.К.<sup>1</sup>, Санников В.Г.<sup>2</sup>, Потапов В.В.<sup>3</sup>**  
*<sup>1</sup>МГТУ, Москва, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО МГУСИ, г. Москва, <sup>3</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*  
СИСТЕМЫ РЕЧЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» И РАЗРАБОТКА  
АЛГОРИТМОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ «ТЕКСТ-РЕЧЬ»
3. **Ляксо Е.Е.<sup>1</sup>, Фролова О.В.<sup>1</sup>, Григорьев А.С.<sup>1</sup>, Николаев А.С.<sup>1</sup>, Бедалова Ш.Г.<sup>1</sup>, Городный В.А.<sup>1</sup>, Михалева К.А.<sup>1</sup>, Гречаный С.В.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>СПбГУ, Санкт-Петербург, <sup>2</sup>СПбГПМУ, Санкт-Петербург*  
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИХ ГОЛОСА И РЕЧИ: СИНДРОМ  
ДАУНА, РАССТРОЙСТВА АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА, УМСТВЕННАЯ ОТСТАЛОСТЬ
4. **Собакин А.Н.** *ФГБОУ ВО МГЛУ, Москва*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛОСОВОГО ИСТОЧНИКА ПО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ
5. **Борисенко С.Ю., Воробьев В.И., Давыдов А.Г.**  
*БГУИР, Минск, Беларусь*

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНОК ФАЗОВОГО ИНВАРИАНТА, ФАЗОВОГО КВАЗИИНВАРИАНТА И БИФАЗЫ

6. **Бобров Н.В.** *ФГБОУ ВО МГЛУ, Москва*  
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СЖАТИЯ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

**Секция ШВ – Шумы и вибрации**

**Бобровницкий Юрий Иванович, руководитель**

**07.06.2017 - с 14.00 до 16.00**

**08.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

1. **Бакланов В.С.** *ПАО «Туполев», Москва*  
ВИБРОАКУСТИКА САМОЛЕТОВ С ДВИГАТЕЛЯМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ)
2. **Бойчук И.П.<sup>1</sup>, Руднев Ю.И.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород*, <sup>2</sup>*ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков*  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМА БИРОТАТИВНОГО ВИНТОВЕНТИЛЯТОРА
3. **Халецкий Ю.Д., Почкин Я.С.** *ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва*  
РОЛЬ РЕАКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА В СИСТЕМЕ ШУМОГЛУШЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
4. **Томилина Т.М., Бобровницкий Ю.И., Бахтин Б.Н., Гребенников А.С.** (приглашенный доклад)  
*ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва*  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭФФЕКТИВНОГО ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА ДЛЯ СРЕДНИХ ЧАСТОТ
5. **Лактионова М.М.<sup>1</sup>, Томилина Т.М.<sup>1</sup>, Бахтин А.С.<sup>1</sup>, Гребенников А.С.<sup>1</sup>, Афанасьев К.М.<sup>1,2</sup>, Вдовин Р.А.<sup>1,2</sup>, Сафин А.И.<sup>1,2</sup>**  
<sup>1</sup>*ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва*, <sup>2</sup>*Самарский национальный исследовательский университет им. Акад. С.П. Королева, Самара*  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ ИЗ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ
6. **Комкин А.И.<sup>1</sup>, Миронов М.А.<sup>2</sup>, Быков А.И.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*МГТУ им. Н.Э. Баумана*, <sup>2</sup>*АКИН, Москва*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА ТОРЦЕВЫМ РЕЗОНАТОРОМ ГЕЛЬМГОЛЬЦА
7. **Фикс И.Ш., Фикс Г.Е.** (приглашенный доклад) *ИИФ РАН, Нижний Новгород*  
О ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ СИСТЕМ АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ЗВУКОВЫХ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
8. **Попков С.В.** (приглашенный доклад) *ФГУП «Крыловский научный центр», Санкт-Петербург*  
ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, КАК СОВОКУПНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
9. **Попов П.А., Иголкин А.А., Крючков А.Н.** *Самарский нац. иссл. ун-т, Самара*  
ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СНИЖЕНИЯ ШУМА ВНУТРИ СБОРОЧНО-ЗАЩИТНОГО БЛОКА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ
10. **Сотов А.В., Томилина Т.М., Гребенников А.С., Лактионова М.М., Агаповичев А.В.**  
*ИМАШ РАН, Москва*  
КОМПАКТНЫЙ СТАЛЬНОЙ ВИБРОИЗОЛЯТОР С ЗАДААННЫМИ ФИЛЬТРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ПО 3D ТЕХНОЛОГИЯМ
11. **Цукерников И.Е., Смирнов В.А.** *НИИСФ РААСН, Москва*  
ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗ ВИБРАЦИИ, ВЫЗВАННОЙ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА НА БЛИЗЛЕЖАЩИЕ ЗДАНИЯ И РАЗРАБТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ
12. **Цукерников И.Е.<sup>1,2</sup>, Шубин И.Л.<sup>1</sup>, Невенчанная Т.О.<sup>1,2</sup>** (приглашенный доклад)  
<sup>1</sup>*НИИСФ РААСН*, <sup>2</sup>*Московский потитехн. ун-т, Москва*  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

13. **Тупов В.Б.** *МЭИ, Москва*  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ МАЛОШУМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА
14. **Иванов Н.И., БойкоЮ.С., Шашурин А.Е.**  
*БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Санкт-Петербург*  
НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО РАСЧЕТУ ВНЕШНЕГО ШУМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
15. **Завгородний Е.А.** *ФГУП «Крыловский научный центр», Санкт-Петербург*  
ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА ВИБРАЦИЙ И ЗВУКОИЗЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ
16. **Заславский Ю.М., Заславский В.Ю., Соков А.М.** *ИПФ РАН, Н.Новгород*  
АКУСТИЧЕСКОЕ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ДВИЖУЩИХСЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА И ВИБРАЦИИ (РЕГИСТРАЦИЯ РЕШЕТКОЙ МИКРОФОНОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ КОСОЙ)
17. **Федотовский В.С., Никулина А.Н., Иванова Е.А.** *ГНЦ РФ ФЭИ, Москва*  
СОБСТВЕННЫЕ ГРУППОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПУЧКА УПРУГИХ СТЕРЖНЕЙ КАК АНСАМБЛЯ ИНЕРЦИОННО СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ДИПОЛЬНОГО ТИПА

**Секция БИО – Биомедицинская акустика**

**Демин Игорь Юрьевич, руководитель**

**08.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

**09.06.2017 - с 09.00 до 11.00**

1. **Клемина А.В., Демин И.Ю., Клемина В.А., Гурбатов С.Н.** *ННГУ, Нижний Новгород*  
ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНОЙ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКОРОСТИ И ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЫВОРОТКЕ КРОВИ
2. **Макалкин Д.И.<sup>1,2</sup>, Коршак Б.А.<sup>3</sup>, Брысев А.П.<sup>1,2</sup>**  
<sup>1</sup>*Международ. Ассоциированная Лаборатория критических и сверхкритических явлений в функциональной электронике, акустике и флюидике*  
<sup>2</sup>*НЦВИ ИОФРАН, Москва;* <sup>3</sup>*МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва*  
УПОРЯДОЧИВАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА В ПОЛЕ СТОЯЧИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН
3. **Дмитриев К.В., Котельников Е.А., Зотов Д.И., Румянцева О.Д.** *МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва*  
УСТАНОВКА ДЛЯ ТОМОГРАФИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ
4. **Юлдашев П.В.<sup>1</sup>, Цысарь С.А.<sup>2</sup>, Хохлова В.А.<sup>3</sup>, Свет В.Д.<sup>4</sup>, Сапожников О.А.<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>*Каф. общей физики и физики конденсир. состояния физфака МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
<sup>2</sup>*Кафедра фотоники и физики микроволн физфака МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
<sup>3</sup>*Кафедра акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,* <sup>4</sup>*АКИН, Москва*  
ВИРТУАЛЬНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СКАНЕР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТРУКТУР И СОСУДОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕРЕЗ КОСТИ ЧЕРЕПА
5. **Сухоручкин Д.А., Цысарь С.А., Сапожников О.А.** *МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*  
ЭХО-ИМПУЛЬСНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНЫЙ ПО ТОЛЩИНЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ В ПРИМЕНЕНИИ К ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ СТРУКТУР МОЗГА
6. **Коренбаум В.И., Почекутова И.А., Малаева В.В., Сафронова М.А., Костив А.Е.**  
*ТОИ ДВО РАН, Владивосток*  
ТРАХЕАЛЬНЫЕ ШУМЫ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА ЧЕЛОВЕКА: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
7. **Харченко С.С., Мещеряков Р.В.** *ТУСУР, Томск*  
МОДЕЛЬ ГОЛОСООБРАЗОВАНИЯ ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ ГОРТАНИ
8. **Римская-Корсакова Л.К., Сухорученко М.Н.** *АКИН, Москва*  
МАСКИРОВКА ИМПУЛЬСОВ ИМПУЛЬСНЫМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ У СЛУШАТЕЛЕЙ С НОРМАЛЬНЫМ СЛУХОМ И ВОЗРАСТНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

9. Демин И.Ю.<sup>1</sup>, Спивак А.Е.<sup>1</sup>, Шнейдман Д.Д.<sup>1</sup>, Рыхтик П.И.<sup>2</sup>, Рябова Е.Н.<sup>2</sup>, Сафонов Д.В.<sup>2</sup>, Андреев В.Г.<sup>3</sup>, Крит Т.Б.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, <sup>2</sup> ПОМЦ ФМБА России, Нижний Новгород  
<sup>3</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКО-УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ (ФАНТОМЫ И СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ), ИСПОЛЬЗУЯ ЭЛАСТОГРАФИЮ СДВИГОВОЙ ВОЛНЫ (РЕАЛИЗОВАНО В СИСТЕМАХ VERASONICS И SIEMENS ACUSON)
10. Андрияхина Ю.С., Синильщиков И.В., Карзова М.М., Юлдашев П.В., Хохлова В.А.  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
УСКОРЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ АБЛЯЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УДАРНО-ВОЛНОВОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ
11. Сапожников О.А., Хасанова М.В. МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
СОЗДАНИЕ ПЛОСКОВОЛНОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ИЗЛУЧАТЕЛЯ КОНЕЧНОГО РАЗМЕРА С ЦЕЛЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
12. Полянский А.И., Сапожников О.А. МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА АРТЕФАКТА МЕРЦАНИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАМНЕЙ В ПОЧКАХ
13. Храмцова Е.А.<sup>1</sup>, Мороков Е.С.<sup>1</sup>, Григорьев Т.Е.<sup>2,3</sup>, Губарева Е.А.<sup>4</sup>, Сотниченко А.С.<sup>4</sup>, Куевда Е.В.<sup>4</sup>, Левин В.М.<sup>1</sup>, Петронюк Ю.С.<sup>5</sup>  
<sup>1</sup> ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, <sup>2</sup> НИЦ «Курчатовский Институт», Москва,  
<sup>3</sup> ИНЭОС им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва, <sup>4</sup> КубГМУ, Краснодар, <sup>5</sup> ЦКБ УП РАН, Москва  
ИМПУЛЬСНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ МИКРОСКОПИЯ МАТЕРИАЛОВ И ОБЪЕКТОВ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ
14. Росницкий П.Б.<sup>1</sup>, Гаврилов Л.Р.<sup>2</sup>, Сапожников О.А.<sup>1</sup>, Высоканов Б.А.<sup>3</sup>, Хохлова В.А.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Кафедра акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
<sup>2</sup> АКИН, <sup>3</sup> Механико-математический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ХИРУРГИИ С ПЛОТНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТАМИ
15. Аносов<sup>1</sup> А.А., Шаракшанэ<sup>1</sup> А.А., Мансфельд<sup>2</sup> А.Д., Санин<sup>2</sup> А.Г.  
<sup>1</sup> ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва; <sup>2</sup> ИПФ РАН, Н.Новгород  
РАСЧЕТ АППАРАТНОЙ ФУНКЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО АКУСТОТЕРМОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

**Секция РДВ – Распространение и дифракция волн**

**Мионов Михаил Арсеньевич, руководитель**

**08.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

**09.06.2017 - с 09.00 до 11.00**

1. Белов А.И., Кузнецов Г.Н. ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
АКУСТИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА РАЙОНА УСТАНОВКИ АНТЕНН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ МОДУЛЕЙ
2. Степанов А.Н., Кузнецов Г.Н. ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ПРИНЦИПА ВЗАИМНОСТИ В ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ ПОЛЯХ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ
3. Белова Н.И., Кузнецов Г.Н. ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВАЯ СТРУКТУРА УЗКОПОЛОСНЫХ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ СИГНАЛОВ В МЕЛКОМ МОРЕ
4. Белов А.И., Кузнецов Г.Н. ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
ЗАТУХАНИЕ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ И ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ ВЕКТОРА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ (СКОРОСТИ) В МЕЛКОМ МОРЕ
5. Грязнова И.Ю., Ивашенко Е.Н., Лабутина М.С. ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород  
ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПО РАЗМЕРАМ НА ОБРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

6. **Красненко Н.П., Буркатовская Ю.Б., Раков А.С., Раков Д.С., Шаманаева Л.Г.**  
*ИМКЭС СО РАН, Томск*  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВДОЛЬ ПРИЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРАСС В ДВИЖУЩЕЙСЯ ТУРБУЛЕНТНОЙ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ И РАССЕЙВАЮЩЕЙ АТМОСФЕРЕ
7. **Дорофеева А.А.<sup>1,2</sup>, Жарников Т.В.<sup>2</sup>, Сыресин Д.Е.<sup>3</sup>, Никитин А.А.<sup>4</sup>**  
<sup>1</sup>*Schlumberger Moscow Research, Москва,* <sup>2</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, физфак, Москва,*  
<sup>3</sup>*Schlumberger Kabushiki Kaisha, Канагава, Япония,* <sup>4</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, геофак, Москва*  
ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДИСПЕРСИОННЫХ КРИВЫХ КВАЗИДИПОЛЬНЫХ МОД АНИЗОТРОПНОГО ВОЛНОВОДА С ПОМОЩЬЮ ПОЛУАНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
8. **Мездрохин И.С., Юлдашев П.В., Хохлова В.А.** *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В СИЛЬНО ФОКУСИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОУГОЛЬНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ
9. **Приходько В.Ю.** *МИРЭА, Москва*  
ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ГРИНА НЕОДНОРОДНОГО АКУСТИЧЕСКОГО СЛОЯ НА УПРУГОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ
10. **Лапин А.Д.** *АКИН, Москва*  
ИЗЛУЧЕНИЕ ДИПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ
11. **Попов Ю.Н., Лисенков Н.М.** *ФГУП «Крыловский научный центр», Санкт-Петербург*  
ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЖНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СИЛЫ ЦЕЛИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ
12. **Попов Ю.Н., Лисенков Н.М.** *ФГУП «Крыловский научный центр», Санкт-Петербург*  
РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕЗЕРКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИ РАССЕЙВАНИИ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ НА ПЛАСТИНЕ С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ИМПЕДАНСНЫМИ УСЛОВИЯМИ
13. **Скобельцын С.А.** *ТГУ, Тула*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОСИ УПРУГОЙ СИММЕТРИИ АНИЗОТРОПНОГО ШАРА ПО РАССЕЯННОМУ ЗВУКОВОМУ ПОЛЮ
14. **Ларин Н.В.** *ТГУ, Тула*  
ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКОЙ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ НА ТЕРМОУПРУГОМ ШАРЕ С НЕОДНОРОДНЫМ ПОКРЫТИЕМ
15. **Трушина П.А.<sup>1</sup>, Канев Н.Г.<sup>1,2</sup>**  
<sup>1</sup>*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва;* <sup>2</sup>*АКИН, Москва*  
ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В МАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОМЕЩЕНИЯ
16. **Федотовский В.С.** *АО ГНЦ РФ - ФЭИ, Обнинск*  
ЭФФЕКТИВНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕЗОНАНСНАЯ ДИСПЕРСИЯ ЗВУКА В ОБЫЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ КОМПОЗИТАХ И МЕТАМАТЕРИАЛАХ
17. **Миронов М.А., Корольков З.А.** *АКИН, Москва*  
ПРЕДЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОДНОМЕРНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ
18. **Субботкин А.О., Вахитов Ш.Я.** *МТУСИ, Москва*  
К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ АНТЕННЫ ОСТРОНАПРАВЛЕННЫХ МИКРОФОНОВ
19. **Вичевич Д.С.<sup>1</sup>, Салин М.Б.<sup>2</sup>, Суворов А.С.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*АО «Концерн «Океанприбор»;* *Санкт-Петербург,* <sup>2</sup>*ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
РАСЧЕТ ДИФРАКЦИОННЫХ КОМПОНЕНТ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
20. **Козабаранов Р.В., Власов А.С., Юнин Д.А., Братишка Э.Н.** *СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров*  
ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

**Секция УТ – Ультразвуковые технологии**

**Сапожников Олег Анатольевич, руководитель**

**09.06.2017 - с 09.00 до 11.00**

1. **Полянский В.А., Третьяков Д. А., Штукин Л.В., Яковлев Ю.А.**  
*СПбПУ Петра Великого», Санкт-Петербург*  
ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСТАЛОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ  
МЕТОДОМ АКУСТОУПРУГОСТИ
2. **Николаев А.Л.<sup>1</sup>, Гопин А.В.<sup>1</sup>, Северин А.В.<sup>1</sup>, Миронов М.А.<sup>2</sup>, Дежкунов Н.В.<sup>3</sup>**  
*<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, <sup>2</sup>АКИН, Москва*  
*<sup>3</sup>БГУИР, Минск, Беларусь*  
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИНТЕЗ ГИДРОКСИАПАТИТА В ДОКАВИТАЦИОННОМ И  
КАВИТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ
3. **Кудряшов Б.А., Нигметзянов Р.И., Перекрестов А.Е., Перекрестова В.А.** *МАДИ, Москва*  
НАЛОЖЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ
4. **Вьюгина А.А.<sup>1</sup>, Новик А.А.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург; <sup>2</sup>ЗАО «УЗ - ИНЛАБ», Санкт-Петербург*  
ВЛИЯНИЕ ПОЛОСТЕЙ НА ПРОДОЛЬНУЮ МОДУ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРАВЛЕНИЯ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
5. **Асташев В.К., Пичугин К.А.** *ИМАШ РАН, Москва*  
АВТОРЕЗОНАНСНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
6. **Петронюк Ю.С.<sup>1,2</sup>, Левин В.М.<sup>1</sup>, Мороков Е.С.<sup>1</sup>, Рыжова Т.Б.<sup>3</sup>, Шаныгин А.А.<sup>3</sup>**  
*<sup>1</sup>ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва;*  
*<sup>2</sup>Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва; <sup>3</sup>ЦАГИ, Москва*  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЕГРАДАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ МЕТОДАМИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ
7. **Мансфельд А.Д.<sup>1</sup>, Санин А.Г.<sup>1</sup>, Волков Г.П.<sup>1</sup>, Беляев Р.В.<sup>1</sup>, Мороскин Д.В.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород; <sup>2</sup>ЗАО «Ультраматр», Саров*  
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ ГАЗА С НАКЛАДНЫМИ ДАТЧИКАМИ

**Секция ОА – Оптоакустика и акустооптика**

**Волошинов Виталий Борисович, руководитель**

**09.06.2017- с 11.20 до 13.00**

1. **Балакший В.И.<sup>1</sup>, Магдич Л.Н.<sup>2</sup>, Манцевич<sup>1</sup> С.Н.**  
*<sup>1</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, физфак, Москва, <sup>2</sup>НИИ «Полюс» имени М.Ф. Стельмаха, Москва*  
ЭЛЕКТРОННАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТЫ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА ФАБРИ-ПЕРО
2. **Пороховниченко Д.Л.<sup>1</sup>, Дьяконов Е.А.<sup>1</sup>, Волошинов В.Б.<sup>1</sup>, Кузнецов С.В.<sup>2</sup>, Федоров П.П.<sup>2</sup>,  
Кузнецов М.С.<sup>3</sup>, Лисицкий И.С.<sup>3</sup>**  
*<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, <sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва,*  
*<sup>3</sup>АО «Гиредмет», Москва*  
ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В МОНОКРИСТАЛЛЕ  
ЙОДИДА ИНДИЯ ДЛЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ
3. **Кожушко В.В.<sup>1</sup>, Сергиенко В.<sup>1</sup>, Мышковец В.Н.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого НАН Беларуси, Беларусь*  
*<sup>2</sup>Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ БЕСКОНТАКТНОЙ  
РЕГИСТРАЦИЕЙ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ
4. **Перекатова В.В., Субочев П.В., Кириллин М.Ю., Турчин И.В.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕНИЯ КРОВИ КИСЛОРОДОМ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИМ  
МЕТОДОМ
5. **Субочев П.В., Перекатова В.В., Михайлова И.С., Кириллин М.Ю., Орлова А.Г., Турчин И.В.**  
*ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
СКАНИРУЮЩАЯ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

6. **Волошинов В.Б.<sup>1</sup>, Хоркин В.С.<sup>1</sup>, Кулакова Л.А.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, <sup>2</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург*  
АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ЯЧЕЙКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В  
ПЛОСКОСТИ ХZ МОНОКРИСТАЛЛА ТЕЛЛУРА

**ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР  
09.06.2017 – с 11.20 до 13.00**

**С.С. Янкин, Ф.Е. Митяков.** ООО «Комсол», Москва  
МАСТЕР-КЛАСС «МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В COMSOL  
MULTIPHYSICS»

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

**Стендовая сессия 1 – АЭР, ГЕО, НА, ФА, АИС, АСА, АР, АЭ  
07.06.2017 - с 16.20 до 18.00**

**Стендовая сессия 2 – АО, БИО, ШВ, РДВ, УТ, ОА  
08.06.2017 - с 16.20 до 18.00**

1. **Авилов К.В.<sup>1,2</sup>, Куличков С.Н.<sup>2</sup>, Попов О.Е.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>ИМАШ РАН, Москва; <sup>2</sup>ИФА им. А.М. Обухова РАН, Москва*  
К ВЫЧИСЛЕНИЮ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ В МОДЕЛЯХ МОРСКОЙ СРЕДЫ, ВКЛЮЧАЮЩИХ  
АТМОСФЕРУ, ВОДНУЮ ТОЛЩУ И ДНО
2. **Алешкин В.М.<sup>1</sup>, Морозова К.Г.<sup>2</sup>, Субботкин А.О.<sup>3</sup>**  
*<sup>1</sup>НИИСФ РААСН, Москва, <sup>2</sup>ООО «ТехноСонус», Москва, <sup>3</sup>МТУСИ, Москва*  
АКУСТИКА КОНЦЕРТНЫХ ПЛОЩАДОК БОЛЬШОГО ОБЪЕМА НА ПРИМЕРЕ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗАЛА «ТЕСЛА 4000» В МОСКВЕ
3. **Ахмеджанов Ф.Р.<sup>1,2</sup>, Азаматов З.Т.<sup>2</sup>, Саидвалиев У.А.<sup>1</sup>**  
*<sup>1</sup>Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан  
<sup>2</sup>Центр радиационной безопасности при МЧС РУз, Ташкент, Узбекистан*  
ЗАТУХАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ ГЕРМАНАТА И СИЛИКАТА  
ВИСМУТА
4. **Ахмеджанов Ф.Р.<sup>1,2</sup>, Азаматов З.Т.<sup>2</sup>, Болтабаев А.Ф.<sup>2</sup>, Саидвалиев У.А.<sup>1</sup>**  
*<sup>1</sup>Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан  
<sup>2</sup>Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан*  
ПАРАМЕТР УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ В НЕЦЕНТРОСИММЕТРИЧНЫХ КУБИЧЕСКИХ  
КРИСТАЛЛАХ
5. **Ахмеджанов Ф.Р.<sup>1,2</sup>, Аликулов Ш.А.<sup>2</sup>, Байтелесов С.А.<sup>2</sup>, Болтабаев А.Ф.<sup>1,2</sup>, Кунгуров Ф.Р.<sup>2</sup>,  
Салихбаев У.С.<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан  
<sup>2</sup>Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан*  
ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА САВ-1
6. **Беляков А.С.<sup>1</sup>, Диденкулов И.Н.<sup>2</sup>, Жигалин А.Д.<sup>1</sup>, Лавров В.С.<sup>1</sup>, Малеханов А.И.<sup>2</sup>,  
Николаев А.В.<sup>1</sup>**  
*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, МОСКВА; <sup>2</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
НАБЛЮДЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ВОРОТИЛОВСКОЙ ГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЕ
7. **Буланов В.А., Стороженко А.В.** *ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*  
О РАССЕЙАНИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ОКЕАНА
8. **Буренин А.В., Моргунов Ю.Н.** *ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ ИЗ ШЕЛЬФА В  
ГЛУБОКОЕ МОРЕ В ЗИМНИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЯПОНСКОГО МОРЯ
9. **Бурков С.И.<sup>1</sup>, Золотова О.П.<sup>2</sup>, Турчин П.П.<sup>1</sup>, Рычков И.М.<sup>1</sup>**  
*<sup>1</sup>СФУ, Красноярск, <sup>2</sup>СибГАУ им. М.Ф. Решетнева, Красноярск*  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН  
СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ «МЕ/ZNO/МЕ/АЛМАЗ» ОТ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

10. **Быховец А.А., Воронова Н.В., Пучков Ю.В., Галанов Г.Н.**  
*АО «Научно-иссл.институт «Элла» с опытным производством», Москва*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОЧКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕГИБА ПАВ РЕЗОНАТОРА НА ПЬЕЗОПОДЛОЖКАХ КВАРЦА СЕМЕЙСТВА ST- СРЕЗА В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ
11. **Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф., Разрезова К.В., Чижов Г.В.** *СПбГМ, Санкт-Петербург*  
ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПЛЁНОЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗВУКА НА ОСНОВЕ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
12. **Вьюгин П.Н.<sup>1</sup>, Диденкулов И.Н.<sup>2</sup>, Курин В.В.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*ННГУ; ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В КЛИНОВИДНОМ ВОЛНОВОДЕ
13. **Гаврилов В.А.<sup>1</sup>, Наумов А.В.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*ИВиС ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский;* <sup>2</sup>*ВГУ, Воронеж*  
МОДУЛЯЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ: РОЛЬ ЖИДКОГО ФЛЮИДА И МЕХАНИЗМ ЭФФЕКТА
14. **Галанов Н.Э., Крошко А.О.** *«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ И ДВУМЕРНОЙ ИЗЛУЧАЮЩИХ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ПРОБИРОК
15. **Галанов Г.Н., Лушников А.В., Поляков В.Ю.**  
*АО «Научно-иссл.институт «Элла» с опытным производством», Москва*  
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРА НА ПАВ-РЕЗОНАТОРАХ С СИСТЕМОЙ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ
16. **Гордеев Б.А., Гордеев А.Б.** *ННГАСУ, Нижний Новгород*  
АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ШНЕКОВЫХ ВАЛОВ
17. **Горин И.А., Зинченко В.Н., Шахворостов Д.Ю., Щёголева Т.В.**  
*АО «Научно-исследовательский ин-т «Элла» с опытным производством», Москва*  
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, СОЗДАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА В ВИДЕ БИМОРФА ДЛЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКСЕЛЕРОМЕТРАХ
18. **Горовой С.В.** *ДВФУ, Владивосток*  
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ
19. **Григорьев А.С., Ляксо Е.Е.** *СПбГУ, Санкт-Петербург*  
АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАСНЫХ ИЗ СЛОВ ДЕТЕЙ 14-16 ЛЕТ
20. **Гринюк А.В.<sup>2</sup>, Кравченко В.Н.<sup>2</sup>, Муханов П.Ю.<sup>1</sup>, Сабиров И.Р.<sup>1</sup>, Сергеев С.Н.<sup>1</sup>, Шуруп А.С.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва;* <sup>2</sup>*АО «НИИ «Атолл»; Дубна*  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ МЕЛКОГО МОРЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПАССИВНОЙ ТОМОГРАФИИ
21. **Грязнова И.Ю., Ивашенко Е.Н., Сомов Р.В.** *ННГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород*  
О РОЛИ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ РАССЕЯНИЯ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ДИСКРЕТНЫХ СЛУЧАЙНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ
22. **Губайдуллина А.А.<sup>1,2</sup>, Пяткова А.В.<sup>1,3</sup>**  
<sup>1</sup>*Тюменский ф-л ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН,* <sup>2</sup>*ТГУ, Тюмень;* <sup>3</sup>*Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, Казань*  
АКУСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ПРИ СМЕШАННЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ
23. **Гурбатов С.Н., Демин И.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОВ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ В ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИКИ (РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА)
24. **Гурбатов С.Н.<sup>1</sup>, Диденкулов И.Н.<sup>1,2</sup>, Мартъянов А.И.<sup>1</sup>, Прончатов-Рубцов Н.В.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*ННГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород;* <sup>2</sup>*ИПФ РАН, Нижний Новгород*  
МЕТОД АКУСТИЧЕСКОГО ВИДЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В ЖИДКОСТИ
25. **Гусев В.А.** *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ В ВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЕ С ПОЛОСТЯМИ
26. **Дерябин М. С.<sup>1</sup>, Гурбатов С.Н.<sup>1,2</sup>, Касьянов Д.А.<sup>2</sup>, Курин В.В.<sup>1</sup>** *ННГУ, ИПФ РАН, Н.Новгород*  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ УЗКОПОЛОСНЫХ ШУМОВЫХ ПУЧКОВ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

27. **Дерябин М.С.<sup>1,2</sup>, Касьянов Д.А.<sup>1</sup>, Курин В.В.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ИПФ РАН, <sup>2</sup>ННГУ, Нижний Новгород  
ОТРАЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ СФОКУСИРОВАННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ОТ АКУСТИЧЕСКИ МЯГКОЙ ГРАНИЦЫ
28. **Диденкулов И.Н., Прончатов-Рубцов Н.В., Пазухин В.Г.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
НЕЛИНЕЙНОЕ АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОСТИ
29. **Диденкулов И.Н.<sup>1</sup>, Сагачева А.А.<sup>1</sup>** ИПФ РАН, ННГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В СУСПЕНЗИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ
30. **Дорофеева А.А., Сапожников О.А.** МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ДИФРАКЦИОННОЙ РАСХОДИМОСТИ И НЕИДЕАЛЬНОСТИ ОТРАЖЕНИЯ ОТ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА ПРИ ГРАДУИРОВКЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МЕТОДОМ САМОВЗАИМНОСТИ
31. **Елистратов В.П.<sup>1</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>2</sup>, Мельников Н.П.<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>Гидрофизический институт Академии наук Абхазии, Сухум; <sup>2</sup>Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва, <sup>3</sup>НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КАВИТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ МОРСКОЙ ВОДЫ
32. **Иванов И.А.** МГУ им. адмирала Невельского, Владивосток  
АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ СЛАБОГО АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ГЛУБОКОМ МОРЕ НА БАЗЕ ВЕКТОРНО-ФАЗОВОГО ДЕТЕКТОРА
33. **Исламгулов В.И.<sup>1</sup>, Безруков Е.В.<sup>1</sup>, Амиров К.М.<sup>1</sup>, Селезнев С.А.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>ВНИИ Нефтепромгеофизика, АО НПФ «Геофизика», Уфа  
АКУСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН
34. **Калинин В.Н.** СПбГМТУ, Санкт-Петербург  
АКУСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДРОССЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕШЕТЧАТОГО ТИПА
35. **Кириллов А.Г., Рейман А.М.** ИПФ РАН, Нижний Новгород  
ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ОЖИРЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТОНУСА ОРГАНИЗМА БОДИСОНИК
36. **Кокшайский А.И., Ширгина Н.В., Коробов А.И.** МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва  
ОСОБЕННОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ НА ПЛОСКУЮ ГРАНИЦУ ДВУХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
37. **Комкин А.И., Львов В.А., Нестеров Н.С.** МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОДУВАНИЮ ВОЛОКНИСТЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ
38. **Кочетов О.Ю.<sup>1</sup>, Петников В.Г.<sup>2</sup>, Шатравин А.В.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>ИО РАН, <sup>2</sup>ИОФ РАН, Москва  
ПРОТОКОЛ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТИ АВТОНОМНЫХ ДОННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
39. **Красненко Н.П.<sup>1,2</sup>, Капегешева О.Ф.<sup>3</sup>, Шаманаева Л.Г.<sup>3,4</sup>**  
<sup>1,2</sup>ИМКЭС СО РАН, Томск, <sup>3</sup>ТУСУР, Томск, <sup>4</sup>ИОА им. В.Е. Зуева, Томск  
ДИНАМИКА СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО ОТКЛОНЕНИЯ ДЛЯ ТРЕХ КОМПОНЕНТОВ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
40. **Красненко Н.П.<sup>1,2</sup>, Кузьмин А.А.<sup>2</sup>, Раков А.С.<sup>1</sup>, Раков Д.С.<sup>1</sup>, Шенин И.Ю.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ИМКЭС СО РАН, <sup>2</sup>ТУСУР, Томск  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СДВОЕННОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОЩНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК
41. **Коньков А.И.<sup>1,2</sup>, Лебедев А.В.<sup>1</sup>, Разин А.В.<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород; <sup>2</sup>ООО «Геодевайс», Санкт-Петербург, <sup>3</sup>АО ФНПЦ «ННИИРТ», Нижний Новгород  
АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В УПРУГОЙ СРЕДЕ С ВОДОНОСНЫМ СЛОЕМ
42. **Кудашова А.А.<sup>1</sup>, Демин И.Ю.<sup>1</sup>, Андреев В.Г.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород; <sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДЫХ МИКРОЧАСТИЦ В ВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ
43. **Лабутина М.С.<sup>1</sup>, Малеханов А.И.<sup>2</sup>, Смирнов А.В.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>ННГУ, <sup>2</sup>ИПФ РАН, Н. Новгород  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫИГРЫША АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ В ВОЛНОВОДЕ В УСЛОВИЯХ ПРИЕМА МНОГОМОДОВОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ МОДОВЫХ ПОМЕХ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

44. **Лебедев А.В., Бредихин В.В., Голиков Н.А., Ельцов Т.И., Коньков А.И., Малеханов А.И., Манаков С.А.** *ИПФ РАН, Нижний Новгород, ИНГ СО РАН, Новосибирск*  
ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ
45. **Лёвшкина Н.В., Кузнецов С.Ю., Сундуков С.К., Фатюхин Д.С.** *МАДИ, Москва*  
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
46. **Легуша Ф.Ф., Олейник М.М., Чижов Г.В., Иляков В.А.** *СПбГМТУ, Санкт-Петербург*  
ДИССИПАЦИЯ ЭНЕРГИИ В АКУСТИЧЕСКОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО ПОЛУПРостРАНСТВА
47. **Лесик М.В., Соловьев С.И., Андреев В.Г.** *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*  
АКУСТИЧЕСКИЙ ПИНЦЕТ ДЛЯ ЗАХВАТА И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ НА БАЗЕ СФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ
48. **Липовко П.О.** *Южно-Российский гос. политехн. ун-т им. М.И. Платова (НПИ), Новочеркасск*  
АКУСТИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКТОИМПЕДАНСОМЕТРИЯ – НОВАЯ МЕТОДИКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ
49. **Лисюгин В.А.<sup>1,2</sup>, Ярошенко А.А.<sup>1,2</sup>, Маленко Ж.В.<sup>2</sup>, Ластовенко О.Р.<sup>1</sup>, Дегтяр А.Д.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*Севастопольский гос. ун-т, Севастополь, <sup>2</sup>ФГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова в г. Севастополе*  
О ВЛИЯНИИ ДВИЖЕНИЯ ФЛЮИДА НА ДИСПЕРСИЮ И ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА В НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ МОРСКИХ ОСАДКАХ
50. **Макаров В.В.** *ФГУП «Крыловский научный центр», Санкт-Петербург*  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВОЙ КОЛОНКИ (ДРК) ПО ВИБРАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
51. **Макаров Д.В., Коньков Л.Е.** *ТОИ ДВО РАН, Владивосток*  
О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ПРИХОДА ЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ
52. **Максимов А.О., Буров Б.А., Саломатин А.С.** *ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*  
ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ИЗЛУЧАЕМЫХ ПОДВОДНЫМИ ГАЗОВЫМИ СИПАМИ
53. **Марापалец Ю.В., Солодчук А.А.** *ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край*  
СТАТИСТИКА ПОЯВЛЕНИЯ ПРЕД- И ПОСТСЕЙСМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
54. **Марфин Е.А., Кирпичникова Т.А., Метелёв И.С.** *Казанский научный центр РАН, Казань*  
ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ШУМОВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ СРЕДАХ
55. **Михралиева А.И., Чернов Н.Н., Заграй Н.П.**  
*Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ, Ростов-на-Дону*  
НЕЛИНЕЙНОЕ ОТРАЖЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ГРАНИЦАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД
56. **Набатов В.В.** *Горный институт НИТУ «МИСиС», г. Москва*  
О СВОЙСТВАХ АКУСТИЧЕСКОЙ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ И ЖИДКОСТЬЮ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УПРУГИХ ВОЛН В ГЕОСРЕДАХ В COMSOL MULTIPHYSICS
57. **Николаев А.С., Ляксо Е.Е.** *СПбГУ, Санкт-Петербург*  
ВОСПРИЯТИЕ ВЗРОСЛЫМИ РЕЧИ ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА
58. **Николаева А.В.<sup>1</sup>, Сапожников О.А.<sup>1,2</sup>, Бэйли М.<sup>2</sup>** *МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва; <sup>2</sup>Центр промышленного и медицинского ультразвука университета шт. Вашингтон, Сизтл, США*  
АКУСТИЧЕСКАЯ РАДИАЦИОННАЯ СИЛА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ СО СТОРОНЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА НА НАХОДЯЩИЙСЯ В ЖИДКОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ШАР: ЭФФЕКТ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ОТ ШИРИНЫ ПУЧКА, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ВОЗБУЖДЕНИЕМ СДВИГОВЫХ ВОЛН
59. **Новиков Е.А., Зайцев М.Г.** *Горный институт НИТУ «МИСиС», г. Москва*  
О ВЛИЯНИИ СВОЙСТВ НАСЫЩАЮЩЕЙ ГЕОМАТЕРИАЛЫ ЖИДКОСТИ НА ХАРАКТЕР ИХ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
60. **Огородникова Е.А., Столярова Э.И., Балякова А.А., Галкина Е.В., Пак С.П.**  
*Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург*  
ОСОБЕННОСТИ ПЕРЦЕПТИВНОГО АНАЛИЗА РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ У ДЕТЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХОРЕЧЕВОЙ ФУНКЦИИ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

61. **Пивков А.В.<sup>1</sup>, Лобачев А.М.<sup>2</sup>, Полянский В.А.<sup>2</sup>, Модестов В.С.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский гос. ун-т гражданской авиации, Санкт-Петербург  
<sup>2</sup>СПбПУ Петра Великого», Санкт-Петербург  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В СИСТЕМЕ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТ-УПРУГИЙ СЛОЙ
62. **Родионов А.А., Савельев Н.В. ИПФ РАН, Нижний Новгород**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ЗВУКА В МЕЛКОМ МОРЕ ДЛЯ РАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА
63. **Смирнов В.В.<sup>1</sup>, Булдаков П.Ю.<sup>2</sup>, Бухаров С.Н.<sup>3</sup>, Вьюненко Ю.Н.<sup>4</sup>, Хлопков Е.А.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Санкт-Петербург  
<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург  
<sup>3</sup>Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого, Гомель  
<sup>4</sup>ООО ""Оптимикст Лтд, Санкт-Петербург  
СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭФФЕКТИВНОСТИ АНТИВИБРАЦИОННЫХ РУКАВИЦ И ПЕРЧАТОК РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
64. **Соколов А.Н. ФГУП «Крыловский научный центр», Санкт-Петербург**  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИБКИХ ВСТАВОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДОВ
65. **Столярова Э.И., Охарева Н.Г. ФГБУН Ин-т физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург**  
ВОКАЛИЗАЦИИ ДЕТЕЙ С СИНДРОМОМ ДАУНА В ДОВЕРБАЛЬНЫЙ ПЕРИОД
66. **Стрельцов Д.А., Клемина А.В. ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород**  
АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ
67. **Тихомиров Ю.М. ФГУП «Крыловский научный центр», Санкт-Петербург**  
ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОДЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ
68. **Хватов А.А. СПбГМТУ, Санкт-Петербург**  
ТЕОРИЯ ФЛОКЕ В АНАЛИЗЕ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ
69. **Хроматов В.Е. Национальный иссл. ун-т «Московский Энергетический институт», Москва**  
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВЕРХЗВУКОВОГО ПОТОКА НА АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ВНУТРИ ФЮЗЕЛЯЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
70. **Чернов В.В. ИПФ РАН, Нижний Новгород**  
ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВОЧНОГО РЕЗОНАНСА СЕЙСМОПРИЁМНИКА НА ГРУНТЕ
71. **Шахворостов Д.Ю., Горинев И.А., Щёголева Т.В.**  
АО «Научно-иссл. ин-т «Элла» с опытным производством», Зеленоград, Москва  
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПЬЕЗОКОМПЗИТА СВЯЗНОСТИ 1-3-0 ДЛЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

## **АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ**

**ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 1,  
посвященная 40-летию Института прикладной физики РАН  
06.06.2017 – с 11.30 до 13.00**

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИПФ РАН**

**Сергеев А.М.**

*Институт прикладной физики РАН. 603950, Нижний Новгород, Ульянова 46*

В докладе представлен краткий обзор истории и современного состояния работ в ИПФ РАН, организованного в 1977 г. академиком А.В. Гапоновым-Греховым. С самого начала ИПФ создавался как институт широкого профиля, выполняющий фундаментальные и прикладные исследования в различных областях физики на основе общего научного фундамента -- радиофизики. Помимо целого ряда крупных достижений в области электроники больших мощностей, физики плазмы, лазерной физики и нелинейной оптики, биофотоники, гидрофизики и гидроакустики, физики атмосферы и ионосферы, нелинейной динамики, институт широко известен своей системой подготовки научных кадров. ИПФ сегодня - один из наиболее крупных научных институтов в стране, занимающий передовые позиции по многим направлениям современной физики. Значительное место среди работ института традиционно занимают акустические исследования и разработки.

**ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ИПФ РАН В ОБЛАСТИ АКУСТИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Коротин П.И.**

*Институт прикладной физики РАН. 603950, Нижний Новгород, Ульянова 46*

Развитие вычислительных средств создает впечатление, что большинство задач акустики может быть решено с помощью численного анализа. При таком подходе на первый план выходит формулировка адекватной физической задаче математической модели, а беспокоиться о сложности этой модели не стоит, так как рано или поздно компьютер выдаст искомый результат. В самом деле: исходные уравнения известны, граничные условия могут быть заданы достаточно точно, от начальных условий «хорошее» решение не должно зависеть, физические параметры среды можно варьировать и исследовать зависимость решения от точности их задания. Эксперимент как бы отходит на второй план и может показаться необязательным довеском.

Однако есть классы задач, в которых экспериментальный подход не может быть исключен или является полноценным партнером численных методов. К таким задачам относится в полной мере акустическое проектирование – создание конструкций с наперед заданными вибрационными и акустическими характеристиками. Здесь есть два, казалось бы, противоположных направления, которые с успехом развиваются в ИПФ РАН на протяжении уже весьма значительного времени: разработка мощных гидроакустических излучателей с высоким КПД и создание малошумных конструкций, которые, даже при наличии виброактивных элементов, будут плохо излучать звук. Наравне решения многочисленных технологических задач, продвижение в обоих этих направлениях требует решения проблем фундаментального характера. Именно в таком сочетании работы по акустическому проектированию ведутся в ИПФ РАН.

Можно ли утверждать, что такие задачи имеют корректное решение? Даже при наличии множества дополнительных факторов, таких как габариты и масса конструкции, ударопрочность и требования по гидростатике, множества прочих ограничений и условий, на начальном этапе разработчик имеет дело с прототипом, построенным по каким-то иным – и часто не акустическим критериям. Прототип задает начальные условия, отталкиваясь от которых, надо предложить варианты модернизации конструкции, оптимальным образом соответствующие главному параметру – максимальному или минимальному уровню акустического давления в заданной полосе частот.

Ведущая роль эксперимента – верифицировать исходную численную модель, которая в принципе может и должна быть построена по чертежам прототипа, но её корректность и точность определяет возможность дальнейшей оптимизации конструкции. Оптимизация конструкции состоит в совмещении численных и физических экспериментов по проверке различного рода предложений по изменению параметров изделия, или в автоматической подгонке этих параметров под изначально заданные требования.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

В докладе представлен обзор ряда конкретных исследований и разработок ИПФ РАН в области акустического проектирования сложных конструкций, таких как корабельные корпуса и мощные низкочастотные излучатели, и тех передовых методов, которые предложены для реализации комплексного подхода к решению соответствующих задач, включая опытную верификацию и оптимизацию акустических характеристик.

### **ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 2, посвященная 100-летию со дня рождения академика Л.М. Бреховских 07.06.2017 – с 09.00 до 11.00**

#### **О НАУЧНОМ И ЖИЗНЕННОМ ПУТИ АКАДЕМИКА Л.М. БРЕХОВСКИХ**

**Серебряный А.Н.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ИО имени П.П.Ширшова РАН, <sup>2</sup>АО «Акустический институт имени акад. Н.Н.Андреева РАН»  
E-mail: [Serebryanu@hotmail.com](mailto:Serebryanu@hotmail.com)

В 2017 г исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося советского и российского физика, основоположника научной школы «Акустика океана» академика Леонида Максимовича Бреховских. В докладе, посвященном этому событию, будут представлены жизненные вехи и основные события творческого пути Л.М. Бреховских. В 1946 г Бреховских, анализируя результаты опытов по распространению звука, проведенных в Японском море, обнаружил явление подводного звукового канала, которое было всесторонне изучено в его последующих теоретических исследованиях. Эти работы имели фундаментальное значение для всего развития подводной акустики как с точки зрения теории распространения волн в океане, так и практических применений. В 1957 г. вышла в свет его монография «Волны в слоистых средах», получившая широкую мировую известность, и ставшая настольной книгой гидроакустиков. Л.М. Бреховских стал первым директором, образованного в 1953 г на базе Акустической лаборатории ФИАН Акустического института АН СССР. В Акустическом институте он создал лабораторию акустических методов исследования океана, которая впоследствии трансформировалась в отдел акустики океана, в котором работала плеяда учеников Л.М. Бреховских, составивших основу всемирно известной Школы Акустики океана. В 1970 г Л.М. Бреховских возглавил проведение гидрофизического эксперимента «Полигон-70» в Атлантическом океане на НИС «Академик Курчатов», в результате которого было сделано одно из самых крупных открытий XX века в науках о Земле - открыты «синоптические вихри» в океане. Результаты многочисленных экспериментов на НИС «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев» были обобщены Л.М.Бреховских и его учениками из Акустического института в книге «Акустика океана», за которую в 1976 г. авторскому коллективу была присуждена Государственная премия. В 1980 г. Л.М.Бреховских перешел в Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН и возглавил там отдел акустики океана, в котором работал вплоть до своей кончины в 2005 г.

#### **ВСПОМИНАЯ ЛЕОНИДА МАКСИМОВИЧА...**

**Зверев В.А.**

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

В докладе будут представлены личные воспоминания о Леониде Максимовиче Бреховских, оказавшем значительное влияние на развитие акустических исследований в Нижнем Новгороде.

#### **УСТОЙЧИВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПОЛЯ В ПОДВОДНОМ ЗВУКОВОМ КАНАЛЕ**

**Вировлянский А.Л.**

*Институт прикладной физики РАН, Россия, 603950, Н. Новгород, Ульянова 46*  
E-mail: [viro@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:viro@hydro.appl.sci-nnov.ru)

Предложен способ отыскания компонент звукового поля в волноводе, которые слабо меняются при вариациях параметров поля скорости звука. Такая компонента формируются узким пучком лучей, разброс вертикальных координат которых на пути до дистанции наблюдения остается меньше вертикального масштаба возмущения. Эти лучи фактически проходят через одни и те же неоднородности, и поэтому их фазы в присутствии возмущения приобретают примерно одинаковые приращения. Формируемая ими компонента монохроматического поля в возмущенном и невозмущенном волноводе отличается лишь фазовым множителем. В случае импульсного поля возмущение приводит лишь к некоторой дополнительной задержке устойчивой компоненты как целого. Для выделения устойчивых компонент из полного поля предложены две процедуры, основанные на использовании разложений поля по когерентным

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

состояниям и нормальным модам. На простейшем примере показано, каким образом устойчивые компоненты поля могут быть использованы при решении задачи локализации источника.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗВУКА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ: В ОКЕАНЕ, В ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩЕ, В АТМОСФЕРЕ И ИХ КОМБИНАЦИЯХ**

**Авилов К.В.<sup>1)</sup>, Куличков С.Н.<sup>2)</sup>, Попов О.Е.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> ИМАШ РАН, ИФА РАН, Москва; <sup>2)</sup> ИФА РАН, Москва. Тел.: (9162601944); E-mail: olegp@mail.ru

В докладе рассмотрено применение новой модификации волнового метода псевдодифференциального параболического уравнения для расчёта распространения звука в различных средах: в водной толще океана, в осадочной толще, в атмосфере и их комбинациях. Расчёт распространения сигналов для комбинаций сред, с существенно разными акустическими свойствами, стал возможен благодаря созданию новой модификации программы уточнённого широкоугольного параболического приближения, позволяющей проводить расчёты для углов скольжения более 800. Представлены примеры расчёта для задач, представляющих большой практический интерес: распространения звука из атмосферы в океан и обратно, а также моделирование сигналов при проведении морской сейсморазведки.

### **ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 3 08.06.2017 – с 09.00 до 11.00**

#### **ФЕМТО-, ПИКОСЕКУНДНАЯ И ТЕРАГЕРЦОВАЯ ОПТОАКУСТИКА: ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Егереv С.В.**

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

*Тел.: (+79857849902); Факс: (+74991264911);*

*E-mail: [segerev@gmail.com](mailto:segerev@gmail.com)*

В работе рассматриваются возможности, открывающиеся перед оптоакустической диагностикой природных сред благодаря появлению лазерных импульсных источников фемто- и пикосекундной длительности и новых средств приема и обработки высокочастотных сигналов. Основа новых возможностей - ранее не наблюдавшиеся физические явления при быстром оптоакустическом преобразовании. В докладе дается обзор новых мировых достижений и даются результаты ряда модельных экспериментов.

Возбуждаемые лазером дистанционные оптико-акустические источники оказались перспективными для исследований состояния морской среды. К концу восьмидесятых годов прошлого века исследовательские центры в разных странах добились существенных успехов в полномасштабном применении опто-гидроакустической технологии. Диагностика поверхностных волн, батиметрия, мониторинг донной реверберации, зондирование слоев дна, диагностика тонкой структуры поверхности морской среды прошли этап анализа осуществимости подобных методов. Однако, несмотря на достигнутую эффективность преобразования «свет-звук», оптоакустический источник пока не нашел широкое применение в морских технологиях. Основная проблема была не только в ненадежном и громоздком лазерном CO<sub>2</sub> оборудовании, доступном в начале девяностых годов. Поверхностный взрывной опто-гидроакустический источник (возможный при наличии длиннофокусной инфракрасной оптики) был неудобен с точки зрения распространения звука в море. Как итог, R&D усилия были прерваны более чем на два десятилетия в ожидании появления более удобного оборудования. Сегодня ситуация изменилась. Гораздо более удобный объемный источник гидроакустического сигнала, заглубленный на 10-20 метров, связан с оптическим пробоем под действием слабофокусированного излучения новых тераваттных фемто- и пикосекундных лазеров. Выяснилось, что эта техника может обеспечить совершенно новую возможность возбуждения источников в объеме среды. С физической точки зрения «новый» оптический пробой в воде отличается от ранее известных наносекундных «искр», распадающихся на множество плазменных микрополостей и управляющихся плотностью выделившейся энергии. Напротив, теперь мы имеем дело с компактной хорошо управляемой (за счет оптической интенсивности в области перетяжки) одиночной лазерной полостью - источником эффективного звука. Определенное неудобство в том, что акустическая энергия оказывается «размазана» в очень широком спектральном диапазоне (до 6 МГц). Однако частота повторения импульсов сегодня гораздо выше предыдущих аналогов, это 10 Гц и выше, что дает устойчивое «озвучивание» акватории в пределах 1-2 км. Алгоритмы обработки сигнала и восстановления ряда важных природных параметров уже отработаны и могут быть пущены в дело.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Примерно такая же, практически, тупиковая ситуация сложилась к концу 90-х гг в другой области применений оптоакустической спектроскопии - диагностике газовых примесей в малых концентрациях. Довольно громоздкая лаборатория на базе СО и СО<sub>2</sub> лазеров монтировалась на шасси грузового автомобиля и с очень умеренной чувствительностью и приблизительной надежностью выявляла газовые примеси, присущие городской среде. Большого успеха эта технология не имела. Однако сегодня развитие получает прорывная технология надежного и чувствительного оптоакустического обнаружения газовых микропримесей. Это т.н. «усиленная кварцем» фотоакустическая спектроскопия (Quartz Enhanced Photoacoustic Spectroscopy, QEPAS). Излучателями являются относительно маломощные лазеры диодного типа. «Сердцем» приемного блока является компактная прозрачная камера с высокочастотным кварцевым камертоном (Quartz Tuning Fork, QTF), имеющим частоту в диапазоне от кГц до ТГц. Излучение диода фокусируется в исследуемой пробе газа точно посередине между рожками камертона. Реакция камертона и позволяет обнаруживать малые примеси с чрезвычайно высокой чувствительностью при применении компактного и сравнительно недорогого модуля обработки. Сегодня в стадии моделирования находится применение QEPAS-метода в рамках мониторинга обнаружения промышленных газов, в пищевой промышленности, мониторинге безопасности, анализе дыхания, оценке качества воздуха в городах - и это лишь малая часть возможных применений.

### **ФИЗИЧЕСКАЯ АКУСТИКА ПОЧЕЧНЫХ КАМНЕЙ: ДИАГНОСТИКА, МАНИПУЛЯЦИЯ, ФРАГМЕНТАЦИЯ**

**Сапожников О.А.**

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
E-mail: oleg@acs366.phys.msu.ru*

Акустические волны, прежде всего ультразвуковые, находят широкое применение в современной медицине. Наряду с биомедицинскими исследованиями, принципиальную роль в разработке новых диагностических и терапевтических методов играет изучение различных физических явлений, происходящих в человеческом теле под действием ультразвука. Одним из интересных объектов исследования, с которым ассоциируется особенно широкое разнообразие физических эффектов, являются почечные камни. Они имеют более высокий акустический импеданс по сравнению с окружающими мягкими тканями и поэтому эффективно рассеивают падающие на них акустические волны, например, в процессе эхо-импульсной ультразвуковой визуализации. При этом внутри почечного камня происходит возбуждение не только продольных, но и сдвиговых волн, а на поверхности камня под действием коротких зондирующих импульсов могут образовываться и испытывать нестационарные осцилляции микроскопические газовые пузырьки. Благодаря этому имеется возможность разработки чувствительных методов диагностики мочекаменной болезни. При направлении на камень интенсивного ультразвукового пучка возникает заметная радиационная сила. Тем самым появляется возможность дистанционного перемещения камней в почке (манипуляция), причём при специальном подборе структуры акустического поля возможно осуществить и вращение камней. Наконец, если использовать акустические волны большой амплитуды, можно добиться фрагментации камней. Примером является уже давно используемый метод разрушения с помощью ударных волн – экстракорпоральная ударноволновая литотрипсия. Основные закономерности возникновения разрушающих напряжений удаётся объяснить в рамках традиционных для акустики моделей. Достигнутое понимание механизмов разрушения позволяет разработать новые способы ультразвукового разрушения камней, в частности, с использованием коротких квазисинусоидальных импульсов. В докладе рассматриваются последние результаты по диагностике, манипуляции и фрагментации почечных камней и обсуждаются соответствующие перспективы использования ультразвуковых волн. Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-00261 и грантом Президента РФ по программе поддержки ведущих научных школ № НШ-7062.2016.2.

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ  
НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЬЕЗОМАТЕРИАЛОВ**

**Жуков В.Б., Катунин А.А., Селезнев И.А.**

*Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург*

В докладе приведены результаты исследований по возможности создания гидроакустических преобразователей на основе перспективных пьезоматериалов – пьезокомпозитов на основе пьезокерамики, пьезокомпозитов на основе сегнетоэлектрических кристаллов сульфидида сурьмы  $SbSI$ , и пьезопленок. Обоснована необходимость создания новых конструкций преобразователей, связанная с расширением задач прикладной гидроакустики, перечислены основные достоинства таких преобразователей по отношению к традиционным датчикам на основе пьезокерамики, показана конструкция преобразователей и приведены основные характеристики, измеренные на макетах, созданных в ходе исследования. Работа выполнена в рамках проекта по заданию Фонда перспективных исследований.

**Секция АЭР – Аэроакустика**

Копьев Виктор Феликсович, руководитель

*Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского,*

*140180, Россия, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского 1;*

*E-mail: vkopiev@mktsagi.ru*

**06.06.2017 - с 14.00 до 18.00**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА  
ТУРБУЛЕНТНОГО ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА**

**Копьев В.Ф.<sup>1,2)</sup>, Зайцев М.Ю.<sup>1,2)</sup>, Храмцов И.В.<sup>2)</sup>, Черенкова Е.С.<sup>2)</sup>, Юдин М.А.<sup>1,3)</sup>**

*<sup>1)</sup> НИМК ЦАГИ, Москва; <sup>2)</sup> ПНИПУ, Пермь;*

*<sup>3)</sup> МФТИ, Жуковский*

*Тел.: 495 9169091; E-mail: [aeroacoustics@tsagi.ru](mailto:aeroacoustics@tsagi.ru)*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований шума турбулентного вихревого кольца и его направленности. Эксперименты проводились в акустической заглушенной камере в лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа ПНИПУ. Вихревые кольца создавались с помощью поршневого генератора вихревых колец. По микрофонам, расположенным вблизи траектории вихревого кольца, определялись его скорость и положение. Измерены характеристики акустического дальнего поля вихревого кольца. Проведены эксперименты с ловушкой для вихревых колец и измерен фоновый шум. По сравнению спектров в экспериментах при наличии вихревого кольца и его отсутствии выделена частота, соответствующая характерной частоте излучения вихревого кольца. С помощью многомикрофонных решеток измерена азимутальная структура пульсаций давления дальнего поля пролетающего вихревого кольца. Проведено исследование зависимости характеристик акустического дальнего поля в зависимости от положения и скорости вихревого кольца. Результаты сравнивались с результатами предшествующих экспериментальных и теоретических исследований о проблеме излучения звука вихревым кольцом.

**Ключевые слова:** турбулентное вихревое кольцо, излучение звука

**СТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОНКОГО ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА  
И ЕГО ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ**

**Акиншин Р.В.<sup>1,2)</sup>, Юдин М.А.<sup>1,2)</sup>**

*<sup>1)</sup> НИМК ЦАГИ, Москва;*

*<sup>2)</sup> МФТИ, Жуковский*

*Тел.: 495 9169091; E-mail: [aeroacoustics@tsagi.ru](mailto:aeroacoustics@tsagi.ru)*

Вихревое кольцо является удобным объектом как для теоретического, так и экспериментального исследования. В силу большой сложности его описания, теоретическое изучение динамики проводится лишь в приближении тонкого вихревого кольца. Параметр тонкости вихревого кольца определяется как отношение характерного радиуса сечения ядра к радиусу вихревого кольца  $\mu = a/R$ . В работе найдены стационарные решения для однородного (завихренность пропорциональна расстоянию от оси симметрии) и изохронного (одинаковый период обращения для всех жидких частиц в ядре) вихревых колец в невязкой несжимаемой жидкости. Получены форма границы и скорости в ядре вихревого кольца с точностью до третьего приближения по  $\mu$ . Вычислены энергия и импульс для каждого из рассматриваемых течений. Разработан алгоритм нахождения высших приближений в задаче об изохронном вихревом кольце. Решена задача об осесимметричных собственных колебаниях вихревого кольца для обоих случаев. Показано, что в случае однородного вихревого кольца возмущения имеют непрерывный и дискретный спектр колебаний, а в случае изохронного – только дискретный.

**Ключевые слова:** вихревое кольцо, стационарное решение, колебания

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ  
В ЗАГЛУШЕННОЙ КАМЕРЕ ПНИПУ**

**Копьев В.Ф.<sup>1,2</sup>, Храмцов И.В.<sup>2</sup>, Черенкова Е.С.<sup>2</sup>, Пальчиковский В.В.<sup>2</sup>, Берсенев Ю.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*НИМК ЦАГИ, Москва*

<sup>2</sup>*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь  
Тел.: 342 2198917; E-mail: igorhrs92@mail.ru*

Механизмы генерации шума интенсивными турбулентными течениями на данный момент являются мало изученными. При этом основные физические закономерности должны проявляться уже в самых простых вихревых течениях. Примером такого течения является вихревое кольцо.

Шум вихревого кольца удается различить на фоне помех только в специальных акустически заглушенных камерах. В данной работе регистрация шума, свободно летящего вихревого турбулентного кольца проводилась в заглушенной камере размерами 10×6,7×4,1 м, недавно построенной и введенной в эксплуатацию в лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Для исследования аэроакустических характеристик данного вихря в Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа авторами был спроектирован и создан специальный генератор вихревых колец, который позволяет создавать интенсивные вихревые кольца и, при этом, обладает низким уровнем структурного шума установки. Стоит отметить, что заглушенная камера Пермского национального исследовательского политехнического университета является единственной в мире оснащенной штатным генератором вихревых колец.

В работе проводятся экспериментальные исследования по регистрации шума турбулентных вихревых колец, траектории и скорости данных вихрей с помощью современных методов многоканальных акустических измерений. Рассматриваются вихри разных размеров и скоростей, созданные с помощью сопловых насадок генератора вихревых колец размерами 30, 40 и 50 мм. Получены усредненные по ансамблю реализаций спектры для различных участков траектории движения вихревого кольца для двух случаев, когда кольцо создавалось и беспрепятственно перемещалось, и когда кольцо специально разрушалось на начальном этапе траектории, что позволило выделить шум вихревого кольца, на фоне структурного шума установки.

**Ключевые слова:** турбулентное вихревое кольцо, аэроакустика, заглушенная камера, поршневой генератор вихрей

**ПОЛУЧЕНИЕ ТОЧНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ МОД  
В ПРЯМОУГОЛЬНОМ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛАХ С ПОТОКОМ ПРИ НАЛИЧИИ  
СКАЧКА ИМПЕДАНСА**

**Остриков Н.Н.<sup>1,2)</sup>, Соболев А.Ф.<sup>1)</sup>, Яковец М.А.<sup>1,3)</sup>**

<sup>1)</sup> *НИМК ЦАГИ, Москва;* <sup>2)</sup> *ПНИПУ, Пермь;* <sup>3)</sup> *МФТИ, Жуковский  
Тел.: 495 9169091; E-mail: [aeroacoustics@tsagi.ru](mailto:aeroacoustics@tsagi.ru)*

Настоящая работа посвящена получению точного решения в задаче о распространении звука в канале с однородным потоком при наличии скачка импеданса. При этом рассматриваются два варианта канала: цилиндрический и прямоугольный со скачком импеданса на одной из стенок. Получено точное решение с помощью метода Винера-Хопфа с дополнительным условием конечности потока акустической энергии в окрестности разрыва граничных условий. Показано наличие в звуковом поле логарифмической особенности вблизи скачка. Проведено сравнение точного решения с решением, полученным методом сшивания мод, в том числе с применяемой при извлечении импеданса шшивкой по одной моде. В результате обнаружено, что относительная ошибка приближенных методов при определении амплитуд отраженных и прошедших мод может быть существенной. Полученное решение позволит уточнить методики выбора оптимальной облицовки двигателя, а также процедуру извлечения импеданса ЗПК на созданной в НИМК ЦАГИ экспериментальной установке «Интерферометр с потоком».

**Ключевые слова:** скачок импеданса, прямоугольный канал, цилиндрический канал, метод Винера-Хопфа

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЗОНАТОРОВ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Кустов О.Ю., Храмцов И.В., Федотов Е.С., Пальчиковский В.В., Синер А.А., Писарев П.В.**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь  
Тел.: +79223122242; E-mail: [KustovOU@yandex.ru](mailto:KustovOU@yandex.ru)*

Международные нормы к допустимым уровням шума гражданских самолетов постоянно ужесточаются. Одним из главных источников шума современных самолетов является вентилятор авиационного двигателя (АД). Для снижения такого шума каналы АД облицовываются звукопоглощающими конструкциями (ЗПК) в основном резонансного типа. Ранее неоднократно предпринимались попытки численного моделирования процессов в резонаторах с целью дальнейшей разработки новых геометрических форм резонаторов, способствующих более эффективному снижению шума. Однако стоит отметить, что подобные исследования часто велись в линейной постановке, что не соответствует реальным условиям эксплуатации ЗПК в АД, которые реализуются при высоких уровнях акустического давления (140 дБ и выше), также они ограничивались двухмерными и осесимметричными расчетами и были оторваны от реального эксперимента. Авторами проведен ряд экспериментальных и численных исследований, в которых отсутствуют указанные недостатки.

По экспериментальной части исследований выполнены следующие работы: создан интерферометр с нормальным падением волн для испытаний образцов ЗПК при высоких уровнях акустического давления; проведена верификация работы созданной установки с результатами испытаний, полученными на других аналогичных установках; выполнена оценка влияния дефектов образцов ЗПК на результаты акустических измерений; создан тестовый образец и выполнены его испытания при уровнях 130, 140 и 150 дБ с целью получения необходимых данных для численного моделирования.

Численное моделирование основывалось на прямом решении уравнений Навье-Стокса (DNS) с учетом сжимаемости. Расчеты проводились как в осесимметричной, так и в полной 3D-постановке. Использовалась реальная геометрия канала интерферометра и образца ЗПК. В расчет закладывался акустический сигнал из реального эксперимента. В результате расчетов в точках, где в эксперименте располагались микрофоны, записывалось акустическое давление. Полученные данные обрабатывались по методу передаточной функции на основе двух микрофонов, в результате чего определялся импеданс и коэффициент звукопоглощения.

Сопоставление определенного численным моделированием импеданса и коэффициента звукопоглощения с результатами эксперимента выявило хорошее количественное соответствие между ними. Таким образом, проведенный комплекс исследований может лечь в основу разработки методики проектирования резонаторов ЗПК.

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В СОТОВЫХ РЕЗОНАНСНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

**Валиев Х.Ф., Осипов А.А., Пьянков К.С., Яковлев Е.А.**

*ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва  
Тел.: (495 3616640); Факс: (495 3616640); E-mail: [aosipov@ciam.ru](mailto:aosipov@ciam.ru)*

Наиболее рациональный подход к теоретическому анализу проблемы повышения эффективности шумоглушения в авиационных двигателях состоит в линейном описании воздействия звукопоглощающей конструкции (ЗПК) на формирование акустического поля в проточном тракте с использованием импедансного граничного условия, моделирующего это воздействие на тех участках границы расчетной области, которые соответствуют звукопоглощающей облицовке канала. В соответствии с данным подходом разработаны метод и программное обеспечение для расчетного определения импедансных характеристик сотовой ЗПК резонансного типа, установленной на поверхности, обтекаемой вязким турбулентным потоком газа и описываемой в рамках двумерного приближения. Рассматривается плоская сотовая панель бесконечной протяженности, обтекаемая полубезграничным однородным при удалении от панели потоком газа, в котором распространяется приходящая извне акустическая волна, характеризующаяся гармонической пространственно-временной зависимостью возмущений параметров потока и произвольной ориентацией ее плоского фронта относительно поверхности ЗПК. Расчетный метод опирается на формулировку вычислительной задачи, согласно которой рассматривается нестационарный процесс, характеризующийся одинаковыми для всех сотовых ячеек панели ЗПК осредненными по времени параметрами пограничного слоя. Указанное свойство процесса достигается за счет введения в уравнения течения искусственных источников членов, парирующих естественное непрерывное нарастание осредненного по времени пограничного слоя вдоль панели и обеспечивающих в нем формирование надлежащего поля турбулентной вязкости. Использование предложенного подхода позволяет свести задачу

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

к расчету течения в компактной расчетной области, включающей в себя лишь небольшое количество сотовых ячеек панели ЗПК. Физическая корректность такой постановки задачи обеспечивается выполнением условия пространственной или обобщенной пространственно-временной периодичности нестационарного течения на входной и выходной границах расчетной области.

Решаемая в работе задача однородна по отношению ко всем сотовым ячейкам, включенным в расчетную область, а получаемое решение (комплексная величина коэффициента отражения или акустического импеданса акустической облицовки) рассматривается как характеристика произвольной отдельной сотовой ячейки, локальным образом описывающая ее работу в составе панели ЗПК при конкретных значениях параметров, характеризующих ее конфигурацию, обтекающий поток и внешнее акустическое воздействие. Найденная таким способом зависимость импеданса сотовой ячейки от параметров задачи позволяет при проведении практических расчетов задать соответствующее распределение импеданса на панели конечной протяженности, отвечающее локальным условиям работы каждой сотовой ячейки и описывающее их совокупное звукопоглощающее воздействие.

Сквозной расчет нестационарного течения в области внешнего потока, обтекающего панель ЗПК с образованием вязкого пограничного слоя, и в полостях сотовых ячеек проводится на основе численного интегрирования уравнений URANS, замкнутых моделью турбулентности  $t-90$ . Разработанная методология позволяет исследовать особенности линейного и нелинейного взаимодействия звука с ЗПК при различных значениях параметров падающей звуковой волны, основного потока газа и конструктивных параметров ячейки ЗПК.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 14-01-00146).

**Ключевые слова:** сотовые звукопоглощающие конструкции, математическое моделирование

### НЕКОТОРЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРДД РАЗНЫХ КЛАССОВ ТЯГИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ ШУМА

Замтфорт Б.С.

*ЦАГИ, г. Москва; Тел.: 8-916-242-04-70; E-mail: [aeroacoustics@tsagi.ru](mailto:aeroacoustics@tsagi.ru)*

Рассмотрены акустические характеристики ТРДД в классе тяг от 12 до 18тс и от 35 до 40тс. Все двигатели рассматриваются с большой и сверхбольшой степенью двухконтурности ( $m$ ). Известно, что с увеличением  $m$  растет и диаметр вентилятора, что приводит к необходимости: 1.уменьшить число лопаток рабочего колеса из-за роста их размеров и массы; 2.снизить частоту вращения ротора при его постоянной окружной скорости – все это ведет к снижению частоты следования лопаток вентилятора и ее гармоник. Следствием уменьшения частот следования лопаток и ее гармоник является увеличение высоты звукопоглощающих конструкций, что для двигателей очень больших тяг 35-40тс и диаметром 3м может создавать проблемы с их компоновкой в каналах вентилятора. В тоже время для двигателей с тягой в 12-18тс можно применить схему с редуктором – ТРДДР. Использование редуктора дает возможность независимо выбирать числа оборотов вентилятора и его привода – турбины низкого давления (ТНД). Для вентилятора это расчетные окружные скорости ( $U_{вр}$ ) 250-300 м/с в зависимости от требуемой степени повышения давления ( $\lambda_v$ ), которая, в свою очередь, зависит от  $m$ . Чем больше  $m$ , тем меньше потребное  $\lambda_v$  и может быть меньше  $U_{вр}$ . У ТНД повышение окружной скорости позволяет резко сократить число ее ступеней (с 6-7 для ТРДД до 2-3 для ТРДДР), что в сочетании с увеличением числа лопаток ее последней ступени дает возможность вывести частоты следования лопаток и ее гармоник за пределы 1/3-октавной полосы частот со средней частотой ( $f_{cp}$ ) 10кГц. В соответствии со стандартом ИКАО уровни шума учитываются при измерениях и расчетах только в диапазоне частот от 50Гц до 10кГц, поэтому тональный шум последней ступени ТНД, лежащий выше 1/3-октавы с  $f_{cp}=10кГц$ , не будет вносить вклад в уровни шума, создаваемые самолетом в контрольных точках.

**Ключевые слова:** турбореактивный двигатель, степень двухконтурности, окружная скорость, акустические характеристики, EPN дБ

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТНОГО ВИНТА НА РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО  
ПОЛЕТА, СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ПОЛУЧЕННЫМИ ДАННЫМИ И ДРУГИМИ  
РАСЧЕТАМИ**

**Воронцов В.И., Зайцев М.Ю., Карабасов С.А.**

*НИМК ЦАГИ, Москва;  
Тел.: 495 9169091; E-mail: [aeroacoustics@tsagi.ru](mailto:aeroacoustics@tsagi.ru)*

Данная работа посвящена численному исследованию вертолетного винта в различных конфигурациях. Расчеты проводились для двух- и четырех-лопастных конфигураций для трех различных углов установки и четырех скоростей вращения на режиме висения. В основе расчетного метода лежит гибридный метод моделирования шума. Отличительными особенностями используемого метода является разбиение области задачи на две подобласти: ближнюю и дальнюю. В ближней области проводится сквозной расчет уравнений Эйлера в неинерциальной системе координат, в дальней области применяется метод Фокса Вильямса-Хокинга. Полученные из расчета данные сравниваются с результатами аэродинамических и акустических характеристик вертолетного винта на открытом стенде. Так же проводится сравнение результатов расчета винта на режиме полета вперед при трансзвуковых концевых скоростях лопасти с данными из статьи Transonic Helicopter Noise (A.S.Morgans, S.A.Karabasov, A.P.Dowling, and T.P.Hynes).

**Ключевые слова:** численная программа, аэродинамические характеристики, акустические характеристики, несущий винт

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ БЛИЖНЕГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЙ**

**Бендерский Л.А., Крашенинников С.Ю., Миронов А.К.**

*Центральный Институт Авиационного Моторостроения, г. Москва  
Тел.: +7(495) 3620123; E-mail: [krashenin@ciam.ru](mailto:krashenin@ciam.ru)*

Проведенные ранее исследования показывают, что шум дозвуковых турбулентных струй создается вследствие крупномасштабного движения динамических неоднородностей в потоке струи. В случае сильно закрученных турбулентных струй это обусловлено прецессионным движением, сопровождающим распространение закрученной струи с возвратным течением в приосевой области. Прецессионное движение имеет периодический характер, и характерная частота прецессии совпадает с основным тоном наблюдаемого акустического излучения струи. В случае свободной незакрученной турбулентной струи в слое смещения наблюдаются медленно трансформирующиеся крупномасштабные динамические неоднородности, обусловленные перемежаемостью турбулентности. Они движутся со скоростью конвекции:  $u_c \approx 0.6u_0$ , где  $u_0$  - скорость истечения струи. Их характерный размер  $L$  увеличивается с удалением от источника струи приблизительно по линейному закону. Экспериментально определяемое положение источников звука для конкретной частоты излучения обнаруживает пропорциональную связь длины волны излучения и удаления от среза сопла  $x$ . Характерная частота излучения

$$Sh = \frac{fd}{u_0} \approx 1.55d / x \quad (1)$$

Для исследования формирования звуковых волн в ближнем акустическом поле использовался фазовый анализ распространения возмущений для конкретных частот и визуализация нестационарного движения среды вблизи границ рассматриваемых струй. Структура течения и распространения возмущений вблизи струи, в случае закрученных струй, исследовались экспериментально, а для свободных турбулентных струй на основании вычислительного моделирования.

Исследование показало, что в рассматриваемых струях наблюдаются крупномасштабные области пониженного статического давления, движение которых создает возмущения в эжектируемых струями потоках внешней среды. Для закрученных струй характерная частота этих возмущений совпадает с частотой прецессии. Для турбулентных струй она соответствует соотношению (1), т. е. разная для разных участков струи.

Определялась разница фаз пульсаций скорости и давления в возмущениях, распространяющихся вне струи, вблизи ее границ, по микрофонным и термоанемометрическим измерениям, в случае закрученной струи, и по результатам Фурье анализа данных численного расчета нестационарного течения, в турбулентных струях. Полученные данные показали, что вблизи границ струй существует область, где разница фаз пульсаций давления и скорости составляет  $90^\circ$  и более, т. е. отсутствуют распространяющиеся возмущения. За пределами этой области разница фаз постепенно уменьшается. Фазы пульсаций скорости и давления

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

совпадают на удалении от границ струи составляющего около четверти длины волны акустического возмущения.

Исследования позволяют сделать вывод о существовании вблизи границ рассматриваемых струй, вне этих границ, области, в которой формируется акустическое излучение. Оно возникает из-за нестационарного движения областей пониженного давления, вызываемого прецессией в закрученных струях и перемежаемостью турбулентности (нестационарным движением «турбулентной жидкости») в свободных турбулентных струях.

**Ключевые слова:** турбулентные струи, перемежаемость, прецессия, излучение звука, ближнее акустическое поле

### РАСЧЕТ НИЗКОЧАСТОТНОГО УСИЛЕНИЯ ШУМА СТРУИ ВБЛИЗИ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О ПУЛЬСАЦИЯХ ДАВЛЕНИЯ В БЛИЖНЕМ ПОЛЕ ИЗОЛИРОВАННОЙ СТРУИ

Фараносов Г.А.<sup>1,2)</sup>, Бычков О.П.<sup>1,3)</sup>

<sup>1)</sup> НИМК ЦАГИ, Москва; <sup>2)</sup> ПНИПУ, Пермь; <sup>3)</sup> МФТИ, Жуковский  
Тел.: 495 9169091; E-mail: [aeroacoustics@tsagi.ru](mailto:aeroacoustics@tsagi.ru)

В работе представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований шума взаимодействия

струи и плоской пластины. Эксперименты проводились в заглушенной камере АК-2 на модели одноконтурного сопла при наличии и отсутствии пластины, имитирующей плоскость крыла. Измерены характеристики дальнего акустического поля изолированной струи и струи при наличии жесткой пластины, расположенной параллельно оси струи на расстоянии 1 диаметра сопла от нее. С помощью многомикрофонных решеток измерена азимутальная структура пульсаций давления ближнего поля изолированной струи. По результатам измерений построена упрощенная модель ближнего поля пульсаций струи, которая использована для определения величины низкочастотного усиления шума струи при наличии близкорасположенной пластины с помощью разработанного ранее аналитического метода. Проведено сравнение результатов моделирования с данными измерений шума струи при наличии пластины.

**Ключевые слова:** шум струи, ближнее поле струи, взаимодействие струи и крыла

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОЛОЖЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ШУМА В ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУЕ

Грязев<sup>1,2,a)</sup> В.М., Карабасов<sup>2,b)</sup> С.А., Горбачев<sup>1,c)</sup> Д.В.

<sup>1)</sup> Тульский государственный университет. Тула, пр. Ленина 92  
<sup>2)</sup> Queen Mary University of London. Mile End Rd, London, UK  
E-mail: <sup>a)</sup> [vasily.gryazev@gmail.com](mailto:vasily.gryazev@gmail.com), <sup>b)</sup> [s.karabasov@qmul.ac.uk](mailto:s.karabasov@qmul.ac.uk), <sup>c)</sup> [dgvmail@mail.ru](mailto:dgvmail@mail.ru)

Изучается задача нахождения по спектрам шума в дальнем поле положения источников в горячей турбулентной струе, температура которой существенно превышает окружающую. Основой моделирования является акустическая аналогия Голдстейна и решение системы уравнений для сопряженной векторной функции Грина. В качестве эталонного решения рассматривается модель переноса звука в параллельном потоке с учетом градиента температуры, которая описывается уравнением типа Рэлея для каждой азимутальной гармоники соответствующей компоненты функции Грина. В случае простого кольцевого источника вычисление спектра шума сводится к нахождению пропагатора функции Грина, в которой также участвуют полученные из LES-расчетов безразмерные амплитуды обобщенного тензора ковариации флуктуационных напряжений.

**Ключевые слова:** шум реактивной струи, акустическая аналогия, турбулентность, эффективный источник, функция Грина

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **РАЗДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ШУМА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Городкова Н.А., Чурсин В.А., Бурдаков Р.В., Берсенеv Ю.В.**

*АО «Авиадвигатель», г. Пермь*

*Тел.: 8-342-2113036; Факс: 8-342-2815477; E-mail: chursin@avid.ru*

В настоящем докладе представлен метод анализа вклада таких источников шума двигателя, как вентилятор, компрессор, струя в общий шум авиационного двигателя. Для анализа использовались данные шума двигателя, полученные на открытом стенде АО «Авиадвигатель» микрофонами давления в приземном слое и на уровне оси двигателя. Микрофоны располагались в дальнем поле на полуокружности радиусом 50 м от двигателя. С помощью методов спектрального анализа случайных данных удалось выделить шум менее значимых источников (таких как компрессор) в широкополосном шуме основных источников (вентилятор), который превышает шум компрессора даже на его резонансных частотах и делает «невидимым» вклад компрессора в общий шум двигателя. Такое разделение позволяет заранее предсказывать шум и закладывать его в процессе проектирования малошумного двигателя. Представленная методика определяет шум на наиболее значимых частотах и является первым шагом в решении этой проблемы. Планируется использовать полученные наработки для разработки комплексного метода предсказания вклада шума отдельных источников в шум двигателя.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО ОБТЕКАНИЯ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШЕВРОННЫХ СОПЕЛ В КОМПОНОВКЕ С ПИЛОНОМ И КРЫЛОМ**

**Крашенинников С.Ю., Маслов В.П., Мионов А.К.**

*Центральный Институт Авиационного Моторостроения, г. Москва*

*Тел.: +7(495) 3620123; E-mail: akomir@mail.ru*

Проведено экспериментальное исследование влияния внешнего обтекания на акустическую эффективность шевронных сопел в компоновке с пилоном и крылом с закрылками. Закрылки были отклонены на угол 20°, характерный для взлета самолета. Испытания проводились на мелкомасштабных (M1:60) моделях. Моделировалось выходное устройство перспективного двигателя со степенью двухконтурности порядка 12. Перепад давления в сопле внутреннего контура составлял  $NPR_1=1.28$ , наружного –  $NPR_2=1.5$ , температура газа внутреннего контура равнялась 815 К, наружного – 310 К. Испытаны две модели шевронных сопел наружного контура, отличавшихся числом и размером шевронов («крупные» и «мелкие» шевроны). Измерения проводилось как в статических условиях, так и при моделировании условий полета – внешнее обтекание модели при числе Маха 0.28.

Измерены диаграммы направленности и спектры шума струи за эталонным и шевронными соплами под различными азимутальными углами. Проведены оценки влияния шевронов на эффективно воспринимаемые уровни шума (EPNL) струи двигателя в контрольной точке с учетом масштаба моделей. При оценках предполагалось, что струя является независимым источником шума двигателя на местности.

Результаты испытаний показали, что шевроны снижают общий шум струи на величину 1-1.5 dB в статических условиях и на 0.5-1 dB при моделировании условий полета.

В статических условиях шевроны снижают шум в области максимума спектров излучения на величину порядка 2 dB. При использовании шевронных сопел рассмотренной конфигурации практически не наблюдается усиления шума на высоких частотах, так называемого «паразитного высокочастотного шума» (high frequency penalty).

При моделировании условий полета ярко выраженного снижения шума в области максимума спектров при использовании шевронов не наблюдается. При этом на высоких частотах, в отличие от измерений в статических условиях, шум струи снижается на заметную величину – 1.5 - 2 dB. Это, по-видимому, обусловлено тем, что при внешнем обтекании появляются дополнительные источники высокочастотного шума, связанные с взаимодействием струи с закрылками. Шевроны изменяют структуру течения и подавляют дополнительный шум.

Результаты оценок влияния шевронов на EPNL показали, что акустическая эффективность «крупных» шевронов находится на уровне 1 EPNdB. Эффективность «мелких» шевронов оказалась ниже на величину 0.4-0.6 EPNdB в зависимости от азимутального угла и условий внешнего обтекания.

**Ключевые слова:** турбулентные струи, шевронные сопла, снижение шума авиадвигателей

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЯ ШУМА ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА  
ОТ ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЯ**

**Дорофеева А.А.<sup>1), 2)</sup>, Жарников Т.В.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>*SchlumbergerMoscowResearch, Москва*

<sup>2)</sup> *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, физфак, Москва*  
*Тел.: (495 9358200); Факс: (495 6442003); E-mail: [tzharnikov@slb.com](mailto:tzharnikov@slb.com)*

Целью настоящей работы является изучение влияния осредненных характеристик турбулентного потока жидкости или газа в трубе на уровень создаваемого им шума. Роль шума играют гидродинамические флуктуации давления, возрастающие с увеличением числа Рейнольдса, а в качестве параметра потока рассматривается его средняя скорость. Теоретический анализ корреляционных функций случайных полей скорости и давления позволил предложить теоретическую зависимость уровня мощности шума как квадрат  $W$ -функции Ламберта от средней скорости потока. Численное моделирование установившегося турбулентного режима было выполнено в стандартном пакете CFD на основе нестационарного расчета известными вихререзающими методами (LES). Моделирование было проведено для турбулентных течений газа и жидкости в диапазоне плотностей 1-103 кг/м<sup>3</sup>, а числа Рейнольдса принимали значения в диапазоне от  $3 \cdot 10^4$  до  $1.3 \cdot 10^5$ . Анализ временного распределения флуктуаций давления и скорости показал, что в центральной части течения оно хорошо описывается в рамках модели изотропной турбулентности. Расчет временных моментов первого и второго порядков флуктуирующих гидродинамических величин позволил определить зависимость уровня мощности шума от средней скорости потока. Сравнение теоретической зависимости с результатами численного моделирования показало хорошее совпадение.

**Секция ГЕО – Геоакустика**

Вознесенский Александр Сергеевич - руководитель  
*Горный институт НИТУ «МИСиС»*  
119049, г. Москва, Россия, Ленинский проспект, д.4; E-mail: al48@mail.ru

**06.06.2017 - с 14.00 до 18.00**

**07.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

**НАВЕДЕННЫЕ ГЕО-ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ,  
ПОРОЖДАЕМЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СИСТЕМЕ «ЛИТОСФЕРА –  
ГИДРОСФЕРА – ЛЕДОВЫЙ ПОКРОВ – АТМОСФЕРА» – ОСНОВА  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ  
И ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ В АРКТИКЕ**

**Собисевич А.Л.**

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва.  
Тел.: (499) 2549080; Факс: (499) 2549080; E-mail: alex@ifz.ru*

Представлены результаты исследований в рамках крупной фундаментальной научной проблемы, связанной с поиском путей построения инновационных технологий пассивного сейсмоакустического мониторинга локальных неоднородностей и запасов углеводородов в системе «литосфера – гидросфера – ледовый покров – атмосфера». Показано, что гео-гидроакустические поля, порождаемые наведенными геодинамическими процессами в системе «литосфера – гидросфера – ледовый покров – атмосфера» несут полезную информацию, которая позволяет развивать новые инновационные технологии мониторинга локальных неоднородностей и запасов углеводородов, как на шельфе, так и в других, покрытых сплошным ледовым покровом морях Северного ледовитого океана. Известные методы зондирования литосферы в большинстве своем являются активными, что порождает целый комплекс не только технических, но и экологических проблем, связанных, в том числе, и с использованием мощных низкочастотных источников. Кроме того, разведка месторождений углеводородов в донных структурах арктических морей традиционными геоакустическими методами с помощью исследовательских судов существенно осложнена наличием многомесячного сплошного ледового покрова и требует привлечения мощных атомных ледоколов и специализированных судов ледового класса. В настоящее время к перспективным методам разведки полезных ископаемых относят технологии пассивного сейсмоакустического зондирования (метод эмиссионной сейсмической томографии, метод микросейсмического зондирования и др.), разработанные, в основном, для использования на суше. Известные конструктивные ограничения затрудняют их применение в условиях Арктики в случае наличия сплошного ледового покрова. Приведены результаты натурных наблюдений наведенных сейсмогидроакустических полей, в условиях покрытого льдом мелкого моря, исследовано влияние определяющих параметров слоистой геологической среды на фазовые и групповые скорости различных волновых мод. Решение всего комплекса поставленных в рамках фундаментальной проблемы задач обеспечивает теоретический задел для успешной разработки прорывных инновационных технологий разведки новых и круглогодичного мониторинга существующих запасов полезных ископаемых в покрытых льдом акваториях.

**РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ НИЗКОЧАСТОТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ  
НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ СЕЙСМОПРИЕМНИКАМИ**

**Каменев О.Т., Кульчин Ю.Н., Петров Ю.С., Ромашко Р.В., Колчинский В.А.**

*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток;  
Тел.: 8 902 4892958; Факс: 423 2310452; E-mail: okamenev@mail.ru*

Рассмотрены физические основы применения волоконно-оптических сейсмоприемников для решения задач низкочастотной акустической томографии на Арктическом шельфе при наличии ледового покрова. Рассмотрены принципы построения высокочувствительных волоконно-оптических сейсмоприемников для регистрации низкочастотных акустических сигналов в ледовом покрове. Представлены результаты предварительных испытаний макетов высокочувствительных волоконно-оптических сейсмоприемников по регистрации слабых сейсмосигналов, формируемых низкочастотными гидроакустическими излучателями в прибрежной зоне.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

### РАЗВИТИЕ КОГЕРЕНТНЫХ МЕТОДОВ МОРСКОЙ СЕЙСМОАКУСТИКИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ДИАГНОСТИКЕ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Малеханов А.И.

*Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики Российской академии наук»  
603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46; E-mail: almal@appl.sci-nnov.ru*

Доклад посвящен обзору исследований, выполняющихся коллективом сотрудников ИПФ РАН и ННГУ в рамках одноименного проекта РФФИ. Долговременная цель работ заключается в разработке методов и средств морской сейсмоакустики высокого разрешения, удовлетворяющих современным требованиям экологической безопасности проведения работ на Арктическом шельфе. Основное внимание уделено современному состоянию исследований в данном направлении и оригинальным результатам коллектива по методам решения обратной задачи реконструкции геоакустических параметров донных слоев, а также обсуждению перспектив дальнейших исследований и разработок, направленных на демонстрацию практических возможностей когерентной морской сейсмоакустики.

**Ключевые слова:** морская сейсморазведка, структура донных пород, когерентные сигналы, обратная задача, оценивание параметров, разрешающая способность

### ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ

Петников<sup>1,a</sup> В.Г., Григорьев<sup>2,b</sup> В.А., Кочетов<sup>3,c</sup> О.Ю.,  
Луньков<sup>1,d</sup> А.А., Черноусов<sup>1,4,e</sup> А.Д., Шатравин<sup>3,f</sup> А.В.

<sup>1</sup> *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва*

<sup>2</sup> *Воронежский государственный университет, физический факультет, Воронеж*

<sup>3</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва; <sup>4</sup> АО «АКИН», Москва*

*E-mail: <sup>a</sup>petniko@kapella.gpi.ru, <sup>a</sup>grig4@yandex.ru, <sup>c</sup>ok@noiselab.ru*

*<sup>d</sup>lunkov@kapella.gpi.ru, <sup>e</sup>chado2008@yandex.ru, <sup>f</sup>ashatravin@ocean.ru*

Представлены основные результаты первого этапа работы в рамках проекта РФФИ № 16-29-02036 офи\_м. В более полном виде с этими результатами можно ознакомиться в работах [1-5], входящих в сборник трудов настоящей конференции. В целом проект направлен на разработку физических основ и информационных технологий многоэлементной системы акустического мониторинга Арктического шельфа России. Предполагается, что мониторинг должен включать в себя наблюдение за популяцией морских млекопитающих в этом районе, т.е. их обнаружение по издаваемым ими звуковым сигналам. Также должен осуществляться контроль над подводными антропогенными шумами, способными оказать негативное воздействие на этих животных, находящихся под угрозой исчезновения и внесенных в Красную книгу. Под информационными технологиями подразумеваются акустические методы («сотовая» звукоподводная связь и навигация), обеспечивающие возможность оптимального использования стационарных гидроакустических станций и движущихся аппаратов широкого промышленного применения. Главным требованием к указанным технологиям является их ориентированность на автономную аппаратуру, способную длительно (до года) функционировать в акваториях, полностью либо частично покрытых морским льдом. В предлагаемой распределенной системе гидроакустические сигналы будут использованы не только для мониторинга подледной среды, но и для оперативной передачи информации от одного элемента сети к другому.

### МЕТОД ПАССИВНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ГЛУБИННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МОРСКОГО ДНА

Преснов Д.А.<sup>1)</sup>, Собисевич А.Л.<sup>1)</sup>, Шуруп А.С.<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва;*

<sup>2)</sup> *МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики, Москва.*

*Тел.: (499 2549080); Факс: (499 2549080); E-mail: presnov@physics.msu.ru*

Для изучения глубинного строения земной коры, которая является в значительной степени неоднородной, эффективными и все более популярными оказываются методы, использующие в своей основе упругие поверхностные волны. На сегодняшний день существует целый ряд подобных методов, разработанных изначально для применения на суше. В настоящей работе обсуждается алгоритм томографического восстановления скоростного строения геологической среды применительно к морскому дну. В качестве исходных данных в этом случае используются времена пробега поверхностных волн вдоль границы раздела упругой и жидкой сред, которые получили название волн Стоунли (или в зарубежной печати Шолтэ).

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Развиваемый метод строится на анализе шумовых данных, регистрируемых сетью донных сейсмостанций. Обсуждается возможность оценки функции Грина путем вычисления взаимно-корреляционной функции сейсмоакустического шума. Методика построения карты скоростей основывается на разложении неоднородности скорости по так называемому полосчатому базису, изначально разработанному для задач акустики океана. В результате, путем выполнения инверсии дисперсионной кривой групповой скорости волны Стоунли в вертикально слоистую модель среды, становится возможным восстановление трехмерного распределения упругих параметров морского дна. В работе представлены результаты выполненной обработки экспериментальных данных на примере эксперимента “Plume lithosphere undersea melt” по изучению строения гавайского плюма.

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТОМОГРАФИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ШЕЛЬФА И ГЛУБОКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДЕФОРМОГРАФОВ И ШИРОКОПОЛОСНЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

**Долгих Г.И.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток,  
Тел.: +7(423)2312352; Факс: +7(423)2312573; E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru*

В работе обсуждаются результаты 2016 года, полученные в ходе выполнения проекта офи-м, которые сводятся к следующему: 1) Разработан и создан мощный низкочастотный гидроакустический излучатель на 19-26 Гц, предназначенный для генерации сигналов различной сложности с амплитудой до 10 кПа в 1 м от геометрического центра излучателя. Амплитуда объемных колебательных смещений излучателя может достигать величину  $0.0123 \text{ м}^3$ . На частоте 20 Гц в безграничном водном пространстве это соответствует излучаемой акустической мощности 1000 Вт. Результаты проведенных испытаний данного излучателя на шельфе Японского моря показали большие перспективы применения его при проведении работ как фундаментального, так и прикладного характеров. 2) Выполнен цикл экспериментальных исследований в опорной точке на основе применения низкочастотных гидроакустических излучателей на 19-26 и 30-40 Гц, береговых лазерных деформографов с длинами рабочих плеч 52.5 и 17.5 м, ориентированных по линиям «север-юг» и «запад-восток». 3) На ранее созданной модели близлежащего к м. Шульца участка морской земной коры были отработаны первые этапы по разработке методики диагностики морского дна на основе использования низкочастотного гидроакустического излучателя на 19-26 Гц, генерирующего сложные фазоманипулированные сигналы, и береговых лазерных деформографов. В ходе обработки полученных экспериментальных данных были определены скорости затухающих и не затухающих волн рэлеевского типа, продольных волн, волн Стоунли и Лява.

### **ТОМОГРАФИЯ ШЕЛЬФА И МОРСКОЙ АКВАТОРИИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЗВУКА**

**Есипов И.Б.<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup> РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва;

<sup>2)</sup> АО «Акустический институт им. Н.Н. Андреева», г. Москва;  
Тел.: (499)135-8496; Факс: (499)126-8411; E-mail: (igor.esipov@mail.ru)

Представлены результаты компьютерного моделирования особенностей распространения направленного широкополосного акустического сигнала в условиях Баренцева моря и Черного моря в различные сезоны. Моделирование позволяет оценить дисперсионные характеристики мелководных волноводов и особенности распространения в них направленного широкополосного сигнала параметрической антенны. Обсуждаются результаты натуральных экспериментов, в которых исследовались особенности распространения направленного широкополосного сигнала параметрической антенны в мелком море и результаты лабораторных исследований возможности томографии потоков в частотной области с применением многочастотных сигналов. Показана возможность одномодового возбуждения мелководного морского волновода в полосе частот 2 октавы. Обсуждается перспектива применения направленного широкополосного акустического излучения для развития междисциплинарных направлений.

**Ключевые слова:** параметрическое излучение, морской волновод, волноводная дисперсия, одномодовое распространение, многочастотная томография

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**РАЗРАБОТКА НОВОГО ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА СОВМЕСТНОЙ ИНВЕРСИИ  
СЕЙСМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ, ВКЛЮЧАЯ НЕЛИНЕЙНУЮ  
ИНВЕРСИЮ, И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА ЕГО ОСНОВЕ**

**Петров И.Б.**

*<sup>1)</sup> Московский физико-технический институт, Долгопрудный  
Тел.: 84954086695; Факс: 84954086695; E-mail: petrov@mipt.ru*

Обратные задачи геофизики некорректны, т.е. неединственны и неустойчивы. Поэтому способы, позволяющие сузить пространство возможных решений, используются в геофизике с момента её возникновения. Так или иначе, эта задача решается с использованием дополнительной («априорной») информации об изучаемой среде. Эта информация может вводиться в виде формальных ограничений на модель в процессе решения задачи оптимизации, либо путём использования данных нескольких геофизических методов («комплексирование методов»). В нефтегазовой электроразведке задача использования априорной информации стоит особенно остро в силу диффузионной природы электромагнитного поля (обычно используется квазистационарная модель поля) и малых толщин коллекторов. Возможности электроразведки по определению типа флюидонасыщения уникальны, но только в сочетании с другими методами геофизики. Был разработан новый численный метод совместной инверсии сейсмических и электромагнитных данных, включая нелинейную инверсию с учетом специфики сейсмической разведки и разведки электромагнитными методами в условиях Арктического шельфа. Также были разработаны базовые сейсмические модели, характерные для Арктических шельфа и акватория и базовые электромагнитные модели, характерные для Арктических шельфа и акватория.

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ  
ОБРАТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ РАССЕЯНИЯ**

**Дмитриев К.В., Зотов Д.И., Румянцева О.Д., Сергеев С.Н., Шуруп А.С.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра  
акустики. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.  
E-mail: burov@phys.msu.ru*

Представлены результаты экспериментальных исследований характера распространения акустических сигналов в мелком водоеме, в том числе, при наличии ледовой поверхности. Приводятся результаты восстановления параметров волновода и оценки модовой структуры акустического поля по данным эксперимента в шельфовой зоне. С помощью численного моделирования исследованы возможности функционального алгоритма, который предназначается для целей томографии акустических рассеивателей, представленных рефракционно-поглощающими неоднородностями и, одновременно, векторным полем течений.

**Ключевые слова:** обратные задачи, акустическая томография, мелкое море, модовый подход, функциональный алгоритм

**АКУСТИЧЕСКИЕ МОДЫ ВОДОЗАПОЛНЕННОЙ СКВАЖИНЫ ГФО «ШИКОТАН»**

**Борисов С.А., Борисов А.С.**

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г.Южно-Сахалинск  
Тел.: 8 (4242) 791-517; E-mail: a.borisov@imgg.ru*

В докладе представлены результаты гидрофонных наблюдений и исследований акустических свойств вертикальной водозаполненной скважины, находящейся на территории геофизической обсерватории "Шикотан". Рассматривается частотная структура акустического отклика водяного столба, воздушной части скважины и ее боковых стенок, обсуждается их влияние на качество регистрируемых сигналов геоакустической эмиссии.

**Ключевые слова:** скважинные измерения, гидрофонные наблюдения, геоакустическая эмиссия, сейсмические колебания

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **СКВАЖИННЫЕ ГЕОАКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ**

**Гаврилов В.А., Бусс Ю.Ю., Морозова Ю.В., Полтавцева Е.В.**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск – Камчатский  
Тел. 8900-44-23-043; E-mail: vgavr@kscnet.ru*

Дается оценка результатам разработки новых методов мониторинга напряженно – деформированного состояния геосреды сейсмоактивных регионов, базирующихся на скважинных геоакустических и электромагнитных измерениях. На Камчатке работы указанного направления были начаты в 2001 г. В настоящее время в зоне Петропавловск – Камчатского геодинамического полигона функционирует сеть непрерывных комплексных скважинных измерений, состоящая из пяти телеметрических пунктов, а также центра сбора и обработки данных. Базовыми являются геоакустические измерения, проводимые на глубинах до 1000 м, и электромагнитные измерения с подземными электрическими антеннами. Указанные виды измерений позволяют вести непрерывный мониторинг изменений удельного сопротивления геосреды в зоне скважины, изменений скорости фильтрации жидкого флюида и влагонасыщенности порово – трещинного пространства контролируемой геофоном шумовой зоны. Совместно с данными гидрогеохимических и гидрогеодинамических измерений применение скважинных геоакустических и электромагнитных измерений позволяет оценивать характер изменений напряженно – деформированного состояния геосреды. В качестве примера в докладе представляются данные комплексных скважинных измерений, характеризующие изменения напряженно – деформированного состояния геосреды в зоне Петропавловск – Камчатского геодинамического полигона во временной окрестности Тохокского мегаземлетрясения (M=9.0, март 2011 г.), сильнейшего (M=7.2, январь 2016 г.) Жупановского землетрясения и других сильнейших сейсмических событий 2011 – 2016 гг. На основе данных вышеуказанных видов измерений каждые две недели осуществляется подготовка заключений о сейсмической опасности для Камчатского края.

**Ключевые слова:** геоакустическая эмиссия, скважина, мониторинг геосред

### **УПРУГО-АНИЗОТРОПНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД РАЗНОГО ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ФАЦИЙ МЕТАМОРФИЗМА СЕВЕРО-ВОСТОКА БАЛТИЙСКОГО ШИТА**

**Горбачевич Ф.Ф., Тришина О.М., Ковалевский М.В.**

*Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты  
Тел.: +79212814055  
E-mail: gorich@geoksc.apatity.ru*

На примере пород, слагающих свиту матерг Печенгского комплекса, в разрезе Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) и финской скважины Оутокумпу, массивов в окрестности оз. Чудзъявр и реки Тулома, ксенолитов из трубки взрыва (о. Еловый), изучены геолого-геохимические особенности, метаморфизм и физические свойства пород от пренит-пумпеллиитовой до гранулитовой фации. Показано, что применявшийся в исследованиях метод акустополарископии позволяет отличать породы разных фаций метаморфизма. Упругая анизотропия пород пренит-пумпеллиитовой, зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой, амфиболитовой фаций метаморфизма существенно не отличается. Высокие показатели анизотропии отмечены у высокотемпературной амфиболитовой фации. В тоже время, гранатовые гранулиты, сформированные при очень высоких РТ-условиях, показали слабую упругую анизотропию. Полученные данные (плотности, скоростные характеристики, модули упругости и коэффициенты Пуассона) отражают реальные свойства пород массива и могут применяться при геофизических исследованиях и технических расчетах.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДЛЕННОЙ РЕЛАКСАЦИИ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ В НАСЫЩЕННОМ ВОДОЙ ГРУНТЕ**

**Коньков А.И.<sup>1,2)</sup>, Лебедев А.В.<sup>1)</sup>, Манаков С.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *ООО «Геодавайс», Санкт-Петербург;*

*Тел.: 831 4164723; E-mail: swan@hydro.appl.sci-nnov.ru*

Медленная релаксация акустических параметров структурно-неоднородных сред связана с наличием метастабильных состояний. Ранее было показано, что характер медленной релаксации существенным образом зависит от концентрации дефектов структуры и наличия жидкости в порах. Влияние жидкости на характер медленной релаксации исследовано в натуральных условиях осенью 2016 года. На той

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

экспериментальной площадке ранее был проведен аналогичный эксперимент для сухого грунта. Сравнение данных показало существенное увеличение концентрации метастабильных состояний для насыщенного водой грунта. В докладе обсуждаются также другие выявленные особенности медленной релаксации при насыщении пор жидкостью.

### **ЭФФЕКТЫ МЕДЛЕННОЙ ДИНАМИКИ В КОНСОЛИДИРОВАННЫХ И СЫПУЧИХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ СРЕДАХ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ**

**Лебедев<sup>1</sup> А.В., Островский<sup>1,2</sup> Л.А.**

*ИПФ РАН, Нижний Новгород, Университет Колорадо, Боулдер, США*

*E-mail: [aswan\\_iap@yahoo.com](mailto:aswan_iap@yahoo.com)*

В докладе анализируется аномально медленная (порядка часа и более) релаксация (медленная динамика) скорости звука, наблюдаемая разными группами (включая авторов) в структурно-неоднородных материалах, в том числе, в горных породах. Аналогичные данные были получены с использованием различных методов измерений для консолидированных и сыпучих материалов, и для различных масштабов – от лабораторных до сейсмических. Предложена физическая модель, объясняющая многократно наблюдавшуюся медленную релаксацию. Модель основана на медленном восстановлении контактов зерен, разрушенных в результате динамического воздействия. Эта модель позволяет оценить характерный масштаб разрушенных контактов, находящихся в метастабильном состоянии, и зависимость их количества от амплитуды воздействия. Теоретические результаты находятся в согласии с лабораторными и натурными данными, предсказывая логарифмический закон релаксации, а также отклонения от этого закона. Исследования проводятся в сотрудничестве с Национальной лабораторией в Лос-Аламосе и университетом Пенсильвании.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Бредихин В.В., Казаков В.В., Лебедев А.В., Манаков С.А.**

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

*Тел.: 831 4164781; E-mail: [manakovsergej@mail.ru](mailto:manakovsergej@mail.ru)*

В сообщении описывается созданная экспериментальная установка для измерения зависимостей напряжение-деформация образцов твердых тел. Установка позволяет проводить измерения для деформаций растяжения-сжатия и кручения в широком диапазоне частот и амплитуд (деформации до  $10^5$ ). Представлены результаты измерений динамических нагрузочных характеристик для образца песчаника Berea.

### **ВЗАИМОСВЯЗЬ АКУСТИЧЕСКОЙ ДОБРОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

**Вознесенский<sup>1,a</sup> А.С., Куткин<sup>1</sup> Я.О., Красилов<sup>1</sup> М.Н.**

*<sup>1</sup>Горный институт НИТУ «МИСиС». Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 4.*

*E-mail: [al48@mail.ru](mailto:al48@mail.ru)*

*Аннотация.* Рассмотрены обобщенные эмпирические взаимосвязи динамических акустических характеристик горных пород различных генотипов с их прочностными свойствами. Показано, что связь акустической добротности с прочностью может иметь как монотонный, так и немонотонный характер. Указанные зависимости могут быть использованы для оценки неразрушающими методами прочности горных пород и ресурса подземных сооружений.

### **ЛАБОРАТОРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРАТОСОДЕРЖАЩИХ ОСАДКОВ**

**Дугаров Г.А.<sup>1)</sup>, Дучков А.А.<sup>1)</sup>, Дучков А.Д.<sup>1)</sup>, Дробчик А.Н.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, г. Новосибирск.*

*Тел.: 8-913-7031014; E-mail: [dugarovga@ipgg.sbras.ru](mailto:dugarovga@ipgg.sbras.ru)*

Проведена серия лабораторных экспериментов по формированию гидратосодержащих (гидраты метана и тетрагидрофурана) образцов и изучения их акустических свойств. Также был проведен значительный объем экспериментов со льдом для сравнения его свойств с газогидратами. Были получены зависимости скоростей

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

и поглощений продольных и поперечных проходящих волн в зависимости от гидратосодержания или коэффициента начального водонасыщения в случае со льдом. Зависимости для гидрата метана, тетрагидрофурана и льда показывают разный характер роста скоростей при увеличении гидратосодержания или коэффициента начального водонасыщения. Для метана и льда наибольший рост скоростей продольных и поперечных волн наблюдается в области небольших содержаний. Для гидрата тетрагидрофурана наблюдается постепенный рост скоростей продольных и поперечных волн с увеличением гидратосодержания. Разница в зависимостях скоростей может объясняться разным типом нахождения гидрата или льда в поровом пространстве и требует использования разных моделей эффективных сред для их описания. Для случая гидрата тетрагидрофурана предлагается использовать модель формирования гидрата нецементирующего типа, а для гидрата метана и льда – цементирующего типа.

### **МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНЫХ СРЕД ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКОРОСТЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ И СДВИГОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ОТ ДАВЛЕНИЯ В ТРЕЩИНОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ**

**Зайцев В.Ю., Радостин А.В., Матвеев А.Л., Матвеев Л.А.**

*ИПФ РАН, Нижний Новгород;*

*Тел.: 831 4164749; Факс: 831 4365976; E-mail: radostin@appl.sci-nnov.ru*

Сейсмо-акустические методы диагностики широко используются для различных применений: мониторинга состояния пород в окрестности горных выработок и оценки их прочностных свойств; в задачах прогнозирования сейсмоопасности при оценивании изменений состояния горных пород по изменениям соотношения измеряемых скоростей продольных и поперечных волн; для уточнения интерпретации данных сейсмоакустического зондирования в интересах нефте- и газо-разведки; контроля поврежденности конструкционных материалов и т.д. Их надежность и информативность требуют развития адекватных моделей. В работе обсуждаются традиционно используемые модели сред с трещиноподобными дефектами и причины, по которым в ряде случаев возникают существенные расхождения между теоретическим описанием и экспериментальными результатами для измерений зависимости скоростей продольных и сдвиговых акустических волн от статического давления. Рассмотрена модифицированная форма широко используемого дифференциального подхода к описанию трещиносодержащих сред для модели с явно разделенными податливостями трещин по отношению к нормальным и тангенциальным напряжениям. Такое описание позволяет из сравнения с экспериментом установить отношение между сдвиговой и нормальной податливостью реальных трещин. Показано, что это отношение может сильно отличаться от значений, неявно заложенных в ряде популярных моделей (типа эллиптических трещин), что в ряде случаев принципиально не позволяет адекватно описать соотношение между различными модулями при меняющейся концентрации трещин. Использование правильного соотношения податливостей позволяет радикально улучшить согласование с экспериментом и повысить точность прогноза влияния поврежденности материала на его упругие модули.

**Ключевые слова:** сейсмоакустическая диагностика, трещинообразные дефекты, оценка поврежденности, упругие модули, скорости упругих волн

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ ТРЕЩИНОВАТОЙ СРЕДЫ С РАЗДЕЛЕННЫМИ СДВИГОВОЙ И НОРМАЛЬНОЙ ПОДАТЛИВОСТЬЮ ТРЕЩИН И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕАЛЬНЫХ СРЕД**

**Зайцев В.Ю., Радостин А.В., Сарычев А.В., Матвеев А.Л., Матвеев Л.А.**

*ИПФ РАН, Нижний Новгород;*

*Тел.: 831 4164749; Факс: 831 4365976; E-mail: radostin@appl.sci-nnov.ru*

Сейсмо-акустические методы диагностики широко используются для различных применений: мониторинга состояния пород в окрестности горных выработок и оценки их прочностных свойств; в задачах прогнозирования сейсмоопасности при оценивании изменений состояния горных пород по изменениям соотношения измеряемых скоростей продольных и поперечных волн; для уточнения интерпретации данных сейсмоакустического зондирования в интересах нефте- и газо-разведки; контроля поврежденности конструкционных материалов и т.д. Получаемые на основе сейсмоакустических данных выводы часто основаны на использовании связи упругих модулей (или скоростей упругих волн) различных типов с оказываемым на среду давлением, которое меняет концентрацию открытых трещин и, соответственно, влияет на измеряемые упругие свойства среды. Надежность и информативность получаемых при этом выводов требует использования адекватных моделей, описывающих связи упругих свойств среды и характеристик имеющихся в ней трещин. В работе исследуется связь между параметрами модели трещиносодержащих сред с явно разделенными податливостями дефектов по отношению к нормальным и

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

тангенциальным напряжениям и петрофизическими характеристиками различных пород по приводимым в различных литературных источниках зависимостям скоростей упругих волн от давления. На основе проведенного сопоставления показано, что в большом числе случаев имеет место сильное отличие свойств трещин в реальных породах и популярной модели эллиптических трещин. Выявлено значительное число примеров пород, в которых доминирующая податливость трещин по отношению к нормальному напряжению приводит к отрицательным значениям коэффициента Пуассона.

**Ключевые слова:** сейсмоакустическая диагностика, трещины, дефекты, оценка поврежденности, упругие модули, скорости упругих волн

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ГАЗОВЫЙ ГИДРАТ**

**Губайдуллин А.А., Болдырева О.Ю., Дудко Д.Н.**

*Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского  
отделения Российской Академии наук (ТюмФ ИТПМ СО РАН), г. Тюмень  
+7(3452) 684 756; timms@ikz.ru, gubai@tmn.ru*

Численно исследованы волновые процессы в пористой среде, содержащей газовый гидрат. В исходном состоянии в поровом пространстве также содержится вода и гидратообразующий газ в виде пузырьков. Нелинейность колебаний пузырьков учтена в уравнении состояния газа и уравнении Рэлея - Ламба. Вблизи линии фазового равновесия «газ + вода ↔ газовый гидрат» возможны фазовые переходы.

Исследовано прохождение волн разрежения и сжатия ступенчатого профиля из жидкости в гидратосодержащую пористую среду. Изучено влияние параметров среды и интенсивности падающей волны на эволюцию волн в гидратосодержащей пористой среде.

При вхождении в пористую среду начальный импульс разделяется на быструю (деформационную) и медленную (фильтрационную) волны. Прохождение быстрой волны отмечено скачкообразным изменением полного напряжения, а приход медленной волны характеризуется постепенным изменением порового давления. В случае волны сжатия в медленной волне наблюдаются затухающие колебания, связанные с пульсациями пузырьков. Увеличение начального равновесного давления приводит к росту скоростей деформационной и фильтрационной волн.

Показано, что учет процессов образования/разложения газового гидрата в пористой среде на рассматриваемых временных интервалах не оказывают заметного влияния на характер распространения волны.

Результаты могут быть использованы в сейсморазведке, а также при совершенствовании технологий добычи нефти и газа.

**Ключевые слова:** пористая среда, волны, газовый гидрат, пузырьки

### **РЕЗОНАНСЫ ВНУТРИ АНСАМБЛЯ ПОР КАК ВОЗМОЖНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ ПОРИСТЫЕ СРЕДЫ**

**Иванова Э.А.<sup>1,2)</sup>, Михайлов Д.Н.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный;*

<sup>2)</sup> *Московский научно-исследовательский центр «Шлюмберже», Москва;*

*Тел.: +7 495 935 82 00; E-mail: DMikhailov2@slb.com*

Анализ акустических шумов, генерируемых фильтрационным потоком в образцах горных пород, активно изучается последние десятилетия. В литературе предложены различные механизмы генерации такого шума, в частности, формирование вихрей в поровом пространстве, осцилляция гранул породы, пульсация жидкости при течении по порам со случайно меняющейся формой сечения, мобилизация несвязной (остаточной) фазы. Тем не менее, вопрос о выборе физической модели и получении однозначного набора её параметров остается открытым.

Многие экспериментальные данные свидетельствуют о том, что основной частотный диапазон шумов фильтрационного потока слабо зависит от скорости фильтрации и определяется только структурой породы. Данные эффекты объясняются резонансом колебаний частиц породы или формированием стоячих волн в длинных поровых каналах.

Нами предложена новая модель, основанная на резонансе внутри системы «тело –горлышко пор», с помощью которой удалось лучше воспроизвести особенности спектра экспериментально зарегистрированного шума. Модель описывает поровое пространство в виде ансамбля взаимосвязанных резонаторов Гельмгольца. На основе распределения пор по размерам генерируются распределения

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

радиусов тел и горлышек резонаторов. Среднее число горлышек, приходящихся на одну пору, определяется координационным числом данной породы.

После того как ансамбль резонаторов сгенерирован, для смещения флюида в каждом горлышке резонаторов составляется линейное дифференциальное уравнение второго порядка. Итоговая система дифференциальных уравнений описывает набор гармонических колебаний с собственными частотами, определяемыми соответствующим характеристическим уравнением.

Реализована программа расчета собственных частот. Представлены результаты работы программы на примере модели порового пространства известняка Indiana limestone, полученной путем усреднения по 100 реализациям ансамблей резонаторов Гельмгольца и включающей 1024 пор с разным количеством горлышек. Распределение пор по размерам для данного образца аппроксимировалось логнормальным распределением. Согласно результатам расчетов, большинство собственных частот ансамбля пор лежит в диапазоне 10-20 кГц, что соответствует типичному частотному диапазону шумов фильтрационного потока. С помощью COMSOL Multiphysics проведены численные расчеты течения газа через единичные поры. Расчеты показали, что при числах Рейнольдса  $\sim 1 \div 10$  в порах начинают формироваться микровихри, которые могут являться источниками акустического шума.

### ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЭЛЕЕВСКОЙ МОДЕЛИ ЗАТУХАНИЯ УПРУГИХ ВОЛН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМОГРАММ И АКУСТИЧЕСКУЮ ДОБРОТНОСТЬ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

М.Н. Красилов

<sup>1</sup>Горный институт (МГИ) НИТУ МИСИС. г. Москва, Ленинский проспект, д.6.  
E-mail: [krasilov.maksim.93@mail.ru](mailto:krasilov.maksim.93@mail.ru)

Проведено компьютерное моделирование распространения упругих волн от взрыва при подземной отработке массива гипсосодержащих пород для различных значений параметра  $\beta_{ак}$  рэлеевской модели, характеризующего затухание, пропорциональное частоте. Получен график зависимости акустической добротности от  $\beta_{ак}$ , который показывает, что при увеличении затухания акустическая добротность массива горных пород снижается. Из-за того, что изменению  $\beta_{ак}$  на 2 порядка соответствует изменение добротности на 30%, указанная зависимость может быть использована только для качественной оценки изменения акустической добротности массива горных пород во времени. Количественная оценка может быть произведена только после введения необходимых корректировок.

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (ГЕО) - 07.06.2017 - с 16.20 до 18.00**

**СТАТИСТИКА ПОЯВЛЕНИЯ ПРЕД- И ПОСТСЕЙСМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ  
НАПРАВЛЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**Марапулец Ю.В., Солдчук А.А.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук, с. Паратунка.  
Тел./факс: 8(41531)3-37-18; E-mail: aleksandra@ikir.ru*

На Камчатке у дна озера Микижа установлена приемная акустическая система на базе комбинированного векторного приемника, которая позволяет оценивать направленность геоакустического излучения. На основе полученных с ее помощью данных за период с августа 2008 г. по декабрь 2016 г. исследованы изменения азимутального распределения геоакустической эмиссии во время землетрясений. Для анализа рассматривались 4 группы землетрясений из оперативного сейсмического каталога Камчатского филиала ГС РАН, отобранные по критериям: энергетические классы  $9,0 < K_s \leq 10$  на эпицентральной расстоянии  $R \leq 120$  км,  $10 < K_s \leq 11$  на  $R \leq 190$  км,  $11 < K_s \leq 12$  на  $R \leq 240$  км и  $K_s > 12$  на  $R \leq 350$ . В результате установлено наличие пред- и постсейсмических аномалий в направленности высокочастотного геоакустического излучения более чем в 70% рассматриваемых случаев.

**Ключевые слова:** высокочастотная геоакустическая эмиссия, направленность излучения, пред- и постсейсмические аномалии направленности

**АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В УПРУГОЙ СРЕДЕ С ВОДОНОСНЫМ СЛОЕМ**

**Коньков А.И.<sup>1,2)</sup>, Лебедев А.В.<sup>1)</sup>, Разин А.В.<sup>3)</sup>**

*<sup>1)</sup> Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

*<sup>2)</sup> ООО «Геодевайс», Санкт-Петербург; <sup>3)</sup> АО ФНПЦ «ННИИРТ», Нижний Новгород;  
Тел.: 831 4164781; E-mail: ak@geodevice.ru*

Исследовано распространение сейсмоакустических волн в трехслойной среде, моделирующей геологический разрез, в котором верхний слой грунта отделен от глубинных пород водоносным слоем. Проведен анализ полученного дисперсионного уравнения и представлены его решения для важных с практической точки зрения случаев. Выявлены особенности дисперсионных кривых и пространственного распределения полей мод, позволяющие не только устанавливать наличие под верхним слоем грунта водоносного слоя, но и определять его мощность и глубину залегания.

**ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВОЧНОГО РЕЗОНАНСА СЕЙСМОПРИЁМНИКА НА ГРУНТЕ**

**Чернов В.В.**

*ИПФ РАН, Нижний Новгород*

*Тел.: 8314160645; E-mail: vcher@appl.sci-nnov.ru*

В данной работе проведено лабораторное исследование влияния метеопараметров и реологических свойств грунта на частоту установочного резонанса системы СП-грунт. Показано, что после установки СП на грунт частота резонанса начинает возрастать – сначала быстрее – в течение около 50 часов, затем медленнее, и достигает некоторой средней величины приблизительно через 300 часов. Кроме того, установлено, что после достижения некоторой средней частоты в системе наблюдаются значительные её флуктуации, обусловленные влиянием метеопараметров – температуры, влажности и атмосферного давления. Установлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на частоту установочного резонанса СП-грунт.

**МОДУЛЯЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ  
ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ:  
РОЛЬ ЖИДКОГО ФЛЮИДА И МЕХАНИЗМ ЭФФЕКТА**

**Гаврилов В.А.<sup>1)</sup>, Наумов А.В.<sup>2)</sup>**

*<sup>1)</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск – Камчатский;*

*<sup>2)</sup> Воронежский государственный университет, Воронеж  
Тел. 8-900-442-30-43; E-mail: vgavr@kscnet.ru*

Обобщение полученных к настоящему времени результатов многолетних исследований на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне позволяет сделать вывод о том, что основные источники геоакустической эмиссии могут быть связаны, прежде всего, с движением жидкого флюида в порово-

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

трещинном пространстве контролируемой геофоном шумовой зоны. При этом под движением флюида имеются ввиду как медленные движения со скоростями жидкости порядка первых мм/с и ниже, так и относительно быстрые движения под воздействием внешнего переменного электрического поля с частотой до 1 кГц.

В докладе рассматривается возможный механизм, объясняющий эффект модулирующего влияния слабых электромагнитных полей сверхнизкочастотного (первые сотни Гц) диапазона на интенсивность геоакустической эмиссии для случая, когда жидкий флюид, находящийся в порово-трещинном пространстве контролируемой геофоном шумовой зоны, является электрически заряженной несжимаемой ньютоновой жидкостью.

**Ключевые слова:** геоакустическая эмиссия, скважина, электромагнитное поле

### **ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ**

**Лебедев А.В.<sup>1)</sup>, Бредихин В.В.<sup>1)</sup>, Голиков Н.А.<sup>2)</sup>, Ельцов Т.И.<sup>2)</sup>, Коньков А.И.<sup>1,3)</sup>,  
Малеханов А.И.<sup>1)</sup>, Манаков С.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, Новосибирск;*

<sup>3)</sup> *ООО «Геодавайс», Санкт-Петербург;*

*Тел.: 831 4164781; E-mail: manakovsergej@mail.ru*

В представленном докладе обсуждаются результаты исследований акустических и петрофизических свойств образцов Баженовской свиты, вырезанных из кернов с различной глубины. Акустические измерения проведены методом резонансной акустической спектроскопии, представлены результаты измерений тензора упругости и вязкости исследованных материалов. Выявлена значительная анизотропия скоростей объемных волн, распространяющихся вдоль и поперек слоистой структуры, что представляет интерес для сейсморазведки, нацеленной на поиск углеводородного сырья.

### **О ВЛИЯНИИ СВОЙСТВ НАСЫЩАЮЩЕЙ ГЕОМАТЕРИАЛЫ ЖИДКОСТИ НА ХАРАКТЕР ИХ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**Новиков Е.А., Зайцев М.Г.**

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Московский горный институт, 119049, г. Москва, Россия, Ленинский проспект, д.4  
E-mail: e.novikov@misis.ru, ftkp@mail.ru*

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований влияния засоленности грунтовых вод на результаты термоакустоэмиссионного контроля состояния ледопородной матрицы, сформированной из этих вод и песчано-глинистого грунта. Показана возможность нивелирования влияния этого фактора на результаты контроля. Подтверждена применимость метода термостимулированной акустической эмиссии для оценки прочностных свойств мерзлого геоматериала при его растеплении и одновременном воздействии механической нагрузки.

**Ключевые слова:** термостимулированная акустическая эмиссия, ледопородное ограждение, растепление, обводненность, засоленность, контроль, помеховые факторы

### **О СВОЙСТВАХ АКУСТИЧЕСКОЙ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ И ЖИДКОСТЬЮ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УПРУГИХ ВОЛН В ГЕОСРЕДАХ В COMSOL MULTIPHYSICS**

**Набатов В.В.**

*Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Ленинский просп. д.4, 119991*

*E-mail: al48@mail.ru*

В статье описывается специфика моделирования процедур геофизического контроля тоннелей метрополитенов, используемого для поиска полостей в заобделочном пространстве. В частности, модель требует специфической работы с граничными условиями на контакте между твердым телом и флюидом. Полученные результаты моделирования сопоставлены с результатами реальных измерений в тоннелях. Выявлены специфические особенности откликов получаемых при контроле.

**Ключевые слова:** геофизический контроль, моделирование, граничные условия, обделка, полость, тоннель

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**АКУСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

**Исламгулов<sup>1а</sup> В.И., Безруков<sup>1б</sup> Е.В., Амиров<sup>1с</sup> К.М., Селезнев<sup>1д</sup> С.А.**

<sup>1</sup>*ВНИИ Нефтепромгеофизика, АО НПФ «Геофизика», 450055, г. Уфа, ул. 8 Марта, д.12*  
*E-mail: <sup>а</sup>mak9sk@yandex.ru, <sup>б</sup>bezrukov@yandex.ru, <sup>с</sup>kam.amirov@gmail.com, <sup>д</sup>mak73mu@gmail.com*

В статье сделан обзор акустического метода исследования нефтегазовых скважин и современных отечественных приборов, выпускаемых АО НПФ «Геофизика».

**Ключевые слова:** широкополосный акустический каротаж, оценка качества цементирования скважин, измерение кинематических и динамических характеристик упругих волн в горных породах

**НАБЛЮДЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ВОРОТИЛОВСКОЙ ГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЕ**

**Беляков А.С.<sup>1)</sup>, Диденкулов И.Н.<sup>2)</sup>, Жигалин А.Д.<sup>1)</sup>, Лавров В.С.<sup>1)</sup>, Малеханов А.И.<sup>2)</sup>, Николаев А.В.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>*ИФЗ РАН, Москва; <sup>2)</sup> ИПФ РАН, Нижний Новгород;*  
*Тел.: (831 4368352); Факс: (831 4365976), E-mail: (almal@appl.sci-nnov.ru)*

Метод сейсмоакустического мониторинга геодинамических процессов, основанный на регистрации сигналов сейсмоакустической эмиссии (САЭ) в глубоких скважинах, помогает в решении целого ряда задач современной геофизики, среди которых выявление источников и определение физической природы вариаций фонового уровня САЭ. Воротиловская глубокая скважина (ВГС) и находящаяся вблизи скважина-спутник, благодаря удаленности от крупных промышленных центров и транспортных магистралей делает возможным измерение слабых сейсмоакустических сигналов в широком диапазоне частот. В работе приводятся первые результаты измерений сигналов САЭ, полученные с помощью новой аппаратуры, и обсуждается их происхождение.

**Секция НА – Нелинейная акустика**

Гурбатов Сергей Николаевич, руководитель  
*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23; E-mail: gurb@rf.unn.ru*

**06.06.2017 - с 14.00 до 18.00**

**07.06.2017 - с 11.20 до 13.00**

**ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ЛОКАЛИЗАЦИЮ  
НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В МАТЕРИАЛАХ**

**Ерофеев В.И.<sup>1)</sup>, Леонтьева А.В.<sup>1)</sup>, Мальханов А.О.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт проблем машиностроения РАН  
– филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт прикладной физики Российской академии наук», Нижний Новгород  
Тел.: (910 3843528); Факс: (831 4320300); E-mail: erof.vi@yandex.ru*

При воздействии на материал лазерного излучения или потока частиц (например, при ионной имплантации) в нем создаются точечные дефекты (вакансии, межузлия). Прохождение интенсивной продольной акустической волны способствует изменению в областях растяжения и сжатия энергии активации образования точечных дефектов, приводя к их пространственному перераспределению. Дефекты, мигрирующие по материалу, рекомбинируют на различного рода центрах. Роль таких центров могут играть дислокации, примеси внедрения и др.

В работе показано, что задачу о распространении акустической волны в материале с точечными дефектами следует рассматривать как самосогласованную, включающую в себя, наряду с динамическим уравнением теории упругости, кинетическое уравнение для плотности дефектов. Эта система может быть сведена к нелинейному эволюционному уравнению, объединяющему в себе известные уравнения волновой динамики: Кортевега-де Вриза-Бюргерса и Клейна-Гордона. Найдены и проанализированы точные аналитические решения полученного эволюционного уравнения.

**Ключевые слова:** эволюционное уравнение, нелинейная акустическая волна, точечные эффекты

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И САМОВОЗДЕЙСТВИЕ ИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ  
ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ**

**Гурбатов С.Н.<sup>1)</sup>, Дерябин М.С.<sup>1,2)</sup>, Касьянов Д.А.<sup>2)</sup>, Курин В.В.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород;  
Тел.: (+79081649575); E-mail: mmm1984@inbox.ru*

Описаны возможности экспериментальной установки, созданной на основе автоматического измерительного комплекса фирмы Precision Acoustics (Ultrasound Measurement System Control Centre), для исследований трансформации профилей нелинейных волн в интенсивных акустических пучках. Используемая экспериментальная техника позволяет исследовать распространение пучков при больших акустических числах Рейнольдса в зависимости от начальных условий. Абсолютная точность перемещения приемной системы в исследуемом объеме составляет 6 мкм. В установке используются PVDF-мембранные гидрофоны, имеющие заводскую калибровку чувствительности, что позволяет корректно проводить абсолютные измерения в диапазоне частот вплоть до 100 МГц.

Рассмотрено вырожденное параметрическое взаимодействие интенсивного акустического пучка накачки и слабого сигнального пучка на субгармонике. Как и предсказывается в теории, эксперимент показал, что усиление сигнала на субгармонике практически не происходит. Показано, что использование нечетных гармоник поля, которые отсутствуют при нулевой амплитуде сигнальной волны, позволяет существенно увеличить эффективность выделения слабой сигнальной волны. Исследовано взаимодействие пучков при больших и малых акустических числах Рейнольдса сигнальной волны.

Рассмотрено вырожденное параметрическое взаимодействие в интенсивных акустических пучках. Теоретически и экспериментально показано, что на больших временах поле имеет универсальную структуру, определяемую только периодом волны. В то же время дистанция, на которой происходит установление этой универсальной формы волны, сильно зависит от тонкой структуры начального поля.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований эволюции шумовых квазимонохроматических пучков при больших числах Рейнольдса. Показано, что для узкополосного шума входное поле можно рассматривать как квазимонохроматический сигнал со случайной амплитудной и фазовой модуляцией. При больших числах Рейнольдса, по мере распространения волны, происходит подавление амплитудной модуляции. Вдали от излучателя поле на оси излучателя представляет последовательность разрывов с универсальным поведением между разрывами. Положение разрывов и их амплитуда, а, следовательно, и статистические характеристики волны определяются флуктуациями фазы (частоты) исходной волны. Это позволило найти аналитические выражения для спектра интенсивного шума через вероятностное распределение частоты исходного сигнала. Нелинейное взаимодействие приводит к возникновению новых гармоник, ширина которых растет с номером гармоники и на больших частотах формируется непрерывный степенной спектр. Данный эффект является естественным обобщением обсужденного выше результата об установлении на больших расстояниях универсальной формы двухчастотного сигнала.

**Ключевые слова:** нелинейность, акустика, звуковые пучки, ударная волна, спектр, эксперимент

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ**

**Дерябин М.С.<sup>1,2)</sup>, Касьянов Д.А.<sup>1)</sup>, Курин В.В.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;  
Тел.: (+79081649575); E-mail: mmm1984@inbox.ru*

Работа посвящена исследованию акустических характеристик модельных сред, находящихся на пороге перколяционного перехода, связанного с изменением концентрации структурных связей. В качестве модельных сред были выбраны эпоксидные компаунды, и исследовался процесс их полимеризации. В многочисленных экспериментах измерялись одновременно скорость звука, затухание волны накачки, амплитуды первых трёх гармоник, контролировалась температура. Особый интерес представляют данные полученные для динамики амплитуд гармоник акустического сигнала с течением времени, которые представляют зависимость «нелинейного портрета» процесса полимеризации от стадии этой полимеризации, т.е. от изменяющейся структуры вещества. Можно отметить несколько характерных моментов в поведении гармоник акустического поля, распространяющихся в среде, у которой меняется структура по законам полимеризации. На первоначальном этапе полимеризации относительные уровни первой и второй гармоник практически не меняются, а относительный уровень третьей гармоники возрастает на порядок. На втором этапе в среде резко возрастает затухание – уровни гармоник существенно падают. Далее наступает момент, когда затухание начинает резко уменьшаться, уровни гармоник за короткое время достигают значений порядка максимальных, показанных на первом этапе полимеризации. В этот момент параметры квадратичной и кубичной нелинейности полимеризующегося вещества показывают резкий экстремум. В дальнейшем уровни первой и второй гармоник не меняются, а уровень третьей гармоники возвращается к минимальному, характерному для первого этапа полимеризации. Таким образом, в работе показано, что каждая стадия процесса структурных преобразований, идущих аналогично процессу полимеризации, имеет яркий «нелинейно – акустический» портрет.

**Ключевые слова:** нелинейность, скорость звука, полимеризация, эпоксидная смола

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА САМОРАСКРУЧИВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПРОДОЛЬНЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ КОЛЕБАНИЯМ**

**Неверов А.Н.**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)*

*Телефон +7(910)4612556; E-mail: [neverov\\_an@mail.ru](mailto:neverov_an@mail.ru)*

Теоретически и экспериментально исследован механизм вибрационного самораскручивания резьбовых соединений.

Показано, что при продольных колебаниях стержня с винтовой неоднородностью тело, размещенное на винтовой поверхности подвергается воздействию центробежной силы и силы Кориолиса. Получены выражения для этих сил. Вследствие нелинейности сил трения силы инерции могут обусловить перемещение тела по винтовой поверхности, причем направление вращения определяется относительным расположением резьбового соединения и узла колебательных механических деформаций.

Проведенные эксперименты подтвердили теоретические выводы. Направление и угловая скорость вращения тела зависели от частоты возбуждаемых продольных колебаний стержня. Полученные результаты обсуждаются на основе разработанной теории.

**Ключевые слова:** резьбовое соединение, ультразвук, амплитуда, частота, продольные колебания

**УПРУГИЕ СВОЙСТВА ИЗОТРОПНОГО ГРАФИТА**

**Коробов А.И.<sup>1)</sup>, Прохоров В.М.<sup>2)</sup>, Кокшайский А.И.<sup>1)</sup>, Ширгина Н.В.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физфак, кафедра акустики.*

<sup>2)</sup> *Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов, Троицк, Москва  
Тел.: +74959391821; E-mail: Natalia.shirgina@physics.msu.ru*

Графит находит применение при синтезе алмазов, получении композиционных материалов, в электротехнике, машиностроении, в ядерных реакторах. Однако его упругие свойства изучены недостаточно полно. В данной работе ультразвуковым методом исследованы линейные и нелинейные упругие свойства графита. Измерения проводились импульсным методом. В образцах изотропного конструкционного графита, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда измерены скорости сдвиговых и продольных объемных упругих волн (ОАВ). Измерения скорости ОАВ позволили определить все независимые компоненты тензора упругости второго порядка в графите. В этих образцах также был исследован акустоупругий эффект: экспериментально измерена зависимость скоростей ОАВ от величины одноосного сжатия, приложенного к образцу. По результатам этих измерений методом Терстона-Браггера определены все независимые компоненты тензора упругости третьего порядка в изотропном графите. Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-22-00042).

**САМОПОДОБНЫЕ ВОЛНЫ В СРЕДАХ  
С РАЗНОМОДУЛЬНОЙ И ГИСТЕРЕЗИСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

**Княшко С.Б., Назаров В.Е., Радостин А.В.**

*ИПФ РАН, Нижний Новгород;*

*Тел.: 831 4164749; Факс: 831 4365976; E-mail: radostin@appl.sci-nnov.ru*

В последнее время в акустике всё большее внимание уделяется изучению волновых процессов в микронеоднородных (или мезоскопических) твёрдотельных средах, нелинейность которых аномально высока по сравнению с однородными твёрдыми телами, описываемыми пяти-константной теорией упругости. Высокая нелинейность микронеоднородных сред определяется нелинейными дефектами их структуры: трещинами, дислокациями, границами зёрен. «Аномальность» подобных сред проявляется ещё и в том, что часто их уравнения состояния (т.е. зависимость напряжение - деформация) являются неаналитическими, в частности некоторые материалы являются разномодульными (армированные полимеры и бетоны, грунты, материалы с гладкими трещинами) или гистерезисными (поликристаллические металлы, горные породы, некоторые искусственные материалы). В данной работе проводится исследование распространения продольных упругих (импульсных и периодических) волн в микронеоднородных средах с разномодульной нелинейностью с учетом (и без учета) различных линейных факторов (диссипации, релаксации), и в средах с гистерезисной нелинейностью с линейной диссипацией. Ввиду сложности уравнений состояния, аналитические решения соответствующих волновых уравнений удается получить только в некоторых особых случаях, а именно исследуя стационарные и автомодельные решения. Также для каждой рассмотренной задачи проведено численное моделирование и сравнение его результатов с теоретическими.

**Ключевые слова:** самоподобные волны, разномодульность, гистерезис, численное моделирование

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

### УПРАВЛЕНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Порубов А.В.

*Институт Проблем Машиностроения РАН, Санкт – Петербург;  
Тел.: (812 3214764); Факс: (812 3214771); E-mail: (alexey.porubov@gmail.com)*

Исследуются алгоритмы управления с обратной связью, обеспечивающие устойчивое распространение локализованной нелинейной волны нужной формы и скорости независимо от начальных условий. Используются уравнение синус-Гордона, двойное уравнение синус – Гордона и связанные сильно-нелинейные уравнения двухатомной решетки. Во всех случаях удается достичь распространения волн в виде солитона, кинка, бризера и волны огибающей. Форма волны определяется заданием целевой функции. Обсуждается интерпретация функции управления в уравнении при помощи внешней нагрузки в механических системах, для моделирования динамики которых используются вышеперечисленные уравнения.

**Ключевые слова:** нелинейная волна, управление, локализация, деформация

### АКУСТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ

Буланов В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток  
Тел.: 423 2374913; Факс: 423 2312573, E-mail: [bulanov@poi.dvo.ru](mailto:bulanov@poi.dvo.ru)*

В работе обсуждены особенности нелинейных акустических характеристик морской воды в верхнем слое моря. Сделаны теоретические оценки о связи нелинейных акустических характеристик с распределением пузырьков по размерам и сопоставлены с экспериментальными результатами. Исследованы распределения пузырьков в морской воде при одновременных измерениях акустической нелинейности и кавитационной прочности. Исследования проводились в шельфовой зоне Японского моря при различных гидрологических и метеорологических характеристиках. Показано, что сжимаемость, акустическая нелинейность и кавитационная прочность воды, содержащей пузырьки в достаточно больших концентрациях, проявляют аномальные характеристики, резко отличающие их от таковых, наблюдающихся в чистой морской воде.

**Ключевые слова:** акустическая нелинейность, кавитация, распределение пузырьков

### НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПОЛЕ ВЯЗКИХ ВОЛН

Павловский А.С., Семёнова Н. Г.

*Санкт-Петербургский государственный университет, каф. Радиофизики, Санкт-Петербург;  
Тел.: 89119383760; E-mail: [tatabukamena@rambler.ru](mailto:tatabukamena@rambler.ru)*

В настоящей работе проведено численное исследование нестационарных нелинейных полей скорости и давления вязкой несжимаемой жидкости при колебаниях в своей плоскости пластины бесконечно малой толщины, конечного размера вдоль направления колебаний, бесконечно протяженной по третьей координате. При поступательном колебательном движении в вязкой жидкости такой пластины формируется колеблющийся поток вытеснения. Он обусловлен колеблющимся градиентом давления, вызывающим перетекание вязкой жидкости внутри и вне пограничного слоя против направления движения тела в текущий момент времени. Исследованы поля скорости и давления при отношении колебательной скорости источника к скорости распространения  $V_0/c = a$  (аналог числа Маха для вязких волн) для случаев  $a < 1$  и  $a > 1$ . С ростом величины параметра  $a > 1$  замечено искривление траекторий распространения вязкой волны. Наблюдено искажение формы зависимости безразмерного давления от времени при различных значениях безразмерного параметра  $a$  в точке на краю пластины, что иллюстрирует генерацию высших гармоник за счет нелинейности. Исследована роль длины пластины в направлении колебаний на проявление этих нелинейных эффектов.

**Ключевые слова:** вязкая волна, число Маха, искажение формы траектории, нелинейность

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ФОНТАНА**

**Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А., Фатеев В.О.**

*АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», Москва  
vasilfateev@mail.ru*

Проведено экспериментальное исследование акустического фонтана, вызванного акустическим полем фокусирующего излучателя. Показано, что производительность акустического фонтана пропорциональна акустической мощности.

**Ключевые слова:** акустический фонтан, фокусированный ультразвук

### **РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАВИТАЦИОННОЙ ЗОНЫ**

**Агрест Э.М.<sup>1)</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>2)</sup>, Мельников Н.П.<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> *Johnson & Wales University Charlotte, USA;* <sup>2)</sup> *Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва;*

<sup>3)</sup> *Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород;  
Тел.: (495 9410193); Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru*

На основе данных высокоскоростной киносъемки и компьютерного моделирования исследованы радиальное и поступательное движение одиночных кавитационных полостей, взаимодействующих между собой и образующих нестационарную кавитационную зону. Показано, что характеристики зоны кавитации существенно зависят от стадии ее развития, пространственных характеристик звукового поля, вязкости жидкости и статического давления. Сделан вывод о необходимости совместного рассмотрения закономерностей радиального и поступательного движения полостей и важности учета их взаимодействия. Приведены примеры и анализируются физические причины интенсивных пространственных перемещений нестабильных полостей. Установлено, что спектральные характеристики кавитационного шума непосредственно связаны с динамикой кавитационных полостей и стадией развития кавитации, а также зависят от газосодержания воды и статического давления.

**Ключевые слова:** кавитационные полости и зоны, стадия развития, влияние характеристик воды

### **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИРЕЙТИНГА НЕЛИНЕЙНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

**Карзова М.М., Юлдашев П.В., Сапожников О.А., Хохлова В.А.**

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
Тел.: 495 9392952; E-mail: masha@acs366.phys.msu.ru*

В медицинских диагностических приложениях ультразвука важно уметь предсказывать параметры акустического поля в биологической ткани, а также оценивать значения теплового и механического индексов, ответственных за безопасное воздействие на ткань. Для оценки параметров поля в ткани используется директинг – метод «переноса» результатов измерений параметров поля в воде на случай распространения диагностического импульса в биологической ткани, обладающей гораздо более сильным поглощением. В современных приложениях диагностического ультразвука используются импульсы достаточно большой амплитуды, при распространении которых сильно проявляются нелинейные эффекты. Директинг нелинейных полей диагностического ультразвука является сложной задачей, поскольку низкий коэффициент усиления в фокусе приводит к тому, что взаимосвязанные эффекты нелинейности и поглощения важны на всем пути распространения волны от излучателя до фокуса и должны быть учтены в директинге. В этом случае получить точные аналитические решения для переноса параметров поля не удается. В данной работе проведено сравнение двух приближенных методов директинга – стандартного, в котором профиль давления волны в фокусе пучка в воде домножается на экспоненциальный множитель, описывающий поглощение в ткани, и нелинейного, где поглощение в ткани учитывается за счет понижения амплитуды волны на источнике. Исследование проводилось для ультразвуковых полей диагностической решетки Philips C5-2 в широком диапазоне начальных амплитуд давления на излучателе; рассматривались случаи запитывания 16, 32, 40, 64 и 128 элементов решетки. Профили давления ультразвуковой волны в воде были измерены в эксперименте с помощью оптоволоконного гидрофона, а также получены в численном моделировании на основе трехмерного уравнения Вестервельта. Затем результаты, полученные с помощью двух методов директинга, сравнивались с результатами точного моделирования нелинейного поля в биологической ткани с поглощением 0.5 Дб/см/МГц, зависящим от частоты по степенному закону с показателем 1.2. Были получены оценки точности двух методов для механического и теплового индексов. Так, было показано, что уровни пикового отрицательного давления, ответственного за значения механического индекса, более точно (до 10%) предсказываются методом нелинейного директинга.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

Работа поддержана грантом РФФИ 14-12-00974 и стипендией Президента РФ.

### ВОЗБУЖДЕНИЕ СТОЯЧИХ ВОЛН В ВЯЗКОУПРУГОМ РЕЗОНАТОРЕ ПРИ НАЛИЧИИ СТАТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА

Асфандияров Ш.А., Крит Т.Б., Андреев В.Г.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
Тел.: 8 926 885 84 62; E-mail: timofey@acs366.phys.msu.ru*

Экспериментально исследованы стоячие сдвиговые волны в резонаторе из гелеобразного полимерного материала пластисола. При деформациях свыше 30% толщины резонатора зависимость сдвигового напряжения от деформации материала резонатора описывается уравнением  $\sigma = \mu\varepsilon + \mu\beta\varepsilon^3$  [1], где  $\mu$  – линейный модуль сдвига,  $\beta$  – нелинейный параметр. К одной из границ резонатора приложено статическое сдвиговое напряжение. Это напряжение приводит к изменению эффективного модуля сдвига исследуемого материала, что выражается в изменении частоты первого резонанса. Сдвиговые волны генерируются с помощью внешней периодической вынуждающей силы, приложенной к одной из границ. К противоположной границе приложено статическое напряжение, которое позволяет изменять относительную деформацию.

Измерены зависимости отношения амплитуд ускорений границ резонатора от частоты для стоячих волн при амплитудах ускорения границы, к которой была приложена внешняя вынуждающая сила, от 1 до 3 м/с<sup>2</sup>. Рабочая точка на зависимости сдвигового напряжения от деформации находилась в диапазоне от 0 до 4.5 кПа, что соответствовало изменению эффективного модуля сдвига от 10 кПа до 14 кПа. Измеренная зависимость первой резонансной частоты от статической деформации совпала с рассчитанной для исследуемого резонатора. Измерены линейный модуль сдвига пластисола  $\mu = 9,7$  кПа и нелинейный параметр  $\beta = 4,8$  кПа. Полученные значения соответствуют результатам статических измерений, проведенных для данного материала. Нелинейный параметр, измеренный предложенным методом, превышает в несколько раз значения для данного материала, полученные в [2].

Измерения показали, что резонансная частота меняется в зависимости от величины статической деформации. Деформации, создаваемые при воздействии вибратора на резонатор, не превышали 20%, что соответствует линейному режиму. Поэтому форма измеренных резонансных кривых характерна для линейных колебаний. Статическая деформация резонатора может достигать 65% толщины резонатора, что соответствует нелинейной области деформаций. Поэтому резонансная частота при разных статических деформациях принимает различные значения. Рост эффективного модуля сдвига вследствие нелинейности является характерным для пластисола [2].

Исследование поддержано грантами Президента Российской Федерации НШ-7062.2016.2, РФФИ № 16-02-00719 а, а также РФФИ и Правительства Москвы № 15-32-70016 «мол\_a\_мос».

#### Литература

1. Крит Т.Б., Андреев В.Г. Измерение нелинейного сдвигового модуля резиноподобной среды методом деформации слоя фиксированной толщины // Труды школы-семинара «Волны-2008»
2. Андреев В.Г., Крит Т.Б., Сапожников О.А. Сдвиговые волны в резонаторе с кубической нелинейностью // Акуст. журн. 2011. Т. 57. № 6. С.763-770.

**Ключевые слова:** резонатор, модуль сдвига, гелеобразная среда, кубическая нелинейность, стоячие волны

### МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СФОКУСИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКОВ В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ПЛАВНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МЯГКИХ ТКАНЕЙ

Юлдашев П.В.<sup>1)</sup>, Бобина А.С.<sup>2)</sup>, Сапожников О.А.<sup>2)</sup>, Хохлова В.А.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Каф. общей физики и физики конденсированного состояния физфака МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2)</sup> Кафедра акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва,

Тел./Факс: (495 939952); E-mail: petr@acs366.phys.msu.ru

В настоящее время методы численного моделирования становятся необходимым инструментом при решении практических задач неинвазивной ультразвуковой хирургии. Для планирования протокола облучения, обеспечения эффективности и безопасности воздействия высокоинтенсивного сфокусированного ультразвукового пучка на ткань необходимы точные количественные данные о параметрах поля в месте воздействия. Прямыми экспериментальными методами получить такие данные практически невозможно, поэтому важную роль играет численный эксперимент, имитирующий клинические условия и максимальным образом включающий в себя данные измерений. Одной из основных моделей при описании ультразвуковых пучков большой интенсивности является уравнение Вестервельта, решения которого достаточно широко исследованы для случаев фокусировки в однородной среде. При распространении ультразвука в теле человека необходимо также учитывать пространственные

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

неоднородности акустических параметров среды, такие как скорость звука, плотность, коэффициент нелинейности, а также частотно-зависимый закон поглощения различных мягких тканей. В данной работе уравнение Вестервельта было обобщено на случай описания нелинейных волн в среде с плавными неоднородностями. Был развит алгоритм численного моделирования полученного уравнения в предположении малости эффектов обратного рассеяния. Трехмерные пространственные распределения скорости звука и плотности в области торса человека восстанавливались на основе данных компьютерной томографии (КТ) и учитывались на каждом пространственном шаге сетки вдоль оси пучка с помощью единого комплексного множителя. Коэффициенты поглощения и нелинейности задавались путем сегментации КТ-изображений, выделения областей, занимаемых различными органами или тканями, и присвоения соответствующих этим типам органов либо тканей значений. С использованием полученных пространственных распределений акустических параметров было проведено моделирование фокусировки ультразвукового пучка в область почки. В качестве примера рассматривалось поле одиночного излучателя в виде сферического сегмента с частотой  $f = 1$  МГц, радиусом  $a = 5$  см и фокусным расстоянием  $F = 9$  см. Показано, что наличие неоднородностей приводит к ухудшению качества фокусировки, заключающемуся в смещении положения фокуса, уменьшении уровней давления и степени проявления нелинейных эффектов в фокусе, а также появлению дополнительных боковых лепестков. Рассмотренные эффекты могут затруднять реализацию терапевтического воздействия на ткань, особенно на большой глубине. Работа поддержана грантом РНФ 14-12-00974.

**Ключевые слова:** неоднородные среды, уравнение Вестервельта, нелинейные волны, численное моделирование

### АКУСТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ КАК МЕХАНИЗМ ВЗРЫВОВ ЖИДКИХ КАПЕЛЬ В АКУСТИЧЕСКИХ ФОНТАНАХ

Анненкова Е.А.<sup>1)</sup>, Сапожников О.А.<sup>1),2)</sup>, Саймон Д.<sup>2)</sup>, Крайдер У.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва;*

<sup>2)</sup> *Центр промышленного и медицинского ультразвука, Лаборатория прикладной физики, университет штата Вашингтон, Сиэтл, США;*

*Тел.: (916 9245218); E-mail: a-a-annenkova@yandex.ru*

При фокусировке интенсивного ультразвукового пучка на границу жидкость-воздух возникает явление «акустического фонтана», заключающееся в том, что под действием радиационного давления ультразвука с поверхности вырывается струя жидкости. Скоростная съёмка показывает, что в некотором диапазоне интенсивностей струя имеет вид движущейся вверх цепочки из сферических капель, которые на некоторой высоте взрываются. В настоящей работе исследуются возможные физические механизмы этого эффекта. Рассматривается модель акустически возбуждённой капли. Теоретический анализ основан на квадратичном приближении волнового уравнения для акустического давления в жидкости. Решение ищется в виде суперпозиции гармоник, представляющих собой сферические стоячие волны на резонансных частотах сферической области с акустически мягкой границей. Выведена система связанных дифференциальных уравнений первого порядка для медленно изменяющихся амплитуд гармоник и создан конечно-разностный численный алгоритм для её решения. В результате численного моделирования проанализирована эволюция амплитуд гармоник в капле со временем и на этой основе выявлены закономерности нелинейного искажения пространственно-временной структуры акустического поля в капле. Показано, что для параметров, соответствующих экспериментам с акустическими фонтанами, акустическая нелинейность приводит к значительному повышению пиковых акустических давлений и связанному с этим усиленному тепловыделению в малой области вблизи центра капли. Для анализа соответствующего температурного поля построен алгоритм решения уравнения теплопроводности и с его использованием рассчитан прирост температуры в пределах капли. Оказалось, что, несмотря на заметное усиление диссипации в центре капли по сравнению с линейным случаем, эффект теплопроводности приводит к тому, что нагрев центра капли не превышает долей градуса. В то же время, нелинейное усиление пикового оказалось довольно существенным: моделирование показало, что в процессе нелинейной эволюции акустического поля достигаются отрицательные давления в десятки и даже сотни мегапаскалей, что превышает порог прочности жидкости на разрыв. Поведённый анализ позволил сделать вывод о том, что основным акустическим механизмом взрывов капель является разрыв жидкости в центре капли (кавитация) под действием высоких отрицательных давлений, вызванных нелинейными процессами. Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-00261 и грантом Президента РФ по программе поддержки ведущих научных школ № НШ-7062.2016.2.

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**СТРУННЫЕ ВИБРОУДАРНЫЕ СИСТЕМЫ  
С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ УДАРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

**Крупенин В.Л.**

*ИМАШ РАН, Москва*

*Тел.: (495 6259770); Факс: (495 6259770); E-mail: [krupeninster@gmail.com](mailto:krupeninster@gmail.com)*

Приводятся результаты исследования виброударных систем с распределенными ударными элементами и их дискретных аналогов – систем с большим числом традиционных ударных пар. Необходимость обращения к моделям таких систем возникает всякий раз, когда при расчете каких-либо объектов необходим учет собственных волновых свойств самой ударной пары, что бывает, например, тогда, когда речь идет о соударении каких-либо нитей, тросов, проводов, ремней, кабелей, панелей, мембран и т.п. объектов вибрирующих вблизи различного рода преград, перегородок, выступов, стенок и других препятствий. В данном случае в качестве распределенных систем выбраны струны, совершающие плоские колебания, ограниченные преградами, состоящими из отрезков прямых и точек.

Данные виброударные системы с распределенными ударными элементами изучаются в рамках консервативных моделей, а затем – в предположении действия автоколебательных механизмов возбуждения, а также различных вынуждающих факторов. Методы анализа основаны на специальных негладких заменах переменных и частотно-временном анализе виброударных процессов. Рассмотрена схема исследования резонансных процессов при воздействии распределенных нагрузок, а также периодических колебаний самих ограничителей.

Выяснилось, что в системах такого рода особую роль играют стоячих волны типа «хлопок», характеризующаяся синхронизацией ударов в отдаленных друг от друга подсистемах. Динамические эффекты, сопровождающие образование хлопков и родственных им стоячих волн, во многом схожи с явлениями, проявляющимися в традиционных виброударных системах. Были предложены эффективные расчетные схемы струнных систем, которые могут применяться при конструировании датчиков и измерительных устройств, а также объектов, моделируемых посредством абсолютно гибких стержней, находящихся в условиях действия автоколебательных механизмов типа «отрицательное трение». Такие механизмы проявляются при функционировании теплообменного оборудования энергетических установок, в набегающих потоках жидкости или газа, а также в других случаях.

Излагаемые результаты имеют экспериментальное обоснование, которое приводится. В заключении дается результаты теоретического и экспериментального анализа стоячих волн струнных решеток при линейных и виброударных режимах движения. Эти результаты представляющих очевидный модельный интерес как двумерный аналог классической системы «нить с бусинками». Она может использоваться при проведении моделирования многочисленных 2D-объектов. – мембран, тонких пластинок, панелей, решетчатых конструкций, различных сортировочных и просеивающих устройств.

**Ключевые слова:** струна, виброударная система, нелинейные резонансные явления, ограничители, решетка

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (НА)-07.06.2017 - с 16.20 до 18.00**

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ  
ВВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЕ С ПОЛОСТЯМИ**

**Гусев В.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, кафедра акустики, Москва  
Тел.: (495 9392943; E-mail: vgusev@bk.ru*

Рассматривается распространение акустических волн и ограниченных пучков большой интенсивности в вязкоупругих средах и средах с памятью, содержащих сильно сжимаемые включения и газовые полости. Отклик такой среды на внешнее акустическое воздействие отличается различными частотно-зависимыми эффектами и сложной временной зависимостью, в частности резонансным и релаксационным характером. Поведение основного вязкоупругого материала такой среды носит релаксационный характер, несущий память о воздействии в предыдущие моменты времени. Динамика внутренних элементов – включений и полостей – может носить ярко резонансный характер. И резонансное, и релаксационное поведение может быть присуще различным характеристикам среды – упругим модулям, коэффициентам вязкости, затухания и т.д. в работе рассчитывается трансформация временных профилей, частотных спектров и поперечной структуры пучков при распространении в подобных средах со сложной внутренней динамикой.

**ОСОБЕННОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ  
НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ НА ПЛОСКУЮ ГРАНИЦУ ДВУХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

**Кокшайский А.И., Ширгина Н.В., Коробов А.И.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физфак, кафедра акустики, Москва  
Тел.: +74959391821; E-mail: Natalia.shirgina@physics.msu.ru*

Проанализированы особенности нелинейной трансформации продольной волны и сдвиговой акустической волны с вертикальной поляризацией (SV-волны) при их падении под углом  $45^\circ$  на плоскую границу двух шероховатых сред. У векторов смещения этих волн на границе имеются параллельные и нормальные к границе компоненты. Параллельные к границе компоненты смещения обеих волн вследствие гистерезисной нелинейности вызывают генерацию сдвиговых нечетных упругих гармоник, падающих на границу волн. Нормальные компоненты вследствие герцевской нелинейности вызывают генерацию второй акустической гармоники продольной волны на границе. Экспериментально исследованы особенности трансформации продольной объемной акустической волны с частотой 5 МГц при наклонном падении под углом  $45^\circ$  на плоскую шероховатую границу двух твердых тел. Нормально к границе регистрировалась генерация второй продольной гармоники на частоте 10 МГц и генерация третьей сдвиговой гармоники на частоте 15 МГц с вектором поляризации параллельным границе. Амплитуды гармоник немонотонно зависели от величины внешнего статического давления, приложенного к границе. Экспериментально определенные значения показателей степени в уравнении, определяющим зависимости амплитуды высших акустических гармоник от амплитуды первой акустической гармоники существенно отличались от классических значений показателей в твердых телах. Экспериментальные результаты находятся в согласии с проведенным анализом и свидетельствуют о присутствии сильной структурной нелинейности на шероховатой границе двух сред. Структурная нелинейность на границе обусловлена нелинейностью контакта Герца и гистерезисной нелинейностью. Исследованные нелинейные эффекты могут быть использованы при создании новых методов диагностики сварных швов.

**ОТРАЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ СФОКУСИРОВАННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ  
ОТ АКУСТИЧЕСКИ МЯГКОЙ ГРАНИЦЫ**

**Дерябин М.С.<sup>1,2)</sup>, Касьянов Д.А.<sup>1)</sup>, Курин В.В.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;  
Тел.: (+79081649575); E-mail: mmm1984@inbox.ru*

Исследуются нелинейные эффекты в интенсивных сфокусированных акустических пучках, отражённых от акустически мягкой границы. Для проведения экспериментов использовалась экспериментальная установка созданная на базе измерительного комплекса фирмы Precision Acoustics (Ultrasound Measurement System Control Centre). Для регистрации акустических сигналов применялись миниатюрные оптоволоконные гидрофоны (Fibre-optic Hydrophone System фирмы Precision Acoustics), которые обладают широким частотным и динамическим диапазоном. Для излучения использовался фокусирующий излучатель фирмы

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Olympus, имеющий рабочую частоту 1 МГц и фокусное расстояние 16 см. В качестве акустически мягкой границы использовалась граница раздела вода-воздух. Исследованы основные закономерности трансформации профиля волны в отраженных пучках, и в частности, их спектральные характеристики. Исследованы параметры акустических пучков отраженных от мягкой границы, в зависимости от положения границы по отношению к фокальной области излучателя. Экспериментально продемонстрировано образование максимума интенсивности в расходящемся интенсивном акустическом поле при отражении от плоской акустически мягкой границы. Данное явление связано с взаимным влиянием друг на друга нелинейных и дифракционных эффектов в интенсивном акустическом пучке. При совмещении фокальной плоскости излучателя с плоскостью поверхности воды, максимальная измеренная амплитуда акустического давления в отраженном акустическом пучке примерно на 10% превышала максимальную амплитуду акустического давления создаваемого используемым излучателем в фокальной области при отсутствии границы. Данный экспериментальный факт демонстрирует возможность усиления акустических полей создаваемых фокусирующими излучателями с помощью отражения от акустически мягкой границы.

**Ключевые слова:** нелинейность, акустика, ударная волна, мягкая граница

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ УЗКОПОЛОСНЫХ ШУМОВЫХ ПУЧКОВ**

**Гурбатов С.Н.<sup>1)</sup>, Дерябин М.С.<sup>1;2)</sup>, Касьянов Д.А.<sup>2)</sup>, Курин В.В.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород;  
Тел.: (+79081649575); E-mail: mmm1984@inbox.ru*

Экспериментально исследованы нелинейные эффекты при распространении интенсивных узкополосных шумовых пучков. Специально созданная экспериментальная установка позволяет излучать в среду шумовые акустические сигналы с заданными характеристиками и регистрировать их по мере распространения в широком частотном диапазоне. Экспериментальная установка создана на базе автоматического акустического измерительного комплекса фирмы Precision Acoustics (Ultrasound Measurement System Control Centre), позволяющего позиционировать гидрофон и излучатель с абсолютной точностью не менее 6 мкм. Для регистрации акустических сигналов использовался мембранный PVDF-гидрофон, имеющий калибровку от производителя в диапазоне частот до 40 МГц. При этом неравномерность характеристики чувствительности в данном диапазоне частот не превышает 20%. Для излучения шумовых импульсов использовался излучатель Olympus, имеющий добротность около трёх. Рабочая частота излучателя 2 МГц. Характерный уровень акустического давления на апертуре излучателя составлял 1 МПа. В результате экспериментов показано, что форма спектра сигнала по мере распространения шумового импульса трансформируется к универсальной структуре. Спектр при этом, имеет зависимость амплитуды спектральной компоненты от частоты с законом спадания на высоких частотах как частота в степени минус единица.

**Ключевые слова:** нелинейность, акустика, звуковые пучки, ударная волна

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КАВИТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ МОРСКОЙ ВОДЫ**

**Елистратов В.П.<sup>1)</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>2)</sup>, Мельников Н.П.<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> *Гидрофизический институт Академии наук Абхазии, Сухум;* <sup>2)</sup> *Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва;* <sup>3)</sup> *Научно-исслед. радиофизический ин-т ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород;  
Тел.: (920 0774352), Факс: (831 4325707); E-mail: melnikov50@mail.ru*

Исследованы физические зависимости порогов возникновения акустической кавитации, измеренных в различных районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов, от гидрологических, гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик морской воды. Установлено, что существует достоверная статистическая связь величины кавитационной прочности морской воды с общим газосодержанием, концентрацией кислорода, температурой, соленостью и щелочностью как в глобальном масштабе, так и в отдельно взятых районах. Обсуждается влияние на кавитационную прочность морской воды зон дивергенции и конвергенции, а также океанических течений. Отмечается связь порогов возникновения акустической и гидродинамической кавитации.

**Ключевые слова:** кавитационные пороги, кавитационная прочность морской воды

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **АКУСТИЧЕСКАЯ РАДИАЦИОННАЯ СИЛА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ СО СТОРОНЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА НА НАХОДЯЩИЙСЯ В ЖИДКОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ШАР: ЭФФЕКТ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ОТ ШИРИНЫ ПУЧКА, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ВОЗБУЖДЕНИЕМ СДВИГОВЫХ ВОЛН**

**Николаева А.В.<sup>1)</sup>, Сапожников О.А.<sup>1,2)</sup>, Бэйли М.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Московский государственный ун-т имени М.В. Ломоносова, физфак, кафедра акустики, Москва;*

<sup>2)</sup> *Центр промышленного и медицинского ультразвука университета шт. Вашингтон, Сиэтл, США;  
Тел.: +7 (495) 939-29-52; E-mail: av.nikolaeva@physics.msu.ru*

Интерес к эффекту радиационного давления (радиационной силы) в акустике вызван широким спектром возможностей его применения. В частности, активно развиваются медицинские приложения. Так, несколько лет назад было предложено использовать радиационную силу, создаваемую фокусированным ультразвуком, для дистанционного перемещения камней в почках человека. Эксперименты показали, что радиационная сила зависит от параметров «толкающего» ультразвукового пучка и от характеристик почечных камней. Поскольку величина силы сравнительно мала, а её увеличение за счёт роста интенсивности ультразвука ограничено медицинскими нормами безопасности, то актуальной является задача повышения эффективности метода путём выбора оптимальных параметров ультразвукового пучка. В настоящей работе указанная задача решается теоретически. Рассматривается расположенный в жидкости твердотельный рассеиватель, на который падает фокусированный ультразвуковой пучок. Рассеиватель имеет форму шара из изотропного твёрдого материала, а падающее акустическое поле представляет собой квазигауссовский волновой пучок, ось которого проходит через центр шара. Задача в такой постановке допускает аналитическое решение для величины радиационной силы, что делает возможным проведение расчётов в широком диапазоне изменения параметров пучка и рассеивателя. Одним из практически важных является вопрос о том, как радиационная сила зависит от соотношения между поперечной шириной пучка и диаметром рассеивателя. Как показали наши расчёты, эта зависимость имеет чётко выраженный максимум при близости поперечных размеров пучка и рассеивателя. Была высказана гипотеза, что физической причиной указанного эффекта является резонансное возбуждение сдвиговых волн акустической волной, распространяющейся вдоль поверхности камня в воде. Для проверки были проведены вычисления силы для двух материалов рассеивателя: моногидрата оксалата кальция (материал одного из типов почечных камней) и гипсового цемента марки У-30. При этом скорость продольной волны фиксировалась, а скорость поперечной волны изменялась в широком диапазоне. Показано, что наибольшая радиационная сила действительно достигалась при близости скорости поперечных волн в камне к скорости звука в жидкости. Аналогичный результат был получен и при использовании более приближённого к практике поршневого фокусирующего излучателя.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-00261 и грантом Президента РФ по программе поддержки ведущих научных школ № НШ-7062.2016.2.

### **АКУСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ПРИ СМЕШАННЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Губайдуллин А.А.<sup>1, 2)</sup>, Пяткова А.В.<sup>1, 3)</sup>**

<sup>1)</sup> *Тюменский филиал Ин-та теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,  
Тюмень;*

<sup>2)</sup> *Тюменский государственный университет, Тюмень;*

<sup>3)</sup> *Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, Казань.  
Тел.: +7 (3452) 682745; Факс: +7 (3452) 684756; E-mail: annyakovenko@yandex.ru*

В звуковом поле помимо периодического движения среды возникает направленный средний по времени перенос массы устойчивыми вихрями, это приводит к формированию акустического (или вторичного) течения. Акустическое течение вызывает постоянные вязкие напряжения на границе, которые могут быть существенными в ускорении некоторых процессов. В частности, акустические течения усиливают процесс теплопереноса, способствуют ускорению изменения концентрации при очистке загрязненных поверхностей, могут вызвать удаление поверхностной пленки. Первый теоретический анализ акустических течений, возникающих в стоячих волнах между параллельными плоскостями, выполнил лорд Рэлей. Им было аналитически описано стационарное движение, состоящее из ряда вихрей. Позднее акустические течения были изучены более подробно в ряде теоретических работ. В настоящее время акустические течения продолжают широко изучаться. Благодаря численным методам и экспериментальным исследованиям стало возможным описание сильно нелинейных режимов течения.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

В данной работе проведено численное исследование акустического течения в цилиндрической полости, возникающего при вибрационном воздействии. Внутри полости находится воздух. На стенках полости заданы смешанные термические граничные условия при различных коэффициентах теплоотдачи. Таким образом, исследованы промежуточные граничные условия между рассмотренными авторами ранее адиабатическими и изотермическими. Для описания процесса использована система уравнений газовой динамики в цилиндрической неинерциальной системе координат, записанная с учётом теплопроводности и вязкости, а также вязкой диссипации. В качестве уравнения состояния взято уравнение Клапейрона. На стенках полости задано условие прилипания. Частота и амплитуда вибрации варьировались таким образом, что рассмотрены акустические течения как при слабой нелинейности процесса, так и при сильно нелинейных режимах течения. Увеличение амплитуды вибрации приводит к проявлению нелинейных эффектов, в частности к изменению средних за период распределений температуры, плотности и давления, а также к искажению вихрей акустического течения и образованию дополнительных вихрей. Показана динамика изменения вихрей акустического течения при переходе от адиабатических граничных условий к изотермическим при повышении коэффициента теплоотдачи. Для каждой из рассмотренных частот выявлены значения коэффициента теплоотдачи, при которых акустическое течение начинает совпадать с предельными случаями адиабатических и изотермических граничных условий.

### **НЕЛИНЕЙНОЕ АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОСТИ**

**Диденкулов И.Н.<sup>1),2)</sup>, Прончатов-Рубцов Н.В.<sup>2)</sup>, Пазухин В.Г.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*ИПФ РАН, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup>*ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;*

*Тел.: (831 4164781); Факс: (831 4365976); E-mail: (din@appl.sci-nnov.ru)*

Во многих случаях при изучении течений жидкости требуется измерить распределение скорости по сечению потока. С этой целью обычно используется эхолокационный метод. При этом пространственная разрешающая способность (протяженность импульса) должна быть существенно меньше характерного поперечного масштаба течения. Поэтому в эхолокационном методе используются высокие акустические частоты. Однако в сильно поглощающих многофазных средах такой подход неприменим. В этом случае можно использовать нелинейный акустический метод разностной частоты. Метод может успешно применяться при наличии газовых включений, которые в большинстве случаев присутствуют в жидкости. При определенных предположениях о распределении газовых включений можно реконструировать распределение скорости потока. В работе описывается метод и приводятся экспериментальные результаты его апробации.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОВ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ В ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИКИ (РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА)**

**Гурбатов С.Н., Демин И.Ю., Прончатов-Рубцов Н.В.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный ун-т им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород  
demin@rf.unn.ru*

При эволюции интенсивных случайных волн (акустического шума) в недиспергирующей среде происходит изменение как его формы, так и его статистических характеристик, а именно вероятностного распределения и спектра. Все это позволяет решать и обратную задачу нелинейной акустики, а именно восстановления начального спектра (форма и частотный диапазон), а соответственно и неизвестную начальную формы сигнала. Это удалось реализовать, используя спектры высших порядков (биспектральный анализ). Предложена спектральная схема численного решения уравнение Бюргерса, которая позволила определить спектр и профиль волны на различных расстояниях от источника (как до образования ударного фронта, так и после). Были проанализирована эволюция двух типов спектров шумовых волн: начальный спектр в нуле равен нулю и начальный спектр в нуле отличен от нуля. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (14-12-00882).

## Секция ФА – Физическая акустика

Сапожников Олег Анатольевич, руководитель  
Московский государственный университет им. М.В.Ломаносова,  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1/2; E-mail: oleg@acs366.phys.msu.ru

**06.06.2017 - с 14.00 до 16.00**

**07.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

### УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ВОЛНОВОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Конопацкая И.И.<sup>1)</sup>, Миронов М.А.<sup>2)</sup>, Пятаков П.А.<sup>3)</sup>

<sup>1-3)</sup>АО «Акустический институт им. академика Н.Н.Андреева», Москва  
Тел.: 89167387395; Факс: +7(499)126-4811  
E-mail: [ikonopatskaya@gmail.com](mailto:ikonopatskaya@gmail.com)

При воздействии коротким импульсом силы в твердотельном волноводе распространяется акустический реверберационный сигнал, представляющий собой суперпозицию волн прямо прошедших от источника до приемника и отраженных от внешних границ волновода и его неоднородностей. Длительность этого сигнала обычно много больше длительности исходного импульса и составляет величину порядка нескольких миллисекунд. При этом произведение полосы частот сигнала на его длительность (база сигнала) много больше единицы. В этих условиях оказывается эффективным использование корреляционного метода для дифференциации сигналов по форме. Каждому фиксированному состоянию волноводной конструкции соответствует своя индивидуальная форма реверберационного сигнала. Даже относительно небольшие изменения в состоянии волновода под воздействием внешних нагрузок, появление любого вида неоднородностей (трещин) приводит к небольшим, но легко фиксируемым, изменениям в значении коэффициента корреляции двух реверберационных сигналов, соответствующих разным состояниям волновода. Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на твердотельном волноводе стержневого типа, в которых корреляционный метод был применен для регистрации изменений в состоянии волновода под действием локального напряжения сжатия. Исследованы чувствительность метода, степень линейности откликов. Продемонстрирована эффективность применения метода на примере мониторинга качества болтового соединения.

**Ключевые слова:** реверберационный сигнал, корреляция, твердотельный волновод

### ИЗУЧЕНИЕ ОБРАТНЫХ СДВИГОВЫХ ВОЛН В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ КРИСТАЛЛОВ КЛАССА 2mm НА ОСНОВЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ДИСПЕРСИОННЫХ УРАВНЕНИЙ

Недоспасов И.А.<sup>1)</sup>, Можяев В.Г.<sup>2)</sup>, Кузнецова И.Е.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, Москва;  
Тел.: (985 1518446); Факс: (495 6293679)

<sup>2)</sup>Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломаносова, Москва;  
E-mail: [nedospasov.ilya@physics.msu.ru](mailto:nedospasov.ilya@physics.msu.ru)

В настоящее время в различных областях волновой физики уделяется большое внимание изучению волн с противоположным направлением фазовой и групповой скоростей. Такие волны принято называть обратными. Чисто сдвиговые нормальные волны в пьезоэлектрических пластинах обратными быть не могут, но пьезоэффект делает их существование возможным [1]. Однако относительный частотный диапазон существования таких волн в обычных пьезоэлектрических кристаллах весьма мал. В пластине ZnO он составляет всего лишь  $2 \cdot 10^{-5}$  [2], что налагает существенные ограничения на выбор рабочей частоты и допустимые отклонения от плоскопараллельности поверхностей пластин. Вероятно, поэтому обсуждаемые волны до сих пор экспериментально никем не наблюдались.

В нашей недавней работе [3] было численно показано, что диапазоны существования обратных чисто сдвиговых волн могут быть очень большими, и более того эти диапазоны для разных мод имеют тенденцию сливаться друг с другом с повышением номера мод, если в качестве пьезоэлектрической пластины выбрать

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

кристалл ниобата калия, отличающийся необычайно сильным пьезоэффектом. Целью настоящей работы является аналитическое изучение спектра обратных сдвиговых волн в пьезоэлектрических пластинах типа ниобата калия. Из разложения дисперсионных уравнений вблизи точек рождения высших мод следует, что дисперсионные зависимости можно представить в виде суммы двух слагаемых, одно из которых пропорционально кривизне кривой медленности в вертикальном направлении, а второе пропорционально отрицательному смещению лучей при отражении [4]. Конкуренция этих двух механизмов количественно объясняет и описывает спектр и существование (X-срез), либо отсутствие (Y-срез) обратных сдвиговых волн в пластинах  $\text{KNbO}_3$ .

Работа поддержана проектами РФФИ №16-07-00629, №17-07-00608, №17-51-53101.

1. Бурлий П.В., Ильин П.П., Кучеров И.Я. //Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. № 9. С. 568-571.

2. Кучеров И.Я., Маляренко Е.В. //Акуст. журн. 1998. Т. 44. № 4. С. 492-497.

3. Кузнецова И.Е., Можаяев В.Г., Недоспасов И.А. // Радиотехника и электроника. 2016. Т. 61. № 11. С. 1122-1131.

4. Лямшев Л.М., Шевяхов Н.С. //Акуст. журн. 1975. Т. 21. № 6. С. 951-952.

**Ключевые слова:** обратные акустические волны, сдвиговые моды, пьезоэлектрические пластины

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОЙ И МЕДЛЕННОЙ ДИНАМИКИ КРУТИЛЬНЫХ ВОЛН В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕДИ

**Коробов А.И., Одина Н.И., Асеев Е.М.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет,  
кафедра акустики, Москва*

*Тел.:(495 9391821); E-mail: niodina@mail.ru*

Представлены результаты экспериментального исследования быстрой и медленной динамики крутильных волн в акустических резонаторах из поликристаллической меди двумя методами: резонансным (на частоте 9.7 кГц) и импульсным (на частоте 138 кГц). В обоих случаях с ростом амплитуды наблюдалось уменьшение скорости крутильных волн одного порядка величины. Проведено сравнение с результатами, полученными с использованием продольных волн. Для крутильных волн относительное изменение частоты примерно в 2 раза меньше, чем для продольных волн - примерно 0.0018 в том же диапазоне амплитуд возбуждающего сигнала по сравнению с полученным для продольных волн уменьшением порядка 0.0035. Линейность зависимостей свидетельствует о присутствии структурной нелинейности. Отмечена более медленная релаксация при распространении крутильных волн при исследовании медленной динамики: время насыщения на временной зависимости скорости крутильных волн составляет примерно 7000 с, в то время как для продольных волн – примерно 2500 с. Также наблюдается уменьшение значения коэффициента затухания. Данная работа поддержана грантом РФ № 14-22-00042.

**Ключевые слова:** быстрая и медленная динамика, крутильные волны, поликристаллическая медь

### ЛИНЕЙНЫЕ УПРУГИЕ СВОЙСТВА Н-ТЕТРАКОЗАНА В ОБЛАСТИ ПЛАВЛЕНИЯ

**Одина Н.И., Коробов А.И.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
физический факультет, кафедра акустики, Москва*

*Тел.:+74959391821; E-mail: niodina@mail.ru*

Представлены результаты экспериментального исследования линейных упругих свойств н-тетракозана в области плавления. Н-тетракозан  $\text{C}_{24}\text{H}_{50}$  является представителем семейства предельных углеводородов нормального строения (н-алканов) с общей формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ . Алканы имеют кристаллическое строение. Исследование алканов является актуальным, поскольку они входят в состав нефтепродуктов и используются для моделирования плавления металлов. Исследование линейных упругих свойств проводилось эхо-импульсным методом в режиме «на отражение» на частоте 5 МГц. Была измерена температурная зависимость скорости и затухания продольных волн как в жидком, так и в твердом состоянии в интервале температур 20-60 градусов Цельсия. При температуре 53 градуса Цельсия был обнаружен скачок скорости и поглощения, связанный с переходом первого рода твердое тело – жидкость–твердое тело. По измеренному значению скорости рассчитан скачок упругих параметров в области перехода. Отмечено наличие температурного гистерезиса. При приближении к температуре перехода со стороны как жидкой, так и твердой фазы как при плавлении, так и при кристаллизации отмечается рост затухания звука.

Данная работа поддержана грантом РФ № 14-22-00042.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**Ключевые слова:** упругие свойства, плавление, n-тетракозан

### **ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОСТЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛН ЛЭМБА**

**Перов Д.В., Ринкевич А.Б., Немытова О.В.**

*Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург;  
Тел.: (+73433783697); Факс: (+73433745244); E-mail: [peroff@imp.uran.ru](mailto:peroff@imp.uran.ru)*

Предложен алгоритм локализации дефектов в тонкостенных объектах и определения акустических параметров на основе анализа дисперсионных характеристик волн Лэмба. Показано, что использование методики определения мгновенной частоты сигнала с использованием вейвлетного преобразования позволяет восстановить протяженные участки зависимостей времени групповой задержки от частоты для различных мод волн Лэмба. Дополнительным преимуществом предлагаемого метода является его высокая помехоустойчивость. Показано, что для минимизации погрешностей оценки параметров необходимо оптимальным образом выбирать моду волн Лэмба и рабочий диапазон частот. В частности, для минимизации погрешности определения расстояния до отражателя в пластине следует выбирать участок дисперсионной характеристики, где групповое время задержки велико по номинальному значению и его изменение по частоте максимально.

### **КАВИТАЦИЯ И НАГРЕВ СУСПЕНЗИЙ НАНОЧАСТИЦ В ПОЛЕ БЕГУЩЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ**

**Андреев В.Г., Свиридов А.П., Тамаров К.П., Тимошенко В.Ю.**

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
Тел.: (495 9392952); E-mail: [andreev@acs366.phys.msu.ru](mailto:andreev@acs366.phys.msu.ru)*

Изучены эффекты нагрева и ультразвуковой кавитации в суспензиях селективно модифицированных наночастиц мезопористого кремния, которые планируется использовать в качестве твердотельных соносенсибилизаторов с контролируемыми структурными и физико-химическими свойствами. Селективность модификации достигается использованием гексана в качестве наностоппера, который предохраняет внутреннюю поверхность пор от окисления и оставляет их гидрофобными. Это позволяет пузырькам воздуха оставаться внутри пор в водной суспензии наночастиц, что должно значительно снижать порог акустической кавитации. К гидрофильной внешней поверхности наночастиц могут быть конъюгированы биосовместимые полимеры, такие как декстран и термочувствительный полимер, которые помогают стабилизировать суспензии наночастиц в биологических жидкостях, а также повысить время нахождения соносенсибилизатора в организме. Приводятся результаты расчетов дополнительного нагрева кремниевых суспензий при облучении их ультразвуком различной интенсивности и частоты. Определены концентрации суспензий кремниевых частиц заданного размера, при которых поглощение ультразвука превосходит поглощение УЗ в дистиллированной воде. Показано что для наблюдения заметного поглощения УЗ частотой 2 МГц в суспензиях кремниевых наночастиц со средним размером менее 100 нм их концентрация должна быть более 1 г/л. Проведено численное моделирование динамики пузырька в ультразвуковом поле в условиях, близких к экспериментальным. При этом предполагалось наличие пузырьков микронных размеров, которые вырастают из нанопор, расположенных на поверхности кремниевых наночастиц. Такие зародыши будут иметь место на частицах мезопористого кремния с гидрофобной поверхностью. Динамика пузырька рассчитывалась с использованием уравнения Рэлея – Плессета с учетом поверхностного натяжения и вязкости жидкости. Было показано, что пузырьки резонансного размера 2 мкм пульсируют и схлопываются наиболее эффективно. Показано, что для жидкости с резонансными пузырьками порог инерционной кавитации составляет 2 атм, что значительно меньше, чем значения, полученные экспериментально (15 атм). Это означает, что в экспериментальных условиях преобладают пузырьки гораздо меньших размеров, для которых порог инерционной кавитации составляет десятки атмосфер.

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ЗАХВАТ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТВЕРДЫХ МИКРОЧАСТИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЗАКРУЧЕННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА**

**Андреев В.Г.<sup>1)</sup>, Лесик М.В.<sup>1)</sup>, Соловьев С.И.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
Тел.: (495 9392952); E-mail: [andreev@acs366.phys.msu.ru](mailto:andreev@acs366.phys.msu.ru)*

В докладе рассматривается задача захвата твердых сферических частиц сфокусированным ультразвуковым пучком, сформированным многоэлементной антенной решеткой и последующим перемещением микрочастиц в жидкости. Формулируются требования к конфигурации ультразвукового поля и его интенсивности для захвата и удержания частиц заданного радиуса и плотности. Для захвата и удержания микрочастиц формировался закрученный пучок с нулевым значением амплитуды давления на оси. Для этого излучатель делился на равные сектора, и фаза колебательной скорости элементов, находящихся в пределах одного сектора задавалась одинаковой. Элементы в соседних секторах колебались со сдвигом фазы, кратном 45 градусам. В расчетах предполагалось, что полный сдвиг фазы при обходе всех секторов составлял 360 или 720 градусов, что соответствовало значению топологического заряда, равного 1 или 2. В докладе представлены рассчитанные траектории микрочастицы в зависимости от величины начальной скорости и ее направления относительно оси решетки. Показано, что частицы, находящиеся в пределах 2 мм от оси пучка и движущиеся с начальными скоростями, не превышающими 5 см/с могут быть захвачены в ловушку.

**НИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ЭЛЕМЕНТА  
В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

**Полунин В.М., Ряполов П.А., Шельдешова Е.В.**

*Юго-западный государственный университет, г. Курск  
Тел.: +79192108366; E-mail: [r-piter@yandex.ru](mailto:r-piter@yandex.ru)*

В работе представлены результаты исследования динамики низкочастотных колебаний магнитожидкостного элемента, представляющего собой столбик магнитной жидкости, залитой в горизонтальную трубку, находящуюся между полюсами электромагнита. При этом магнитная жидкость левитирует в сильном магнитном поле. В работе исследованы следующие параметры системы: частота колебаний, коэффициенты пондеромоторной и динамической упругости, кривая намагничивания, а также напряженность и градиент напряженности магнитного поля. Разработана модель пондеромоторной упругости с введенной поправкой на сопротивление движущейся вязкой жидкости. С ее использованием предложен вариант построения кривой намагничивания по результатам исследования динамики низкочастотных колебаний магнитожидкостного элемента в магнитном поле. Результаты обработки данных экспериментов с использованием предложенной модели находятся в хорошем соответствии с экспериментальной кривой намагничивания. Описанная методика представляет интерес для исследования магнитофореза, агрегирования наночастиц, вязкости и их временной зависимости в магнитных коллоидах.

**Ключевые слова:** магнитная жидкость, сильное магнитное поле, частота колебаний, коэффициент упругости, намагниченность насыщения

**ОПТИКО - АКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ  
В ПЛЕНКАХ ЖЕЛЕЗО – ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА (ЖИГ)**

**Винокуров Н.А., Сарнацкий В.М., Суденков Ю.В., Шилин В.Д.**

*Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ, Санкт-Петербург)  
Тел.: (9313153951); Факс: (8124287240); E-mail: [vnkknt@gmail.com](mailto:vnkknt@gmail.com)*

Приведены результаты исследований эффективности возбуждения, спектрального состава и типа поляризации звуковых волн в пленках ЖИГ толщиной 10 – 60 мкм под действием импульса лазера WEDGE XV 1064 с длиной волны 0,53 мкм и 1,06 мкм. Для определения вклада магнитоупругого взаимодействия в формируемый акустический сигнал исследования проводились во внешнем магнитном поле 0- 2000 эрстед с различной ориентацией относительно направления вектора напряженности переменного магнитного поля в световой волне.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **МНОГОЧАСТОТНЫЙ АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ТЕЧЕНИЯ**

**Есипов И.Б.<sup>1,2)</sup>, Коновалов В.Н.<sup>2)</sup>, Черноусов А.Д.<sup>2,3)</sup>, Попов О.Е.<sup>4)</sup>**

<sup>1)</sup> РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва;

<sup>2)</sup> АО «Акустический институт им. Н.Н. Андреева», г. Москва; <sup>3)</sup> НЦВИ ИОФ РАН г. Москва

<sup>4)</sup> Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва.

Тел.: (499 135-8496); Факс: (499 126-8411); E-mail: (igor.esipov@mail.ru)

Поперечный поток неоднородного течения приводит к флуктуациям пересекающего его акустического сигнала. Параметры флуктуаций меняются в зависимости от положения потока на акустической трассе и частоты сигнала. Известные методы акустической томографии требуют многих пространственно разнесенных акустических трасс. Здесь мы обсуждаем особенности экспериментальной реализации принципа томографии турбулентного потока в частотной области, теоретически рассмотренного в работе J. Fuks, K. Naugolnykh, and M. Charnotskii, J. Acoust. Soc. Am. 109 (6) (2001). Приводятся результаты экспериментального исследования возможности решить обратную задачу – восстановить скорость турбулентного потока и его положение в пространстве по анализу спектра флуктуаций акустического сигнала разных частот. Обсуждаются условия и точность восстановления характеристик турбулентного течения с помощью многочастотного сигнала, распространяющегося по одной акустической трассе. Исследование выполнялось в заглушенной акустической камере. В качестве турбулентного потока служила струя воздуха. Несмотря на общефизический характер выполненных исследований, полученные результаты могут быть применимы в задачах атмосферной акустики, аэроакустики, а также акустики океана.

**Ключевые слова:** турбулентный поток, многочастотная томография

### **ДИНАМИКА ГАЗОВОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ВБЛИЗИ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**Максимов А.О., Половинка Ю.А.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток;*

*Тел.: (423 2313081); Факс: (423 2312573); E-mail: (maksimov@poi.dvo.ru)*

Активные и пассивные акустические методы применялись для диагностики пузырьков в лабораторных и природных условиях на протяжении нескольких десятилетий. Эти методики широко используются в океанологии для изучения взволнованной морской поверхности, подводных газовых сипов и грязевых вулканов. Существуют многообразные биомедицинские приложения, в которых микропузырьки используются в качестве ультразвуковых контрастных агентов. Точность и корректность теоретического моделирования физических процессов при реализации указанных методов зависит от того, как границы сред с разными механическими свойствами влияют на акустический отклик микропузырьков. Попытки решить эту задачу предпринимались в многочисленных исследованиях. Традиционный подход, использующий метод зеркальных источников, позволяет получить лишь достаточно грубое описание пульсаций пузырька вблизи границы, поскольку его применимость ограничивается условием малости размеров пузырька по сравнению с расстоянием до ограничивающей поверхности. Возможность найти решение в интервале дистанций, сопоставимых с размером пузырька, обусловлена наличием внутренней симметрии, приводящей к существованию 17 координатных систем, в которых при решении уравнения Лапласа переменные разделяются. Тороидальные и бисферические координаты принадлежат к этому списку. В докладе приводятся результаты, полученные при использовании данных координатных систем, для описания поведения закрепленных включений и пузырьков, располагающихся вблизи межфазной поверхности. Получен модифицированный вид уравнения Рэлея и явные зависимости входящих в него параметров – собственной частоты и затухания – от расстояния до границы и физических характеристик контактирующих сред. Перечень решенных задач включает: поведение пузырька, закрепленного на жесткой границе, описание динамики пузырька вблизи жесткой, импедансной и жидкой границы; связанные колебания двух близко расположенных пузырьков. Полученные теоретические результаты используются для описания ряда физических эффектов, таких как акустическое излучение морских сипов, обращение волнового фронта эмиссионных сигналов (для диагностики подводных утечек), проявление акустических сил радиационного давления (при ультразвуковой очистке).

**Ключевые слова:** пузырек, собственная частота, затухание, симметрия и разделение переменных

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

### ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ОТ ВЯЗКОУПРУГОСТИ К ПЛАСТИЧНОСТИ. ОПИСАНИЕ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ВАРИАЦИОННОГО ПРИНЦИПА ДЛЯ ДИССИПАТИВНОЙ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

Максимов Г.А.

АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва  
E-mail: gamaximov@mail.ru

В докладе на основе обобщенного вариационного принципа (ОВП) для диссипативной механики сплошной среды показано, что фазовый переход от вязкоупругого поведения среды к пластическому может быть описан в терминах нелинейной релаксации внутренних микровращений материальных точек. В линейном приближении получаемые на основе ОВП уравнения движения соответствуют вязкоупругой среде, частным случаем которой является среда Максвелла с низкочастотным поведением как у обычной вязкой жидкости. В докладе показано, что за счет выбора только нужной функциональной зависимости сдвиговой нелинейности можно добиться перехода от вязкоупругого поведения среды к ее пластическому поведению с ростом сдвиговой деформации.

### АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ

Бадмаев Б.Б.<sup>1)</sup>, Дембелова Т.С.<sup>1)</sup>, Дамдинов Б.Б.<sup>2)</sup>, Макарова Д.Н.<sup>1)</sup>, Намдакова Е.Д.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ;

<sup>2)</sup> Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ.

Тел.: (3012)432282; Факс: (3012)433224; E-mail: [lmf@ipms.bscnet.ru](mailto:lmf@ipms.bscnet.ru)

В наших работах акустическим резонансным методом было показано, что жидкости независимо от вязкости и полярности обладают сдвиговой упругостью при частоте сдвиговых колебаний порядка  $10^5$  Гц. Всестороннее исследование, проведенное в зависимости от толщины жидкой прослойки и по распространению сдвиговых волн показало, что низкочастотная сдвиговая упругость жидкостей является их объемным свойством. Показано, что полярные жидкости при определенных условиях (например, в покое) обладают упорядоченной структурой, которая разрушается при больших сдвиговых нагрузках, при этом изменяются реологические параметры, а затем за определенное время релаксирует к первоначальному состоянию. Поэтому представляется важным исследование сдвиговой упругости и вязкости жидкостей в зависимости от величины деформации. В данной работе представлено экспериментальное исследование комплексного модуля сдвига и эффективной вязкости жидкостей от угла сдвиговой деформации.

**Ключевые слова:** резонансный метод, сдвиговая упругость, жидкость, деформация, реология

### УТОЧНЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ КОНСТАНТ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ЦТС-19 ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В ВИДЕ ДИСКА

Теплых А.А.<sup>1)</sup>, Зайцев Б.Д.<sup>1)</sup>, Шихабудинов А.М.<sup>1)</sup>, Бородин И.А.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратовский филиал, Саратов;

Тел.: (8452) 27-73-23; Факс: (8452) 27-24-01; E-mail: [teplykhaa@mail.ru](mailto:teplykhaa@mail.ru)

В данной работе сделана попытка уточнения материальных констант образца пьезокерамики ЦТС-19 методом широкополосной акустической спектроскопии. Измеряемый образец представлял собой пьезокерамический диск диаметром 20 мм и толщиной 2 мм. Ось поляризации пьезокерамики совпадала с осью диска. Акустические колебания возбуждались при помощи электродов, полностью покрывающих торцы диска. При помощи прецизионного LCR измерителя был измерен комплексный электрический импеданс данного резонатора в диапазоне 75-1000 кГц. В указанный диапазон попали более десяти частот последовательного и параллельного резонанса данного устройства. Затем была создана теоретическая модель резонатора при помощи двумерного осесимметричного метода конечных элементов. Размеры модели и расположение электродов точно соответствовали экспериментальному образцу. При помощи данной модели был вычислен комплексный электрический импеданс в том же диапазоне частот, при этом набор материальных констант для расчета был взят из литературы. Положения резонансных пиков на теоретической и экспериментальной зависимостях не совпали, что объясняется несоответствием материальных констант, использованных для расчета реальным материальным константам данного образца. Уточненные значения материальных констант были определены при помощи алгоритма Нелдера-Мида.

Целевая функция, которую минимизировал алгоритм, записывалась в виде:  $F = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\log|Z_i^e| - \log|Z_i^f|)^2}$ , где  $|Z_i^e|$

и  $|Z_i^f|$  - измеренный и рассчитанный модуль импеданса на частоте  $f_i$ , соответственно,  $n$  – количество точек измерения. Преимущество выбранного алгоритма состоит в том, что он не требует вычисления

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

производных минимизируемой функции. В результате работы алгоритма были получены уточненные значения материальных констант исследованного образца, которые оказались в пределах  $\pm 10\%$  относительно опубликованных в литературе.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-07-00984.

**Ключевые слова:** пьезорезонатор, пьезокерамика ЦТС-19, материальные константы, алгоритм Нелдера-Мида

### ДИНАМИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ И ОБОБЩЕННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ЖИДКОЙ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ СО СФЕРИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Федотовский В.С., Кругликов Ю.С., Михайлова Т.А.

*АО "ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт" Обнинск, Россия*  
Тел.: 4843995357, E-mail: tmikhaylova@ippe.ru, fedotovskiy@ippe.ru

Эффективная динамическая плотность как мера инерции жидких дисперсных сред, наряду с упругостью определяет скорость распространения звука, т.е. является важнейшим акустическим параметром. Из-за относительного движения частиц-включений и несущей жидкости, обусловленного отличием плотностей включений и жидкости, динамическая плотность отличается от истинной плотности смеси и зависит не только от плотностей и концентраций компонентов, но и от формы и ориентации включений. Установлено, что в случае идеальной несжимаемой несущей жидкости дисперсной среды ее динамическая плотность является аналогом величины, обратной обобщенной проводимости, объединяющей такие эффективные свойства как теплопроводность, электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемость дисперсных материалов. Исследования показали также, что аналогия динамической плотности и обобщенной проводимости имеет место не только для дисперсных сред, но и для гетерогенных сред типа взаимно проникающих континуумов. В докладе рассмотрена модель динамической плотности жидкой дисперсной среды, включенной в понятие обобщенной проводимости гетерогенной среды. Рассмотрены дисперсные среды со сферическими включениями, образующими периодические решетки различных типов. С ростом объемной концентрации включений от нуля до единицы происходит изменение структуры гетерогенной среды от дисперсной к взаимопроницающим континуумам типа трехмерных сеток (начиная с концентрации, соответствующей плотной упаковке сфер), и затем снова к дисперсной среде с ромбовидными включениями. В связи с этим в математических моделях динамической плотности и, соответственно, обобщенной проводимости осуществляется инверсия свойств сплошной и дисперсной фаз. Результаты расчетов динамической плотности и обобщенной проводимости по предложенной модели сравниваются с известными формулами и с результатами прямого численного моделирования.

**Ключевые слова:** дисперсная среда, несжимаемая невязкая жидкость, жесткие сферические включения, динамическая плотность, обобщенная проводимость

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОБРАТНЫХ ВОЛН ПО ТОЛЩИНЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ

Кузнецова И.Е.<sup>1)</sup>, Недоспасов И.А.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва;*  
Тел.: (915 2379880); Факс: (495 6293679); E-mail: [kuziren@yandex.ru](mailto:kuziren@yandex.ru)

Обратные акустические волны характеризуются противоположно направленными фазовой и групповой скоростью. В настоящее время характеристики этих волн хорошо изучены для непьезоэлектрических материалов. Что касается пьезоэлектрических пластин, то существуют работы, описывающие возможные механизмы возникновения этих волн, их характеристики при контакте с жидкостью. Однако исследования, посвященные вопросу влияния на акустические и электрические поля этих волн различных электрических граничных условий, отсутствуют. В данной работе исследовано влияние различных электрических граничных условий на распределение компонент механического смещения и электрического поля по толщине пластины. Для решения задачи были записаны уравнения движения, материальные уравнения для пьезопластины и вакуума, а также уравнение Лапласа. Были также записаны электрические и механические граничные условия. Рассматривалась металлизация пластины либо с одной, либо с двух сторон. Кроме того, исследовался контакт пьезопластины со слоями с произвольной проводимостью, как с одной, так и с двух сторон. В качестве пьезоэлектрика использовался ХУ ниобат калия. Для решения задачи использовался метод матрицы передачи. Были построены зависимости распределения максимальной компоненты смещения и потенциала поперечно-горизонтальных волн 1, 2 и 3 порядков по толщине пластины. В результате проведенных исследований была обнаружена возможность управления глубиной проникновения и положением максимума смещения обратных волн в ХУ ниобате калия путем использования различных

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

типов электрического закорачивания пластины. Полученные результаты могут быть полезны для разработки методов управления смещением частиц пьезоэлектрической среды при распространении обратных акустических волн.

Работа поддержана проектами РФФИ №16-07-00629, №17-07-00608, №17-51-53101.

**Ключевые слова:** обратные акустические волны, электрические граничные условия, акустические поля, пьезоэлектрическая пластина

### **ВАРИАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В ФОРМЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА**

**Теплых А.А.<sup>1)</sup>, Зайцев Б.Д.<sup>1)</sup>, Шихабудинов А.М.<sup>1)</sup>, Бородина И.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратовский филиал, Саратов;  
Тел.: (8452) 27-73-23; Факс: (8452) 27-24-01; E-mail: [teplykhaa@mail.ru](mailto:teplykhaa@mail.ru)*

В статье представлена теория вынужденных колебаний пьезоэлектрического резонатора в форме прямоугольного параллелепипеда. В основе метода лежит представление неизвестных компонент механического смещения и электрического потенциала внутри резонатора в виде линейных комбинаций ортогональных базисных функций. В качестве базисных функций для тела прямоугольной формы были выбраны полиномы Лежандра. Неизвестные коэффициенты, входящие в эти линейные комбинации определяются из условия стационарности лагранжиана, описывающего систему. В отличие от известного метода RPR (rectangular parallelepiped resonance), который позволяет рассчитать собственные частоты для свободного резонатора, представленный метод определяет распределение механических и электрических полей внутри резонатора для заданной возбуждающей частоты. Преимуществом метода является возможность использования комплексных материальных констант, что позволяет учесть вязкость и электрическую проводимость материала резонатора. Колебания возбуждаются при помощи пары электродов, размещенных на противоположных гранях резонатора.

При помощи описанного выше метода был смоделирован резонатор из пьезокерамики ЦТС-19 размерами  $14.14 * 14.14 * 17.96$  мм<sup>3</sup>. Ось поляризации пьезокерамики и направление возбуждающего электрического поля были параллельны размеру 17.96 мм. Была рассчитана зависимость электрического импеданса резонатора от частоты в широком диапазоне частот 75 - 775 кГц. В данном диапазоне наблюдалось 10 ярко выраженных резонансных пиков, что соответствовало полученным экспериментальным данным, и позволило уточнить численные значения материальных констант пьезокерамики ЦТС-19. Для уточнения значений материальных констант был использован алгоритм Нелдера - Мида. Преимущество выбранного алгоритма состоит в том, что он не требует вычисления производных минимизируемой функции. В качестве стартового значения материальных констант были использованы значения, опубликованные в литературе. В результате работы алгоритма были получены уточненные значения материальных констант исследованного образца, которые оказались в пределах 10% от стартовых. Работа поддержана грантом РФФИ 16-07-00984.

**Ключевые слова:** пьезорезонатор, пьезокерамика ЦТС-19, материальные константы, алгоритм Нелдера-Мида

### **НЕОДНОРОДНЫЕ ВЯЗКИЕ ВОЛНЫ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ ПЛАСТИНАМИ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ**

**Павловский А.С., Июдина С.А., Семёнова Н.Г.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, каф. Радиофизики, Санкт-Петербург;  
Тел.: 89119383760; E-mail: [tatabukamena@rambler.ru](mailto:tatabukamena@rambler.ru)*

Численно исследованы неоднородные вязкие волны, возбуждаемые осциллирующими по гармоническому закону плоскими поверхностями. Показана роль конечности размера в направлении колебаний источника относительно толщины пограничного слоя в формировании пространственной дисперсии скорости распространения вязкой волны. При этом выявлено искривление первоначально прямолинейной траектории колебаний частицы среды в вязкой плоской волне. Наблюдаемые явления качественно подобны изученным ранее особенностям траектории частиц и скорости распространения вязкой волны от поступательно колеблющегося цилиндра.

**Ключевые слова:** вязкая волна, неоднородная волна, скорость распространения, плоская пластина конечных размеров

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ЭМИССИЯ КАПЕЛЬ И КОЛЕБАНИЯ ГРАНИЦЫ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В МАЛОМ ОБЪЕМЕ, ИНИЦИИРОВАННЫЕ ИМПУЛЬСНО- ПЕРИОДИЧЕСКИМ СФОКУСИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ПУЧКОМ**

**Макалкин Д.И.<sup>1)</sup>, Брысев А.П.<sup>1)</sup>, Преображенский В.Л.<sup>1)</sup>, Перно Ф.<sup>2)</sup>, Зоештиг Ф.<sup>3)</sup>**

*Международная Ассоциированная Лаборатория критических и сверхкритических явлений в  
функциональной электронике, акустике и флюидике;*

<sup>1)</sup> *Научный центр волновых исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова  
38, 119991, Москва, Россия*

<sup>2)</sup> *Centrale Lille, Institute of Electronics, Microelectronics and Nanotechnology, Lille, France*

<sup>3)</sup> *University of Lille, Centrale Lille, Institute of Electronics, Microelectronics and Nanotechnology, Lille, France  
Тел./факс.: +7(499)503-8757; E-mail: [dmitrymakalkin@ya.ru](mailto:dmitrymakalkin@ya.ru), [brysev@ya.ru](mailto:brysev@ya.ru)*

Представлены результаты экспериментов по эмиссии капель и возбуждению колебаний границы двух несмешивающихся жидкостей, заключенных в малый объем, инициированные импульсно-периодическим сфокусированным ультразвуковым пучком, перпендикулярным интерфейсу. В зависимости от нарастания интенсивности ультразвукового пучка выделено три характерных режима отклика интерфейса жидкостей. В первом режиме имеют место только колебания интерфейса без разрыва его сплошности. На основе измеренных зависимостей амплитуды колебаний интерфейса от амплитуды и длительности ультразвуковых импульсов обнаружено существование порога возбуждения таких колебаний. Отмечается, что подобная особенность характерна только для сосудов, характерные размеры которых сравнимы с длиной волны возбуждаемых в нем ультразвуком стоячих волн, и обусловлена силой сцепления жидкостей со стенками сосуда. При превышении интенсивности ультразвука первого критического значения реализуется второй режим, в котором при фиксированных параметрах ультразвуковых импульсов происходит эмиссия одиночных капель одинакового от импульса к импульсу размера. Измеренные зависимости размеров капель от параметров ультразвуковых импульсов показали линейную (в пределах точности измерений) зависимость размера капли от длительности ультразвуковых импульсов, что может быть использовано для управления размерами капель. Экспериментально показана также возможность менять диапазон возможных размеров одиночных капель с помощью варьирования положения границы жидкостей относительно фокальной плоскости источника ультразвука. В третьем режиме, когда интенсивность ультразвука превышает второе критическое значение, происходит хаотическая эмиссия множественных капель с непредсказуемыми размерами. Обсуждаются преимущества акустического подхода к возбуждению колебаний границы жидкостей и эмиссии капель по сравнению с механическим методом параметрического возбуждения неустойчивости Фарадея, а также перспективы практических применений наблюдаемых эффектов.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ ЗАКРУЧЕННЫХ ПУЧКОВ ПОВОРАЧИВАТЬ ПОГЛОТИТЕЛИ БОЛЬШИХ ВОЛНОВЫХ РАЗМЕРОВ**

**Терзи М.Е., Цысарь С.А., Юлдашев П.В., Сапожников О.А.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва  
Тел./Факс: (+7-495-939-2952); E-mail: [me.terzi@physics.msu.ru](mailto:me.terzi@physics.msu.ru)*

Закрученные волновые пучки – это пучки, переносящие не только энергию и количество движения, но и момент количества движения. Такой пучок может быть создан за счёт специальной фазировки сигналов на поверхности распределённого источника – таким образом, чтобы создать в излучаемом пучке волновой фронт в виде винтообразной поверхности. При этом наряду с компонентой в направлении распространения волны вектор Пойнтинга имеет и азимутальную компоненту, т.е. энергия переносится не вдоль оси пучка, а вдоль спирали, закрученной вокруг оси. Из-за указанного характера потока энергии закрученный пучок переносит крутящий момент, а поперечное распределение интенсивности волны имеет кольцеобразный характер, при котором интенсивность на оси равна нулю. В настоящей работе экспериментально исследуется способность закрученного акустического пучка мегагерцового диапазона вращать поглотитель большого размера (диаметром в несколько десятков длин волн), расположенный в жидкости. Закрученный ультразвуковой пучок формировался в воде пропусканием излучения от пьезокерамического источника через неоднородную по толщине 12-секторную фазовую пластину из оргстекла. Пучок направлялся вертикально вверх. На некотором расстоянии от источника параллельно поверхности воды (перпендикулярно оси пучка) располагался круглый поглотитель диаметром 10 см, подвешенный к металлическому штативу на кварцевой нити – оптическом волокне. При ультразвуковом облучении поглотителя он поворачивался на угол, величина которого увеличивалась с ростом мощности источника. После выключения источника поглотитель совершал крутильные колебания в горизонтальной плоскости. Процесс записывался на цифровую камеру, после чего определялась частота свободных колебаний и с

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

учётом момента инерции системы находилась эффективная жёсткость нити. Её величина использовалась для измерения, исходя из угла поворота, момента сил, создаваемого закрученным пучком. Найденное значение сравнивалось с теоретическим. В теории использовалось экспериментально измеренное поперечное распределение амплитуды и фазы акустического давления в пучке (голограмма). Голограмма находилась путём сканирования акустического поля в фокальной области миниатюрным гидрофоном. Показано, что измеренный момент сил, действующих на поглотитель со стороны закрученного пучка, находится в хорошем соответствии с результатами расчётов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-00261 и грантом Президента РФ по программе поддержки ведущих научных школ № НШ-7062.2016.2.

### **ПУЗЫРЬКОВЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ**

**Борисенок В.А.**

*СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров Нижегородской обл.  
Тел.: (83130 70040); E-mail: ([vaborisenok@mephi.ru](mailto:vaborisenok@mephi.ru))*

Приведен ряд результатов исследования сонолюминесценции, показывающих, что при коллапсе пузырька газа в жидкости создаются состояния вещества с высокими термодинамическими параметрами. Это явилось предпосылкой для предложений использовать акустическую кавитационную систему для реализации реакций термоядерного синтеза. Дан обзор работ по акустическому термоядерному синтезу. Рассмотрены другие системы, гипотетически пригодные для реализации пузырькового термояда. Обсуждаются состояние и перспективы развития этого направления.

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (ФА) - 07.06.2017 с 16.20 до 18.00**

**ДИССИПАЦИЯ ЭНЕРГИИ В АКУСТИЧЕСКОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПЛОСКОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА**

**Легуша Ф.Ф., Олейник М.М., Чижов Г.В., Иляков В.А.**

*СПБГМТУ, Санкт-Петербург  
Тел: 89111558906, e-mail: [gohak4@gmail.com](mailto:gohak4@gmail.com)*

В докладе представлены методики расчётов коэффициента поглощения и диффузного коэффициента поглощения плоской поверхностью жидкого полупространства, на которой сформировался акустический пограничный слой (АПС). При этом предполагается, что плоская гармоническая звуковая волна, распространяющаяся в полупространстве, заполненном газом, падает на поверхность жидкого полупространства под произвольным углом падения  $\theta$ .

В качестве примера в работе представлены расчёты угловых зависимостей коэффициента поглощения звука для границ раздела воздух-вода и воздух-керосин. На таких границах наблюдается явление полного внутреннего отражения звуковой волны. При углах падения  $\theta < \theta_{кр}$ , где  $\theta_{кр}$  - угол полного внутреннего отражения волны, поглощение звука на границе раздела обеспечивается как за счёт прохождения звуковой волны из газа в жидкость, так и диссипацией энергии в АПС. Если  $\theta \geq \theta_{кр}$ , то коэффициент поглощения звука поверхностью жидкого полупространства  $D_{BL} \neq 0$  его величина монотонно возрастает по мере увеличения угла падения волны  $\theta$  и  $\theta = \theta_{mb}$  достигает своего максимального значения  $D_{BLm}$ .

Проведено сопоставление полученных результатов с теорией Б.П. Константинова. Установлено, что угловые зависимости  $D_{BL}(\theta)$  и  $D_K(\theta)$ , где  $D_K(\theta)$  - коэффициент поглощения звука твёрдой абсолютно теплопроводной поверхностью, на фиксированных частотах волны практически совпадают. При этом выполняются неравенства  $D_{BLm} < D_{Km} = 0,83$  и  $\theta_{mb} < \theta_m$  где  $\theta_m$  - угол падения звуковой волны, при котором наблюдается значение  $D_{Km}$ . Отметим, что коэффициенты  $D_{BLm}$  и  $D_{Km}$  имеют значения одинаковые по порядку величины.

В работе также проведены расчёты частотных зависимостей диффузных (усредненных по углу падения) коэффициентов поглощения звука жидкой поверхностью  $D_{BLD}(f)$ . Сравнение с теорией Б.П. Константинова показывает, что кривые  $D_{BLD}(f)$  и  $D_{KD}(f)$ , где  $D_{KD}(f)$  - диффузный коэффициент поглощения звука твёрдой абсолютно теплопроводной поверхностью, имеют значения одинаковые по порядку величины, но на всех частотах  $D_{BLD}(f) < D_{KD}(f)$ .

Результаты работы целесообразно применять для расчётов акустических потерь в замкнутых объёмах, которых имеется свободная поверхность жидкости. Полученные в работе выражения можно также использовать для оценки поглощающей способности поверхности твёрдых резиноподобных тел.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА САВ-1**

**Ахмеджанов Ф.Р.<sup>1,2</sup>, Аликулов Ш.А.<sup>1</sup>, Байтелесов.<sup>2</sup>, Болтабаев А.Ф.<sup>1,2</sup>,  
Кунгуров Ф.Р.<sup>2</sup> Салихбаев У.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан*

<sup>2</sup>*Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан  
Тел.: 998 66 2121998; E-mail: [farkhad2@gmail.com](mailto:farkhad2@gmail.com)*

Алюминиевый сплав САВ-1 относится к тройной системе Al-Mg-Si, сочетает хорошую прочность с высокой пластичностью и радиационной стойкостью, что обуславливает его использование в качестве конструкционного материала в ядерных реакторах. В работе модифицированным методом импульсной интерференции с точностью 0.01% определены скорости сдвиговых и продольных объемных акустических волн в сплаве САВ-1. Акустические волны с частотами 10 и 30 МГц возбуждались в исследованных образцах кварцевыми пьезопреобразователями X- и Y-среза. По результатам измерений рассчитаны все основные характеристики упругости модуль сдвига, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль объемной упругости и компоненты тензора упругости. Проведено сравнение с характеристиками упругости алюминиевых сплавов АМГ-2 и АМГ-6.

Проведен анализ зависимости упругих коэффициентов рассмотренных алюминиевых сплавов от эффективной концентрации примесей магния и кремния в их составе. Показано, что атомы магния и кремния в качестве примеси внедрения ослабляют центральные силы взаимодействия между атомами и приводят к уменьшению упругих модулей, характеризующих продольную и объемную деформации. Для сплава САВ-1 получено также значение акустического параметра Грюнайзена с помощью соотношения, в котором используются только скорости распространения акустических волн.

**ЗАТУХАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ  
ГЕРМАНАТА И СИЛИКАТА ВИСМУТА**

**Ахмеджанов Ф.Р.<sup>1,2)</sup>, Азаматов З.Т.<sup>2)</sup>, Саидвалиев У.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>*Самаркандский государственный университет, Самарканд;*

<sup>2)</sup>*Национальный университет Узбекистана, Ташкент.*

*Тел.: 998 66 2121998; E-mail: [farkhad2@gmail.com](mailto:farkhad2@gmail.com)*

Скорость распространения и коэффициент затухания акустических волн в кристаллах германата и силиката висмута измерены методом Брэгговской дифракции света в частотном диапазоне 0.2-1.8 ГГц. Акустические волны распространялись вдоль направлений [100], [110] и [111]. Точность ориентации образцов составляла около 1°. Продольные и поперечные акустические волны возбуждались пьезопреобразователями из кварца, соответственно X- или Y-среза толщиной 70 - 100 мкм.

По результатам измерений рассчитаны действительные и мнимые компоненты комплексного тензора упругих модулей, которые использовались для построения характеристических поверхностей скорости и затухания акустических волн с учетом влияния пьезоэлектрического эффекта. Определен параметр упругой анизотропии  $S=C_{12}+2C_{44}-C_{11}$ , который оказался для этих кристаллов отрицательным. Проведен анализ анизотропии затухания акустических волн с различной поляризацией, распространяющихся в кристаллографических плоскостях, ортогональных осям симметрии второго и четвертого порядка.

Показано, что для продольных волн вдоль [111] и медленных поперечных волн вдоль [110] с поляризацией по [001], которые являются пьезоактивными, необходимо учитывать вклад диэлектрических потерь. Из сравнения данных по скорости и затуханию пьезоактивных волн и значений эффективных упругих модулей в кристаллах  $Bi_{12}GeO_{20}$  и  $Bi_{12}SiO_{20}$  определены пьезоэлектрический коэффициент, тангенс угла диэлектрических потерь и коэффициент электромеханической связи для продольных волн вдоль [111] и для поперечных волн вдоль [110].

**ПАРАМЕТР УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ В НЕЦЕНТРОСИММЕТРИЧНЫХ  
КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ**

**Ахмеджанов Ф.Р.<sup>1,2)</sup>, Азаматов З.Т.<sup>2)</sup>, Болтабаев А.Ф.<sup>2)</sup>, Саидвалиев У.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>*Самаркандский государственный университет, Самарканд; Узбекистан*

<sup>2)</sup>*Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан*

*Тел.: 998 66 2121998; E-mail: [farkhad2@gmail.com](mailto:farkhad2@gmail.com)*

Исследован параметр упругой анизотропии  $S=C_{12}+2C_{44}-C_{11}$  в нецентросимметричных кубических кристаллах силиката и германата висмута и сесквисульфида диспрозия. Параметр определяет степень анизотропии кубических кристаллов. В зависимости от знака параметра все кубические кристаллы могут быть разделены на два типа: кристаллы с положительной анизотропией и отрицательной анизотропией упругих модулей второго порядка. Соответственно изменяется соотношение между скоростями распространения продольных и поперечных акустических волн вдоль особых кристаллофизических направлений в кубических кристаллах.

На основе измеренных акустооптическим методом скоростей акустических волн вдоль направлений [100] и [110] рассчитаны упругие модули второго порядка и параметр анизотропии, который для всех исследованных кристаллов оказался отрицательным. В этом случае скорость продольных акустических волн оказывается максимальной в направлении [100] и минимальной в направлении [111]. Скорость же поперечных акустических волн должна быть максимальной в направлении [110] и минимальной в направлении [100].

Построены сечения поверхности скорости акустических волн плоскостями симметрии. Показано, что результаты расчета скоростей продольных и поперечных волн через введенный параметр анизотропии по формулам теории и результаты эксперимента находятся в хорошем согласии. Установлено, что для нецентросимметричных кубических кристаллов характерна большая абсолютная величина параметра анизотропии (5) по сравнению с центросимметричными кубическими кристаллами, такими как NaCl, KCl, CaF<sub>2</sub>. Расчеты показали также, что при классификации поперечных акустических волн необходимо в первую очередь разделять их по поляризации и учитывать, что скорость их распространения не является признаком, характеризующим эти волны. Применяемое во многих работах разделение поперечных волн на «быстрые» и «медленные» не является корректным.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **АКУСТИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКТОИМПЕДАНСОМЕТРИЯ – НОВАЯ МЕТОДИКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**Липовко П.О.**

*Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова;  
кафедра «Физика и электроника»; г. Новочеркасск  
Тел. 8(863)227-53-43, тел. 8(918)569-00-61; E-mail: plipovko@mail.ru*

В статье изложены результаты теоретической, экспериментальной и приборной разработки нового метода неразрушающего ультразвукового контроля, получившего название акустической рефлектоимпедансометрии. В основу метода положено измерение амплитудного коэффициента отражения ультразвука от границы контакта эталонной и исследуемой сред. Используя коэффициент отражения, рассчитывают величину акустического сопротивления (импеданса) исследуемой среды. Отличительной особенностью указанного метода является то обстоятельство что все акустические характеристики исследуемой среды удается получить без проникновения внутрь контролируемого объекта. Это обстоятельство позволяет заметно расширить круг решаемых с помощью рассматриваемого метода задач, как в технике, так и в биологии и медицине. Например, предложить новые способы акустического согласования сред. В статье также кратко описаны некоторые из более 50 изобретений, созданных в процессе разработки указанного метода.

Статья рассчитана на специалистов-разработчиков новой контрольно-измерительной аппаратуры. Она также будет полезна всем, кто интересуется достижениями и перспективами применения ультразвука в физике и медицине.

### **ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПЛЁНОЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗВУКА НА ОСНОВЕ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

**Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф., Разрезова К.В., Чижов Г.В.**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург;  
Тел.: (903 0930299); E-mail: neve\_ksyunik@mail.ru*

Пленочные источники звука, основанные на термоакустическом эффекте (термофоны), являются нерезонансными широкополосными источниками звука. Активные элементы (АЭ) термофонов формируются методом вакуумного напыления металлов на поверхностях несущих пластин, изготовленных из полимерных материалов. При пропускании через АЭ переменного электрического тока с частотой  $f$  происходит излучение звуковой волны на удвоенной частоте  $2f$ .

В работе представлен теоретический анализ и результаты измерений параметров плёночных термофонов, АЭ которых сформированы из титана толщиной 0,20 мкм и 0,24 мкм. Несущие пластины изготовлены из стеклотекстолита и гетинакса толщиной 1,0 мм и 4,0 мм соответственно. Все измерения проводились в воздухе на центральной оси источников звука.

Измеренные амплитудно-частотные характеристики термофонов, АЭ которых имеют прямоугольную и круглую форму, подтверждают широкополосный характер излучения термоакустических источников в диапазоне частот 2...40 кГц, что хорошо согласуется с результатами теоретических расчётов. Некоторое расхождение с теорией в области высоких частот объясняется влиянием расстоянием между витками АЭ на частотную характеристику источников и может быть устранено уменьшением этого расстояния.

**Ключевые слова:** термофон, широкополосный источник звука, звуковая волна, переменный электрический ток, пиковая мощность тока

### **ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОДЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ**

**Тихомиров Ю.М.**

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Россия, 196158,  
Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. E-mail: krulov6@krulov.spb.ru*

Представлены обыкновенные дифференциальные уравнения для линейной и нелинейной моделей работы термоакустического преобразователя энергии, полученные на основе одномерной модели Ватанабэ без введения специальных форм решений, или дополнительных переменных. Автомодельные решения для безразмерной функции характеризуют все пространственные и временные процессы в зависимости от автомодельной координаты и нескольких постоянных параметров.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

Пространственные распределения акустических значений давления, плотности и скорости могут быть также получены на основе полученных автомодельных решений.

**Ключевые слова:** обыкновенное дифференциальное уравнение, автомодельное решение, преобразователь энергии, нелинейная акустика, излучатель, акустическое давление, стоячая волна

### МЕТОД АКУСТИЧЕСКОГО ВИДЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В ЖИДКОСТИ

Гурбатов С.Н.<sup>1)</sup>, Диденкулов И.Н.<sup>1),2)</sup>, Мартьянов А.И.<sup>1)</sup>, Прончатов-Рубцов Н.В.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;

<sup>2)</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород;

Тел.: (831 4164781); Факс: (831 4365976); E-mail: ([din@appl.sci-nnov.ru](mailto:din@appl.sci-nnov.ru))

Методы получения изображений различных объектов в акустических полях востребованы в различных областях техники и медицинской диагностики и поэтому давно привлекают к себе внимание. Известно, что газовые пузырьки в жидкости являются сильными рассеивателями акустических волн. Это их свойство находит применение в различных методах диагностики. Специфические газовые пузырьки – контрастные агенты, которые вводятся в кровь, помогают повысить контрастность изображений отдельных органов при ультразвуковой медицинской диагностике. В достаточно сильных акустических полях газовые пузырьки и контрастные агенты проявляют не только линейные, но и нелинейные свойства, что проявляется, в частности, в появлении гармоник высших порядков, а также комбинационных частот в спектре рассеянного пузырьком сигнала. Среди различных методов нелинейной акустической диагностики газовых пузырьков большой интерес представляет метод разностной частоты. Если пузырьки находятся в движении, то доплеровский сдвиг в рассеянной на разностной частоте волне позволяет лучше выделять полезный сигнал. Несмотря на то, что эффективность рассеяния звука на разностной частоте мала, в ряде случаев, особенно в сильно поглощающих и рассеивающих средах, этот метод может иметь преимущество по сравнению с другими. В настоящей работе рассматриваются эти особенности использования метода разностной частоты для получения акустических изображений нелинейных движущихся объектов.

### РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В СУСПЕНЗИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ

Диденкулов И.Н.<sup>1)</sup>, Сагачева А.А.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород;

<sup>2)</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;

Тел.: (831 4164781); Факс: (831 4365976); E-mail: ([din@appl.sci-nnov.ru](mailto:din@appl.sci-nnov.ru))

Задача о колебаниях маленькой (по сравнению с длиной волны) частицы в жидкости под действием акустического поля известна еще со времен Рэлея. Обычно в задачах такого рода учитываются лишь монопольные и дипольные колебания. Дипольные колебания частиц в звуковой волне происходят вдоль направления распространения волны. В случае если средняя плотность и сжимаемость частицы и окружающей жидкости не отличаются, частица не рассеивает звук. Однако, в случае, если центр масс частицы не совпадает с точкой приложения силы Архимеда, такая частица совершает вращательные колебания. Угловые колебания частицы будут сопровождаться вязким трением и приводить к потере энергии акустической волны. Ранее этот эффект рассматривался нами для сферических частиц. В данной работе рассматриваются частицы более типичной удлиненной формы и анализируется распространение звука в суспензии таких частиц.

**Секция АИ – Акустические измерения**

Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель  
*ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН*  
125009, Москва, ул. Моховая 11, корп. 7, E-mail: kuziren@yandex.ru

**06.06.2017 - с 14.00 до 16.00**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ, ОКАЗЫВАЕМОЙ НА ПРОТЯЖЁННЫЙ  
ПОГЛОТИТЕЛЬ, ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ  
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА ЧЕРЕЗ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ**

**Черепанова Ж.В., Сапожников О.А., Цысарь С.А., Крыжановский М.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет*  
Тел.: 8(903)571-55-48, E-mail: zhanna321000@gmail.com

При прохождении акустической волны через расположенный в жидкости твердотельный слой возникают энергетические потери, вызванные как поглощением в слое, так и отражениями от его границ. Поскольку неоднородный слой вызывает заметные искажения волнового фронта, то традиционный способ измерения потерь, основанный на регистрации уменьшения амплитуды плоской волны, оказывается неприменимым. В этих условиях требуется измерять мощность волны методом, не чувствительным к амплитудно-фазовой структуре акустического поля. В настоящей работе в качестве такого метода предлагается подход, основанный на измерении радиационной силы, оказываемой ультразвуковым пучком на протяжённый поглотитель. Для проверки работоспособности метода применительно к рассматриваемой задаче рассмотрен случай прохождения наклонно падающего пучка через плоскопараллельный слой из оргстекла. На основе известного аналитического решения для однородного слоя были рассчитаны теоретические зависимости коэффициентов отражения и прохождения от частоты, толщины пластины и угла падения волны на поверхность слоя. При этом использовались измеренные значения плотности, скорости звука и коэффициента поглощения в оргстекле. В экспериментах по измерению потерь методом радиационной силы использовался плоский пьезокерамический источник диаметром 50 мм и рабочей частотой 1 МГц. Для измерения радиационной силы использовалась установка, включающая поглотитель в виде диска из резиноподобного материала и прецизионные весы. Источник, исследуемый блок из оргстекла и поглотитель размещались в ванне с водой. Для устранения переотражений между источником и твердотельным слоем ультразвуковой пучок посылался наклонно, причём угол падения мог плавно изменяться. Эксперименты показали хорошее соответствие с теорией, что позволило сделать вывод о работоспособности предложенного метода. После отработки экспериментальной методики было проведено измерение потерь в слое с неоднородной толщиной, имитирующем кости черепа.

Работа поддержана грантом РНФ 14-15-00665 и грантом Президента РФ по программе поддержки ведущих научных школ № НШ-7062.2016.2.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЧИСЛА ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА  
В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ РЕШЕТКИ МИКРОФОНОВ**

**Иваненков А.С., Родионов А.А.**

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*  
Тел.: (831) 416-47-74; Факс: (831) 436-59-76; E-mail: ivanenkov@appl.sci-nnov.ru

В работе рассматривается задача оценки числа источников звука в узкой полосе частот по реализации, принятой решеткой микрофонов. В теории адаптивных антенных решеток оценка числа источников сигнала используется для правильного разделения шумового и сигнального подпространств при формировании диаграммы направленности на полезный источник. В частности, задача оценки числа источников возникает при оценке временной формы речевого сигнала, принимаемого на фоне помех. Применительно к данной задаче в работе рассмотрены классические методы определения числа источников, содержащихся в принятой выборке, основанные на информационном критерии Акаике (AIC) и критерии минимальной длины описания (MDL). Также, в работе предложен метод оценки числа источников, основанный на критерии отношения правдоподобия. Функции правдоподобия в данном случае выводятся с использованием предложенной ранее модели корреляционной матрицы сигнала, содержащей матрицу неполного ранга. Численное моделирование и экспериментальная апробация показали более высокую эффективность предложенного метода по сравнению с классическими критериями.

**Ключевые слова:** адаптивные антенные решетки, критерий Акаике, MDL-тест, оценка числа источников, критерий отношения правдоподобия

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ТОЧКИ РОСЫ С ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ  
ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН  
В СИСТЕМЕ АДСОРБИРОВАННАЯ ВОДА – НИОБАТ ЛИТИЯ**

**Симаков И.Г., Гулгенов Ч.Ж.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения  
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ  
тел.: 8-914-988-88-74; E-mail: chingisbarga@gmail.com*

Показано, что температурный коэффициент времени задержки (ТКЗ) поверхностных акустических волн в системе адсорбированная вода – ниобат лития при некоторой температуре принимает нулевое значение. Температура нулевого значения ТКЗ коррелирует с точкой росы. Рассмотрена возможность использования зависимости температуры нулевого значения ТКЗ от давления пара для определения относительной влажности газовой среды.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРОМ АКУСТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ И  
МЕРАМИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

**Грищенко А.И.<sup>1)</sup>, Третьяков Д.А.<sup>1)</sup>, Семенов А.С.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> ФГАОУ ВО СПбПУ, Санкт-Петербург;  
Тел.: (921 9200988); Факс:(812 5527778); E-mail: gai-gr@yandex.ru*

Одним из методов неразрушающего контроля, позволяющим определить текущее напряженно-деформированное состояние нагруженных элементов конструкций без предварительной разгрузки является подход, основанный на измерении акустической анизотропии (АА). Метод заключается в измерении относительной разности скоростей распространения поперечных волн, поляризованных параллельно ( $v_{\parallel}$ ) и перпендикулярно ( $v_{\perp}$ ) направлению действию нагрузки:

$$a = 2(v_{\parallel} - v_{\perp}) / (v_{\parallel} + v_{\perp}) \quad (1)$$

Целью исследования является установление связи между параметром АА и мерами напряженно-деформированного состояния (НДС) при упруго-пластическом деформировании на основе сопоставления данных опытов на различных образцах с результатами конечно-элементных (КЭ) расчетов. Проведение экспериментов на образцах с концентратором в силу неоднородности напряженного состояния образца с концентратором позволяет производить анализ АА, как в упругой области, так и в зоне пластичности, а также при различных соотношениях компонент тензора напряжений.

Сопоставление данных опытов на образцах с концентратором в виде центрального кругового отверстия с результатами КЭ расчетов показало, что при малых пластических деформациях экспериментально наблюдаемая АА растет линейно, причем в точках образца, где отсутствует пластическая деформация она практически не меняется, и растет быстрее там, где пластические деформации наибольшие. Резкое увеличение значения АА наблюдается при значениях продольной деформации образца больших 3%. Данный факт можно объяснить накоплением повреждений в окрестностях этих точек. Именно в них в дальнейшем и происходит разрушение. Выяснено, что наилучшую корреляцию экспериментально наблюдаемая АА обеспечивает интенсивность напряжений по мизесу.

**Ключевые слова:** акустическая анизотропия, упруго-пластическое деформирование, связь между анизотропией и мерами напряженно-деформированного состояния

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
НАБЛЮДЕНИЯ**

**Лебедев М.В.**

*АО «Акустический институт имени академика Н.Н.Андреева»  
Тел.: 89030058575; E-mail: max\_max82@inbox.ru*

Работа посвящена оценке потенциальной эффективности обработки гидроакустической информации. Критерием эффективности является вероятность правильного обнаружения гидроакустического сигнала на фоне помехи при заданных значениях вероятности ложной тревоги и местоположения цели. В модели наблюдения предполагается, что сигнал и помеха не коррелируют и являются гауссовскими случайным векторами. Ковариационная структура помехи и сигнала предполагается известной.

В работе получен ряд аналитических выражений для рассматриваемого критерия эффективности при различных режимах работы гидролокационной системы. Приведены результаты расчета для сравнения

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

теоретической оценки эффективности с рядом существующих практических алгоритмов обнаружения сигналов.

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОВРЕЖДЁННОСТИ МАТЕРИАЛА ПО ИЗЛУЧАЕМОМУ АКУСТИЧЕСКОМУ ПОЛЮ**

**Попова А.В.**

*НИУ МГСУ, Москва; Тел.: (962-915-74-92); E-mail: anastacia.popova@mail.ru*

Динамические нагрузки конструкций ответственного назначения, таких как корпуса энергетических установок, химические реакторы, резервуары, сосуды давления и др. обуславливают развитие поврежденности материалов и элементов конструкций, начальная стадия которой не выявляется традиционными средствами дефектоскопии.

В качестве метода, дополняющего существующие методы дефектоскопического контроля, предлагается бесконтактный дистанционный метод мониторинга изменений спектральных характеристик колебаний образцов и элементов конструкций через изменения в излучаемом ими акустическом поле после локальных ударных воздействий. Наиболее структурно-чувствительной среди других спектральных характеристик является внутреннее трение, величина которого обусловлена, в основном, рассеянием энергии в материале. Изменения данной характеристики позволяет контролировать начальные стадии процесса структурной повреждаемости металла, в то время как другие характеристики сохраняют стабильные значения.

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния уровня усталостной поврежденности стальных балочных образцов, эксплуатировавшихся в одинаковых условиях, но с разными сроками. Представлены методика и аппаратура для проведения испытаний балочных образцов на добротность свободных затухающих колебаний со спектральным анализом излучаемого ими акустического поля.

По результатам тестовых измерений можно сделать заключение, что опробованную методику и измерительную систему определения добротности затухающих колебаний балочных образцов можно использовать как индикатор начальной эксплуатационной поврежденности материала.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ САБВУФЕРА НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Чернышева Т.В.<sup>1)</sup>, Соболев И. В.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup>МТУСИ, г. Москва; Тел. 8-916-595-72-01; E-mail: leo1414@mail.ru*

В настоящее время с повышением технического и культурного уровня общества становится востребованным всё более высокое качество воспроизведения разнообразных программ (музыка, кинофильмы). Что в свою очередь повышает запрос на качественные бытовые акустические системы. Если для среднечастотных и высокочастотных составляющих систем выполнение не составляет труда, то для низкочастотных ситуация усложняется. Сабвуфер – это часть акустической системы, предназначенная для воспроизведения низких частот. Именно они дают ощущение объема, глубины звучания, воспроизводят впечатляющие звуковые спецэффекты. Поэтому сабвуферы представляют особый интерес для широкого круга пользователей.

Применение метода электромеханических аналогий позволяет получить сначала эквивалентную акустическую, а затем эквивалентную электрическую схему сабвуфера для выбранного оформления. Номиналы элементов рассчитываются исходя из параметров громкоговорителя и конструкции. Затем с помощью программы для моделирования электрических схем получают частотную характеристику сабвуфера. По ней можно оценить пригодность данного оформления и его параметры для конкретной акустической системы, частью которой является сабвуфер. Подбором номиналов элементов схемы можно получить оптимальную по заданным критериям частотную характеристику, например, более плоскую или более выпуклую частотную характеристику. Но более важно то, что с помощью моделирования электрических схем, эквивалентных другим оформлениям, имеется возможность выбрать наиболее подходящую конструкцию.

На основании исследования и полученных результатов предлагается методика, позволяющая рассчитать частотные характеристики сабвуфера, исходя из заданных условий, а также позволяющая определить наиболее подходящий тип оформления, линейные размеры и соотношения внутренних размеров конструкции сабвуфера.

**Ключевые слова:** сабвуфер, математическое моделирование, параметры Тилля-Смолла, исследование

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**О ПЕРСПЕКТИВЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ  
ОТРАЖЁННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

**Чижов В.Ю.**

*Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург; E-mail: [krylov6@krylov.spb.ru](mailto:krylov6@krylov.spb.ru)*

Развитие гидролокационных средств обнаружения подводных объектов в последние годы привело к необходимости четкого определения их отражающей способности. Определение и контроль отраженных сигналов от объекта может быть выполнен двумя путями: расчетным с использованием физико-математических моделей подводного объекта и экспериментальным.

Указаны причины, такие как габаритные размеры, сложность конструкции, сложность проведения эксперимента, ограничивающие развитие экспериментальных исследований в натуральных условиях.

Показано, что оптимальный путь – это масштабное моделирование объекта и зондирующего сигнала.

**Ключевые слова:** акустические поля, подводные объекты, экспериментальные исследования

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОРАБЛЕЙ ДЛЯ  
ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИХ ПОДВОДНОГО ШУМА**

**Шлемов Ю.Ф.**

*Крыловский государственный научный центр,  
Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44  
E-mail: [krylov6@krylov.spb.ru](mailto:krylov6@krylov.spb.ru)*

Во всех странах, осуществляющих строительство судов и подводных лодок (ПЛ), активно решаются вопросы качественного выполнения измерений и контроля подводного шума (ПШ) кораблей. Это необходимо для проверки соответствия ПШ судов экологическим требованиям, но главной задачей этих измерений является обеспечение акустической скрытности ПЛ. На основе анализа стандартов НАТО и данных о технологиях, применяемых при измерениях ПШ за рубежом, в статье даются рекомендации по совершенствованию отечественной системы измерения и контроля ПШ кораблей.

**Ключевые слова:** корабль, подводный шум, система измерения, контроль

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (АИ) - 07.06.2017 с 16.20 до 18.00**

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, СОЗДАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА  
В ВИДЕ БИМОРФА ДЛЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКСЕЛЕРОМЕТРАХ**

**Горинов И.А., Зинченко В.Н., Шахворостов Д.Ю., Щёголева Т.В.**

*АО «НИИ Элпа», г. Москва, г. Зеленоград*

*Тел.: (499 710-00-31); Факс: (499 710-13-02), (903 717-94-37); E-mail: shogolevatv@mail.ru*

Рассматривается изменение массогабаритных параметров пьезоэлектрических биморфов для их использования в сейсмодатчиках, а также датчиках удара. Показано преимущество изменения толщины биморфа для увеличения показателя механической прочности, без значительной потери чувствительности. Одним из наиболее часто используемых датчиков, является акселерометр, т.е. датчик линейного ускорения. Акселерометры различаются как по конструкции, так и по принципу действия. Основной составляющей частью такого датчика является чувствительный элемент. Чувствительные элементы (ЧЭ) на основе пьезокерамики нашли широкое применение в различных видах акселерометров-сейсмодатчиков, вибродатчиках, датчиках удара и др. Во всех этих случаях используется прямой пьезоэффект, а именно, при воздействии на ЧЭ по оси чувствительности ускорением, возникает сила, приводящая к появлению заряда на ЧЭ. По параметрам этого заряда, или иного, пропорционального ему электрического сигнала, судят о параметрах упомянутого воздействия.

Одной из наиболее распространенных конструкций ЧЭ является пьезокерамический биморф, выполненный в виде прямоугольной балки (консоли), закрепленный в области одного из концов, называемого нерабочей зоной. Незаделанная часть биморфа называется рабочей зоной, соответственно.

Для увеличения прочностных показателей была проведена серия сравнительных теоретических расчетов и практических экспериментов, в результате которых установлено оптимальное соотношение габаритных параметров для конкретного типа датчиков.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, показали удовлетворительное совпадение с теоретическими расчетами, а значит эти результаты могут быть положены в основу конструкции рассматриваемого датчика.

Вариант	$l= l_0-\Delta l $ (мм)	h (мм)	a (мм)	$n_{\text{критич}}$ (г)
1	4,6	0,25	2,5	$9*10^3 > n > 6*10^3$
2	3,6	0,25	2,5	$9*10^3 > n > 6*10^3$
3	4,6	0,5	2,5	$15*10^3 > n > 12*10^3$
4	3,6	0,5	2,5	$n \geq 15*10^3$

**Ключевые слова:** пьезокерамика, акселерометр, датчик удара

**УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ДИФРАКЦИОННОЙ РАСХОДИМОСТИ И НЕИДЕАЛЬНОСТИ ОТРАЖЕНИЯ  
ОТ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА ПРИ ГРАДУИРОВКЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МЕТОДОМ САМОВЗАИМНОСТИ**

**Дорофеева А.А., Сапожников О.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва.*

*Тел./факс: (495 9392952)*

*E-mail: aa.dorofeeva@physics.msu.ru*

Во многих приложениях ультразвука важно знать, каким является уровень излучаемого акустического давления при подаче на пьезоэлектрический источник заданного электрического напряжения или тока. Существует несколько методов соответствующей градуировки преобразователей. Одним из них является метод самовзаимности. В этом методе излученный импульсный сигнал возвращается от рефлектора обратно к преобразователю, который после завершения процесса излучения переключается на приём собственного сигнала. Сравнение принимаемого сигнала с излученным позволяет провести градуировку. Для повышения точности метода необходимо учитывать дифракционную расходимость и закономерности процесса отражения от рефлектора. В настоящей работе указанные факторы анализируются для плоского пьезоэлектрического преобразователя, расположенного в жидкости напротив плоского металлического рефлектора. Распространение и отражение ультразвукового пучка описывается методом углового спектра, при котором исходное поле представляется в виде суперпозиции плоских волн. Отражение каждой такой волны рассчитывается с использованием известного выражения для коэффициента отражения, зависящего от угла падения и учитывающего возбуждение продольных и поперечных волн в материале рефлектора. Угловой спектр отраженной волны позволяет рассчитать усредненное по поверхности преобразователя

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

значение давления, которое используется в методе самовзаимности. Про моделирован случай поршневого излучателя, расположенного в воде напротив плоского круглого рефлектора. Расчёты проведены применительно к созданной экспериментальной установке, имеющей в своём составе пьезокерамический излучатель диаметром 100 мм и латунный рефлектор диаметром 200 мм. Расстояние между преобразователем и рефлектором изменялось в диапазоне от 30 мм до 1 м, а сигнал излучался в виде радиоимпульса с прямоугольной огибающей на частоте заполнения 1 МГц. Проанализированы погрешности градуировки в зависимости от расстояния и степени взаимной параллельности излучателя и рефлектора.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-00261 и грантом Президента РФ по программе поддержки ведущих научных школ № НШ-7062.2016.2.

### **АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ШНЕКОВЫХ ВАЛОВ**

**Гордеев Б.А., Гордеев А.Б.**

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород;  
Тел.: (89200143456); E-mail: (g0rd.ab@mail.ru)*

Рассмотрены условия применимости квазистатического приближения при описании процесса взаимодействия акустических волн с вибрационными полями, создаваемыми сложными техническими системами. Выявлены критерии оценки величины методической погрешности измерения амплитуды колебаний шнековой передачи при широкополосном спектре ее вибрационного поля. Рассмотрены и оценены погрешности, возникающие при модуляции отраженного акустического сигнала по фазе и амплитуде.

**Ключевые слова:** акустический вибропреобразователь, ультразвуковой фазовый преобразователь, генератор, анализатор спектра, частота, модуляция, девиация

**Секция АЭ – Акустоэлектроника**

Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель  
*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН,  
125009, Москва, ул. Моховая 11, стр.7; E-mail: kuziren@yandex.ru*

**06.06.2017 - с 16.20 до 18.00**

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ВБЛИЗИ СВОБОДНОЙ СТОРОНЫ  
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ  
НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Зайцев Б.Д.<sup>1)</sup>, Шихабудинов А.М.<sup>1)</sup>, Теплых А.А.<sup>1)</sup>, Бородина И.А.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратовский филиал, Саратов;  
Тел.: (8452 277323); Факс: (8452272401); E-mail: zai-boris@yandex.ru*

Известно, что электрическое поле пьезоэлектрического резонатора с поперечным электрическим полем проникает за пределы пьезоэлектрической пластины. Поэтому были проведены эксперименты по изучению влияния зазора между свободной стороной резонатора и электрически проводящей пластиной на частоты параллельного и последовательного резонансов. Резонатор был создан на основе пластины ниобата лития X - среза толщиной ~0.5 мм. На одной стороне пластины наносились два алюминиевых тонкопленочных электрода прямоугольной формы с размерами 5×10 мм<sup>2</sup>. Электроды ориентировались таким образом, чтобы поперечное поле было сориентировано вдоль кристаллографической оси Y. Эта компонента поля возбуждала продольную акустическую волну, переотражающуюся между сторонами пластины. Ширина зазора между электродами равнялась 3 мм. Пространство вокруг электродов и часть электродов покрывалось тонким слоем демпфирующего лака, что обеспечивало качественные параллельный и последовательный резонансы. Над свободной стороной резонатора помещалась проводящая пластина, которая могла перемещаться в вертикальном направлении с помощью специального прецизионного механизма. Точность обеспечения зазора составляла 10 мкм. Были измерены зависимости частот параллельного и последовательного резонансов от ширины зазора между свободной стороной резонатора и проводящей пластиной при различных значениях температуры. Показано, что частота параллельного резонанса увеличивается с ростом ширины зазора и, начиная с его значения ~2 мм достигает насыщения. При этом полное изменение частоты составляет порядка 1.3% при любой температуре. С ростом температуры частота параллельного резонанса уменьшается с коэффициентом -850 Гц/град. Частота последовательного резонанса не зависит от ширины зазора при его величине больше 0.30 мм, но зависит от температуры с коэффициентом -480 Гц/град. Расчеты, проведенные методом конечных элементов, оказались в хорошем соответствии с экспериментальными данными.

На этой основе возможно создание измерителей перемещений с температурной компенсацией, которые могут быть использованы для непрерывного контроля деформаций и раскрытия трещин различных конструкций, элементов мостов и зданий, а также для измерения небольших перемещений двух объектов относительно друг друга.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-0700821.

**Ключевые слова:** пьезоэлектрическая пластина, резонатор с поперечным электрическим полем, параллельный и последовательный резонансы, электрические граничные условия

**ВЛИЯНИЕ ЖИДКОСТИ С РАЗЛИЧНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ, ВЯЗКОСТЬЮ  
И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЕЛЕВОЙ МОДЫ  
В АКУСТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ**

**Бородина И.А.<sup>1)</sup>, Зайцев Б.Д.<sup>1)</sup>, Теплых А.А.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратовский филиал, Саратов;  
Тел.: (8452 277323); Факс: (8452272401); E-mail: borodinaia@yandex.ru*

В работе впервые экспериментально исследовано влияние жидкости с различной проводимостью, диэлектрической проницаемостью и вязкостью на характеристики щелевой моды в устройстве на основе одноканальной линии задержки, изготовленной из пластины Y-X ниобата лития толщиной 200 микрон. На поверхность пластины были нанесены два встречно-штыревых преобразователя для возбуждения и приема акустической волны с поперечно-горизонтальной поляризацией нулевого порядка (SH<sub>0</sub>) на частоте ~3.5 МГц. Над звукопроводом линии задержки между встречно – штыревыми преобразователями с небольшим зазором помещалась ячейка с жидкостью шириной 20 мм, дно которой было изготовлено из пластины

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

ниобата лития Z- среза. Эта пластина была ориентирована таким образом, чтобы ее ось X была параллельна волновому вектору  $SH_0$  волны в линии задержки. При помощи измерителя S- параметров проводились измерения полных потерь и фазы выходного сигнала устройства. Сначала были измерены характеристики устройства с ячейкой без жидкости. Было установлено наличие ярко выраженных резонансных пиков на частотной зависимости полных потерь, связанных с возбуждением щелевой моды. Что касается фазы, то она имела линейный характер. Затем жидкостная ячейка заполнялась жидкостью с различным значением проводимости (от 2 мкС/см до 25000 мкС/см), вязкости (от 1 мПа/с до 1490 мПа/с) и диэлектрической проницаемости (от 24 до 80). Для исследований использовались такие жидкости как водный раствор хлористого натрия, этиловый спирт и водный раствор глицерина. Были измерены частотные зависимости полных потерь и фазы линии задержки при различных параметрах жидкости. Было установлено, что изменение проводимости, вязкости и диэлектрической проницаемости исследуемой жидкости приводит к сдвигу по частоте и изменению глубины резонансных пиков на частотной зависимости полных потерь. Были получены зависимости резонансных частот от параметров жидкости. Также было показано, что изменение параметров жидкости не приводило к какому-либо изменению величины полных потерь. Полученные результаты показали возможность использования щелевой моды в устройстве на основе линии задержки с поперечно-горизонтальной волной для идентификации жидкости с различными значениями проводимости, вязкости и диэлектрической проницаемости.  
Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-07-00818.

**Ключевые слова:** щелевая мода, пьезоэлектрическая пластина, поперечно-горизонтальная акустическая волна, резонансные пики на частотной зависимости полных потерь

### РАЗРАБОТКА НАНОБИОСЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Анисимкин В.И.<sup>1)</sup>, Дагесян С.А.<sup>2)</sup>, Колесов В.В.<sup>1)</sup>, Кузнецова И.Е.<sup>1)</sup>,  
Мельников А.Е.<sup>2)</sup>, Солдатов Е.С.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, Москва;

<sup>2)</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

Тел.: (915 2379880); Факс: (495 6293679); E-mail: kuziren@yandex.ru

Использование методов акустоэлектроники и интеграция нанобиосенсоров с акустическими линиями задержки в рамках планарных технологий дают возможность создания акустобионанозлектронных датчиков с повышенной чувствительностью и селективностью. Применение этих устройств для регистрации биоспецифических взаимодействий, для детекции различных биологических объектов, как немодифицированных, так и капсулированных наночастицами различного типа (металлическими, магнитными) позволит создать устройства для экспресс-анализа биологических жидкостей малого объема, решить вопросы детекции микробных клеток и проводить мониторинг их чувствительности к различным антибиотикам. Основной целью работы является создание и исследование гибридных акустобионанозлектронных датчиков на различных типах акустических волн (волн в пластинах, объемных волнах и т.д.). В работе разработан акустоэлектрический чип-сенсор на основе монокристаллической пластины ниобата лития толщиной 0,5 мм с системой встречно-штыревых преобразователей (ВШП) для возбуждения соответствующей акустической волны, который вставляется в чип-холдер со стандартным разъемом ножевого типа. Акустоэлектронные устройства были рассчитаны для антисимметричной ( $A0$ ) и симметричной ( $S0$ ) волн Лэмба и волны с поперечно-горизонтальной поляризацией ( $SH0$ ) нулевого порядка, распространяющихся в ниобате лития. Были выбраны следующие кристаллографические ориентации для  $A0$  волны -  $128YX$ , для  $S0$  волны -  $-Y-X+50$ , для  $SH0$  волны -  $YX$ . Выбранные направления распространения волн характеризуются наибольшим коэффициентом электромеханической связи волны и одномодовым режимом возбуждения. Акустоэлектрический чип-сенсор на основе монокристаллической пластины ниобата лития может использоваться в двух модификациях:

-в первом варианте исследуемый объект располагается между ВШП структурами (при этом сенсор может полностью погружаться в жидкостную среду);

-во втором варианте реализуется гибридный вариант сенсора, сочлененный с нанозлектронным датчиком, расположенным в акустически озвученной области в центральной области чип-сенсора.

Для создания планарной наноструктуры нанозлектронного трансдюсера использовалась технология стандартной литографии, различных фоторезистов и реактивно ионного травления. Область размером 80x80 микрон в центре чипа служила для формирования наноструктуры, которая является прообразом нанозлектронного трансдюсера. Засветка этой области проводилась электронным лучом в растровом электронном микроскопе. В полученных наноструктурах могут быть сформированы нанозазоры для реализации молекулярных транзисторов на основе белков-ферментов.

Работа поддержана проектами РФФИ 15-07-00692, 15-29-01292, 16-07-00933, 17-51-53101.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

### ИНТЕГРАЛЬНАЯ РЕШЕТКА АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ МИКРОЛИТРОВОГО ОБЪЕМА

Воронова Н.В.<sup>2)</sup>, Анисимкин В.И.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва;

<sup>2)</sup> ОАО «НИИ «Элла», Москва;

Тел.: (495 6293361); Факс: (495 6293679); E-mail: vonavl@mail.ru

Экспериментально показано, что сенсорные свойства нормальных акустических волн в отношении массовой нагрузки, вязкости и электрической проводимости жидкостей, нанесенных на поверхность пьезоэлектрической пластины, могут варьироваться за счет а) изменения направления распространения (анизотропии), б) выбора номера моды для каждого направления (разнообразия) и в) изменения нормированной на длину волны толщины пластины (дисперсии). Основываясь на этих свойствах, разработан макет решетки акустических датчиков, которая предназначена для идентификации жидкостей без использования чувствительных покрытий. Она состоит из трехдюймовой пластины  $128^\circ\text{Y-LiNbO}_3$  толщиной 500 мкм и 3-х систем по 4 пары встречно-штыревых преобразователей с периодами 200, 300 и 488 мкм, задающими длины волн в разных каналах. Преобразователи располагаются по концентрическим окружностям, в центр которых наносится анализируемое вещество. Распространяясь по разным направлениям и имея отличающиеся при одинаковой толщине пластины, нормальные волны нулевого и высших порядков проходят через жидкость, по-разному уменьшая свою амплитуду. Совокупность этих изменений (акустических «откликов») представляется в виде гистограмм, которые являют собой акустические изображения вкуса жидких веществ: по углу откладывается номер датчика (акустической моды), по радиусу – соответствующий отклик в дБ. На примере нескольких сортов воды, кофе и молока продемонстрировано существенное отличие формы и площади гистограмм как для разных жидкостей, так и для разных сортов одной жидкости. Поэтому такой подход применим к анализу качества продуктов и определению его соответствия заданному стандарту. Отсутствие покрытий повышает воспроизводимость и долговременную стабильность характеристик решетки. Работа поддержана проектом РНФ №15-19-20046.

### АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОРАЗМЕРНЫХ ГЕТЕРОЛАЗЕРАХ

Кулакова<sup>1)</sup> Л.А., Аверкиев<sup>1)</sup> Н.С., Лютецкий<sup>1)</sup> А.В.

<sup>1)</sup> ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург;

Тел.: 911 9874885; Факс: 812 297101; E-mail: L.Kulakova@mail.ioffe.ru

В рамках изучения возможности управления параметрами гетеролазеров переменной деформацией нами были проведены исследования воздействия ультразвуковой деформации на поляризационные свойства излучения  $\text{InGaAsP/InP}$  ( $\lambda=1,48 \mu\text{m}$ ) и  $\text{InGaAs/GaAs}$  ( $\lambda=1,06 \mu\text{m}$ ) гетеролазеров на квантовой яме. В результате впервые экспериментально (в  $\text{InGaAsP/InP}$  – лазере) было обнаружено вращение вектора поляризации с периодичностью вводимой извне ультразвуковой деформации. Теоретический анализ полученных экспериментальных данных показал, что наблюдаемый эффект обусловлен фундаментальными свойствами зонной структуры материалов: модуляцией энергии дырочных состояний в квантовой яме и смешивания их волновых функций под влиянием ультразвуковой сдвиговой деформации [1,2]. При этом в рамках предложенной модели эффективность такого смешивания возрастает с уменьшением энергии расщепления тяжёлых и лёгких дырок, т.е. с увеличением ширины квантовой ямы. Действительно, эта зависимость подтверждается данными, полученными в  $\text{In}_{28}\text{GaAs/GaAs}$ -структуре с более широкой квантовой ямой. В последнее время нами исследуется влияние ультразвука на поляризационные свойства  $\text{InAs/In}_{15}\text{GaAs/GaAs}$  гетеролазеров ( $\lambda=1,3 \mu\text{m}$ ) на квантовых точках  $\text{InAs}$ . В результате обнаружена неожиданно (для исследуемой структуры) большая эффективность деформационного воздействия на поляризацию излучения таких лазеров.

В настоящем сообщении представлен анализ влияния структурных особенностей на эффективность и особенности воздействия переменной ультразвуковой деформации на энергетические параметры носителей заряда в квантовой яме исследованных структур. Высказывается ряд предположительных объяснений наблюдаемой неожиданно большой эффективности вращения вектора поляризации, обусловленного переменной деформацией в лазерах на квантовых точках.

[1] Kulakova, L.; Gorelov, V.; Lutetskiy, A.; Averkiev, N.S. “The rotation of the polarization plane of quantum-well heterolasers emission under the ultrasonic strain” *Solid State Commun.*, 152, 1690 (2012).

[2] Л.А. Кулакова, Н.С. Аверкиев, А.В. Лютецкий, В.А. Горелов. ФТП, 47, 137 (2013).

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (АЭ) - 07.06.2017 с 16.20 до 18.00

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В  
СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ «Me/ZnO/Me/АЛМАЗ» ОТ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ**

Бурков С.И.<sup>1)</sup>, Золотова О.П.<sup>2)</sup>, Турчин П.П.<sup>1)</sup>, Рычков И.М.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Сибирский федеральный университет, Красноярск*

<sup>2)</sup> *Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева, Красноярск  
тел. 902-942-99-50; e-mail: sburkov@sfu-kras.ru*

В настоящей работе было выполнено исследование влияния массовой нагрузки в виде двух металлических слоев (верхний и нижний электрод) на изменение фазовой скорости дисперсионных мод упругой волны в пьезоэлектрической слоистой структуре «Me/ZnO/Me/алмаз». Проанализированы зависимости этой величины от отношения  $h \times f$  (частоты  $\times$  толщина пьезоэлектрика) и отношения  $d/h$  (толщина металла/толщина пьезоэлектрика). В качестве материала металлических слоев рассматриваются алюминий (Al), молибден (Mo), платина (Pt) в виде напыленной тонкой пленки. Эти металлы наиболее часто используются в качестве электродов и обладающими существенно различными значениями акустического импеданса. Продемонстрировано, что изменения фазовой скорости упругой волны  $\Delta v/v$  находится в прямой зависимости от значения акустического импеданса металлического слоя. Исследовано влияние величины акустического импеданса металлических слоев и их последовательность на изменения фазовой скорости упругой волны. Отмечено, что максимальные значения изменения фазовых скоростей мод упругой волны  $\Delta v/v$ , достигаются при конфигурации слоистой системы «Pt/ZnO/Pt/алмаз». Однако, если значения акустического импеданса металлического слоя больше акустического импеданса подложки, то в данном случае слой металла может экранировать распространение мод упругой волны в подложку, что приводит к уменьшению величин  $\Delta v/v$ .

**Ключевые слова:** пьезоэлектрическая многослойная структура, упругая волна, рэлеевские волны, SH-волна

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРА  
НА ПАВ-ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРА  
НА ПАВ-РЕЗОНАТОРАХ С СИСТЕМОЙ ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ  
ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ**

Галанов Г.Н., Лушников А.В., Поляков В.Ю.

*АО «НИИ «Элла», г. Москва, г. Зеленоград*

*Тел.: (499)710-00-31; Факс: (499) 710-13-02; E-mail: polyakov.vasily@gmail.com*

Рассматриваются принципы создания генератора частоты на ПАВ-резонаторах с системой фазовой автоподстройки частоты, особенности его конструирования. Показаны результаты измерений макетных образцов.

На основе предыдущих разработок и новых технологических решений было создано несколько макетных образцов с частотами 915 и 939 МГц. В данных образцах использовались только отечественная элементная база. Стоит заметить, что использование системы фазовой автоподстройки частоты не внесло изменений в спектральную плотность фазовых шумов в рассматриваемом диапазоне.

При измерении электрических параметров генераторов с ФАПЧ были получены следующие результаты:

Частота, МГц	Мощность, мВт	Фазовые шумы		
		1 кГц	10 кГц	1 МГц
915	2,4	-116,7	-145,5	-162,7
939	4,4	-115,5	-146,5	-164,9

**Ключевые слова:** генератор, ФАПЧ, фазовый шум

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОЧКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕГИБА ПАВ РЕЗОНАТОРА  
НА ПЬЕЗОПОДЛОЖКАХ КВАРЦА СЕМЕЙСТВА ST- СРЕЗА  
В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ**

**Быховец А.А., Воронова Н. В., Пучков Ю.В., Галанов Г.Н.**

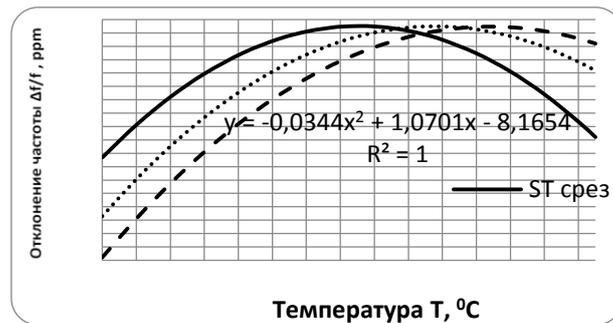
*АО «НИИ Эла», г. Москва, г. Зеленоград*

*Тел.: (499 710-13-22), (980 623 47 42); E-mail: andrei\_bykhovets@elpiezo.ru*

Показаны экспериментальные результаты температурных измерений резонаторов на поверхностно акустических волнах (ПАВ), изготовленных на пьезоэлектрических подложках монокристаллического кварца семейства ST-среза. Данные представляют практический интерес для использования при проектировании радиоэлектронных систем, в состав которых входит резонатор на ПАВ.

Резонаторы на ПАВ находят широкое применение в диапазоне СВЧ в генераторах с фазовой автоподстройкой частоты, обладающих низким уровнем фазовых шумов. Улучшение температурной характеристики резонатора позволяет на практике уменьшить диапазон перестройки частоты генератора, что даёт возможность получить более чистый спектр генерируемых колебаний за счёт снижения фазовых шумов. Такая возможность весьма привлекательна для современных генераторов, работающих в широком температурном диапазоне  $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$ .

Температурные характеристики резонаторов, изготовленных на кварце ST-среза, углы Эйлера которого составляют  $(0^{\circ}, 132.75^{\circ}, 0^{\circ})$ , имеют квадратичную зависимость частоты от температуры. Положение точки экстремума (точки перегиба) определяется не только физическими свойствами самого среза, но и топологическими особенностями резонатора. При помощи идентичной топологии экспериментально исследованы подложки кварца с углами Эйлера  $(0^{\circ}, 132.75^{\circ} - 127^{\circ}, 0^{\circ})$ . Полученные данные позволяют отследить динамику температуры экстремума ПАВ резонаторов на подложке кварца семейства ST-среза.



**Ключевые слова:** резонатор на ПАВ, ST-срез, температурная характеристика

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**Секция АО – Акустика океана**

Петников Валерий Георгиевич, руководитель  
*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,*  
119942 Москва, ул. Вавилова 38, РФ, E-mail: petniko@kapella.gpi.ru

Вировлянский Анатолий Львович, руководитель  
*Институт прикладной физики РАН,*  
603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова 46, РФ, E-mail: viro@hydro.appl.sci-nnov.ru

**07.06.2017 – с 11.20 до 16.00**

**08.06.2017 – с 11.20 до 16.00**

**09.06.2017 – с 09.00 до 13.00**

**НАБЛЮДЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ КОМПОНЕНТ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ  
В НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ**

**Артельный П.В., Вировлянский А.Л., Казарова А.Ю., Коротин П.И., Любавин Л.Я., Стуленков А.В.**

*Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород.*  
Тел.: (831 4164784); Факс: (831 4160630); E-mail: viro@hydro.appl.sci-nnov.ru

В докладе обсуждаются результаты обработки данных измерений пространственно-временной структуры звукового поля, проведенных летом 2015 года в Ладожском озере с помощью протяженной вертикальной решетки. Измерения выполнены на частотах порядка нескольких килогерц в волноводе глубиной 20 м на дистанциях до 150 м. Целью обработки было выделение компонент поля, которые устойчивы по отношению к небольшим вариациям параметров волновода и поэтому могут быть достаточно точно предсказаны, несмотря на неизбежные неточности математической модели среды. В терминах лучевого подхода каждая такая компонента формируется пучком лучей, распространяющихся под близкими углами. С точки зрения модового представления поля она образована небольшой группой мод. Для анализа устойчивых компонент были использованы результаты измерений поля точечного источника, излучающего импульсные сигналы в полосе частот 1500-3000 Гц, а также монохроматических звуковых пучков, возбужденных с помощью излучающей вертикальной решетки на частотах 2-4 кГц.

Выделение устойчивых компонент выполнялось с помощью двух процедур, базирующихся на разложении регистрируемого поля по когерентным состояниям и нормальным модам. Обе процедуры позволяют выделить компоненты поля, формируемые вкладами лучей, которые на дистанции наблюдения принадлежат относительно небольшой области фазового пространства "глубина – угол прихода". Именно такие компоненты и являются устойчивыми.

Результаты обработки показали, что выделенные компоненты, как и ожидалось, гораздо лучше совпадают с предсказаниями теоретического расчета (выполненного методом широкоугольного параболического уравнения), чем суммарное волновое поле. Кроме того, при обработке импульсных сигналов была продемонстрирована эффективность использования устойчивых компонент при решении задачи о локализации источника звука в волноводе.

**Ключевые слова:** подводный звуковой канал, вертикальная решетка, лучи, моды, когерентные состояния

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В ОКЕАНЕ**

**Голубев В.Н.<sup>1)</sup>, Смирнов И.П.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН,*  
603950, Н. Новгород, ул. Ульянова, 46  
Тел.: 8-831-436-35-91; Факс: 8-831-436-59-76; E-mail: golubev@ipfran.ru

Приводятся результаты экспериментальных исследований по распространению низкочастотных импульсных сигналов в глубоководных и мелководных районах Мирового океана. Основное внимание уделено особенностям распространения низкочастотного сигнала в условиях волновода открытого ко дну, в котором принятый сигнал представляет собой последовательность отражений от дна и поверхности океана. Показано, что пространственно-временная (ПВС) структура сигнала формируется многократными

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

отражениями от границ волновода и представляет собой на плоскости “дистанция-длительность импульса” семейство регулярных линий, временной интервал между которыми уменьшается с увеличением дистанции. В приближении геометрической акустики произведён расчёт ПВС импульсных сигналов и интенсивности отражений различной кратности формирующих эту структуру. Для выбранной модели среды получено хорошее совпадение результатов эксперимента с предложенным расчётом, позволяющим определить эффективную глубину волновода для диапазона частот 5-40 Гц и оценить характеристики отражающей границы. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования основных параметров низкочастотного сигнала при распространении в вышеуказанных типах волноводов.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ И ПРОГНОЗ ИХ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСФЕРУ В МЕЛКОМ МОРЕ

Хилько А.И.<sup>1)</sup>, Сидоровская Н.<sup>2)</sup>, Рихтер К.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Университет Луизианы в Лафайете (США);*

*Тел.: (831) 436-84-90; Факс: (831) 436-84-90; E-mail: A.khil@hydro.appl.sci-nnov.ru*

Исследована структура техногенных гидроакустических шумов в мелком море. Показано, в частности, что от мощных импульсных сейсмоакустических источников, используемых для зондирования морского дна, на достаточно больших дистанциях формируются неоднородные нестационарные шумовые поля, структура и интенсивность которых зависят от строения волновода, структуры морского дна и ветрового волнения. Проведены измерения такого рода импульсных шумов в Мексиканском заливе и Баренцевом море. Выполнены оценки областей негативного воздействия на экосферу в мелководных районах океана и окраинных морей.

**Ключевые слова:** техногенные гидроакустические шумы, негативное воздействие на морскую экосферу

### ЗАТУХАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ВОЗБУЖДАЕМЫХ НАПРАВЛЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ ЗВУКА НА ОКЕАНСКОМ ШЕЛЬФЕ

Луныков А.А.<sup>1)</sup>, Петников В.Г.<sup>1)</sup>, Черноусов А.Д.<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва;*

<sup>2)</sup> *АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва*

*Тел.: (499 5038384); Факс: (499 1358234); E-mail: petniko@kapella.gpi.ru*

В рамках численного моделирования проанализировано затухание низкочастотных акустических волн, возбуждаемых источниками звука с различной диаграммой направленности на мелководном океанском шельфе. Для расчетов применялось модовое описание звукового поля. Показано, что затухание растет как при увеличении ширины диаграммы направленности в вертикальной плоскости, так и при отклонении главного лепестка диаграммы от горизонтального направления. Продемонстрировано, что поверхностное волнение может существенным образом влиять на затухание акустических волн в случае, когда скорость звука в дне больше, чем скорость звука в водном слое. Например, при скорости звука в дне 1700 м/с потери при распространении звука от направленного источника с частотой 300 Гц могут увеличиться на  $\approx 7$  дБ на расстоянии  $r = 30$  км при поверхностном волнении, отвечающем скорости ветра 12 м/с. При этом установлено, что для более точного прогноза потерь при распространении звука на небольшие расстояния ( $r < 300H$ ,  $H$  – глубина моря) необходимо учитывать взаимодействующие между собой распространяющиеся и вытекающие моды звукового поля. Полученные результаты могут быть полезны при оценке интенсивности звукового поля вблизи источников антропогенных шумов. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-29-02036 и № 14-02-00330).

**Ключевые слова:** акустика мелкого моря, распространение звука в случайно-неоднородных средах, ветровое волнение, диаграмма направленности источника звука

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ЛУЧЕВАЯ СТРУКТУРА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ  
СО СЛОЕМ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОСАДКОВ**

**Ярина М.В., Луньков А.А.**

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*  
Тел.: (499 5038384); Факс: (499 1358234); E-mail: marina-malysheva@autorambler.ru

В рамках лучевого подхода получены аналитические выражения для расчета комплексной амплитуды звукового поля в волноводе, где дно представляет собой газонасыщенный слой, лежащий на жидком полупространстве. Скорость звука в воде предполагалась не зависящей от глубины. Лучи были разделены на четыре типа по количеству отражений от верхней и нижней границы. Учитывались разветвления лучей при отражении от границы вода/газонасыщенный слой. С использованием полученных выражений проведены расчёты звукового поля для условий Баренцева моря при различных скоростях звука в слое осадков. Результаты вычислений сравнивались с результатами, полученными лучевым методом для модели волновода с дном – жидким полупространством, имеющим те же параметры, что и осадочный слой. Получены оценки толщины слоя осадков, при которой влиянием нижнего полупространства можно пренебречь.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16-29-02036 офи\_м и 16-32-60194 мол\_а\_дк.

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В МЕЛКОВОДНОМ АРКТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ  
С ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ**

**Луньков А.А., Петников В.Г.**

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*  
Тел.: (499 5038384); Факс: (499 1358234); E-mail: landr2004@mail.ru

Разработана модель звукового канала, типичного для мелководных морей Арктического бассейна, которая может учитывать как наличие неровного ледового покрова, так и слой газонасыщенных осадков. Звуковое поле представляется в виде суммы взаимодействующих мод в рамках метода поперечных сечений. В суммировании участвуют как распространяющиеся, так и «вытекающие» моды, т.е. модель работает и для расчёта звукового поля на близких расстояниях (порядка глубины волновода), и в случае малых скоростей звука в дне (меньше скорости звука в воде). С использованием построенной модели проведены численные эксперименты по распространению звука в мелководной акватории, покрытой льдом. Реализации ледового покрова взяты из общедоступной базы (<http://nsidc.org/data/G01360>), в которой собран большой архив данных эхолотирования нижней кромки льда в Северном Ледовитом океане. Результаты моделирования показали, что наличие неровной верхней границы может приводить к увеличению потерь при распространении, которое необходимо учитывать при проектировании гидроакустических систем, работающих в Арктическом бассейне.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16-29-02036 офи\_м и 16-32-60194 мол\_а\_дк.

**Ключевые слова: мелководный волновод, ледовый покров, потери при распространении**

**ЗВУКОВОЕ ПОЛЕ В ПРИБРЕЖНОМ КЛИНЕ В ОБЛАСТИ КАСАНИЯ ТЕРМОКЛИНА ДНОМ**

**Кацнельсон Б.Г.<sup>1)</sup>, Zhongtao Hu<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Воронежский университет, г. Воронеж*  
<sup>2)</sup> *Institute of Acoustics, Chinese Academy of Science, Beijing;*  
Тел.: 4732-20874); Факс: 4732-208756; E-mail: katz@phys.vsu.ru

Прибрежная область с изменяющейся глубиной (прибрежный клин), как специфический мелководный волновод, традиционно является объектом внимания в акустике океана из-за практической важности, с одной стороны, и, с другой стороны, в качестве модели для теоретического исследования, содержащей многие основные особенности волноводного распространения звука.

В данной работе рассматривается модель прибрежного клина с прямолинейными границами, и водным слоем, имеющим типичную стратификацию, характеризуемую заметным термоклином на глубине порядка 20 м. В этом случае при распространении звукового сигнала перпендикулярно береговой линии волновод может быть разделен на две части – придонный (в «глубокой» области) и с однородным заполнением в области между береговой линией и местом касания термоклином дна. Для типичных условий это место находится на расстоянии 3-5 км от берега. Рассматривается распространение звука для разных положений источника и приемной системы и расстояний между ними. Задача решается, как в лучевом приближении,

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

так в рамках параболического уравнения. Показано, что в зависимости от взаимного положения источника и приемной системы может иметь место разный характер пространственной изменчивости поля, обусловленной влиянием области касания термоклина и дна, в частности изменение характера волновода – придонный и/или донно-поверхностный. Анализируется взаимодействие мод (или характерное изменение лучевой структуры в геометро-акустическом приближении), частотная зависимость, вертикальная и горизонтальная интерференционная структуры

### **ВАРИАЦИИ АМПЛИТУДНОГО И ФАЗОВОГО ФРОНТА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ПРИСУТСТВИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В МЕЛКОМ МОРЕ (ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ)**

**Кацнельсон Б.Г.<sup>1)</sup> Григорьев В.А.<sup>1)</sup>, Lynch<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Воронежский государственный университет, Воронеж;*

<sup>2)</sup>*WoodsHoleOceanographicInstitute, США;*

*Тел.: 4732 208748; Факс:4732 208756; E-mail: katz@phys.vsu.ru*

Изменчивость параметров мелкого моря в горизонтальной плоскости приводит к ряду эффектов при распространении звука, которые принято называть горизонтальной рефракцией, или, в более общей терминологии, 3D эффектами. Это фокусировка/дефокусировка поля в горизонтальной плоскости в присутствии нелинейных внутренних волн, особенности интерференционной структуры поля в области берегового склона или подводного каньона, многолучевость в горизонтальной плоскости и др. В данной работе показано, что при распространении узкополосного сигнала (отношение ширины к несущей порядка 0.05-0.1) в присутствии линейных внутренних волн, имеющих некоторую степень анизотропии, имеют место различные, как по величине, так и по направлению вариации амплитудного и фазового фронтов, причем флуктуации последнего примерно в 5 раз меньше амплитудного. Данное явление анализируется теоретически и иллюстрируется на примере данных эксперимента Shallow Water 2006. В частности показано, что на акустической трассе длиной 20 км, для излучаемых импульсов с полосой от 290 Гц до 300 Гц имеет место отклонение луча (фазового фронта) от прямолинейного направления примерно на 1о, но поскольку горизонтальные лучи, соответствующие некоторой моде, имеют разные углы прихода (в нашем случае спектральные компоненты между 290 и 300 Гц) то угол, между направлением амплитудного фронта и акустической трассой составляет примерно 4о, и, что важно, имеет другой знак, чем соответствующий угол для фазового фронта. Данные результаты получены для эксперимента SW06 на основе методики, развитой авторами.

### **ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА В МЕЛКОМ МОРЕ С ДНОМ В ВИДЕ ГАЗОНАСЫЩЕННОГО ОСАДОЧНОГО СЛОЯ, ЛЕЖАЩЕГО НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ**

**Григорьев В.А.<sup>1)</sup>, Петников В.Г.<sup>2)</sup>, Шатравин А.В.<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>*Воронежский государственный университет, Воронеж;*

<sup>2)</sup>*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва;*

<sup>3)</sup>*Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва.*

*E-mail: grig4@yandex.ru*

В рамках численного моделирования проанализированы возможности модового описания звукового поля в мелком море с дном арктического типа: газонасыщенный осадочный жидкий слой, лежащий на упругом полупространстве (вечной мерзлоте). Установлено, что наилучшее описание поля в водном слое на коротких расстояниях от источника звука (порядка 1÷10 глубин волновода) достигается при использовании дискретного спектра нормальных мод и квазимод, вычисленного с помощью разрезов Пекериса. Расчеты потерь при распространении в волноводе для толщины осадочного слоя сравнимом или большим, чем длина звуковой волны в осадках, показали, что морское дно ведет себя как однородное жидкое полупространство. Потери резко возрастают при приближении скорости звука в осадках к скорости звука в воде. Предложена методика оценки скорости звука в осадочном слое, основанная на анализе затухания звуковых полей, отвечающих различной сумме волноводных мод. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-29-02036 и № 14-02-00330).

**Ключевые слова:** арктический шельф, жидко-упругое дно, нормальные моды и квазимоды, затухание звука, скорость звука в газонасыщенных осадках

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **НАБЛЮДЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ РАССЕЙНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА НА ПОВЕРХНОСТНОМ ВОЛНЕНИИ: ТРАДИЦИОННАЯ БРЭГГОВСКАЯ И НОВАЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ РАССЕЙНИЯ**

**Салин М.Б., Байдаков Г.А., Потапов О.А., Салин Б.М., Стуленков А.В., Разумов Д.Д.**

*Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики РАН», Нижний Новгород;  
Тел.: (831) 4164785; Факс: (831) 4164622; E-mail: mikesalin@hydro.appl.sci-nnov.ru*

В серии экспериментов на различных акваториях, при различных скоростях ветра исследовались узкополосные спектры обратного рассеяния звука. Выделены два класса спектров рассеяния. В первом случае наблюдаются боковые лепестки на определенном расстоянии от несущей частоты, что интерпретируется как брэгговское рассеяния на поверхностных волнах. Во втором случае наблюдается плавное уширение спектра вокруг несущей частоты так, что спектр приобретает треугольную форму. Ширина доплеровского спектра не коррелирует ни с брэгговской частотой, ни с пиковой частотой волнения. В этом случае спектр реверберации интерпретируется с помощью феноменологической модели рассеяния звука на приповерхностных неоднородностях, совершающих колебания в поле орбитальных течений волн, скорости которых значительно ниже фазовых скоростей поверхностных волн. Результаты настоящей работы согласуются экспериментальными результатами других авторов, однако ранее подобная интерпретации спектров второго типа не производилась.

### **О ЛОКАЛЬНОМ ЭФФЕКТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОД НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОМ ДВУМЕРНОМ МЕЛКОМ МОРЕ**

**Гулин О.Э., Ярошук И.О.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Тихоокеанский океанологический институт  
им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток  
Тел.: (423 2312617); Факс: (423 2312573); E-mail: gulinoe@poi.dvo.ru*

Рассмотрена статистическая задача о распространении низкочастотного звука в волноводе мелкого моря с двумерными случайными неоднородностями. Исследован закон спадания средней интенсивности поля с расстоянием в условиях флуктуирующего термоклина и при наличии поглощающего жидкого дна. В рамках метода поперечных сечений показано, что взаимодействие мод с расстоянием носит локальный характер, поэтому его учет является лишь некоторой добавкой к адиабатическому решению для интенсивности, в целом не меняющей средний закон потерь при распространении.

**Ключевые слова:** случайно-неоднородное мелкое море, средняя интенсивность акустического поля

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ МАТРИЦ**

**Макаров Д.В.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток;  
Тел.: +7-(423)-2313081; E-mail: makarov@poi.dvo.ru*

Рассматривается метод моделирования акустических полей в случайно-неоднородном подводном звуковом канале, основанный на построении пропагатора в базе нормальных мод волновода. Взаимодействие мод моделируется с помощью случайных матриц с некоррелированными матричными элементами, дисперсии которых определяются пространственным спектром неоднородности. Проведено сравнение спектральной статистики получаемого таким образом пропагатора со спектральной статистикой пропагатора, соответствующего прямому решению параболического уравнения. Показано, что пропагатор, построенный с помощью случайных матриц, способен достаточно корректно воспроизводить неэргодические особенности спектров, соответствующие когерентным волновым пучкам, а также динамику разрушения таких пучков с увеличением расстояния от источника.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **СИЛЬНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ШУМОВЫХ ПОЛЕЙ В ОКЕАНЕ**

**Клячин Б.И.**

*Московский Государственный Психолого-Педагогический Университет. Москва  
Тел. 8(909) 640-66-09; E-mail: klboris@rambler.ru*

Известно, что низкочастотное шумовое поле горизонтально однородного (слоистого) океана так же горизонтально однородно. Это поле формируется узким пучком водных лучей, вышедших с поверхности и не дошедших до дна глубокого океана.

Рассмотрим три горизонтальных неоднородности океана, деформирующие пучок водных лучей, что приводит к сильным горизонтальным неоднородностям шумового поля.

#### **1. Холодные вихри.**

Холодный вихрь отодвигает водные лучи от дна. Возникает придонная область ослабления шума (на 20 дб.) В этой области доходят только ослабленные донные лучи. (Многokrатно отраженные дном.) Так же, там может возрастать отношение сигнал/шум для некоторых сигналов.

#### **2. Глубокие разломы в глубоком океане. (Например, Марианский желоб.)**

В этом случае будет два разных пучка водных лучей. Водные лучи слоистого океана и водные лучи разлома. (Эти, последние, распространяются вдоль разлома.)

Возникает следующий эффект: при приближении к дну слоистого океана шум стремится к нулю. При приближении к горизонту дна слоистого над разломом – шум продолжает быть значительным. Тем самым существует значительное усиление шумового поля на горизонте дна слоистого океана над разломом.

#### **3. «Шумовая стена» над разломом.**

Если скорость звука у поверхности больше скорости звука у дна слоистого океана, то водных лучей в слоистом океане не будет вовсе. Будут только слабые донные лучи. Если, при этом, есть разлом, в котором скорость звука у дна разлома больше скорости звука у поверхности, то в разломе будут водные лучи. Тогда над разломом будет существовать мощная «шумовая стена» (Разница в интенсивности шума вне разлома и над ним – около 20 дб.)

В докладе приводятся лучевые картины, глубинные зависимости и направленности рассматриваемых шумовых полей.

**Ключевые слова:** шумы океана, теория переноса излучения, океанические вихри и разломы дна

### **ОСОБЕННОСТИ ЗВУКОВ РАКОВ-ЩЕЛКУНОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ**

**Бибиков Н.Г.**

*АО «Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева», Москва  
E-mail: nbibikov1@yandex.ru*

В октябре-ноябре 2015-2016 годов при регистрации гидроакустических биошумов на мелководье восточного побережья Черного моря с помощью широкополосной аппаратуры (верхняя частотная граница - несколько сотен килогерц) были выявлены весьма интенсивные импульсные звуки, генерируемые раками-щелкунами. При размещении гидрофона в 30-40см над донной поверхностью на глубинах от 5 до 10 м сигнал содержал фоновый шум, создаваемый этими объектами, расположенными на расстояниях более метра. Наряду с этим обнаруживались и сравнительно редкие (обычно несколько раз в минуту), но весьма интенсивные (до нескольких сотен паскалей) щелчки, генерируемые животными, находящимися, видимо, в непосредственной близости от гидрофона. Такие условия позволили осуществить частотно-временной анализ одиночных сигналов раков щелкунов в естественных условиях их обитания. Показано, что они состоят из следующих участков: короткий всплеск – предшественник, генерируемый струей жидкости, вылетающей при схлопывании клешни, мощный импульс, возникающий при схлопывании кавитационного пузырька, многочисленные отражения этого сигнала от близлежащих элементов донной поверхности (галька, пустые раковины мидий). Время нарастания основного импульса может составлять 7-10 мкс при общей длительности сигнала, варьирующей вследствие специфики отражений, от 0.1 до 0.4мс. При наложении первичного импульса с отражениями его форма иногда существенно искажается. Наряду с исходным импульсом можно обнаружить также и задержанные эхосигналы от локальных искусственных подводных объектов и от поверхности. Обсуждаются возможные практические приложения полученных данных.

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В СЛОИСТОЙ ГАЗОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**

**Гончаренко Б.И., Гусев В.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физфак, кафедра акустики, Москва  
Тел.: (495) 9392943; E-mail: vgusev@bk.ru*

Исследованы особенности распространения акустических волн и ограниченных пучков в слоисто-неоднородной среде, содержащей газовые пузырьки. Такая система моделирует, в частности, акустические процессы в пресноводных водоемах с донным грунтом, содержащем газонасыщенные осадочные породы. Показано, что скорость звука в газонасыщенном грунте определяется в первую очередь количеством содержащего в нем газа. Например, при увеличении газа примерно до 1% от общего объема грунта скорость звука падает до 100 м/с, т.е. в 15 раз по сравнению со скоростью звука в воде. Кроме того, в таком грунте наблюдается повышенное значение затухания звуковых волн, основной причиной которого является необратимый теплообмен между газовыми включениями и окружающей их жидкой средой. Рассмотрены различные конфигурации расположения излучателя по отношению к границе донного грунта. Рассчитаны коэффициенты отражения и прохождения акустической волны от слоистой газонасыщенной среды и их зависимости от частоты и угла падения волны. Проведено сравнение с результатами экспериментальных исследований. Показано, что частотная зависимость модуля коэффициента отражения звука, полученная на одной из акваторий Клязьминского водохранилища, имеет осциллирующий характер, причем частота осцилляций зависит от толщины газонасыщенного слоя и не зависит от угла падения. По частотной зависимости модуля коэффициента отражения звука, показана возможность восстановления параметров структуры слоистого грунта. Определены возможности восстановления структуры слоистых осадочных пород. Рассчитано отражение широкополосного сигнала. Исследованы условия концентрации и локализации акустических полей в слоисто-неоднородной газонасыщенной среде. Исследованы нелинейные акустические эффекты, связанные с сильной структурной нелинейностью жидкости с пузырьками. Изучены особенности нелинейного энергообмена при частотно-зависимом отклике пузырьков на внешнее воздействие. Выведены эволюционные уравнения для случаев горизонтального и наклонного распространения интенсивной волны. Рассчитаны волновые профили и поперечная форма пучков.

**АДАПТИВНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ВБЛИЗИ ПОРТОВЫХ ЗОН И  
МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В ОКЕАНЕ**

**Смирнов И.П.<sup>1)</sup>, Хилько А.А.<sup>2)</sup>, Коваленко В.В.<sup>3)</sup>, Лучинин А.Г.<sup>1)</sup>, Мареев Е.А.<sup>1)</sup>, Малеханов А.И.<sup>1)</sup>,  
Хилько А.И.<sup>1)</sup>, Кравченко В.Н.<sup>4)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород;*

<sup>3)</sup> *Научный совет по комплексной проблеме «Гидрофизика» РАН, Москва;* <sup>4)</sup> *ОАО «ЦНИИ «Атолл», Дубна  
Тел.: (831) 436-84-90; Факс: (831) 436-84-9; E-mail: A.khil@hydro.appl.sci-nnov.ru*

Для акустического высокочастотного зонального наблюдения в портовых зонах, а также вблизи морских сооружений разработан сетецентрический метод, основанный на совместной обработке набора мультистатических томографических проекций, формируемых в подводном канале вертикальными излучающими и приемными решетками сложно-модулированных импульсных сигналов в виде согласованных с волноводом пучков. Для оценки возможностей, проектирования облика для конкретных районов мелкого моря, а также для управления потенциалом такой системы наблюдения разработана физическая модель метода, которая реализована в виде программно-алгоритмического комплекса с интерфейсом управления и представления данных. Исследована эффективность конкретных систем наблюдения в реальных прибрежных морских акваториях. Работоспособность метода такого наблюдения анализировалась в натурных экспериментах, выполненных в Ивановском водохранилище.

**Ключевые слова:** зональное подводное наблюдение, сетецентрический метод, согласованные с волноводом пучки

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ**

**Хилько А.И.<sup>1)</sup>, Смирнов И.П.<sup>1)</sup>, Машошин А.И.<sup>2)</sup>, Шафранюк А.В.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup>*АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», Санкт-Петербург*

*Тел.: (831) 436-84-90; Факс: (831) 436-84-9; E-mail: A.khil@hydro.appl.sci-nnov.ru*

Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для расчета параметров когерентности гидроакустического сигнала в конкретных условиях. В основу алгоритмов положена усовершенствованная модель когерентности гидроакустических сигналов в волноводе Лавалья и Лабаска. Выполнен анализ причин разрушения когерентности волнового фронта и приведены результаты расчётов с использованием разработанной программы. Исследовано влияние когерентности на эффективность подводного наблюдения.

**Ключевые слова:** когерентность гидроакустических полей, подводное наблюдение при частичном наблюдении

### **ВЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ**

**Щуров<sup>1,2)</sup> В.А., Щеглов<sup>1)</sup> С.Г., Ляшков<sup>1)</sup> А.С.**

<sup>1)</sup>*Федеральное агентство научных организаций Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток;*

<sup>2)</sup>*Кафедра физики Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток.*

*Тел.: (423 2312101); [shchurov@poi.dvo.ru](mailto:shchurov@poi.dvo.ru)*

В реальных акустических полях, сформированных многими источниками звука, при исследовании их векторной структуры, наблюдаются явления, которые могут быть использованы как механизмы выделения слабого сигнала на фоне когерентной помехи. Особенности свойств векторного акустического поля связаны с направленным характером движения энергии шума, когерентной помехи, сигнала; устойчивости разностно-фазовых соотношений при малых значениях сигнал/помеха в канале акустического давления; вихревыми структурами вектора плотности потока энергии. Перечисленные свойства являются фундаментальными свойствами присущие векторному акустическому полю океана. Одиночный комбинированный приёмник, являясь приёмником малых волновых размеров, позволяет контролировать аномальные явления в векторном акустическом поле, что недоступно для скалярного приёмника акустического давления.

1. Как показали исследования, при наблюдении сигнала, превышение которого в канале звукового давления менее 3 дБ, выигрыш в векторных каналах может достигать порядка 30 дБ, например, в условиях компенсации встречных потоков энергии сигнала и помехи.

2. При повороте характеристики направленности чувствительности векторного приёмника возможно выделить слабый сигнал на фоне когерентной помехи и определить направление на искомый источник звука по скачкам разности фаз, функции когерентности и их производных во времени.

3. В процессе статистического принятия решений о наличии или отсутствия цели исследователь имеет определённые априорные знания в виде «провала» когерентной составляющей мощности, чего нет в процессе обнаружения при сравнении мощности сигнала и шума и использовании критерия Неймана-Пирсона. В данном случае задача обнаружения может значительно упроститься при принятии решения по критерию Релея.

**Ключевые слова:** векторная акустика, вектор интенсивности, явление компенсации встречных потоков энергии, разностно-фазовые соотношения

### **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПЕЛЕНГОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОГО МОДУЛЯ**

**Кузнецов Г.Н.<sup>1)</sup>, Курчанов А.Ф.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва;*

<sup>2)</sup>*ВНИИФТРИ, Менделеево, Московская область*

*Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: [skbmortex@mail.ru](mailto:skbmortex@mail.ru)*

Применительно к мелкому морю выполнено сравнение помехоустойчивости обнаружения и пеленгования с использованием одиночного векторно-скалярного модуля и различных алгоритмов, обеспечивающих подавление распределённых шумов моря или локального источника помех.

**Ключевые слова:** векторно-скалярный модуль, подавление помех, обнаружение и пеленгование

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОСТИ ПРИЕМА, ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ И ГЛУБИНЫ ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКАЛЯРНЫХ И ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ АНТЕНН**

**Глебова Г.М.<sup>1)</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону;

<sup>2)</sup> Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва

Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790), E-mail: skbmortex@mail.ru

В мелководном районе выполнено исследование пространственных откликов скалярной и векторно-скалярной антенн (СА и ВСА). Показано, что ВСА обладает большей, чем идентичная СА, помехоустойчивостью, подавляет сигналы, пришедшие по «зеркальному» лепестку, и разделяет сигналы с противоположных направлений. Установлено, что ВСА более эффективно, чем СА, оценивает в пассивном режиме дальность и глубину расположения источника, а при использовании обработки по потоку мощности дает дополнительный выигрыш помехоустойчивости.

**Ключевые слова:** скалярные и векторно-скалярные антенны, разделение сигналов, пришедших с противоположных направлений, оценка дальности и глубины в пассивном режиме

### **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Некрасов В.Н.**

*ФГУП ВНИИ Физико-технических и радиотехнических измерений, Московская область, п/о Менделеево,  
Тел.: (495) 526-65-07 Факс: (495) 526-63-08 E-mail: nvn@vniiftri.ru*

Приводятся результаты натуральных экспериментальных исследований потенциальных возможностей гидроакустических измерительных систем, реализующих векторно-фазовые методы измерений (ВФМИ), при решении различных прикладных задач гидроакустики. Показана перспективность использования ВФМИ и измерительных систем с комбинированными гидроакустическими (векторными) приемниками (ВП) для низкочастотных гидроакустических измерений, поскольку уже в случае применения одиночного ВП возникает качественный скачок, который заключается в появлении новых свойств у точечной приемной системы – возможности в широкой полосе частот определять направление на источник шума, разделять по направлениям несколько источников и оценивать полосу частот и акустическую мощность их излучения, благодаря применению принципиально новых (по отношению к системам на базе гидрофонов) алгоритмов обработки информации, заключающихся в измерении лишь той части потока акустической энергии (мощности), которая обусловлена наличием в выбранном секторе окружающей среды измеряемого объекта.

**Ключевые слова:** векторно-фазовые методы измерений (ВФМИ), комбинированные гидроакустические (векторные) приемники (ВП)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ БАЙЕСОВА МЕТОДА ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЗВУКА В ВОЛНОВОДЕ С НЕТОЧНО ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

**Родионов А.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Институт прикладной физики, Нижний Новгород;

Тел.: (831 164774); Факс: (831 4365976); E-mail: alexr@appl.sci-nnov.ru

Проведена количественная оценка влияния флуктуаций скорости звука на возможность определения положения источника звука с помощью разных методов (оценителя Бартлетта, метода Кейпона, а также алгоритма, основанного на байесовом подходе). Были рассмотрены два типа флуктуаций: вызванные случайными внутренними волнами со статистикой, заданной спектром Гарретта-Манка, а также случайным отклонением профиля Манка (с некоторой амплитудой и пространственным масштабом), постоянным на всей трассе распространения. Предполагалось, что полезный сигнал принимается в 6 частотных полосах вертикальной антенной решеткой, состоящей из 16 элементов. Было показано, что в зависимости от дистанции до источника и распределения уровней сигнала в различных частотных полосах влияние флуктуаций на возможность обнаружения источника различное. Наилучшие результаты показывает метод, основанный на байесовом подходе, учитывающий различное отношение сигнал/шум в различных частотных полосах (подобно эквализации канала в связи).

Влияние постоянного по дистанции отклонения профиля скорости звука от истинного значения было исследовано для двух методов. Первый метод основан на использовании интегрирования функции правдоподобия методом Монте-Карло по пространству неизвестных профилей скорости звука (байесов

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

подход). Второй метод представляет собой обобщенную версию оценителя Бартлетта, в которой используется модель корреляционной матрицы принятого сигнала, полученная путем усреднения диад по ансамблю волноводов (с некоторой неопределенностью в задании скорости звука). Для первого метода с помощью численного моделирования была получена зависимость вероятности аномальной ошибки от числа случайных реализаций профиля скорости звука. Показано, что предельная эффективность достигается при 200–400 случайных бросаний. Также показано, что первый метод может иметь преимущество перед вторым по предельному ОСШ в районе 20 дБ.

### АНАЛИЗ РОБАСТНЫХ АЛГОРИТМОВ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА

Турчин В.И.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;  
Тел.: 831 4164623; Факс: 831 4160630; E-mail: turchin@appl.sci-nnov.ru*

Рассматриваются несколько робастных модификаций алгоритмов Бартлетта и Кейпона, использующих различную информацию о рассогласовании реальной и модельной форм звукового поля на апертуре приемной антенной решетки (АР); в качестве физической причины рассогласования рассматривается деформация профиля АР и наличие мультипликативной помехи. Анализируется зависимость погрешности оценки пеленга и вероятности аномальных ошибок от характеристик рассогласования и уровня фоновой помехи для классических алгоритмов и их робастных обобщений. Анализ выполняется как для плотного заполнения апертуры приемными элементами, так и для "разреженных" апертур с повышенным уровнем боковых лепестков. Исследуется зависимость между уровнями боковых лепестков функции неопределенности и вероятностью аномальных ошибок.

**Ключевые слова:** подводная акустика, обработка сигналов, робастные алгоритмы

### ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОГРАММЫ К ЛОКАЛИЗАЦИИ ШУМОВОГО ИСТОЧНИКА В МЕЛКОМ МОРЕ

Кузнецов Г.Н.<sup>1)</sup>, Кузькин В.М.<sup>1)</sup>, Казначеев И.В.<sup>2)</sup>, Пересёлков С.А.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Научный центр волновых исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
Тел.: (495) 132-8384; Факс: (495) 135-8234; E-mail: skbmortex@mail.ru; kumiov@yandex.ru*

<sup>2)</sup> *Воронежский государственный университет, Воронеж  
Тел: (4732) 789-748; Факс: (4732) 789-755; E-mail: kaznacheev.ilya@gmail.com; pereselkov@yandex.ru*

В настоящее время наряду с методами локализации источников звука, использующими обработку сигналов, согласованную со средой, активно разрабатывается интерферометрический метод, основанный на двукратном преобразовании Фурье интерференционной картины, формируемой движущимся источником. Получаемое при этом изображение является спектрограммой. Метод отличается малой чувствительностью к рассогласованию между модельным и реальным волноводами и высокой помехоустойчивостью. В его основе лежит когерентное накопление частотных смещений интерференционных максимумов поля вдоль интерференционных полос. Эффективность метода подтверждена данными вычислительного и натурального экспериментов сигналов с равномерным спектром или близким к нему. На практике, однако, наибольший интерес представляет спектр шумового сигнала, применительно к которому реализация предложенного метода не совсем ясна.

В настоящей работе проведен теоретический анализ интерференционной картины, формируемой движущимся шумовым источником, и показана возможность когерентного накопления частотных смещений поля вдоль интерференционных полос без усреднения по ансамблю случайных реализаций, т.е. в условиях единичных измерений. Основываясь на том, что шумовой источник можно рассматривать как источник с равномерным спектром и присоединенной мультипликативной помехой, получено эффективное входное отношение сигнал/помеха (с/п). Если внешняя помеха отсутствует, то эффективное значение с/п примерно равно двум. При значительном уровне внешней помехи по сравнению с шумовым сигналом, эффективное входное отношение с/п сопоставимо со значением с/п для равномерного спектра. Предельное входное отношение с/п  $q_{lim}$ , при котором для значений  $q \geq q_{lim}$  выполняется устойчивое обнаружение источника и оценки радиальной скорости и начального удаления близки реальным, для шумового спектра возрастает в полтора раза по сравнению с равномерным спектром.

Приведены результаты компьютерного моделирования, согласующиеся с теоретическими представлениями, и демонстрирующими эффективность метода при использовании шумового источника. Представлены также результаты обработки данных натурального эксперимента применительно к непрерывному шумовому сигналу. Для условий, когда уровень сигнала мал по сравнению с внешней помехой, и наблюдаемая интерференционная картина является хаотической, применение спектрограммы

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

позволило осуществить обнаружение шумового источника и получить оценки скорости и начального удаления, близкие к экспериментальным значениям.

Таким образом, вне зависимости от природы источника использование спектрограммы является потенциальной основой применения когерентной интерферометрии в задачах пассивной гидролокации.

**Ключевые слова:** локализация шумового источника, мелкое море, спектрограмма, помехоустойчивость

### **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА В СЛУЧАЙНО–НЕОДНОРОДНОМ ОКЕАНИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО ОБОБЩЕННОГО АЛГОРИТМА MUSIC**

**Сазонтов А.Г., Смирнов И.П.**

*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород;  
Тел.: +7(831)4160648; Факс: +7(831)4160630; E-mail: sazontov@ipfran.ru*

Построен робастный обобщенный алгоритм MUSIC, позволяющий локализовать акустический источник в случайно–неоднородном канале в условиях неточного знания среды распространения. В предположении, что основным механизмом, вызывающим рассеяние звука, является развитое ветровое волнение, представлены результаты численного моделирования, иллюстрирующие точность оценивания координат источника и вероятность его правильной локализации в зависимости от выходного отношения сигнал/помеха. Приведена апробация предложенного способа с использованием экспериментальных данных, полученных на стационарной трассе в Баренцевом море. Установлено, что в реальных условиях соответствующий алгоритм является работоспособным и обеспечивает удовлетворительное качество восстановления источника, удаленного на расстояние порядка 15 км от антенной решетки, без использования трудоемкой процедуры одновременного поиска как искомым координат, так и неизвестных параметров волновода.

**Ключевые слова:** локализация источника, случайно–неоднородный канал, адаптивный алгоритм, неизвестные условия приема, моделирование и экспериментальная апробация

### **СОВМЕСТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОГО СЛОЯ И ДНА МЕЛКОГО МОРЯ МЕТОДАМИ МОДОВОЙ ТОМОГРАФИИ**

**Муханов П.Ю.<sup>1)</sup>, Гончаров В.В.<sup>2)</sup>, Веденев А.И.<sup>2)</sup>, Сергеев С.Н.<sup>1)</sup>, Шуруп А.С.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики; Москва

<sup>2)</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Тел.: (495-9393081); Факс: (495 9328820); E-mail: pavel.mukhanov@gmail.com

Акустическая томография океана является перспективным методом мониторинга пространственно-временной изменчивости параметров океанических акваторий. Традиционные методы томографии океана, основанные на использовании низкочастотных излучателей и вертикальных антенн, требуют существенных материальных затрат и решения целого ряда технических проблем, возникающих при развёртывании и обеспечении работоспособности томографической системы. В связи с этим представляется перспективным разработка пассивных методов мониторинга по данным с одиночных донных гидрофонов, лишенных отмеченных недостатков.

К настоящему времени по результатам обработки экспериментальных данных показана принципиальная возможность практической реализации пассивного гидроакустического мониторинга, основанного на оценке функции Грина двух пространственно разнесенных точек из взаимной функции корреляции шумов мелкого моря, зарегистрированных в этих точках. В частности, показано, что частотно-временной анализ взаимной функции корреляции шумового поля мелкого моря, зарегистрированного одиночными придонными гидрофонами, позволяет выделить сигналы отдельных мод для таких расстояний между гидрофонами, когда межмодовая дисперсия оказывает заметное влияние на характер распространения звука в мелком море.

В настоящей работе предпринимается попытка сделать следующий шаг и восстановить параметры волновода на основе сигналов отдельных мод, выделенных по данным с одиночных гидрофонов в пассивном режиме. Для этой цели предлагается модель модовой томографии мелкого моря для совместного восстановления характеристик водного слоя и дна, использующая в качестве исходных данных времена распространения сигналов мод разных номеров в различных частотных диапазонах. Приводятся результаты численного моделирования по предложенной схеме для различных профилей скорости звука в водном слое и для различных конфигураций параметров слоистого неоднородного дна. Для инверсии исходных данных используется линейное приближение, а уточнение получаемых оценок волновода происходит итерационно.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

Исследование помехоустойчивости разработанной схемы указывает на возможность её применения для обращения экспериментальных данных.

### АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА АБХАЗСКОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Серебряный А.Н.<sup>1,3)</sup>, Кенигсбергер Г.В.<sup>2)</sup>, Елистратов В.П.<sup>2)</sup>, Сабинин К.Д.<sup>3)</sup>, Попов О.Е.<sup>4)</sup>,  
Свадковский А.Н.<sup>3)</sup>, Тарасов Л.Л.<sup>3)</sup>, Денисов Д.М.<sup>3)</sup>, Химченко Е.Е.<sup>1)</sup>, Чекайда В.Н.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН, Москва;*

<sup>2)</sup> *Гидрофизический институт АН Абхазии, Сухум;*

<sup>3)</sup> *АО «Акустический институт имени акад. Н.Н.Андреева», Москва;*

<sup>4)</sup> *Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова РАН, Москва;*

*Тел.: (916 1106453); Факс: (499 1245983); E-mail: (serebryany@hotmail.com)*

В докладе рассмотрены результаты российско-абхазского научного сотрудничества, проводимого при поддержке РФФИ с 2013 г., по исследованию изменчивости морской среды на абхазском шельфе Черного моря акустическими и контактными методами. Основной целью исследований было изучения динамики прибрежных вод шельфа с крутым склоном в условиях весенне-летней стратификации, служащей причиной значительной пространственно-временной изменчивости гидрофизических параметров среды. Нами проводились измерения на стационарной трассе в прибрежной зоне методом акустической автогенерации (метод Фурдуева), но основной объем данных был получен с помощью акустического доплеровского профилометра течений (ADCP “Rio Grande 600 kHz”), который еще ранее зарекомендовал себя мощным инструментом акустической океанологии, дающим возможность изучать большое разнообразие процессов, происходящих в шельфовой зоне моря. Большой объем данных был собран в летне-осенние периоды в прибрежной зоне моря акватории Сухума вблизи эстакады Гидрофизического института АН Абхазии (ГИАНА). Долговременные измерения проводились закрепленным на эстакаде ADCP, а также делались пространственные съемки в различных участках шельфа тем же ADCP, установленном на малом моторном судне. Получены представительные данные о направлении течений в прибрежных водах, их изменчивости по вертикали и во времени, а также о вертикальной структуре скорости звука и температуры. Также собран материал о временной и пространственной (по вертикали) изменчивости сигнала обратного акустического рассеяния, дающего информацию о загрязненности вод. Выявлена закономерность между направленностью течения и увеличением мутности вод в прибрежной зоне. Особое внимание было уделено исследованию внутренних волн, которые помимо измерений акустическим профилометром регистрировались также заякоренными вертикальными гирляндами термисторов. Зарегистрированы короткопериодные (от единиц до десятков минут) и длиннопериодные колебания термоклина с периодом близким к инерционному. Выявлены особенности внутренних волн, близко подходящих к берегу. Специальные исследования проводились в районах впадения в море рек Гумиста и Кодор.

Работа была проведена при финансовой поддержке грантов РФФИ №13-02-90301 Абх\_а и № 15-52-40012 Абх\_а.

**Ключевые слова:** акустическая диагностика, ADCP, течения, внутренние волны

### ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЕВ ДНА МОРСКОГО ШЕЛЬФА С ПОМОЩЬЮ ЗОНДИРОВАНИЯ КОГЕРЕНТНЫМИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМИ ИМПУЛЬСАМИ

Калинина В.И., Смирнов И.П., Хилько А.И.

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

*Тел.: (831) 436-84-90; Факс: (831) 436-84-9; E-mail: A.khil@hydro.appl.sci-nnov.ru*

Разработаны методы и алгоритмы реконструкции геоакустических параметров донных слоев с использованием параметрических моделей формирования сигналов, отраженных от упругого слоистого полупространства при когерентном зондировании дна морского шельфа. Предложен метод послышной реконструкции, позволяющий осуществлять эффективный поиск решения в многопараметрическом пространстве при ограничении априорных данных. Методами стохастического моделирования исследована робастность алгоритмов реконструкции в зависимости от уровня шумов и помех

**Ключевые слова:** реконструкция морского дна, когерентные источники, стохастическое моделирование

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДВОДНЫХ УТЕЧЕК ГАЗА С ПОМОЩЬЮ ОБРАЩЕННЫХ ВО ВРЕМЕНИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

**Половинка Ю.А., Максимов А.О.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток;  
Тел.: (423 2313081); Факс: (423 2312573); E-mail:maksimov@poi.dvo.ru*

В докладе описан метод обнаружения подводных утечек газа, основанный на использовании фокусирующих свойств обращающих волновой фронт акустических антенн. Разработка методик для обнаружения утечек из подводных газопроводов является постоянно расширяющейся областью прикладных исследований в нефтегазовой промышленности. Акустические методы дистанционного обнаружения утечек традиционно используют гидролокаторы – как активные акустические сенсоры и гидрофоны – как пассивные датчики. При возникновении утечки рождаются газовые пузырьки, излучающие звук на частотах, непосредственно связанными с их геометрическими размерами. Два фактора: локальный характер генерации акустических сигналов, обусловленных утечкой, и резонансная природа излучения пузырьков при их рождении позволяют использовать для активной локации обращенные во времени эмиссионные сигналы с целью получения мощного сигнала рассеяния. Мировая практика использования датчиков подводных утечек показывает, что преимущественно они располагаются в окрестности буровых платформ, как мест наиболее разветвлённой сети трубопроводов. В данной работе мы ориентировались на специфические условия северо-восточного шельфа о-ва Сахалин. В этом районе проводились долговременные исследования особенностей распространения акустических сигналов и были разработаны модели, учитывающие акустические свойства окружающей среды. Описание распространения эмиссионных и обращенных во времени сигналов выполнено путем использования функции Грина для волновода Пекериса (плоский однородный слой жидкости, ограниченный снизу однородным полупространством с постоянной скоростью звука, верхняя граница – свободная поверхность). Значение дистанции обнаружения утечек не очень велико: составляет сотни метров при десятках метров глубины шельфа в местах расположения платформ. В работе получено интегральное представление для акустического поля обращенного сигнала в области утечки и поля рассеянного сигнала на элементах антенны. Специфика задачи – форма сигнала, излучаемого рождающимся пузырьком, позволяет упростить интегральное представление и вычислить в явном виде интеграл по частотам. Решение пространственной задачи получено в лучевом приближении для волновода Пекериса и в результате численного моделирования. Настоящее исследование расширяет круг приложений, использующих механизм фокусировки обращенных сигналов, на специфические условия – окрестности добывающих платформ на морском шельфе.

**Ключевые слова:** пузырьки, обращенные во времени сигналы, подводные утечки

### **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПРИНИМАЕМОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ СИГНАЛА В МЕЛКОМ МОРЕ ПРИ ВЕТРОВОМ ВОЛНЕНИИ**

**Завольский Н.А., Малеханов А.И., Раевский М.А., Смирнов А.В.**

*ИИФ РАН, 603950, ул. Ульянова, 46, Нижний Новгород.  
Тел.: (831) 416-47-42; E-mail: almal@appl.sci-nnov.ru, lexsmial@mail.ru*

Рассматривается задача оптимизации пространственной обработки принимаемой горизонтальной линейной антенной решетки сигнально-помеховых звуковых полей в многомодовом канале мелкого моря со взволнованной поверхностью. Сигнальное звуковое поле на входе приемной антенны формируется за счет многократного рассеяния на морской поверхности поля, возбуждаемого достаточно удаленным от антенны точечным тональным источником звука. Помеховое поле представляет собой изотропный приповерхностный шум. Цель работы – определение влияния корреляционных характеристик амплитуд сигнально-помеховых мод (в частности, параметры, влияющие на них: скорость ветра, дальность между источником и антенной решеткой, спектр возбуждения сигнальных мод), углового направления антенны на источник сигнала (в горизонтальной плоскости), спектра волновых чисел волновода, длины и межэлементного расстояния антенной решетки на структуру и качество оптимального и квазиоптимальных процессоров.

Предложенные методы квазиоптимальной обработки сигнала основаны на полученном ранее результате анализа эффективности работы горизонтальной антенны при таком же сигнально-помеховом сценарии. Критериями в их выборе являются функция углового отклика антенны при заданном направлении на источник и коэффициент пространственной корреляции сигнального поля. Выделены следующие квазиоптимальные методы: 1) угловая коррекция диаграммы направленности фазированной антенной

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

решетки; 2) формирование амплитудно-фазового распределения на антенне, согласованное с принимаемым многомодовым сигналом; 3) субапертурная обработка частично-когерентного многомодового сигнала. Полученные результаты сравниваются с оптимальной пространственной обработкой, основанной на анализе матриц корреляционных характеристик мод входного сигнала.

Численное моделирование выполнено применительно к зимним гидрологическим условиям Баренцева моря в широкой области параметров, определяющих условия формирования пространственных корреляций сигнала. Проведенный численный сравнительный анализ методов обработки сигнала позволяет получить априорные оценки их эффективности, и в дальнейшем применять в натурных экспериментах в мелком море.

### **ОБРАБОТКА СЕЙСМО-АКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА**

**Громашева О.С.<sup>1)</sup>, Матирный О.Е.<sup>2)</sup>, Радаев И.Р.<sup>2)</sup>, Чупин В.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *ТОИ ДВО РАН, Владивосток;*

<sup>2)</sup> *МГУ им. Г.И.Невельского, Владивосток;*

*Тел.: (8914 6648505); Факс: (423-2) 312-573; E-mail: (gromasheva@poi.dvo.ru)*

Для изучения влияния океанической среды на структуру акустических полей в океане в лаборатории физики геосфер отдела акустики Тихоокеанского океанологического института им. В.И.Ильичева ДВО РАН проводятся измерения вариаций гидросферного давления в инфразвуковом и звуковом диапазонах с использованием современных лазерно-интерференционных методов. Для проведения таких измерений используются лазерные измерители вариаций давления гидросферы и лазерные гидрофоны, характеристиками которых являются высокая точность, широкий частотный и динамический диапазоны. Для обработки данных измерений создается специальное математическое обеспечение, основанное на применении спектрального оценивания с помощью Фурье-преобразования и вейвлет-анализа.

В работе обсуждаются вопросы разработки алгоритмов, приводятся исследования возможностей применения вейвлет-анализа для обработки многоканальной гидроакустической информации. Проведено сравнение результатов спектральной обработки с применением преобразования Фурье и вейвлет-анализа синхронных записей лазерного деформографа.

**Ключевые слова:** спектральный анализ, вейвлет-анализ, лазерно-интерференционные методы

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОГЕРЕНТНОГО АПЕРТУРНОГО СИНТЕЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА И ДЛИНЫ ТРАЕКТОРИИ НОСИТЕЛЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

**Родионов А.А., Семенов В.Ю.**

*Институт прикладной физики, Нижний Новгород;*

*Тел.: (831 164774); Факс: (831 4365976); E-mail: vitali.semenov@gmail.com*

В работе рассматривается задача шумопеленгации источника звука с использованием апертурного синтеза. При этом предполагается, что излучаемый источником сигнал является шумовым (некогерентным во времени). Такой сценарий наиболее интересен с практической точки зрения, поскольку реальные цели имеют в основном непрерывный спектр излучения. Кроме того, предполагалось, что источник сигнала движется с некоторой неизвестной скоростью, что также соответствует реальной ситуации. Предполагалось, что в качестве приемной системы используется две горизонтальные антенные решетки, расположенные по обоим бортам корабля-носителя и состоящими из 32 элементов каждая. Считалось, что на приемную систему помимо шумов моря воздействует также помеха, вызванная работой механизмов внутри корабля-носителя (корабельная помеха), мощность которой значительно превышает мощность полезного сигнала. Апертурный синтез производился за счет аппроксимации измеренной зависимости пеленга источника от времени модельной кривой. Подавление бортовой помехи осуществлялось за счет использования ранее разработанного метода адаптивной шумопеленгации. Было показано, что в зависимости от длины и типа траектории корабля-носителя достигаются различные точности измеренных координат движущегося источника. Наилучшие результаты достигаются для криволинейных траекторий, а также в случае неравномерного движения. Для таких сценариев показана возможность одновременной оценки координат источника в горизонтальной плоскости и двух проекций его скорости.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ПЕЧАТИ НА ОСНОВЕ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ПРОДОЛЬНО-ИЗГИБНОГО ТИПА**

**Бритенков А.К., Боголюбов Б.Н., Смирнов С.А., Перфилов В.А.**

*ИПФ РАН, Нижний Новгород*

*Тел.: 910-7942673; Факс: 831-4160630; E-mail: jkd@yandex.ru*

Низкочастотные гидроакустические излучатели необходимы в широком спектре задач: от дальней звукоподводной связи и телеуправления до сейсмоакустической разведки, что делает разработку компактных излучателей высокой удельной мощности в сочетании с достаточной шириной полосы фундаментальной задачей гидроакустики. Понижение частоты излучения с увеличением мощности и обеспечением высокого КПД гидроакустических преобразователей при больших гидростатических давлениях предъявляет особые требования к технологии разработки и изготовления. Оптимизация излучающего элемента достигается решением задачи поиска глобальных экстремумов многопараметрической модели по совокупности критериев: распределению динамических и статических напряжений, геометрических параметров и характеристик материалов. В результате получаемая геометрия деталей корпуса излучателя уже не реализуема для технологии обычной металлообработки. Таким образом, изготовление корпуса является одной из самых сложных составляющих технологического процесса создания мощных низкочастотных гидроакустических преобразователей. Изготовления корпуса с помощью SLM-технологии из металлических порошков позволяет исключить проблему герметизации, устойчивости к гидростатическому давлению и уменьшить разброс параметров излучателя. При этом корпус может иметь сложную форму с большей площадью поверхности, чем получаемый при использовании традиционной металлообработки. Предложенный низкочастотный излучатель продольно-изгибного типа с волнообразной излучающей поверхностью корпуса, изготавливаемого на базе существующих SLM-установок методом послойного лазерного сплавления, имеет чувствительность около 5 Па\*м/В и может эффективно излучать в полосе частот 0,5–1 кГц.

**Ключевые слова:** низкочастотный гидроакустический излучатель, пьезоэлектрический преобразователь, звукоподводная связь, телеуправление АПА, освещение подводной обстановки

### **МЕТОДЫ ВИБРОЗАЩИТЫ ВЕКТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ**

**Коренбаум В.И.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*

*Тел.: 423 2375698; Факс: 423 312573; E-mail: v-kor@poi.dvo.ru*

Проблема виброзащиты векторных приемников вытекает из повышенной вибрационной чувствительности этого класса гидроакустических датчиков, являющейся следствием принципов их функционирования. Данная проблема еще более обостряется в связи с расширением сфер применения векторных приемников в низкочастотном диапазоне и на мобильных носителях. Существует ряд методов, потенциально пригодных для виброзащиты векторных приемников: виброизоляция, виброкомпенсация, мультипликативное виброподавление при вычислении вещественной части потока мощности с использованием канала звукового давления. В зависимости от значений собственной частоты подвеса векторного приемника, конструктивных особенностей схем векторных приемников инерционного и силового типов, а также особенностей установки на носителях, рассматриваются возможности и ограничения каждого из этих методов. Приведены примеры оригинальных технических решений.

**Ключевые слова:** векторные приемники, виброзащита, виброизоляция, виброкомпенсация, виброподавление

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ОБРАТНОГО ДОННОГО РАССЕЯНИЯ**

**Львов К. П., Фомин А.А.**

*АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург; Тел.: +7-911-2734751; E-mail: k.lwow@mail.ru*

Эксперименты проводились с использованием аппаратуры доплеровского лага – рабочая частота 274 кГц, длительность прямоугольных тональных импульсов излучения 50 - 100 мс, приемно-излучающая система по схеме «Янус», раствор характеристик направленности 3 градуса, угол падения звука на дно 60°. Аппаратура была установлена на катере, галсы – северная акватория Ладожского озера на глубинах 100 м. Усиление на стробе приема постоянно, отношение с/ш >> 1, оцифровка с помощью устройства ЛА-2USB-14. Приведены примеры записей амплитуды (огibaющей) отраженных сигналов. Гистограммы

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

распределения сравниваются с распределениями Релея и Райса. Гистограммы, коэффициенты вариации, авто и взаимная корреляции, текущие фазы (оценки доплеровского смещения) получены для 4-х каналов приема, синхронного во времени. Оценки сравниваются для условий движения с небольшой скоростью и стопа катера. Анализируется связь оценок с верхним слоем дна, имеющим место в некоторых морях.

**Ключевые слова:** доплеровский лаг, угол падения, отраженный сигнал, вариация, корреляция.

### **АКУСТИЧЕСКИЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕЧЕНИЙ (ПРОФИЛОМЕТРЫ) И СПЕКТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ**

**Кириллов А.Г.<sup>1)</sup>, Рейман А.М.<sup>1)</sup>, Циберев А.В.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр*

<sup>2)</sup> *Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), Нижний Новгород*

<sup>2)</sup> *ООО Научно-технический центр «Мониторинг», Нижний Новгород*

*Тел.: +7 831 416-49-76; Факс: +7 831 416-49-76; E-mail: kir@ufp.appl.sci-nnov.ru*

Авторами разработан прототип акустического измерителя скорости течения (акустический доплеровский профилометр – АДП), который дает информацию о вертикальном профиле скорости движения воды, а также собирает данные о профиле дна, температуре воды, характере волнения. Тип измеряемых величин зависит от ориентации прибора: с поверхности вглубь водоема, или – наоборот.

Для повышения разрешения и преодоления неоднозначности по направлению потока в излучающей головке устанавливаются две пары датчиков, расположенных перпендикулярно. Система работает в импульсном режиме и регистрирует сигналы, отраженные от рассеивателей в среде (пузырьки, планктон, песок и т.п.).

Прибор позволяет измерять скорости течений до 20 м/сек с точностью до 5 мм/сек, частота локации – 600 кГц, дальность локации – до 100м, макс глубина установки профилометра при локации от дна к поверхности – 80 м, режим автономной работы – не менее 48 часов.

С помощью создаваемого продукта планируется обеспечить непрерывное получение данных о состоянии морской и речной обстановки вокруг транспортных путей для обеспечения безопасности судоходства; также разработанные приборы могут устанавливаться на входе в порты и другие гидротехнические сооружения для облегчения процесса захода-выхода и швартовки судов, в том числе – в автономном режиме; Также планируется обеспечивать контроль надводной и подводной обстановки вокруг объектов альтернативной энергетики и установок добычи морских ресурсов.

### **ЦИФРОВАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ БУКСИРУЕМАЯ СЕЙСМОКОСА МАЛОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ МОРСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**

**Максимов Г.А., Денисов Д.Н., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Григорьев А.Г., Корольков З.А.**

*АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва ул.Шверника, д.4*

*E-mail: gamaximov@mail.ru*

В докладе приводятся сведения о цифровой твердотельной буксируемой сейсмокосе малого диаметра для морской инженерной сейсморазведки, разработанной в АО «Акустический институт им. Н.Н. Андреева». Разработанное оборудование прошло проверку в реальном коммерческом проекте на шельфе Карского моря, зарекомендовало себя как удобное средство во время эксплуатации и позволило получить геофизические данные кондиционного качества.

**Ключевые слова:** шельф, морская сейсмоакустическая разведка, цифровая твердотельная буксируемой сейсмокоса

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (АО) - 07.06.2017 с 16.20 до 18.00; 08.06.2017 с 16.20 до 18.00**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ  
ЛОКАЛЬНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ЗВУКА В МЕЛКОМ МОРЕ  
ДЛЯ РАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА**

**Родионов А.А., Савельев Н.В.**

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород.  
Тел.: 831 4164774; Факс: 831 4365976; E-mail: saveliev@appl.sci-nnov.ru*

В работе рассматривается задача обнаружения локального возмущения в профиле скорости звука в мелком море. Обнаружение основано на регистрации акустического сигнала, который создается излучающей системой и проходит через данное возмущение, расположенное на трассе распространения звука. В качестве приемной системы используется вертикальная антенная решетка. В работе рассмотрено несколько моделей принимаемого сигнала, различающиеся степенью временной когерентности полезной компоненты. Задача обнаружения решается с помощью метода, основанного на критерии отношения правдоподобия (при этом считается, что в принятом сигнале присутствует аддитивный гауссов шум). Для разных моделей приведены результаты исследования характеристик обнаружения локального возмущения в зависимости от различных параметров задачи, таких как размеры и величина возмущения, отношение сигнал/шум и т.п. Для экспериментальных данных, полученных на Ладожском озере, приводятся результаты обработки с помощью методов, полученных для рассмотренных моделей сигнала. По результатам обработки делается предварительный выбор наиболее подходящей модели сигнала.

**Ключевые слова:** обработка сигналов в антенных решетках, мелкое море, критерий отношения правдоподобия

**О РАССЕЙНИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ОКЕАНА**

**Буланов В.А., Стороженко А.В.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток  
Тел.: 423 2374913; Факс: 423 2312573, E-mail: [bulanov@poi.dvo.ru](mailto:bulanov@poi.dvo.ru)*

Представлены результаты исследований рассеяния звука в верхнем слое океана, полученные в различные сезоны. Измерения коэффициентов рассеяния звука проводились на ходу судна и на отдельных станциях на высоких частотах от 100 до 250 кГц в различные годы с 2000 г. по 2016 г. Исследования проводились в Японском и Охотском морях, в северо-западной части Тихого океана и в морях восточной Арктики. Полученные результаты для различных районов проанализированы и выявлены основные отличия распределения рассеяния звука в верхнем слое арктических морей и Японского и Охотского морей. Были получены многочисленные данные о рассеянии звука на шельфе Японского моря в различные сезоны года. С целью получения функции распределения по размерам планктона были выполнены одновременные исследования рассеяния звука на различных частотах и сетные обловы планктона *in situ*. Эти данные позволили уточнить связь между данными о коэффициенте рассеяния звука и биомассой. Выявлены условия, при которых акустическая оценка биомассы совпадает с результатами биологических измерений *in situ*.

**Ключевые слова:** рассеяние звука, планктон

**ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ,  
ИЗЛУЧАЕМЫХ ПОДВОДНЫМИ ГАЗОВЫМИ СИПАМИ**

**Максимов А.О., Буров Б.А., Саломатин А.С.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток;  
Тел.: (423 2313081); Факс: (423 2312573); E-mail: [maksimov@poi.dvo.ru](mailto:maksimov@poi.dvo.ru)*

Необходимость мониторинга роста выбросов метана на арктическом шельфе, вызванных климатическими изменениями, и потребность развития эффективных методов диагностики утечек подводных газопроводов являются побудительными мотивами развития акустических методов изучения этих явлений. В докладе представлены результаты натурных экспериментов и разработанных для их интерпретации теоретических моделей, призванных описать структуру и механизмы генерации звуков, излучаемых морскими сипами.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

При подводной утечке газа формируются пузырьки различных размеров. Каждый пузырек издает звук на характерной частоте, связанной с его размером. Таким образом, анализируя звуки сипов, можно определить, как много пузырьков возникло и каковы их размеры. Наблюдения придонных пузырьков с помощью стенда “Искусственный газовый факел” были выполнены в прибрежной зоне Японского моря на Морской станции Тихоокеанского океанологического института. Выявлена значительная нерегулярность как во временных интервалах между последовательными моментами образования пузырьков, так и в интенсивности излучаемых сигналов. Время, в течение которого пузырек излучает акустический сигнал, определяется добротностью этой колебательной системы и составляет первые десятки периодов его собственных колебаний. За это время пузырек успевает всплыть на расстояние, сопоставимое с его радиусом, поэтому параметры его излучения (собственная частота, коэффициент радиационного затухания) в значительной степени определяются взаимодействием с подстилающим дном. Для описания экспериментов развиты три модели поведения пузырька вблизи межфазной поверхности: абсолютно жесткая граница, поверхность, разделяющая две жидкие среды, и импедансная граница. Для учета значительной нерегулярности в моментах рождения пузырьков, построена модель, описывающая колебания двух близко расположенных пузырьков. Определены собственные частоты и коэффициенты затухания колебаний, близких к синфазным и противофазным. Эти результаты используются для интерпретации формы наблюдаемых акустических сигналов. Данное исследование представляет собой шаг в решении задачи классификации звуков, издаваемых морскими сипами, и в развитии теоретических представлений для их интерпретации.

**Ключевые слова:** пузырек, подводные сипы, морские осадки, акустическая диагностика

### О ВЛИЯНИИ ДВИЖЕНИЯ ФЛЮИДА НА ДИСПЕРСИЮ И ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА В НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ МОРСКИХ ОСАДКАХ

Лисютин В.А.<sup>1,2)</sup>, Ярошенко А.А.<sup>1,2)</sup>, Ластовенко О.Р.<sup>1)</sup>, Дегтяр А.Д.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Севастопольский государственный университет, г. Севастополь;

<sup>2)</sup> ФГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова в г. Севастополе;

Тел.: (978 7622724); E-mail: vlisiutin@mail.ru

В настоящее время в акустике морских осадков конкурируют две теории – GS теория М. Букингема и теория Био-Столла, расширенная Н. Чотирасом, М. Изаксон и М. Кимурой (BICSQS, BIMGS).

В Био-Столла, BICSQS, BIMGS теориях среда рассматривается как двухфазная, в которой зерна консолидированы упругим скелетом, а поровая жидкость подвижна относительно скелета. Эти теории являются чисто линейными и объясняют дисперсию и затухание в среде вязкостью порового флюида и внутренним трением, введенным посредством приписывания упругим модулям мнимых частей. Произвольное приписывание мнимых частей к упругим модулям нарушает условия причинности. Непричинность – принципиальный недостаток, показывающий, что физическая природа явлений, рассматриваемых в модели, истолкована неверно. Кроме того, положение о существовании упругого скелета в сыпучих средах противоречит фактам.

G-S теория М. Букингема объясняет как распространение, так и затухание звука в осадках трением между частицами. Возможностью относительного движения флюида пренебрегается. Ключевая идея G-S теории – деформационное упрочнение – нелинейное явление на микроскопическом уровне.

К настоящему времени экспериментально показано, что: 1) поровая жидкость оказывает влияние, в большей степени на дисперсию, в меньшей на затухание (Хеффнер, Вильямс); 2) микронеоднородные среды являются нелинейными (Назаров, Зайцев, Гурбатов и др.).

Предлагается модификация GS теории, заключающаяся в преобразовании ее в двухфазную – подключении возможности относительного движения флюида. Выводится формула для сжимаемости двухкомпонентной неконсолидированной среды. Подстановка выведенной формулы в волновое уравнение приводит к квадратному уравнению, корни которого дают волновые числа двух типов волн – быстрой и медленной компрессионных волн в неконсолидированной среде с внутренним трением. Обращается внимание на принципиальное отличие модельной среды Био с порами в виде параллельных трубок от порового пространства реальной среды, где поры представляют сетевую структуру. Вводится понятие о динамической пористости в неконсолидированной среде. Модифицированная теория обозначается DPP – теория динамической пористости с перколяцией.

Проводится сравнительный анализ результатов VGS и DPP теории с экспериментальными данными, из которого следует, что DPP теория показывает лучшее совпадение с экспериментом.

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ ИЗ ШЕЛЬФА В ГЛУБОКОЕ МОРЕ В ЗИМНИХ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЯПОНСКОГО МОРЯ**

**Буренин А.В., Моргунов Ю.Н.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток  
Тел.: (423-2)311-613; Факс: (423-2)312-600; E-mail: alex\_bu@poi.dvo.ru, shurick\_burenin1@mail.ru*

В статье обсуждаются результаты эксперимента, проведенного в Японском море в марте 2016 года на акустической

трассе протяженностью 194 км при зимних гидрологических условиях. Исследован наиболее сложный случай

распространения импульсных псевдослучайных сигналов из шельфа в глубокое море при наличии на акустической трассе вихревого образования. Анализ экспериментально полученных импульсных характеристик показал, что фиксируемый во всех точках максимальный первый приход акустической энергии хорошо согласуется с расчетом. Это свидетельствует о том, что на данном горизонте приема первыми приходят импульсы, прошедшие в приповерхностном звуковом канале по кратчайшему расстоянию и под малыми, близкими к нулю, углами. Предложена методика расчета средней скорости звука на трассе по данным спутникового мониторинга поверхностной температуры, позволяющая рассчитывать на успешное применение полученных результатов в задачах акустической дальнометрии и навигации.

**Ключевые слова:** распространение звука, подводная дальнометрия, синоптические вихри

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО  
ЯПОНСКОГО МОРЯ**

**Горовой С.В.**

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток  
Тел. 89147212186; E-mail: GorovoySV@mail.ru*

В качестве модели гидроакустической помехи в виде шумов моря и судоходства на относительно коротких интервалах времени могут быть использованы авторегрессионные (АР), скользящего среднего (СС) и смешанные (АРСС) модели случайных процессов, параметры которых зависят от времени. Такие модели могут быть построены по оценкам корреляционных функций. Порядок модели зависит от требуемой точности, диапазона частот и длительности ожидаемых сигналов. В докладе описаны результаты оценивания временной изменчивости одномерных плотностей распределения и корреляционных функций 30-минутной записи гидроакустического шума, наблюдаемого в мелководной зоне вблизи акватории порта Владивосток, которую можно считать типичной при отсутствии на удаленностях до 2-х миль движущихся или стоящих на якоре судов. Прием производился на одиночный ненаправленный гидрофон в полосе частот от 0,1 с до 10 с. Оценка плотностей распределения производилась с помощью гистограмм. Проверка непротиворечия гауссовскому закону полученных оценок плотностей распределения не дала устойчивых положительных результатов. По полученным оценкам корреляционных функций рассчитаны текущие параметры АР, СС и АРСС моделей фрагментов гидроакустического шума для последовательных интервалов времени длительностью до 1 с. Приведены графики зависимостей этих параметров от времени.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ МЕЛКОГО МОРЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПАССИВНОЙ ТОМОГРАФИИ**

**Гринюк А.В.<sup>2)</sup>, Кравченко В.Н.<sup>2)</sup>, Муханов П.Ю.<sup>1)</sup>, Сабиров И.Р.<sup>1)</sup>, Сергеев С.Н.<sup>1)</sup>, Шуруп А.С.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики; Москва

<sup>2)</sup> АО «НИИ «Атолл»; Дубна

Тел.: (495) 9393081; Факс: (495) 9328820; E-mail: shurup@physics.msu.ru

В работе рассматриваются результаты корреляционной обработки низкочастотных шумов, зарегистрированных в Баренцевом море разнесенными в пространстве на известные, фиксированные расстояния донными гидрофонами. Демонстрируется, что в спектрограмме взаимной функции корреляции шумов наблюдаются максимумы, локализованные как по частоте, так и по временной задержке. Для

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Объяснения наблюдаемых особенностей спектрально-корреляционных характеристик шумов проводится численное моделирование процесса распространения низкочастотного звука в мелком море в рамках простейшей модели Пекериса. Сопоставление экспериментальных данных с результатами численного моделирования указывает на то, что локализованные максимумы, наблюдаемые в спектрограмме взаимной функции корреляции шумов, могут соответствовать волнам Эйри, распространяющимся на частотах, соответствующих минимумам групповых скоростей мод разных номеров. Полученные результаты могут быть положены в основу пассивных методов мониторинга характеристик мелкого моря по данным с одиночных гидрофонов, расположенных на сравнительно небольших расстояниях, когда влияния межмодовой дисперсии оказывается недостаточно для разделения сигналов отдельных мод в точках приема.

### **АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ СЛАБОГО АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ГЛУБОКОМ МОРЕ НА БАЗЕ ВЕКТОРНО-ФАЗОВОГО ДЕТЕКТОРА**

**Иванов И.А.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Центр акустических подводных исследований Морского государственного университета им. адм.  
Г.И.Невельского, Владивосток.  
Тел.: 914 6957946; E-mail: E-mail: vzigor@mail.ru*

Проведены спектральные и фазовые исследования поля вектора интенсивности (вектора плотности потока энергии) реверберации в глубоком открытом океане. Предложен быстрый алгоритм пеленга, использующий «электрический» поворот координат, преобразование Гильберта, элементы теории аналитических сигналов и свойство фазовой устойчивости сигнала к помехам. За основу был взят эксперимент, полученный в глубоком море с судна «Академик Лаврентьев». Методами статобработки производилось детектирование сигнала из реверберационного поля. Источник был удален от приемника на 3 км и имел частоту 617 Гц.

### **О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ПРИХОДА ЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ**

**Макаров Д.В.<sup>1)</sup>, Коньков Л.Е.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток;  
Тел.: +7(423)2313081; E-mail: makarov@poi.dvo.ru*

Рассматривается алгоритм расчета угловой структуры акустических импульсов в подводном звуковом канале. В основе алгоритма лежит преобразование Хусими, позволяющее приблизительно установить связь между волновым полем и соответствующими лучевыми приходами. Важным преимуществом алгоритма является возможность его реализации с помощью вертикальной антенны, перекрывающей малую часть толщи океана. Вводятся понятия фундаментальной и алгоритмической погрешностей измерения углового спектра. Первая соответствует фундаментальным ограничениям, устанавливаемым соотношением неопределенностей. Вторая связана со способностью антенны обеспечить точное вычисление функции Хусими. Найдены параметры антенны, соответствующие максимальной простоте технической реализации при допустимом уровне алгоритмической погрешности.

### **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПЬЕЗОКОМПЗИТА СВЯЗНОСТИ 1-3-0 ДЛЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ**

**Шахворостов Д.Ю., Горинов И.А., Щёголева Т.В.**

*АО «НИИ Эла», г. Москва, г. Зеленоград  
Тел.: (499 710-00-31); Факс: (499 710-13-02), (903 717-94-37); E-mail: shogolevatv@mail.ru*

Рассматриваются принципы создания пьезокомпозита связности 1-3-0 на основе пьезокерамики типа ЦТС с повышенной пористостью, особенности конструирования устройств на основе пьезокомпозита 1-3-0. Показано преимущество использования пьезокомпозита связности 1-3-0 по сравнению с пьезокомпозитом 1-3 и монолитной пьезокерамикой.

Полимерно-пьезокерамические композиты позволяют получить, по сравнению с пьезокерамикой, в гидроакустических антенных решётках, преимущества, которые состоят в относительно хорошем акустическом согласовании между устройством и средой при высоких значениях чувствительности к принимаемому сигналу. Существуют различные конфигурации пьезокомпозитов 1-3: из столбиков квадратного сечения, из цилиндров и др. В данной работе реализован конструктив, представляющий собой

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

пьезокерамические стержни из материала ЦТС, которые в свою очередь являются композитом 3-0, и заливочного материала на основе эпоксидной смолы.

Рассмотрены три варианта пьезокомпозита: пьезокерамические столбики квадратного сечения и заливочный материал на основе эпоксидной смолы (композит 1-3); пористые пьезокерамические столбики квадратного сечения и заливочный материал на основе эпоксидной смолы (композит 1-3-0); пористые пьезокерамические столбики квадратного сечения и заливочный материал на основе эпоксидной смолы с наполнителем (композит 1-3-0).

Экспериментально показано, что переход от пьезокомпозита 1-3 из высокотвёрдой низкопористой керамики ЦТС к пьезокерамическим столбикам на основе материала с высоким содержанием пор позволяет получать значительно лучшие значения чувствительности по напряжению  $\gamma_U$  (чувствительность к звуку в пьезокерамике) по сравнению с обычной керамикой, как показано в таблице. Кроме того, использование пьезокомпозита 1-3-0 снижает массу изделия на 30÷40%.

Таблица.

Наименование параметра	Пьезокомпозит 1-3	Пьезокомпозит 1-3-0
Чувствительность по напряжению, $\gamma_U$ , мкВ/Па	170	250
Масса, г	72	44

**Ключевые слова:** пьезокомпозит, пьезокерамический материал, антенная решётка, чувствительность по напряжению

### ПРОТОКОЛ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТИ АВТОНОМНЫХ ДОННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Кочетов О.Ю.<sup>1)</sup>, Петников В.Г.<sup>2)</sup>, Шатравин А.В.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ИО РАН, Москва, <sup>2)</sup> ИОФ РАН, Москва;  
Тел.: 916 1294044; Факс: 499 1245983; E-mail: ok@noiselab.ru

Рассмотрены особенности применения протоколов динамической маршрутизации для построения самоорганизующейся сети автономных донных гидроакустических станций с использованием звукоподводной связи. Дан обзор известных протоколов динамической маршрутизации для мобильных радиосетей, показаны преимущества и недостатки проактивного и реактивного подходов. Описаны модификации реактивного протокола динамической маршрутизации AODV учитывающие особенности использования звукоподводной связи.

Представлены результаты моделирования передачи информации сигналами звукоподводной связи с учетом характерной для арктических условий модельной передаточной функции волновода и в присутствии естественных акустических шумов. Рассмотрена зависимость относительного количества принятых ошибочных битов (BER, Bit Error Ratio) от расстояния между источником сигнала и приёмником при использовании различных способов модуляции и кодирования данных. Приведён пример расчёта пропускной способности сети автономных гидроакустических станций, применяющих для передачи данных протокол динамической маршрутизации.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №16-29-02036).

### К ВЫЧИСЛЕНИЮ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ В МОДЕЛЯХ МОРСКОЙ СРЕДЫ, ВКЛЮЧАЮЩИХ АТМОСФЕРУ, ВОДНУЮ ТОЛЩУ И ДНО

Авилов К.В.<sup>1)</sup>, Куличков С.Н.<sup>2)</sup>, Попов О.Е.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ИМАШ РАН, ИФА РАН, Москва;  
<sup>2)</sup> ИФА РАН, Москва.  
Тел.: (9162601944); E-mail: olegp@mail.ru

В докладе представлен комплекс программных средств для вычисления широкополосных передаточных функций морской среды в моделях, включающих атмосферу, водную толщу и дно с учетом зависимости свойств среды как от вертикальной, так и от горизонтальных координат волновым методом псевдодифференциального параболического уравнения в приближении однонаправленного распространения без учета наличия сдвиговых волн в дне. Приведены теоретические основы вычислительного алгоритма и примеры расчетов, как верифицирующие правильность функционирования комплекса, так и представляющие прикладной интерес

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА  
В КЛИНОВИДНОМ ВОЛНОВОДЕ**

**Вьюгин П.Н.<sup>1)</sup>, Диденкулов И.Н.<sup>2)</sup>, Курин В.В.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород; <sup>2)</sup>ИПФ РАН, Нижний Новгород;  
Тел.: (831 4164781); Факс: (831 4365976); E-mail: (din@appl.sci-nnov.ru)*

Изучению распространения звука в неоднородных по глубине волноводах посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ. Однако физическое моделирование в лаборатории позволяет провести измерения в контролируемых условиях, что зачастую невозможно в натурном эксперименте. Целью данной работы было исследование трансформации мод в процессе распространения в клиновидном волноводе методами прямого и отраженного поля. Для разрешения отдельных мод использовался импульсный режим и вертикальное сканирование приемным шупом-гидрофоном водного слоя. Разрешение мод осуществляется по времени прихода на приёмник модовых импульсов. Измерения проводились на частоте 150 кГц в акустической ванне с наклонным дном, длина трассы составляла 320 см, глубина в начальной точке – 35 мм. Методами прямого и отраженного поля получены согласующиеся данные о трансформации поля в клине по мере распространения из глубоководной части в мелководную.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫИГРЫША АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ В ВОЛНОВОДЕ В УСЛОВИЯХ  
ПРИЕМА МНОГОМОДОВОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ МОДОВЫХ ПОМЕХ**

**Лабутина М.С.<sup>1)</sup>, Малеханов А.И.<sup>2)</sup>, Смирнов А.В.<sup>2)</sup>**

*<sup>1)</sup>ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 603950, пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород;  
<sup>2)</sup>ИПФ РАН, 603950, ул. Ульянова, 46, Нижний Новгород.  
Тел.: (831) 416-47-42; E-mail: lexsmial@mail.ru, labutya@mail.ru*

В работе представлены два метода квазиоптимального приема сигнальных мод короткой вертикальной дискретной антенной решеткой, размещенной в случайно-неоднородном многомодовом волноводе. Полезный сигнал на входе антенны формируется конечным набором частично коррелированных между собой мод дискретного спектра и принимается на фоне шумов океана.

Как было показано раньше, критическим фактором определения коэффициента усиления антенны (помимо распределения спектров интенсивности мод на входе антенны полезного сигнала и шума) является взаимная ортогональность мод волновода на входе антенной решетки. При известном (ожидаемом) модовом спектре сигнала и шума это указывает на возможность: (1) специального выбора положения элементов при последовательной настройки антенны на распространяющиеся моды волновода, или (2) подбора амплитудно-фазового распределения при фиксированном положении элементов антенны в канале. Проведенное численное моделирование по нахождению максимально возможного коэффициента усиления на примере изоскоростного канала в случае изотропного шума океана, полезного сигнала с равномерным спектром интенсивности мод и отсутствием межмодовых корреляций, показало (1) оптимальное размещение фиксированного числа элементов антенны и (2) определило весовое распределение на эквидистантной антенной решетке в заданном интервале глубин. Представлены сравнения полученных коэффициентов усиления при использовании предложенных методов с оптимальным случаем полной ортогонализации мод, когда вертикальная антенная решетка, настроенная на моды волновода, перекрывает его полностью.

**Секция АСА – Архитектурная и строительная акустика**

Канев Николай Георгиевич, руководитель  
АО «Акустический институт им.акад.Н.Н. Андреева»  
117036, Москва, ул. Шверника, д.4; E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

**07.06.2017 - с 14.00 до 16.00**

**ГРОМКость РЕЧИ - ПАРАМЕТР ДЛЯ ОЦЕНКИ АКУСТИКИ УЧЕБНЫХ АУДИТОРИЙ**

**Жукова В.О.<sup>1)</sup>, Канев Н.Г.<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва;  
E-mail: jukover@mail.ru

<sup>2)</sup>АО «Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева», Москва; E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты измерения акустических параметров учебных аудиторий МГТУ им. Баумана средней вместимости, предназначенных для проведения лекций и семинаров. Для характеристики акустики аудиторий выбраны следующие параметры: время реверберации, индекс передачи речи STI, пространственное распределение уровня звука речи. На основании полученных результатов сделаны выводы об акустическом качестве обследованных аудиторий.

Особое внимание в работе уделяется уровню звука речи лектора – одному из основных акустических параметров для аудиторий с естественной акустикой, т.е. без использования системы звукоусиления. Предлагается простой метод оценки в натуральных условиях изменения уровня звука речи с удалением от источника. Непосредственно измеряемыми параметрами являются снижения уровня звука или снижения уровней звукового давления в октавных полосах частот в различных точках аудитории относительно значений этих параметров на расстоянии 1 м перед источником звука. Точки измерения располагаются на прямой линии, шаг между точками измерения – 1 м. По результатам измерения находится зависимость уровня звука речи от расстояния до источника – кривая пространственного затухания, что позволяет оценить достаточность громкости речи на различных местах слушателей. Уровень звука речи сопоставляется с уровнем фонового шума, при этом используются несколько качественных критериев для соотношения сигнал/шум SNR: SNR > 15 дБ (хорошо), SNR > 10 дБ (допустимо), SNR > 5 дБ (приемлемо). Поэтому для громкости речи лектора может быть дана дифференциальная оценка для всех мест, и выполнено разделение аудитории на зоны различного акустического комфорта. Данный анализ проведен для девяти аудиторий, при этом кривые пространственного затухания в них значительно отличаются. Кроме этого, шумовое воздействие в исследованных аудиториях может существенно изменяться: в отсутствие системы принудительной вентиляции и кондиционирования воздуха занятия могут проводиться как с закрытыми, так и с открытыми окнами.

Таким образом, продемонстрирована возможность применения предлагаемого параметра – пространственного затухания громкости речи - для характеристики акустического качества аудиторий в зависимости от уровня шума в ней. Проанализирована связь данного параметра с другими акустическими параметрами аудиторий, а также с размерами и внутренней отделкой аудиторий.

**Ключевые слова:** учебная аудитория, громкость речи, время реверберации, речевая разборчивость

**ИСПЫТАНИЕ И РАСЧЕТ ПОДВЕСНЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ**

**Андрющенко А.К.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург  
Тел.: 8 (921) 893-18-76; E-mail: Ivasishinaa@gmail.com

Снижение отраженного шума в производственных помещениях достигается за счет применения звукопоглощающих конструкций. Их эффективность в большей степени зависит от используемого звукопоглощающего материала и используемой эквивалентной площади звукопоглощения. В данной работе были проведены расчеты эффективности снижения уровней шума звукопоглощающими панелями. Полученные результаты были проверены в натуральных условиях на испытательном стенде с применением всенаправленного источника шума. Было измерено время реверберации помещения ангарного типа без введенного звукопоглощения и с установленными в нем звукопоглощающими панелями. На основании полученных результатов измерений была определена эффективность панелей в реальных условиях.

**Ключевые слова:** звукопоглощающий материал, звукопоглощающие конструкции, отраженный шум, время реверберации

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **К ВОПРОСУ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ АКУСТИКИ СВЯЗАННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

**Щиржецкий Х. А., Алешкин В. М., Субботкин А. О., Сухов В. Н.**

*Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и  
строительных наук, Москва;  
Тел.: +79168527922; e-mail: wsjk@mail.ru, svn36@mail.ru*

В работе, на основании комплекса натуральных измерений, показана практическая применимость предложенного метода расчета реверберации связанных помещений. Отмечена особая полезность метода при акустическом проектировании зальных помещений с трансформируемой перегородкой между ними. В качестве подтверждения приводятся результаты экспериментальной проверки предложенных оценок на основе проведенных авторами натуральных акустических измерений в ряде помещений.

Ключевые слова: акустика, реверберация, связанные помещения, акустические измерения

### **АКУСТИКА НОВОГО РЕПЕТИЦИОННОГО ЗАЛА СВЕРДЛОВСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ФИЛАРМОНИИ**

**Шевцов С.Е.<sup>1)2)</sup>, Шумаков С.Н.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> ООО "Лаборатория архитектурной акустики", г. Екатеринбург;*

*<sup>2)</sup> Уральская Государственная консерватория им. М.П.Мусоргского, г. Екатеринбург;  
Тел. +79251244502; E-mail: s\_shevtsov@mail.ru*

Представлен ход акустического проектирования и результаты обследования звукового поля нового репетиционного зала Свердловской областной филармонии в г. Екатеринбурге. Зал предназначен для репетиций симфонического оркестра и хора. В процессе работы была создана трехмерная модель, в которую по ходу подготовки к строительству вносились изменения. Первоначально, зал предназначался только для хоровых репетиций. В построенном помещении были проведены несколько экспериментов, в ходе которых были получены акустические параметры, входящие в международный стандарт ISO - 3382. Приводится анализ субъективных экспертиз в виде опроса музыкантов. Представлены данные некоторых других репетиционных залов, полученные в ходе исследований авторами, и заимствованные в литературе. Затрагивается проблема отсутствия стандартов и рекомендаций в вопросе акустики подобных залов.

Ключевые слова: акустика репетиционных залов, субъективная экспертиз

### **АКУСТИКА КОНЦЕРТНЫХ ЗАЛОВ РОССИИ. ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ**

**Канев Н.Г.**

*АО «Акустический институт им. Академика Н.Н.Андреева, Москва;  
ООО «Акустические материалы», Москва.  
E-mail: nikolay.kanev@mail.ru*

Приведен обзор акустики концертных залов, строительство или реконструкция которых завершились в течение последних нескольких лет. Несмотря на большое количество таких залов в России, сведения об их акустических свойствах, особенно об объективных акустических параметрах, не всегда доступны – акустические измерения в новых залах или не проводятся, или их результаты не публикуются. Однако для некоторых залов такая информация известна, что позволяет проанализировать тенденции, связанные с предпочтениями зрителей, музыкантов, звукорежиссеров и обобщить опыт проектирования и реализации акустических решений. В настоящей работе рассмотрены основные акустические характеристики 17 концертных залов, которые разделены на три группы. К первой группе относятся залы, предназначенные для использования без звукоусиления, т.е. в условиях естественной акустики. Чаще все в таких залах проводятся концерты симфонической и камерной музыки, поэтому они названы классическими. Для хорошей акустики классических залов крайне важны форма помещения и достаточно высокая реверберация. Вторая группа залов – электроакустические, в них все мероприятия проводятся со звукоусилением. Форма таких залов может быть достаточно произвольной, но при этом они должны быть достаточно сильно заглушены. Нередко в залах необходимо обеспечить условия для проведения концертов как в условиях естественной акустики, так со звукоусилением, поэтому такие залы названы бифункциональными и выделены в отдельную группу. Их акустическое решение является компромиссом между требованиями для классических и электроакустических залов, которые в части оптимального времени реверберации являются противоречивыми. В работе проанализированы результаты акустических

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

измерений в нескольких залах после завершения строительства или реконструкции, и выявлены оптимальные характеристики для каждой группы залов. Наряду со времени реверберации предлагается контролировать параметр BR (Bass Ratio) – отношение низкочастотной реверберации к среднечастотной. Кроме этого, объем классических и бифункциональных залов должен быть ограничен. Проведено сопоставление с рекомендациями отечественных нормативных документов в области архитектурной акустики.

**Ключевые слова:** акустика концертных залов, время реверберации, BR

### **ПРОХОЖДЕНИЕ ЗВУКА ЧЕРЕЗ ОДНОСЛОЙНЫЕ И МНОГОСЛОЙНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ**

**Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Гребнев П.А., Щёголев Д.Л., Монич Д.В.**

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)  
Тел.: (831) 430-19-46; факс: (831) 430-19-36; эл. почта: dmitriy.monich@mail.ru*

В современном городе человек постоянно подвергается воздействию повышенного уровня шума. Обеспечение акустического комфорта в среде обитания человека является актуальной задачей при проектировании и эксплуатации жилых, общественных и промышленных зданий.

Основным методом в решении данной задачи является применение эффективных звукоизолирующих ограждений зданий и сооружений. С учетом требований ресурсосбережения повышение звукоизоляции должно осуществляться без значительного увеличения массы и толщины ограждающих конструкций.

В статье рассмотрены основные положения теории самосогласования волновых полей, позволяющей исследовать механизм прохождения звука через однослойные и многослойные ограждающие конструкции с учетом двойственной природы (резонансное и инерционное прохождение звука). Приведены аналитические выражения для определения предельной звукоизоляции ограждения, которая не может быть превышена при заданной массе и геометрических размерах. Исследованы резервы повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций, применяемых в строительстве. Проведено сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции ограждений.

**Ключевые слова:** прохождение звука, звукоизоляция, ограждающие конструкции зданий

### **ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ТРЁХСЛОЙНЫХ ТОНКИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ КАРКАСОМ**

**Лившиц А.Я.**

*ООО «Акустик Групп», Москва  
Тел.: 8 903 9693940; Факс: 8 495 7851080; E-mail: anatoly.livshits@acoustic.ru*

В последнее время в России широко распространился метод каркасного домостроения, когда многоэтажные жилые здания имеют несущий железобетонный каркас, а перекрытиями служат тонкие монолитные железобетонные плиты. Для наружных стен используются теплоизоляционные блоки из пористого бетона. Набор материалов для внутренних стен, разграничивающих жилые комнаты и квартиры друг от друга, ограничен несущей способностью перекрытий. В то же время для обеспечения нормативной звукоизоляции однослойных конструкций стен необходимо применять материалы с поверхностной плотностью не ниже 300...350 кг/м<sup>2</sup>. Применение лёгких каркасных конструкций с лицевыми сторонами из листов на основе гипса ограничено менталитетом российского обывателя. Кроме того, лёгкие каркасные конструкции не обеспечивают звукоизоляции в низкочастотном диапазоне и являются малоприменимыми для крепления на них тяжёлых предметов. По этой причине межквартирные стены и перегородки в каркасных домах часто выполняют из лёгких блоков, пористого бетона или из пазогребневых гипсовых блоков. При толщине таких конструкции до 200 мм они существенно не обеспечивают требуемой звукоизоляции. Для решения этой проблемы разработаны трёхслойные конструкции внутренних не несущих стен, состоящие из наружных слоёв, сложенных из Ш или ТТ образных бетонных блоков, повернутых рёбрами жёсткости друг к другу. Внутренний слой выполнен из звукопоглощающего материала – минераловатные маты, керамзитовый песок. При общей толщине таких конструкций в 160...200 мм удалось получить звукоизоляцию в 52...53 дБ. В статье приведены результаты исследования влияния на звукоизоляцию таких трёхслойных стен плотности бетона, материала внутреннего слоя и других факторов.

**Ключевые слова:** звукоизоляция, трёхслойные конструкции, бетон

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (АСА) 07.06.2017 с 16.20 до 18.00

АКУСТИКА КОНЦЕРТНЫХ ПЛОЩАДОК БОЛЬШОГО ОБЪЕМА НА ПРИМЕРЕ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗАЛА «ТЕСЛА 4000» В МОСКВЕ

Алешкин В.М.<sup>1)</sup>, Морозова К.Г.<sup>2)</sup>, Субботкин А.О.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> НИИСФ РААСН, г.Москва; <sup>2)</sup>ООО «Техносонус», г.Москва; <sup>3)</sup>МТУСИ, г. Москва  
Тел.: +79161737683; e-mail: k.morozova@tn-ss.ru

Статья посвящена результатам анализа акустических характеристик концертного зала, проведенного в рамках реконструкции многофункционального концертной площадки «Tesla4000» в г. Москва в бывшем помещении лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института кабельной промышленности. Данное помещение представляет интерес в связи со значительными размерами (общий воздушный объем зала составляет более 120 000 м<sup>3</sup>). В зале планируется проводить мероприятия с использованием звукоусиления, требующие высокого качества музыкального и речевого звучания. Предполагаемое количество зрителей – до 5000 человек.

В рамках работы были проведены предварительные акустические измерения, разработаны рекомендации по внутренней отделке зала для достижения требуемых акустических показателей, а также контрольные измерения после завершения строительных работ\*.

Исследование акустики зала было проведено на компьютерной модели в программном комплексе AFMG EASE с помощью модуля AURA, дающего возможность аурализации – моделирования звукового поля в помещении. В качестве источника звука при расчётах принимался ненаправленный сферический источник звука. По результатам моделирования были получены импульсные отклики помещения и ряд акустических параметров. Перед расчетами произведена калибровка модели на основе результатов натурных измерений.

Для получения сведений о звукопоглощающих свойствах используемых материалов дополнительно было проведено программное моделирование многослойных конструкций, а также измерения коэффициента звукопоглощения в импедансной трубе.

По итогам работы рассчитан комплекс объективных критериев акустического качества зала (время реверберации RT, индекс разборчивости речи STI, музыкальная ясность C80 и др.) в зонах прослушивания и проведён их анализ. Результаты показывают, что при предложенном акустическом оформлении зала достигаются требуемые показатели, а данные натурных измерений, сделанных до и после реконструкции, хорошо согласуются с результатами, полученными при компьютерном моделировании. Кроме того, сделаны некоторые выводы относительно практической применимости принципов статистической теории акустики помещений (формул Сэбина-Эйринга) для больших объемов с учетом неравномерности акустической отделки.

\* Результаты контрольных измерений пока не получены на момент отправки данной аннотации, ожидаются в течение 1-2 месяцев. Выводы по результатам сравнения показателей будут приведены в итоговом тексте статьи.

**Ключевые слова:** акустика залов, время реверберации, аурализация, акустические измерения

**Секция АР – Акустика речи, акустические проблемы лингвистики**

Ляксо Елена Евгеньевна, руководитель  
*Санкт-Петербургский государственный университет*  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9; E-mail: [lyakso@gmail.com](mailto:lyakso@gmail.com)

**07.06.2017 - с 11.20 до 13.00**

**МЕЖЪЯЗЫКОВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ НА УРОВНЕ ПРОСОДИИ**

**Крейчи С.А., Кедрова Г.Е., Байрамова Ф.О., Потемкин С.Б., Фролова О.Е.**

*МГУ им. М.В.Ломоносова, филологический факультет, Москва;*  
Тел.: 495- 468-6211; E-mail: [k46-7-47@yandex.ru](mailto:k46-7-47@yandex.ru)

База данных звучащей русской речи, разработанная в лаборатории фонетики и речевой коммуникации филологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, позволяет изучать межъязыковые интерференционные явления на всех уровнях фонетической организации высказывания. В нашей предыдущей работе база данных использовалась как инструмент изучения межъязыковой интерференции на сегментном уровне, однако материал, накопленный в базе данных позволяет использовать его для изучения межъязыковой интерференции и на суперсегментном уровне, в частности, на уровне просодии. В устной речи просодические параметры служат для тема-рематической организации и фразовой акцентуации высказываний. При этом правила просодической реализации для разных языков могут не совпадать. Это проявляется, в частности, в локализации семантического фокуса, зависящей от специфики грамматических правил конкретного языка, например, порядка слов, принятого в данном языке. В русском языке семантический фокус часто локализуется на вопросительном слове, тогда как в английском эквиваленте, например, он может находиться на любом слове, следующем за вопросительным. База данных звучащей русской речи позволяет изучать межъязыковую интерференцию на просодическом уровне при чтении и спонтанной речи, записанной иностранными студентами филологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, изучающими русский язык и являющимися носителями четырнадцати языков разного строя: американского, английского, немецкого, французского, итальянского, испанского, голландского, польского, чешского, финского, шведского, турецкого, китайского, корейского и японского языков. Интонационный анализ показал, что ИК-2, характерный для русского вопросительного высказывания, начинающегося с вопросительного слова повторен в общих чертах только носителями японского языка, вероятно, по причине большой разницы в вербальной реализации эквивалентного смысла, и невозможностью повлиять на русское произношение, а также, возможно, хорошей способностью усваивать материал, даваемый преподавателем. У носителей других языков часто встречается ИК-3, где кривая частоты основного тона (ЧОТ) к концу высказывания направлена вверх, что может коррелировать с эквивалентными высказываниями на родном языке.

**Ключевые слова:** межъязыковая интерференция, семантический фокус, спонтанная речь, интонационный контур, тема-рематическая организация высказывания

**СИСТЕМЫ РЕЧЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА»  
И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ «ТЕКСТ-РЕЧЬ»**

**Потапова Р.К.<sup>1)</sup>, Санников В.Г.<sup>2)</sup>, Потапов В.В.<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> ФГБОУ ВО МГЛУ, г. Москва; <sup>2)</sup> ФГБОУ ВО МТУСИ, г. Москва; <sup>3)</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
Тел.: 495 6375697; E-mail: [RKPotapova@yandex.ru](mailto:RKPotapova@yandex.ru)

Естественные языковые интерфейсы систем искусственного интеллекта, как правило, проектируются с ориентацией на обмен текстовыми (письменными, символьными) сообщениями. Однако такое взаимодействие между человеком и машиной зачастую оказывается неудобным и неэффективным. Речевой канал коммуникации предоставляет оптимальные возможности как по скорости, так и по комфортности взаимодействия, что имеет большое значение для эргономичности труда операторов автоматизированных систем.

Рост вовлеченности человека в автоматизированные производственно-экономические циклы привел к возникновению нового прикладного научного направления – речевых компьютерных технологий. В рамках данного направления ведется разработка систем, реализующих речевое человеко-машинное взаимодействие, а также систем распознавания речи, идентификации и верификации говорящего по речи, медицинской диагностики по речевым признакам, а также помехозащищенной передачи речевого сигнала.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Все перечисленные разработки основываются на фундаментальном изучении процессов речевого производства и речевосприятия, а также связи между речевой и мыслительной деятельностью человека.

Наряду с общими проблемами речевой коммуникации, затрагивающими аспект автоматического понимания речи (преобразования «текст-смысл» и «смысл-текст»), существуют специфические проблемы, связанные с реализацией преобразований «текст-речь» и «речь-текст» – синтеза и распознавания (анализа) речи. Если в естественных языковых интерфейсах, ориентированных на письменную речь, под «текстом» обычно понимается орфографическая запись речевых сообщений, то в системах речевой коммуникации текст чаще фигурирует в форме фонетической транскрипции. Поэтому при разработке систем речевого взаимодействия имеет смысл сконцентрироваться, в первую очередь, на преобразовании «речь-транскрипция» и «транскрипция-речь».

Чтобы получить представление о функциональных требованиях к системам речевого взаимодействия, рассмотрим ситуацию коммуникации двух или более пользователей, работающих с компьютерами и другими техническими устройствами. В этом случае система речевого взаимодействия является частью более общей интерактивной системы управления, функционирующей в данной проблемной области, и эта система является частью рабочей среды. Если допустить, что речь является единственным каналом коммуникации в этой системе, то вся проблемная область должна быть представлена в семантической памяти системы речевого взаимодействия.

Анализ перцептивных моделей и реализации синтеза речи показывает, что такие компоненты системы речевого взаимодействия, как подсистема понимания речи, общая семантическая память и подсистема синтеза речи, должны быть организованы с учётом иерархических уровней обработки информации.

Основная функция подсистемы понимания речи заключается в распознавании речевого сообщения и установлении его семантики. На основании результата этих процессов система речевого взаимодействия «даёт» ответ, который может представлять собой либо ответное речевое сообщение (реализуемое при помощи подсистемы синтеза речи), либо действие (некоторое адекватное неречевое поведение управляемого объекта). Подсистема понимания речи определяет значение поступившего речевого сообщения (речевой команды), опираясь на измеренные параметры речевого сигнала и загруженную в систему базу знаний.

Основная функция подсистемы синтеза речи заключается в генерировании речевых сообщений (ответов, вопросов, указаний) по их математическому описанию. Синтезированная речь является новым каналом передачи информации (функционирующим наряду с визуальными и традиционными звуковыми средствами оповещения), используемым в системах управления и оповещения, применяемых, например, в системах пожарной сигнализации и жизнеобеспечения.

В современных системах речевого взаимодействия подсистемы распознавания и синтеза речи обычно работают независимо друг от друга. Возможна даже ситуация, когда из двух этих подсистем реализована только одна – та, которая необходима для решения конкретной практической задачи.

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИХ ГОЛОСА И РЕЧИ: СИНДРОМ ДАУНА, РАССТРОЙСТВА АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА, УМСТВЕННАЯ ОТСТАЛОСТЬ**

**Ляко Е.Е.<sup>1)</sup>, Фролова О.В.<sup>1)</sup>, Григорьев А.С.<sup>1)</sup>, Николаев А.С.<sup>1)</sup>, Бедалова Ш.Г.<sup>1)</sup>,  
Городный В.А.<sup>1)</sup>, Михалева К.А.<sup>1)</sup>, Гречаный С.В.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, кафедра ВНД и психофизиологии, группа по изучению детской речи, Санкт-Петербург

<sup>2)</sup>Санкт-Петербургский государственный педиатрический университет, кафедра детской психиатрии, Санкт-Петербург

Голос является одним из ярких индикаторов состояния человека, начиная с первого крика младенца и до глубокой старости. Целью настоящего исследования является выявление специфических особенностей голоса и речи детей с расстройствами аутистического спектра (РАС), синдромом Дауна (СД), умственной отсталостью разной степени выраженности (УО) по сравнению с типично развивающимися детьми (ТР).

Созданы модельные ситуации взаимодействия ребенка с экспериментатором и осуществлена аудиозапись вокализаций и речи детей с параллельной регистрацией их поведения. Функциональное состояние ребенка определяли посредством регистрации частоты сердечных сокращений (ЧСС) и уровня сатурации кислородом капиллярной крови. Анализ речи детей включал перцептивный эксперимент, направленный на выявление взрослыми значения сказанного ребенком, описание лексикона ребенка, и спектрографический анализ временных и частотных характеристик. Определяли длительность высказываний, слов, ударных и безударных гласных и их стационарных участков; значения частоты основного тона (ЧОТ) и диапазона ЧОТ высказываний и гласных, значения ЧОТ, формантных частот и их интенсивности на стационарных участках гласных. Получены данные о нормативных параметрах речи детей: сложности реплик в диалоге,

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

лексиконе, перцептивных и акустических характеристиках. Выявлены особенности речи, вокализаций и характеристик голоса детей с синдромом Дауна, РАС, УО

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛОСОВОГО ИСТОЧНИКА ПО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ**

**Собакин А. Н.**

*МГЛУ, Москва*

*Тел.: (903 5805362); E-mail: ansobakin@yandex.ru*

Рассматривается импульсное преобразование речевого сигнала (ИПР) и его модификации.

ИПР на озвученных участках речи обладает следующими свойствами:

- на интервалах смыкания голосовых связок речевой сигнал полностью компенсируется и становится близким к нулю;
- на интервалах размыкания речевые колебания преобразуются в положительный импульс;
- форма получающегося импульса отражает форму импульса основного тона;
- параметры речевого тракта при этом не оцениваются и в вычислительном процессе не используются.

Приведены результаты исследования формы полученных импульсов для изолированных гласных и слитной речи мужских и женских голосов.

**Ключевые слова:** голосовой источник речи, речевой сигнал, импульс основного тона, основной тон

### **АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНОК ФАЗОВОГО ИНВАРИАНТА, ФАЗОВОГО КВАЗИИНВАРИАНТА И БИФАЗЫ**

**Борисенко С.Ю., Воробьев В.И., Давыдов А.Г.**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск*

*Тел.: +375 (29) 881-35-85; E-mail: siarhei.barysenka@gmail.com*

При решении некоторых задач анализа речи оказывается целесообразной оценка фазовых межкомпонентных связей между квазигармоническими составляющими вокализованных звуков. В докладе приведены результаты сравнения способов оценки фазового инварианта, фазового квазиинварианта и бифазы. Рассмотрены алгоритмы оценки фазовых соотношений между колебаниями основного тона и обертонами речевых сигналов. Предлагаются рекомендации по применению этих алгоритмов в речевых технологиях.

**Ключевые слова:** фазовый инвариант, фазовый квазиинвариант, бифаза, речь

### **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СЖАТИЯ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА**

**Бобров Н.В.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> ФГБОУ ВО МГЛУ, г. Москва*

*Тел.: 495 63756974 E-mail: arctangent@yandex.ru*

Известно, что оцифрованный речевой сигнал обладает относительно малой сжимаемостью. Компрессия речевого сигнала без потерь методами энтропийного сжатия даёт уменьшение объёма результирующего сообщения по отношению к исходному приблизительно в полтора раза. Применение дельта-компрессии (и близких к ней по сути методов, основанные на идеях А.Хаара и И.Добеши) позволяет улучшить этот показатель ещё в полтора раза. Методы сжатия речевого сигнала с потерями, дающие коэффициенты сжатия, лучшие на порядок, используют психоакустические закономерности: из сигнала удаляются компоненты, оказывающие наименьшее влияние на слуховое восприятие сигнала, например участки спектра, находящиеся «в тени» больших пиков. Необходимо заметить, что все перечисленные идеи так или иначе основаны на существовании некоторых априорных знаний о речевом сигнале как источнике данных (например, о том, что ординаты соседних точек осциллограммы звукового давления речевого сигнала часто различаются на небольшую величину, или о том, что мгновенный спектр речевого сигнала, как правило, содержит небольшое число доминирующих пиков, определяющих воспринимаемое качество звука). Следуя этой же логике, можно предположить, что использование априорных знаний о том, что речевой сигнал является контейнером, заключающим в себе лингвистическую информацию, также может дать существенный выигрыш в степени его сжатия как с потерями, так и без потерь информации за счёт включения в модель источника данных сведений о закономерностях, описывающих его лингвистическую

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

составляющую (в частности, об универсальных или специфичных для отдельных языков законах распределения единиц различных языковых уровней). О том, к каким результатам может привести проверка данного предположения, и пойдет речь в предлагаемом докладе.

### **СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (АР) 07.06.2017 с 16.20 до 18.00**

#### **АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАСНЫХ ИЗ СЛОВ ДЕТЕЙ 14-16 ЛЕТ**

**Григорьев А.С.<sup>1)</sup>, Ляксо Е.Е.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, кафедра ВНД и психофизиологии, группа по изучению детской речи, Санкт-Петербург  
Тел.: +7(911)1353781, Факс: (8123289754)4 E-mail: a.s.grigoriev89@gmail.com*

Акустические параметры детской речи отражают процессы созревания структур речевого тракта, половые различия, специфичные для возраста, становление моторного контроля речи. Основной принцип, касающийся анатомических изменений и их акустических коррелятов, заключается в том, что длина вокального тракта отражает величину формантных частот. Однако фактическая картина изменения формантных частот в зависимости от возраста не линейная. Данные об акустических характеристиках речи в подростковом возрасте противоречивы, на материале русского языка – отсутствуют.

В работе впервые на материале русского языка описаны акустические (спектральные и временные) характеристики ударных и безударных гласных из слов, вырезанных из спонтанной речи детей в возрасте 14-16 лет. Проведен перцептивный анализ речи детей, направленный на распознавание значения слов подростками взрослыми. Для слов, распознанных с разной вероятностью (0,75-1,0 и 0-0,25) описаны значения и длительности ударных и безударных гласных, длительности их стационарных участков, величины частоты основного тона (F0), определены значения формантных частот (F1, F2). Построены формантные треугольники координатных гласных для русского языка (а, у, и) и определены их площади. В работе обсуждается связь между физиологическими параметрами говорящего (ростом, весом) и акустической картиной гласных.

#### **ВОСПРИЯТИЕ ВЗРОСЛЫМИ РЕЧИ ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА**

**Николаев А.С.<sup>1)</sup>, Ляксо Е.Е.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург  
Тел.: (8123213361); Факс: (8123289754); E-mail: al\_nikolajew@gmail.com*

В зависимости от тяжести расстройства аутистического спектра (РАС) нарушения речи могут проявляться на разных уровнях её организации (артикуляционном, грамматическом, прагматическом). Артикуляционный уровень организации речи является базовым, так как он определяет степень разборчивости речи. Для пациентов с РАС характерна эхолалия, специфическая просодика и наличие собственного «языка».

Цель работы: изучение способности распознавания на основе слухового восприятия взрослыми фраз и отдельных слов детей с РАС. Объект исследования – 10 детей в возрасте 5-10 лет с РАС разной степени тяжести, посещающих специализированный детский сад. Дети различались по уровню речевого развития. Осуществлена запись речи детей. Использованы методы перцептивного эксперимента и акустического спектрографического анализа речи детей. Для перцептивного эксперимента для каждого из детей создана тестовая последовательность, содержащая по 30 слов, взятых из записей речи.

В перцептивном эксперименте приняли участие 54 взрослых носителя русского языка (аудиторов) перед которыми стояла задача определить значение каждого слова, пол, возраст, состояние (комфортное, дискомфортное, нейтральное) ребенка и эмоциональность его речи. Определены слова с высокой (0,75 – 1,0) и низкой (0,25 – 0) вероятностью распознавания, типы ошибок, допущенных аудиторами при распознавании. Проанализирована вероятность распознавания слов детей в зависимости от пола аудитора и его опыта общения с детьми. Значимых различий в распознавании слов детей между мужчинами и женщинами обнаружено не было, поэтому данные представлены вместе. Акустический спектрографический анализ заключался в определении длительности гласных и слов, частоты основного тона (ЧОТ) гласных и слов, распознанных с высокой и низкой вероятностью; определении ЧОТ, частоты и интенсивности первых трёх формант (F1, F2, F3) ударных и безударных гласных каждого слова.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Обсуждается связь между вероятностью распознавания и акустическими характеристиками слов и степенью тяжести РАС ребенка.

### **ВОКАЛИЗАЦИИ ДЕТЕЙ С СИНДРОМОМ ДАУНА В ДОВЕРБАЛЬНЫЙ ПЕРИОД**

**Столярова Э.И., Охарева Н.Г.**

*Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург  
Тел: +7 9219771073; E-mail: [evirast74@gmail.com](mailto:evirast74@gmail.com)*

В докладе приводятся предварительные результаты исследования звукового репертуара детей с синдромом Дауна в возрасте до 3-х лет, проходивших цикл реабилитационных занятий на базе отделения раннего вмешательства Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения социального обслуживания населения «Центра социальной реабилитации инвалидов и детей инвалидов Калининского района Санкт-Петербурга». Проведение данной работы инициировано задачей возможно ранней социальной адаптации детей с особенностями развития, что предполагает изучение и развитие довербальных коммуникативных навыков, поскольку они являются предпосылкой овладения языком в дальнейшем.

Под наблюдением находились 47 детей, из них 18 детей входили в группу лонгитюдного наблюдения. Среди детей исследуемой группы отмечалось наличие различного рода соматических и психомоторных патологий, специфические особенности строения артикуляционных органов, мышечная гипотония. Систематическая оценка уровня развития детей по шкалам KID-R и RCDI-2000, «Матрица», свидетельствовала об отставании уровня развития детей от их биологического возраста. К трехлетнему возрасту практически у всех детей отсутствовали навыки самостоятельно используемой вербальной речи.

Задачей проводимой работы с одной стороны было описание вокализаций как класса звуковых сигналов определенной категории детей, с другой – оценка использования детьми вокализаций в ходе коммуникативного взаимодействия. В процессе выполнения работы проводились видео и аудиозаписи групповых и индивидуальных занятий с детьми с последующим выделением детских вокализаций. В результате анализа определены индивидуальные особенности звукового поведения детей и характерные типы вокализаций в различных коммуникативных ситуациях (игра, диалог, имитация речи взрослого и т.д.). Полученные данные используются при оценке индивидуальных когнитивных и вокальных способностей ребенка и определяют стратегию проведения развивающих занятий, в частности, при существенном отставании детей в освоении речевых навыков могут быть рекомендованы к использованию средства дополнительной/альтернативной коммуникации (жестовая речь, графические символы).

### **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЦЕПТИВНОГО АНАЛИЗА РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ У ДЕТЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХОРЕЧЕВОЙ ФУНКЦИИ**

**Огородникова Е.А., Столярова Э.И., Балякова А.А., Галкина Е.В., Пак С.П.**

*ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург  
Тел: +7 9052769680*

В докладе будут представлены результаты исследований, отражающих особенности восприятия речевых и неречевых сигналов у детей дошкольного и младшего школьного возраста с нормальным слухом и нарушениями слухоречевой функции (сенсоневральная тугоухость, слуховая нейропатия, речевые расстройства). В обсуждение включены вопросы функционального тренинга базовых навыков аналитического слухового восприятия и примеры его применения в практике коррекционных и реабилитационных мероприятий.

**Секция ШВ – Шумы и вибрации**

Бобровницкий Юрий Иванович, руководитель  
Институт машиноведения РАН им. А.А. Благодярова,  
119334, Москва, ул. Бардина, д.4; E-mail: [yuri@imash.ac.ru](mailto:yuri@imash.ac.ru)

**06.06.2017 - с 14.00 до 18.00**

**07.06.2017 - с 14.00 до 16.00**

**ВИБРОАКУСТИКА САМОЛЕТОВ С ДВИГАТЕЛЯМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ  
(ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ)**

**Бакланов В.С.**

*ПАО «Туполев», Москва  
Тел.: 499 2637792; E-mail: [baklanov@tupolev.ru](mailto:baklanov@tupolev.ru)*

Бурное развитие двигателестроения позволяет проводить ремоторизацию как однопроходных массовых самолетов (типа B737, A320), занимающих 80% парка магистральных самолетов, так и популярных самолетов другого класса – B777 и A330.

Ближайшие 10 – 15 лет мы будем иметь дело с самолетами, оснащенными турбовентиляторными двигателями повышенной степенью двухконтурности (8,5 – 12): ПД-14, семейство Leap, GE9X, семейство TRENT, XWB и семейством типа PW1000G.

Самолеты, оснащенные такими двигателями, могут успешно выполнить будущие шумовые стандарты 2017 года (Chapter 14), обеспечить снижение вредных выбросов и повышение топливной эффективности, но при этом происходит существенное изменение виброакустических характеристик силовых установок. Повышенная степень двухконтурности двигателя приводит не только к значительному увеличению акустической мощности вентилятора, но и к изменению спектра шума, излучаемого из передней и задней полусфер силовой установки.

Вибрационный спектр турбовентиляторных двигателей существенно расширяется со сдвигом в низкочастотный диапазон вследствие пониженной частоты вращения ротора вентилятора. Некоторые гармоники газовоздушного тракта (например, вращающегося вихря), связанные определенным соотношением с частотой вращения вала вентилятора, уже оказываются в области инфразвука.

Для планера современного самолета характерно наличие нескольких десятков собственных форм колебаний в низкочастотной части спектра; взаимодействие некоторых из них с возмущающим воздействием силовой установки может привести к генерированию в кабинах самолетов дискретных низкочастотных составляющих шума высокого уровня.

Частота 1-ой лопастной гармоники шума вентилятора снижается в 1,5 – 2 раза не только за счет снижения частоты вращения вала вентилятора, но и уменьшения числа широкохордных лопаток. Поэтому шум, излучаемый из воздухозаборников двигателей большой степени двухконтурности в дальнее поле и по направлению к стенке фюзеляжа, состоит из многократных тонов более низких частот, что отмечалось и в спектре шума переднего пассажирского салона самолета-демонстратора QTD2 (B777 300ER с двигателями GE90-115B, степень двухконтурности – 8,7).

Решение проблем шума, видимо, потребует переноса внимания с традиционных методов (установки ЗПК, от которых требуется повышенная высота) на методы борьбы с шумом в источнике (широкохордные лопатки вентилятора, технология блиск, актуаторы).

Решение проблем структурного шума низкочастотной части спектра потребует создания нового поколения крепления двигателей (видимо, с встроенными низкочастотными блоками виброизоляции или пьезоэлектрическими актуаторами).

Опыт эксплуатации самолетов с двигателями большой степени двухконтурности показывает, что уровень низкочастотных составляющих структурного шума в кабине экипажа может превысить рекомендации санитарных норм и вызвать вопросы о безопасности полетов, а нас впереди ожидают 2-е (Advance) и 3-е (UltraFan) поколения редукторных двигателей и может быть «Open rotor».

**Ключевые слова:** турбовентиляторный двигатель, двухконтурность, спектр, структурный шум

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМА БИРОТАТИВНОГО ВИНТОВЕНТИЛЯТОРА

Бойчук И.П.<sup>1)</sup>, Руднев Ю.И.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород

<sup>2)</sup> Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Харьков  
Тел.: (4722) 549853; Факс: (4722) 557139; E-mail: ip.boychuk@gmail.com

Одним из основных источников шума современных авиационных двигателей является винтовентилятор (открытый ротор). Прогресс в вычислительной технике и развитие численных методов позволяют решить задачу о моделировании нестационарного распространении акустических волн на достаточно высоком уровне.

Методы, нашедшие применение в вычислительной аэроакустике, часто основаны на акустических аналогиях. Поэтому процесс предсказания шума проводят в два этапа. На первом этапе решается аэродинамическая задача, а на втором – акустическая. При этом основным минусом данного подхода является высокая вычислительная нагрузка при расчете аэродинамических источников шума.

В работе предлагается численный метод, который позволяет сочетать разумную степень точности оценки аэродинамического шума с приемлемой скоростью проведения расчетов. Это достигается в применении упрощенной схемы расчета гидродинамической задачи с использованием вихревого панельного метода и упрощенного метода Фокса Вильямса – Хоукинса (явные формулы Фарассата) для расчета акустики.

Суть подхода состоит в следующем. Все пространство разбивается на две области: область  $\Omega$ , непосредственно примыкающая к ротору, и дополнение этой области до всего пространства  $\Omega_0 = \mathbb{R}^3 \setminus \Omega$ .

Звуковые колебания исследуются только в  $\Omega_0$ , причем на некотором удалении от границы (приближение дальнего звукового поля).

Интенсивность источников аэродинамического шума определяется пульсациями давления и скорости, возникающие при нестационарном обтекании решеток лопастей ротора. В качестве метода решения задачи обтекания лопастей используется одну из разновидностей семейства панельных методов – метод дискретных вихрей. Следует отметить, что данный метод применим для сравнительно медленных течений, для которых можно пренебречь сжимаемостью воздуха.

По найденному распределению давления и скоростей на контрольной поверхности  $\partial\Omega$  (границе области  $\Omega$ ) определяют акустические колебания в некоторых расчетных точках по формулам Фарассата, которые являются приближенными решениями внешней задачи для линейных уравнений акустики.

Предлагаемый подход может быть использован для определения *тонального* шума ротора. Он характеризуется простотой реализации, высокой скоростью проведения расчетов, возможностью учета шума, возникающего при взаимодействии вихревого следа, сходящего с лопастей переднего ротора, с решеткой лопастей заднего. Данный метод применим для предварительных оценок шума на этапе проектирования.

**Ключевые слова:** моделирование шума, открытый ротор

### РОЛЬ РЕАКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА В СИСТЕМЕ ШУМОГЛУШЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Халецкий Ю.Д.<sup>1)</sup>, Почкин Я.С.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Центральный институт авиационного моторостроения, Москва  
Тел.: (495 3624174); Факс: (495 3616696); E-mail: (yurikhalet@ciam.ru)

Подавляющее число глушителей шума двигателей представляют собой сотовые звукопоглощающие конструкции (ЗПК), в последние годы – двухслойные. В ЦИАМ была разработана комбинированная система глушителя, составленная сотовым и решетчатым элементами, использующая идеи поглощения и отражения звука. Исследованы акустические характеристики комбинированной системы шумоглушения для перспективного ТРДД с использованием 700 мм вентиляторной модели в качестве источника шума. Система шумоглушения состояла из двух решетчатых глушителей и расположенного между ними участка канала, облицованного двухслойными сотовыми ЗПК. Решетчатый глушитель закрыт акустически прозрачным перфорированным листом. Эксперименты показали, что комбинированный глушитель снижает шум вентилятора на 2-3 дБ больше, чем сотовые двухслойные ЗПК в частотном диапазоне наибольшей чувствительности человеческого уха.

Другой реализацией реактивного глушителя являются надроторные устройства (НРУ), которые в авиационных двигателях нашли широкое применение в качестве средства повышения газодинамической устойчивости компрессоров. Одной из наиболее успешных конструкций НРУ стала щелевая проставка,

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

устанавливаемая над рабочим колесом. Экспериментальные исследования показали высокие антисрывные и антипомпажные качества щелевых проставок. Было исследовано влияние надроторного устройства на шум традиционного осевого вентилятора современного авиадвигателя, а также на шум перспективного биротативного закапотированного вентилятора.

Выбор конструктивных параметров надроторных устройств основан на результатах аэродинамических расчетов и с учетом конструктивных и технологических особенностей турбокомпрессоров. Все указанные ниже соотношения геометрических параметров связаны между собой и с аэродинамическими характеристиками ступеней, в частности, с числом  $M$  в относительном движении. В соответствии с эмпирической методологией проектирования НРУ, основанной на большом объеме экспериментальных данных, были выбраны конструктивные параметры НРУ. В представленной работе изложены результаты исследования влияния нескольких конфигураций НРУ на шум модели биротативного закапотированного вентилятора при варьировании в доступных пределах конструктивных параметров НРУ – количества щелей и высоты полости. Для интегральной оценки акустической эффективности НРУ используется снижение суммарного уровня звуковой мощности. Показано, что наиболее значимым конструктивным параметром является густота решетки. Наилучшая конфигурация НРУ среди испытанных в данной серии экспериментов снижает уровень звуковой мощности вентилятора на 3.2 дБ.

**Ключевые слова:** щелевой элемент, сотовый глушитель, надроторное устройство, авиадвигатель

### **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭФФЕКТИВНОГО ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА ДЛЯ СРЕДНИХ ЧАСТОТ**

**Томилина Т.М.<sup>1)</sup>, Бобровницкий Ю.И.<sup>1)</sup>, Бахтин Б.Н.<sup>1)</sup>, Афанасьев К.М.<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва*

<sup>2)</sup> *Самарский университет, Самара*

*Тел.: (4991358070); Факс: (4991354074); E-mail: [tatiana@imash.ac.ru](mailto:tatiana@imash.ac.ru)*

Рассматривается задача конструирования эффективного звукопоглотителя в определенном диапазоне частот. Для получения максимальной эффективности звукопоглощения предлагается метод согласования импедансных характеристик звукопоглотителя и акустической среды. В рамках импедансной теории сформулированы два условия для получения наилучшего эффекта. В качестве примера рассматривается звукопоглотитель с внутренней структурой, состоящей из нескольких компактно «свернутых» резонаторов с различными параметрами. Приведена расчетная модель эффективности поглотителя и экспериментальные результаты определения коэффициента звукопоглощения в диапазоне частот 100-2000 Гц. Предложенная модель показала высокую эффективность в среднечастотном диапазоне.

**Ключевые слова:** акустические метаматериалы, наилучший звукопоглотитель, импедансный метод

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ ИЗ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ**

**Лактионова М.М.<sup>1)</sup>, Томилина Т.М.<sup>1)</sup>, Бахтин А.С.<sup>1)</sup>, Гребенников А.С.<sup>1)</sup>, Афанасьев К.М.<sup>1,2)</sup>,  
Вдовин Р.А.<sup>1,2)</sup>, Сафин А.И.<sup>1,2)</sup>**

<sup>1)</sup> *ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва;* <sup>2)</sup> *Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара*

*Тел.: (4991358070); Факс: (499 1354074); E-mail: [laktionova@imash.ac.ru](mailto:laktionova@imash.ac.ru)*

В работе экспериментально исследуются звукопоглощающие свойства образцов поглотителей на основе акустических метаматериалов резонансного типа. Образцы в виде ячеистой тонкостенной периодической структуры со связями между ячейками изготовлены из фотополимерного материала по аддитивной технологии PolyJet. Показана высокая эффективность исследуемых образцов по сравнению с известными материалами в низкочастотном диапазоне. Определены оптимальные параметры процесса выращивания образцов для обеспечения требуемой формы.

**Ключевые слова:** звукопоглощение, акустические метаматериалы, 3D печать

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА ТОРЦЕВЫМ РЕЗОНАТОРОМ ГЕЛЬМГОЛЬЦА**

**Комкин А.И.<sup>1)</sup>, Миронов М.А.<sup>2)</sup>, Быков А.И.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; <sup>2)</sup> Акустический институт им. Н.Н. Андреева, Москва  
Тел.: 8-916-973-74-27; Факс: 8-495-263-68-93; E-mail: (akomkin@mail.ru)

Рассмотрены характеристики поглощения резонатора Гельмгольца, размещенного на торцевой стенке круглого канала. Характеристики поглощения исследовались как экспериментальными, так и расчетными методами. Установлено, что на получаемые экспериментальные данные могут существенно влиять нелинейные явления в резонаторе. Получены зависимости поглощения звука резонатором Гельмгольца от его геометрических параметров.

**Ключевые слова:** резонатор Гельмгольца, поглощение звука, термовязкие потери, моделирование

### **О ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ СИСТЕМ АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ЗВУКОВЫХ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

**Фикс И.Ш.<sup>1)</sup>, Фи Г.Е.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Федеральний исследовательский центр «Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), Нижний Новгород  
Тел.7 (831) 416-06-30 E-mail: fiks@appl.sci-nnov.ru

Применительно к задачам звукоизоляции устройств, основной вклад в общий уровень шума которых сосредоточен в низкочастотных дискретных спектральных компонентах, описана реализация системы активного гашения (компенсации) звука во внешнем пространстве. Принцип работы системы основан на создании с помощью многоэлементной системы управляемых излучателей поля, инверсного по отношению к полю, первичного источника квазимонохроматических сигналов. При этом компенсирующее поле формируется на монохроматической частоте по сигналам, измеренным с приемников давления, расположенных в ближней зоне источника излучения. Эта частота – частота компенсации, совпадающая или достаточно близкая к частоте компенсируемого сигнала, должна быть известна или измерена заранее (до включения системы компенсации). По принципу управления предложенная система активного гашения относится к системам с разомкнутой обратной связью с управлением по отклонению. В частотной области построена аппаратная функция системы активного гашения и исследована ее эффективность при компенсации звуковых сигналов с неточно известной частотой. Определены предельные возможности системы активного гашения и необходимые условия для ее устойчивой работы. Приведены результаты экспериментальных исследований и численного моделирования.

**Ключевые слова:** система активного гашения звука, компенсация поля монохроматических источников

### **ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, КАК СОВОКУПНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ**

**Попков С.В.**

*Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург*  
E-mail: krylov6@krylov.spb.ru

Для создания виброакустической защиты судового оборудования необходимо учитывать потоки колебательной энергии, распространяющиеся от источников через опорные и неопорные связи, и в виде воздушного шума. Предложен перечень расчетных методов, используемых при создании виброакустической защиты. Представлены номенклатура виброакустических параметров оборудования и перечень динамических характеристик средств виброакустической защиты, для определения которых необходимо использовать экспериментальные методы и стендовую базу для проведения измерений.

**Ключевые слова:** вибрация, воздушный шум, гидродинамический шум, динамическая сила, колебательная мощность, виброизоляция, звукоизоляция

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СНИЖЕНИЯ ШУМА ВНУТРИ СБОРОЧНО-ЗАЩИТНОГО БЛОКА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ**

**Попов П.А., Иголкин А.А., Крючков А.Н.**

*СНИУ имени академика С. П.Королёва, Самара;  
Тел.: 8(846) 2289642; Факс: 8(846)9320419; E-mail: banduir@rambler.ru*

При адаптации космического аппарата (КА) и сборочно-защитного блока (СЗБ) решаются вопросы, связанные с нормированием акустических воздействий на данный КА в зависимости от ряда физических и геометрических параметров, в том числе фактора поглощения акустической энергии поверхностью СЗБ, КА и геометрической конфигурации адаптируемого КА. В тоже время для КА, которые ранее эксплуатировались в составе других ракет-носителей (РН) при условии несоответствия их первоначальных проектных уровней требованиям под новый случай эксплуатации, необходимо проводить определённые мероприятия по снижению акустических воздействий для выполнения требований технических заданий на данные КА. Поэтому целью данной работы является разработка методики оценки снижения акустических воздействий при внедрении соответствующих конструктивных мероприятий. При разработке методики использовался энергетический подход, в котором могут быть учтены такие важные факторы, влияющие на акустическую среду, воздействующую на КА, как коэффициенты поглощения КА и СЗБ, а также конфигурация КА (цилиндр, конус, параллелограмм, пирамида и др.). С точки зрения математики решение поставленной задачи основывается на суммировании бесконечных сходящихся рядов, сходжение которых в первую очередь определяется величиной коэффициента поглощения, а также интегрированием (суммированием) падающей и отражённой от КА акустической энергии в пределах площади их поверхности. Разработанная методика применена при расчёте акустических воздействий на КА, спроектированный европейским космическим агентством, ранее эксплуатирующийся в составе РН «Ариан», а впоследствии адаптируемый к условиям СЗБ РН типа «Союз-2». Показано, что при использовании на КА экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) уровень акустических воздействий снизится в широкой полосе частот 1/3-октавного спектра с центральными частотами от 250 Гц до 2000 Гц и полученные при этом уровни акустических воздействий окажутся безопасными для изделия.

**Ключевые слова:** сборочно-защитный блок, конфигурация космического аппарата, мощность акустической энергии, интенсивность акустической энергии, коэффициент поглощения

### **КОМПАКТНЫЙ СТАЛЬНОЙ ВИБРОИЗОЛЯТОР С ЗАДАНЫМИ ФИЛЬТРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ПО 3D ТЕХНОЛОГИЯМ**

**Сотов А.В.<sup>1,2)</sup>, Томилина Т.М.<sup>1)</sup>, Гребенников А.С.<sup>1)</sup>, Лактионова М.М.<sup>1)</sup>, Агаповичев А.В.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук, Москва;*

<sup>2)</sup> *Самарский университет, Самара.*

*Тел.: (499 1358070); Факс: (499 1354074); E-mail: sotovanton@yandex.ru*

Представляется механическая конструкция компактного стального виброизолятора, изготовленного по аддитивным технологиям. Экспериментально исследуются механические свойства синтезируемого материала в сравнении с литым материалом и свойства готового изделия. Конструкция виброизолятора представляет собой набор тонких стальных «шайб» (пластинчатых колец), между которыми имеются соединительные элементы (стойки), расположенные в шахматном порядке, образуя таким образом ячеистую периодическую структуру, обладающую фильтрующими свойствами. Показана высокая эффективность виброизоляции в заданном диапазоне частот при малом весе изолятора. Результаты могут быть использованы для изоляции чувствительных приборов от воздействия сосредоточенной вибрационной нагрузки, в том числе для предотвращения «микрофонного эффекта» при проведении измерений.

**Ключевые слова:** виброизоляция, периодическая структура, 3D печать

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗ ВИБРАЦИИ, ВЫЗВАННОЙ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА НА БЛИЗЛЕЖАЩИЕ ЗДАНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ**

**Цукерников И.Е.<sup>1)</sup>, Смирнов В.А.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> ФГБУ НИИСФ РААСН, Москва;  
Тел.: (916 9745608); E-mail: belohvost@list.ru*

В работе представлены результаты исследования процессов распространения колебаний от поездов Калужско-Рижской линии Московского метрополитена. Основной целью работы является разработка эффективных мероприятий, позволяющих снизить вибрацию перекрытий и структурного шума в проектируемых зданиях, расположенных вблизи линий метрополитена. Рассматриваемый жилой комплекс состоит из 6-ти секций, которые располагаются на общем стилобате с 3-х этажной подземной автостоянкой. Расстояние между жилым комплексом и туннелями варьируется от 15 до 52 метров. Проведённые полевые измерения позволили определить вибрацию поверхности грунта и несущих элементов присутствующих на площадке строительства старых здания в момент прохождения поездов. Измерения позволили определить передаточные функции с поверхности грунта на несущие элементы здания. Во время измерений регистрировалось не менее 10 проходов поездов метрополитена как по ближнему, так и по дальнему тоннелям. Основными этапами при пересчёте уровней вибрации грунта к уровням вибрации перекрытий являются: 1) определение величины снижения вибрации при переходе от поверхности грунта на фундамент жилого здания; 2) определение потерь колебательной энергии по конструкции здания; 3) определение величины резонансного увеличения колебаний центра плиты перекрытий, по сравнению с колебаниями опорного контура. В статье представлены рассчитанные и усредненные за время измерений коэффициенты передачи между указанными группами элементов. Представленные в работе коэффициенты передачи могут быть использованы для прогноза уровней вибрации в схожих зданиях и расположенных вблизи линий метрополитена. В работе представлен расчёт уровней вибрации несущих элементов здания, который оценивается на соответствие санитарным нормам. Предлагаются мероприятия по снижению уровней вибрации и оценивается их эффективность.

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА**

**Цукерников И.Е.<sup>1,2)</sup>, Шубин И.Л.<sup>1)</sup>, Невенчанная Т.О.<sup>1,2)</sup>**

*<sup>1)</sup> НИИСФ РААСН, Москва*

*<sup>2)</sup> Московский политехнический университет, высшая школа печати и медиаиндустрии, Москва  
Тел.: 8 916 466 4172, Факс: 8 495 482 4076; E-mail: 3342488@mail.ru*

Рассмотрены структура и основные положения свода правил СП 254.1325800, разработанного в 2015-2016 годах НИИСФ РААСН, и вводимого в России с 17.02.2017 г. В своде правил регламентирован перечень работ и рекомендованы методы их выполнения при проектировании защиты от шума, создаваемого производственным оборудованием, для обеспечения санитарных норм шума на рабочих местах, расположенных в помещениях и на территории предприятий и организаций. В нем установлены правила выполнения акустических расчетов, правила подбора и размещения малошумного оборудования, а также проектирования мероприятий по снижению шума средствами строительной акустики. Изложены требования к собственной звукоизоляции ограждений, учитывающие специфику решения вопросов защиты от шума в производственных помещениях промышленных предприятий. В основу расчетов положена поточно-энергетическая модель звукового поля в помещении, при которой интенсивность суммарного поля определяется суммой интенсивностей прямого и отраженного звука. Вклад прямого звука определяется излучающими свойствами источника (уровень звуковой мощности и способность концентрировать энергию звука в определенных направлениях), его размерами, структурой, формой, расположением в помещении, удалением от него точки наблюдения. Вклад отраженного звука определяется уровнем звуковой мощности источника и акустическими характеристиками помещения, включающими: наименование группы помещения, средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения и средний коэффициент звукопоглощения в помещении, а также среднюю длину свободного пробега звуковых лучей в помещении между последовательными отражениями. При подборе малошумного оборудования использован метод расчета предельно допустимых шумовых характеристик запроектированного оборудования по ГОСТ 30530, основанный на решении обратной акустической задачи по схеме расположения рабочих мест и одновременно работающих источников шума в помещении. Применение свода правил обеспечит возможность определения на единой методической основе ожидаемых уровней шума при проектировании предприятий и отдельных производственных помещений, подбора на основании выполненных расчетов оборудования с требуемыми шумовыми характеристиками, разработки и реализации на этапе строительства требуемых мероприятий по снижению шума на рабочих местах до нормативных уровней. Для

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

действующих предприятий применение свода правил позволит обоснованно подбирать мероприятия по снижению шума и до их реализации расчетным путем оценивать эффективность запроектированных средств шумозащиты.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ МАЛОШУМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

**Тупов В.Б.**

*Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический институт», г. Москва  
Тел.: +7-903-685-00-49; E-mail: [tupovvb@mail.ru](mailto:tupovvb@mail.ru)*

Штатная эксплуатация энергетических объектов (котельных, тепловых электрических станций, трансформаторных подстанций и других) является причиной превышения шумовых санитарных норм в окружающем районе. Актуальность проблемы обусловлена тем, что большинство энергетических объектов находятся в городах рядом с жилыми районами. Рассмотрены теоретические и практические вопросы создания малошумного энергетического объекта. Определены лимитирующие факторы по созданию малошумного энергетического объекта. Показано, что создание математической модели энергетического объекта позволяет рассматривать влияние лимитирующих факторов на создание малошумного объекта, а именно: количества источников шума, шумовых характеристик источников, место расположения источников на территории объекта, режима работы оборудования, фактора направленности, от ориентации энергетического объекта по отношению к жилому району и других факторов. Расположение источников шума на энергетическом объекте на высоте над уровнем земли оказывает существенное влияние на уровни шума в окружающем районе и возможность создания малошумного объекта. Показано, как тип энергетического объекта влияет на возможность создания малошумного объекта. Рассмотрено влияние мощности энергетического объекта на возможность создания малошумного энергетического объекта. Для каждого типа энергетического объекта характерна определенная группа источников шума. Для каждой группы источников используются определенные меры по шумоглушению. Здесь рассмотрены известные, так и оригинальные мероприятия по снижению шума. Важным моментом по созданию малошумного энергетического объекта является комплексное применение мер по шумоглушению.

**Ключевые слова:** снижение шума, энергетический объект, моделирование

### **НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО РАСЧЕТУ ВНЕШНЕГО ШУМА ОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**Иванов Н.И., Бойко Ю.С., Шашурин А.Е.**

*Балтийский государственный технический ун-т «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург  
Тел.: (812 4957797); E-mail: [kb\\_iak@mail.ru](mailto:kb_iak@mail.ru)*

Описаны проблемы повышенного шума железнодорожного транспорта, его нормирование, а также общие методы и средства его снижения, в том числе в источнике образования и посредством применения организационно-технических мероприятий. Отдельно рассмотрены процессы шумообразования высокоскоростных поездов и методы снижения шума от высокоскоростных магистралей в мире. Показан опыт Европейского Союза по решению проблемы повышенного шума от железнодорожного транспорта.

### **ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА ВИБРАЦИЙ И ЗВУКОИЗЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**Завгородний Е.А.**

*Крыловский государственный научный центр,  
Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44  
E-mail: [krylov6@krylov.spb.ru](mailto:krylov6@krylov.spb.ru)*

Показана возможность точного решения задач вибраций и звукоизлучения конструкций бесконечных пластин, соединенных круговыми инерционными связями, в акустических средах с использованием одномерных преобразований Бесселя. Выявлена роль резонансов участков пластин на звуковые и вибрационные поля конструкции. Результаты могут быть использованы при проектировании конструкций судов и морских сооружений.

**Ключевые слова:** звукоизлучение, вибрация пластин, преобразование Бесселя, инерционные связи

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **АКУСТИЧЕСКОЕ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ДВИЖУЩИХСЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА И ВИБРАЦИИ (РЕГИСТРАЦИЯ РЕШЕТКОЙ МИКРОФОНОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ КОСОЙ)**

**Заславский Ю.М.<sup>1)</sup>, Заславский В.Ю.<sup>1)</sup>, Соков А.М.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> Институт прикладной физики РАН, город Н.Новгород;  
Тел.: 7(831) 4164764; Факс: 7(831)4160630 (автора-корреспондента)  
E-mail: zaslav@hydro.appl.sci-nnov.ru*

Выполнен многоканальный прием акустических и сейсмических сигналов, порождаемых легковым автомобилем, быстро движущимся по автостраде. Внешний акустический шум и техногенные сейсмические сигналы зарегистрированы продольной антенной микрофонов и косоой сейсмоприемников. Путем электронного сканирования центрального лепестка характеристики направленности антенны построены веерные диаграммы, указывающие текущее направление на движущийся объект. Для контроля его скорости и изменений в текущем местоположении используется зависимость времени задержки пиков взаимно-корреляционных откликов от порядкового номера датчика в антенне. Дополнительная верификация осуществляется путем тонкого спектрального анализа и замера доплеровского смещения частот дискретных компонент в спектре внешнего шума. По результатам регистрации на косу сейсмических приемников построена картина поля, на которой формируются волновые годографы, по линиям которых выполнен прогноз направления и оценка скорости движения объекта, а также установлены информативные признаки, необходимые для его классификации (идентификации).

**Ключевые слова:** движущееся авто, внешний акустический шум, сейсмический отклик, годограф

### **СОБСТВЕННЫЕ ГРУППОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПУЧКА УПРУГИХ СТЕРЖНЕЙ КАК АНСАМБЛЯ ИНЕРЦИОННО СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ДИПОЛЬНОГО ТИПА**

**Федотовский В.С., Иванова Е.А., С.В., Никулина А.Н.**

*АО "ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт" Обнинск, Россия  
Тел.: (484 3995357), E-mail: anikulina@ippe.ru*

Представлена математическая модель и результаты расчетов ширины спектра собственных частот групповых изгибных колебаний пучков стержней, моделирующих, в частности, виброакустическую динамику активных зон ядерных реакторов. Модель основана на концепции эффективной динамической плотности гетерогенных сред, образованных жидкостью и идентичными включениями-осцилляторами дипольного типа. Основная особенность такой среды заключается в том, что ее эффективная динамическая плотность имеет ярко выраженную резонансную зависимость от частоты вибрационных воздействий. С другой стороны, различным собственным формам групповых колебаний пучка соответствует спектр собственных частот, обусловленный инерционной связанностью по жидкости.

В отличие от известного метода вычисления собственных форм и частот групповых колебаний конечного числа стержней в жидкости, сводящегося к решению связанной через матрицу присоединенных масс жидкости системы уравнений изгибных колебаний стержней, в данном исследовании используется оригинальный континуальный подход, при котором жидкость с пучком упругих стержней рассматривается как неограниченная псевдооднородная гетерогенная среда с некоторой эффективной динамической плотностью, учитывающей процессы инерционного взаимодействия стержней с жидкостью. С другой стороны, для пучков, содержащих неограниченное количество стержней прямое численное моделирование множества собственных форм и собственных частот колебаний невозможно и нецелесообразно, поскольку практическое значение имеет не весь спектр собственных частот групповых колебаний пучка стержней, а только частотный диапазон, характеризующий ширину спектра. При этом определение верхней и нижней собственной частоты групповых колебаниях пучка сводится к существенно более простой задаче о колебаниях «пробного стержня» в гетерогенной среде с резонансом эффективной динамической плотности. Установлено, что относительное расширение спектра собственных частот колебаний стержней существенно зависит от расстояния между стержнями в пучке и от отношения плотностей материала стержней и жидкости.

**Ключевые слова:** гетерогенные среды, групповые колебания, пучки стержней, собственные частоты

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (ШВ) 07.06.2017 - с 16.20 до 18.00**

**ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ШУМОВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И  
ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ СРЕДАХ**

**Марфин Е.А.<sup>1)</sup>, Кирпичникова Т.А.<sup>2)</sup>, Метелёв И.С.<sup>2)</sup>**

*<sup>1)</sup> Казанский научный центр РАН, Казань; <sup>2)</sup> Казанский федеральный университет, Казань;  
Тел.: (843 2927505); Факс: (843 2927597); E-mail: marfin\_ea@mail.ru*

Фильтрация флюидов в пористых средах вызывает генерацию гидродинамических шумов. В работе исследованы особенности спектральных характеристик таких шумов в различных образцах пористых сред. Созданы образцы с различными значениями пористости и проницаемости. Установлена взаимосвязь характерных частот шумов с фильтрационными свойствами пористых кернов. В частности показано, что скорость фильтрации влияет только на интенсивность фильтрационного шума, при этом характерные частоты не меняются. Увеличение проницаемости пористого образца приводит к смещению основного пика в спектре фильтрационных шумов в область высоких частот.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВЕРХЗВУКОВОГО ПОТОКА НА АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ВНУТРИ  
ФЮЗЕЛЯЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Хроматов В.Е.**

*Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический институт», г. Москва.  
Тел.: (495) 3627700, E-mail: [KhromatovVY@mpei.ru](mailto:KhromatovVY@mpei.ru)*

В работе исследуется влияние аэродинамического давления на упруго-акустические колебания цилиндрических оболочек, находящихся в контакте со звукоизолирующим слоем, обтекаемых сверхзвуковым потоком газа и находящихся в поле случайных внешних сил. Дополнительное аэродинамическое давление учитывается по поршневой теории. Приведено аналитическое решение задачи. Получены соотношения для спектральных плотностей и дисперсии перемещений точек срединной поверхности оболочки, дисперсии давлений акустической среды. Дополнительное аэродинамическое давление от набегающего потока воздуха повышает жесткость оболочки по отношению к поперечным нагрузкам и уменьшает нормальные перемещения в оболочке. Уровень шума внутри оболочки с учетом аэродинамической составляющей давления несколько ниже, чем без ее учета. При скорости обтекания равной критической, уровень шума повышается для октавного диапазона, в который попадают собственные частоты колебаний оболочки. Численный анализ полей давлений внутри оболочки показывает, что основным источником шума являются пульсации давлений в турбулентном пограничном слое.

**Ключевые слова:** колебания цилиндрической оболочки, случайные пульсации давлений, сверхзвуковой поток

**ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОДУВАНИЮ ВОЛОКНИСТЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ  
МАТЕРИАЛОВ**

**Комкин А.И., Львов В.А., Нестеров Н.С.**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва.  
Тел.: 8-916-973-74-27; Факс: 8-495-263-68-93; E-mail: (a) [akomkin@mail.ru](mailto:akomkin@mail.ru)*

Проведена оценка сопротивления продуванию трех видов волокнистых звукопоглощающих материалов с различными диаметрами волокон. По результатам экспериментальных исследований определены зависимости сопротивления продуванию исследуемых материалов от их плотности и предложено использовать для аналитической аппроксимации полученных зависимостей безразмерные комплексы.

**Ключевые слова:** звукопоглощающий материал, волокно, плотность, сопротивление продуванию, измерение

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ТЕОРИЯ ФЛОКЕ В АНАЛИЗЕ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ**

**Хватов А.А.<sup>1</sup>**

*<sup>1)</sup> Аспирант, Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический университет;  
Тел.: +7(952) 220 32 76; E-mail: matematik@student.su*

В докладе рассматриваются некоторые эффекты виброизоляции, полученные с помощью теории Флоке. Несмотря на то, что она широко используется для исследования так называемых фоновых кристаллов (phononic crystals), большинство статей по этому вопросу отражают лишь техническую часть вопроса, упуская общие закономерности, которые не могут быть получены численно. Доклад содержит результаты, полученные аналитическими и полуаналитическими методами в результате работы над несколькими статьями в соавторстве с Сорокиным С.В., которые описывают закономерности распределения собственных частот конечной части бесконечного периодического волновода, а также некоторые свойства решения задачи для бесконечного волновода с помощью теории Флоке, результаты работы над магистерской диссертацией в Aalborg University, Дания, а также последние результаты из готовящейся к публикации статьи о теории Флоке в полярных координатах.

### **ИЗВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШУМОЗАЩИТНЫХ АКУСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДРОССЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕШЕТЧАТОГО ТИПА**

**Калинин В.Н.**

*Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет, Санкт-Петербург;  
Тел.: 981 5582360; E-mail: kalv1n@mail.ru*

В работе анализируется конструкция дроссельного устройства решетчатого типа, как акустического фильтра нижних частот. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований гидродинамических характеристик данного устройства. В работе приведена схема и методика проведения испытаний по измерению гидродинамического шума в стендовых условиях. Приведены перспективные конструктивные способы снижения собственного излучаемого шума и шума, распространяющегося по трубопроводным системам от других источников. Основной задачей данных исследований является обеспечение оптимального соотношения гидравлических характеристик изделия и работоспособности с учетом современных требований по уровням гидродинамического шума.

**Ключевые слова:** дроссельное устройство, гидродинамический шум, резонатор, пористый материал

### **СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭФФЕКТИВНОСТИ АНТИВИБРАЦИОННЫХ РУКАВИЦ И ПЕРЧАТОК РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Смирнов В.В.<sup>1)</sup>, Булдаков П.Ю.<sup>2)</sup>, Бухаров С.Н.<sup>3)</sup>, Вьюненко Ю.Н.<sup>4)</sup>, Хлопков Е.А.<sup>2)</sup>**

*<sup>1)</sup> Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Санкт-Петербург;*

*<sup>2)</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург;*

*<sup>3)</sup> Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого, Гомель;*

*<sup>4)</sup> ООО «Оптимикст Лтд», Санкт-Петербург;*

*Тел.: (+7 909 5906383); Факс: (+7 812 6840817); E-mail: pavelbuldakov\_teormech@mail.ru*

Проведено определение защитных свойств различных конструкций антивибрационных рукавиц и перчаток, используемых на предприятиях России. Измерения проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.002-97 «Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний». Единой закономерностью для всех средств защиты является их низкая эффективность в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 8 Гц; 16 Гц; 31,5 Гц и 63 Гц. Наиболее высокие характеристики в указанных диапазонах отмечены у антивибрационных рукавиц «ТУРБО-ДОНБАСС». В октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц эффективность защитных свойств достигает 3 дБ, а в следующем частотном диапазоне (характеристическая частота 63 Гц) этот показатель равен 4 дБ. На высоких частотах эффективность защитных средств значительно выше. В октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц этот показатель достигает 12 дБ у антивибрационных перчаток «Вибростат 03» и рукавиц «ТУРБО-ДОНБАСС». Проведен анализ материалов и конструкций антивибрационных элементов средств защиты рук. Полученные результаты показывают предпочтительность применения материалов с закрытой пористостью и гелевых компонентов. Влияние геометрических параметров конструкций антивибрационных элементов неоднозначно. В активных полосах с характеристическими частотами 250 Гц и выше толщина виброзащитной конструкции, как правило, повышает эффективность защиты. Однако, в низкочастотном

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

диапазоне возможны негативные эффекты. Повышение эргономических свойств рукавиц и перчаток достигается переменными геометрическими характеристиками и градиентными свойствами используемых материалов.

**Ключевые слова:** антивибрационные рукавицы и перчатки, эффективность

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВОЙ КОЛОНКИ (ДРК) ПО ВИБРАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

**Макаров В.В.**

*Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург  
E-mail: [v-makarov@yandex.ru](mailto:v-makarov@yandex.ru)*

Дана подробная характеристика основных источников повышенной вибрации в ДРК. Рассчитаны основные частоты источников вибрации ДРК. По результатам испытаний на заводе изготовителе проведена идентификация источников вибрации. С помощью нейросетевых методов разработан алгоритм диагностики технического состояния ДРК по вибрационным характеристикам.

**Ключевые слова:** движительно-рулевая колонка; вибрационные характеристики; нейронная сеть; алгоритм диагностики

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИБКИХ ВСТАВОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Соколов А.Н.**

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,  
Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44  
E-mail: [an.cokolov@gmail.com](mailto:an.cokolov@gmail.com)*

Представлен метод экспериментального определения колебательной мощности, излучаемой по системам трубопроводов, на основе информации о матрице сопротивления гибкой вставки.

**Ключевые слова:** трубопровод, колебательная мощность, измерения

**Секция БИО – Биомедицинская акустика**

Демин Игорь Юрьевич, руководитель  
*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород  
Россия, 603950, Н. Новгород, пр. Гагарина 23; E-mail: demin@rf.unn.ru*

**08.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

**09.06.2017 - с 09.00 до 11.00**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНОЙ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ СКОРОСТИ И  
ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЫВОРОТКЕ КРОВИ**

**Клемина А.В.<sup>1)</sup>, Демин И.Ю.<sup>1)</sup>, Клемин В.А.<sup>2)</sup>, Гурбатов С.Н.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*

*<sup>2)</sup> ООО «Фирма «БИОМ», Нижний Новгород*

*Тел.: 4656305; E-mail: annet17@yandex*

Результаты исследований сыворотки крови человека с помощью Акустического анализатора АКБа-01 БИОМ позволили разработать безреагентные методики определения белковых и липидных компонентов сыворотки крови. Дальнейшие перспективы в этой области связаны с использованием сред, полученным из сыворотки крови путем воздействия на сыворотку крови буферных растворов, которые позволяют удалить глобулины и оставить в модифицированной сыворотке крови альбумин в окружении низкомолекулярных компонентов данной сыворотки. Альбумин является важнейшим переносчиком множества компонентов организма человека в процессе его жизнедеятельности.

В докладе приводятся результаты исследований модифицированной сыворотки крови, основным компонентом которой является альбумин. Обсуждаются перспективы использования полученных результатов для разработки методик лабораторной диагностики.

**УПОРЯДОЧИВАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА  
В ПОЛЕ СТОЯЧИХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН**

**Макалкин Д.И.<sup>1,2)</sup>, Коршак Б.А.<sup>3)</sup>, Брысев А.П.<sup>1,2)</sup>**

*<sup>1)</sup> Международная Ассоциированная Лаборатория критических и сверхкритических явлений в функциональной электронике, акустике и флюидике;*

*<sup>2)</sup> Научный центр волновых исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

*<sup>3)</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва*

*Тел/факс.: +7(499)503-87-57; E-mail: [dmitrymakalkin@ya.ru](mailto:dmitrymakalkin@ya.ru), [brysev@ya.ru](mailto:brysev@ya.ru)*

Представлены результаты реализации эффекта упорядочивания одного из форменных элементов крови человека – эритроцитов, в поле стоячих поверхностных акустических волн с частотой 14,40 МГц. Для регистрации эффекта использовалась цифровая камера. На полученных фотографиях отчетливо наблюдается выделение из плазмы крови эритроцитов в виде полосатой структуры, соответствующей пространственному распределению давления акустического поля. Как показали измерения, период образованной эритроцитами структуры (в пределах точности измерений) равен половине длины поверхностной акустической волны на используемой в эксперименте подложке из ниобата лития. Сравнительный анализ полученных результатов показал их соответствие теоретической и численной моделям, разработанным О.В. Руденко с соавторами и применимых к описанию основных особенностей формирования структурированных пленок из ансамблей микро- или наночастиц на подложке в каплях коллоидного раствора, подвергнутых акусто-вибрационному воздействию, а также их экспериментальным результатам по структурированию частиц кремнезема аналогичным методом. Продемонстрирована так же возможность создания требуемого пространственного распределения взвешенных в жидкости частиц за счет использования акустического поля соответствующей структуры. Отмечается перспективность реализованного эффекта применительно к разработке инновационных методов медицинской диагностики с использованием технологий lab-on-chip.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

### УСТАНОВКА ДЛЯ ТОМОГРАФИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Дмитриев К.В., Котельников Е.А., Зотов Д.И., Румянцева О.Д.

*Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, кафедра акустики*

*Тел.: (495) 939-30-81, E-mail: [burov@phys.msu.ru](mailto:burov@phys.msu.ru)*

Томография акустических нелинейных параметров представляет интерес в целях ранней диагностики онкологических образований. Физической основой такого томографирования является нелинейное взаимодействие сигналов в среде, в результате которого возникает сигнал рассеяния на комбинационных частотах, зависящий от пространственного распределения акустических нелинейных параметров второго и третьего порядков и регистрируемый на приёмнике. Использование первичных (зондирующих) кодированных сигналов позволяет выделить, благодаря корреляционной обработке принятого сигнала, вклад от нелинейного взаимодействия первичных сигналов в каждой точке двумерной области томографирования и, тем самым, получить томограмму в виде некоторой комбинации нелинейных параметров.

Рассматриваются две схемы акустической нелинейной томографии третьего порядка: первая – с двумя кодированными и одним монохроматическим первичным сигналом [1] и вторая – с тремя кодированными первичными сигналами. Преимуществом первой схемы является относительная простота реализации, однако получаемая информация о количественных значениях нелинейных параметров не является точной. Для проверки возможности восстановления нелинейного параметра третьего порядка эта схема реализована в ранней версии прототипа нелинейного томографа, в котором каждый кодированный сигнал генерируется платой Altera и затем проходит аналоговую фильтрацию. Для перехода к схеме с тремя кодированными сигналами, та же самая первая схема была реализована с использованием плат National Instruments (заменяющих плату Altera аналоговые фильтры), которые могут излучать произвольный предварительно записанный сигнал. Это позволило обойтись без дополнительных фильтров, что положительно сказалось на качестве изображения; кроме того, становится возможным сравнить качество итогового изображения при использовании различных типов и параметров кодировки первичных сигналов.

Литература:

1. В.А. Буров, А.А. Шмелёв, Д.И. Зотов. Прототип томографической системы, использующий акустические нелинейные эффекты третьего порядка // Акуст. журн. 2013. Т.59. №1. С.31-51.

### ВИРТУАЛЬНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СКАНЕР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТРУКТУР И СОСУДОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕРЕЗ КОСТИ ЧЕРЕПА

Юлдашев П.В.<sup>1)</sup>, Цысарь С.А.<sup>2)</sup>, Хохлова В.А.<sup>3)</sup>, Свет В.Д.<sup>4)</sup>, Сапожников О.А.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> *Каф. общей физики и физики конденсированного состояния физфака МГУ имени М.В. Ломоносова*

<sup>2)</sup> *Каф. фотоники и физики микроволн физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>3)</sup> *Кафедра акустики физфака МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы*

<sup>4)</sup> *АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Москва*

*Тел./Факс: (495 939952); E-mail: [petr@acs366.phys.msu.ru](mailto:petr@acs366.phys.msu.ru)*

В настоящее время визуализация внутренних структур мозга осуществляется с помощью рентгеновской или магнитно-резонансной томографии. Однако за последние несколько лет всё большее внимание стало уделяться ультразвуковым методам транскраниальной визуализации. Проблема транскраниальной визуализации заключается в сильном влиянии эффектов поглощения, реверберации и рефракции на прохождение диагностических импульсов через кости черепа. В результате возникают паразитные сигналы, маскирующие полезные сигналы от рассеивателей, расположенных за костью. Компенсация искажений возможна при использовании многоэлементных приёмо-излучающих двумерных решёток. Для теоретического исследования возможностей двумерных решёток при транскраниальной визуализации была разработана трехмерная компьютерная модель ультразвукового сканера. Модель основана на численном решении линейного волнового уравнения для неоднородной среды без учета сдвиговой упругости. В численном алгоритме используется представление полей давления, колебательной скорости и параметров среды в Фурье-пространстве, соответствующем обычным пространственным координатам. Компоненты колебательной скорости вычисляются на смещённых на полшага по времени и по пространству сетках. В численном эксперименте моделировалось построение ультразвукового изображения при помощи решетки размером 70x70 мм, состоящей из 10000 квадратных элементов. Череп был представлен фантомом, одна сторона которого, обращенная к решетке, была плоской, а другая сторона содержала случайные неровности с амплитудой 1-5 мм. По акустическим свойствам фантом черепа был однородным с плотностью 1900 кг/м<sup>3</sup> и скоростью звука 2500 м/с, что соответствует параметрам реальных черепных костей. За фантомом на расстоянии 3 см был помещен сферический рассеиватель диаметром 3 мм. Для создания

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

диагностического пучка все элементы решетки одновременно излучали одинаковый импульс частотой 1 МГц и длительностью 2 периода. При помощи эхо-импульсного метода по первым двум отражениям был восстановлен профиль неровностей кости с целью использования этой информации для коррекции аберраций. Построение изображения рассеивателя проводилось методом сложения сигналов с учётом их задержек, используемым в традиционном В-режиме ультразвуковой визуализации. Для компенсации аберраций вычислялись задержки на пути луча, проведенного между рассеивателем и элементом решетки с учетом прохождения через фантом черепа. Показано, что построить изображение рассеивателя удастся только в случае компенсации аберраций. Работа поддержана грантом РФФ 14-15-00665.

**Ключевые слова:** транскраниальная ультразвуковая визуализация, численное моделирование

### **ЭХО-ИМПУЛЬСНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНЫЙ ПО ТОЛЩИНЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ В ПРИМЕНЕНИИ К ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ СТРУКТУР МОЗГА**

**Сухоручкин Д.А., Цысарь С.А., Сапожников О.А.**

*Физический факультет*

*Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва*

*Тел.: +7-917-533-2009; Факс: +7-495-939-2952; E-mail: [da.sukhoruchkin@physics.msu.ru](mailto:da.sukhoruchkin@physics.msu.ru)*

Ультразвуковые исследования (УЗИ) занимают особую роль среди методов медицинской интроскопии внутренних органов. Они основаны на эффекте частичного рассеяния ультразвуковых волн на неоднородностях тканей. Визуализация основана на эхо-импульсном принципе и компьютерном преобразовании рассеянных сигналов в изображение на экране. Традиционные приборы УЗИ пригодны для визуализации лишь мягких биологических тканей. Акустические свойства этих тканей таковы, что ультразвук распространяется в них на расстояния в десятки и сотни длин волн почти как в однородной среде, испытывая относительно слабое затухание и мало подвергаясь влиянию рефракции. К сожалению, такие удачные для проведения УЗИ условия выполняются не для всех частей человеческого организма. В частности, исследование структур человеческого мозга оказывается затруднённым и во многом даже невозможным из-за того, что череп является сильным акустическим препятствием: кости черепа, во-первых, заметно отличаются от тканей мозга по акустическому импедансу и поэтому эффективно отражают ультразвук; во-вторых, из-за своей неоднородной структуры они приводят к эффективному затуханию акустических волн; в-третьих, из-за повышенной скорости звука и наличия неровностей поверхности после прохождения ультразвуком черепа возникает рефракция, приводящая к сильным аберрациям. В настоящей работе соответствующие акустические процессы исследуются методом конечных разностей на смещенных сетках. Исследование проводится в двумерном приближении, которое позволяет анализировать на персональном компьютере процесс ультразвуковой визуализации с учётом возбуждения в черепной кости разных типов волн. При моделировании кость рассматривается как неоднородный по толщине твердотельный слой из однородного изотропного материала, а окружающая его среда считается жидкостью. Падающая волна представляется в виде импульса плоской волны, что является хорошим приближением для ситуации, когда многоэлементный ультразвуковой датчик производит излучение одновременно всеми элементами. Для устранения паразитных отражений волны от границ области расчёта введён идеально согласованный слой (PML). Для случая известного положения и толщины черепной кости были разработаны алгоритмы нахождения пути распространения акустической волны в геометрическом приближении, основанные на определении пути с наименьшим временем распространения волны. Работа поддержана грантом РФФ 14-15-00665.

### **ТРАХЕАЛЬНЫЕ ШУМЫ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА ЧЕЛОВЕКА: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Коренбаум В.И., Почекутова И.А., Малаева В.В., Сафронова М.А., Костив А.Е.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*

*Тел.: 423 2375698; Факс: 423 312573; E-mail: [v-kor@poi.dvo.ru](mailto:v-kor@poi.dvo.ru)*

Форсированный выдох человека сопровождается характерными дыхательными шумами, содержащими широкополосные и узкополосные составляющие. Последние из них получили название свистов форсированного выдоха (СФВ). Механизмы формирования шумов форсированного выдоха и уровни бронхиального дерева, ответственные за их происхождение, до сих пор активно дискутируются. В докладе освещены акустические представления о происхождении и характеристиках шумов форсированного выдоха, полученные авторами в последнее десятилетие. Анализируются акустико-биомеханические взаимосвязи форсированного выдоха, преимущественные механизмы и зоны формирования СФВ.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

Разработанные акустические модели и эмпирически установленные феномены позволили разработать набор акустических параметров, оказавшихся перспективным для функциональной диагностики вентиляционной функции легких. Полученные результаты нашли применение как в общемедицинских исследованиях, так и при контроле состояния лиц, находящихся в экстремальных условиях (водолазные погружения, моделирование космических полетов).

**Ключевые слова:** шумы, форсированный выдох, механизмы, источники, функциональная диагностика

### МОДЕЛЬ ГОЛОСООБРАЗОВАНИЯ ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ ГОРТАНИ

Харченко С.С.<sup>1)</sup>, Мещеряков Р.В.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г.Томск;  
Тел.: +79832336644; E-mail: [ss.kharchenko@gmail.com](mailto:ss.kharchenko@gmail.com)*

Рассматривается разработанная математическая модель образования псевдоголоса в процессе формирования пищеводной речи у пациентов, потерявших гортань в следствии болезни. Разработанная модель учитывает биомеханические свойства мышечных тканей, участвующих в голосообразовании.

**Ключевые слова:** модель масс, псевдоголос, пищеводная речь, пищевод, рак гортани

### МАСКИРОВКА ИМПУЛЬСОВ ИМПУЛЬСНЫМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ У СЛУШАТЕЛЕЙ С НОРМАЛЬНЫМ СЛУХОМ И ВОЗРАСТНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

Римская-Корсакова Л.К., Сухорученко М.Н.

*АО "Акустический институт имени академика Н.Н.Андреева", Москва  
Тел.: (499) 7236311; (499) 1259051; Факс: (499) 1266411; E-mail: [lkrk@mail.ru](mailto:lkrk@mail.ru)*

В слуховых экспериментах были получены зависимости порогов обнаружения тестовых высокочастотных (4 кГц) импульсов от задержки между тестовым импульсом и помехой у лиц с нормальным слухом и возрастными нарушениями. В качестве помех использовали одиночный импульс или последовательность из восьми одинаковых импульсов. Физические параметры тестовых импульсов и импульсов помех были одинаковыми. У 3 слушателей с нормальным слухом помехи разных видов вызывали одинаковую прямую маскировку, но разную обратную маскировку. Свойства прямой маскировки, в отличие от свойств обратной маскировки, соответствовали классическим представлениям при любых видах помех. Одиночный импульс помехи, следовавший за тестовым импульсом, вызвал классическую обратную маскировку: пороги падали с увеличением задержки. Но если помехой была последовательность импульсов, то *пороги обратной маскировки* зависели от отношения T/D, где T – интервал между импульсами помехи, равный 40, 50, 60, 80 или 100 мс; D – задержка первого импульса помехи относительно тестового импульса, варьируемая от 5 до (T+20) мс. При T=D пороги *обратной маскировки резко возрастали*. У 1 слушателя с возрастными нарушениями слуха свойства обратной маскировки соответствовали таковым, обнаруженным у лиц с нормальным слухом. Однако свойства прямой маскировки отличались от таковых, полученных у лиц с нормальным слухом. Чтобы найти возможные объяснения причин наблюдаемых явлений, оценивали комплементарные характеристики реакции ансамбля волокон слухового нерва (ВСН) такие, как распределение моментов появления спайков во времени и распределение межспайковых интервалов. Обсуждаются особенности временного периферического кода, который обеспечивает восприятие человеком последовательностей импульсов и который, предположительно, учитывает разные распределения спайковой активности ансамбля ВСН. Работа выполнена в интересах изучения особенностей реабилитации лиц с нарушениями слуха.

**Ключевые слова:** высокочастотные импульсы, слуховые механизмы, временной код, реабилитация слуха

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКО-УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ТКАНЕЙ (ФАНТОМЫ И СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ), ИСПОЛЬЗУЯ ЭЛАСТОГРАФИЮ  
СДВИГОВОЙ ВОЛНЫ (РЕАЛИЗОВАНО В СИСТЕМАХ VERASONICS И SIEMENS ACUSON)**

**Демин<sup>1</sup> И.Ю., Спивак<sup>1</sup> А.Е., Шнейдман<sup>1</sup> Д.Д., Рыхтик<sup>2</sup> П.И., Рябова<sup>2</sup> Е.Н., Сафонов<sup>2</sup> Д.В.,  
Андреев<sup>3</sup> В.Г., Крит<sup>3</sup> Т.Б.**

<sup>1)</sup> *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород;*

<sup>2)</sup> *Приволжский окружной медицинский центр ФМБА России, г. Нижний Новгород;*

<sup>3)</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва.*

*E-mail: demin@rf.unn.ru*

В современной аппаратуре ультразвуковой диагностики перспективными методами визуализация и измерение упругости мягких тканей являются методы SWEI и ARFI, основанные на бесконтактном возбуждении и регистрации скорости сдвиговой волны. В последние годы данные методики были апробированы для измерения сдвиговых вязкоупругих характеристик полимерных и желатиновых фантомов в лаборатории «МедЛаб» Нижегородского госуниверситета с помощью исследовательской системы с открытой архитектурой V-1 Electronics фирмы «Verasonics» и на базе Приволжского окружного медицинского центра (ПОМЦ) с использованием ультразвуковой системы ACUSON S2000 фирмы «Siemens». Следующим шагом продолжения этих совместных исследований является теоретическое и экспериментальное исследования сдвиговых волн в анизотропных вязкоупругих средах на примере скелетных мышц, где анизотропия упругих свойств обусловлена ориентацией мышечных волокон.

В докладе приведены результаты измерений скорости сдвиговых волн и упругих характеристик (модули сдвига и Юнга) двуглавой мышцы плеча (musculus biceps brachii) и икроножной мышцы (musculus gastrocnemius). В качестве волонтеров были привлечены студенты-спортсмены Нижегородского государственного университета в количестве 17 человек (15 юношей и 2 девушки). Скорости сдвиговой волны были измерены в зависимости от направления поляризации сдвиговой волны по отношению к мышечным волокнам (вдоль и поперек), а также как в расслабленной мышце, так и в напряженной, под различной нагрузкой. Было отмечено уменьшение скорости сдвиговой волны вдоль волокон в 2,5-3 раза по отношению к результатам измерения скорости волны поперек волокон мышцы. Также проведены сопоставления упругих характеристик (модулей сдвига и Юнга) для пассивной мышцы и напряженной, что может послужить в дальнейшем для диагностики функционального состояния мышц - важно в спортивной медицине.

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-42-02586а и № 16-02-00719а.

**УСКОРЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ АБЛЯЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
УДАРНО-ВОЛНОВОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ**

**Андряхина Ю.С., Синильщиков И.В., Карзова М.М., Юлдашев П.В., Хохлова В.А.**

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

*Тел.: 495 9392952; E-mail: julia\_andriakhina@mail.ru*

Мощный фокусированный ультразвук (или HIFU – от High Intensity Focused Ultrasound) используется в современной ультразвуковой хирургии для неинвазивного разрушения опухолей. Традиционными для HIFU являются режимы теплового разрушения ткани при ее облучении гармоническими ультразвуковыми волнами. Несмотря на успехи в клиническом использовании, такие режимы имеют ряд недостатков, в частности, непредсказуемость конечного объема и невысокая скорость разрушения ткани. Для их устранения в данной работе предлагается использовать импульсно-периодические ударно-волновые режимы облучения, при которых средняя по времени мощность пучка остается такой же, как и в случае гармонического воздействия, а увеличение пиковой мощности компенсируется уменьшением коэффициента заполнения в каждом из импульсов. В этом случае нелинейные эффекты, проявляющиеся при фокусировке пучка, приводят к образованию высокоамплитудных ударных фронтов в фокусе излучателя, что сопровождается резким увеличением поглощения энергии пучка на образовавшихся разрывах. Это позволяет не только ускорить процесс тепловой абляции, но и получить объемное разрушение в точно локализованной области. В работе проводился численный эксперимент, моделирующий облучение образца в ткани печени *ex vivo* с помощью многоэлементной терапевтической решетки клинической системы Sonalleve V1 3.0T, Philips Healthcare. Фокусировка пучка в ткани описывалась с помощью модифицированного уравнения Вестервельта, температурное поле рассчитывалось с помощью уравнения теплопроводности, порог разрушения определялся в каждой точке в соответствии с величиной тепловой дозы. Область облучения состояла из последовательности одиночных фокусов, перемещаемых каждые 20 мс с помощью электронной фазировки по траектории, расположенной в плоскости, перпендикулярной оси пучка и состоящей из четырех окружностей с радиусами 1, 2, 3 и 4 мм.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Также был рассмотрен случай последовательного облучения объема ткани по трем слоям, расположенных на расстоянии 5 мм друг от друга вдоль оси пучка. Было показано, что использование нелинейных режимов в совокупности с облучением трех слоев ткани приводит к гораздо более быстрому (до 6 раз) и локализованному тепловому разрушению по сравнению с облучением одного слоя ткани с той же средней мощностью, но гармоническим воздействием. Работа поддержана грантом РФФ 14-12-00974.

### **СОЗДАНИЕ ПЛОСКОВОЛНОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ИЗЛУЧАТЕЛЯ КОНЕЧНОГО РАЗМЕРА С ЦЕЛЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ**

**Сапожников О.А., Хасанова М.В.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва  
Тел.: (925) 3841664; E-mail: [m.v.khasanova@gmail.com](mailto:m.v.khasanova@gmail.com)*

Диагностика физиологических особенностей и патологий биологических тканей может быть основана на измерениях скорости звука и коэффициента поглощения акустических волн. Эти параметры определяют закон дисперсии среды и вводятся для плоских волн. В реальном эксперименте создать такие волны невозможно, поскольку для этого потребовался бы источник бесконечных размеров. В то же время, если возбудить плоский излучатель большого размера в импульсном режиме, вблизи его центра на небольших расстояниях в течение некоторого времени – пока не придут сигналы с краёв излучателя – режим плоской волны может быть реализован. Для анализа такой возможности в настоящей работе создана численная модель, в которой в среде MATLAB рассчитывается распространение импульсного сигнала от источника круглой формы. В этом случае на оси симметрии источника имеется точное решение, которое удобно анализировать спектральным методом: исходя из спектра колебательной скорости поверхности источника рассчитывается спектр акустического давления, из которого в результате обратного преобразования Фурье получается искомая форма акустической волны на оси пучка. При расчёте учитывается, что коэффициент поглощения и скорость звука в среде зависят от частоты, и это влияет на характер искажения импульса. Показано, что акустический сигнал состоит из двух следующих друг за другом импульсов, первый из которых представляет собой плоскую волну («прямая волна»), а второй соответствует волне, приходящей с краёв источника («краевая волна»). Найден возможный диапазон расстояний и соответствующих временных интервалов, в рамках которых возможно выделение прямой волны. Расчёты были проверены в экспериментах, в которых использовался круглый пьезокерамический излучатель диаметром 100 мм с центральной частотой 1 МГц и миниатюрный гидрофон. В качестве среды распространения были выбраны вода и глицерин. Полученные из эксперимента значения для скорости звука и коэффициента поглощения в пределах погрешности согласуются с табличными. В дальнейшем предложенный способ реализации режима плоской волны будет использован для измерения параметра акустической нелинейности сред. Планируются также эксперименты с мягкими биологическими тканями. Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-00261 и грантом Президента РФ по программе поддержки ведущих научных школ № НШ-7062.2016.2.

### **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА АРТЕФАКТА МЕРЦАНИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАМНЕЙ В ПОЧКАХ**

**Полянский А.И., Сапожников О.А.**

*Физический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Тел.: (916 8091677); E-mail: [ai.polyanskiy@physics.msu.ru](mailto:ai.polyanskiy@physics.msu.ru)*

Исследуется артефакт мерцания, заключающийся в том, что при ультразвуковой диагностике мочекаменной болезни на границе почечного камня в доплеровском режиме иногда появляется изображение в виде нестационарной разноцветной мозаичной структуры. Механизмы возникновения артефакта мерцания при ультразвуковом исследовании (УЗИ) до сих пор являются предметом дискуссий. Одной из возможных причин может быть спорадическая активность пузырьков микронного размера, расположенных в углублениях неровной поверхности камня. Имеются экспериментальные факты нашей группы, указывающие на проявление такого кавитационного механизма. Чтобы изучить возможное влияние рассеяния на пузырьках на структуру доплеровского сигнала, в настоящей работе построена теоретическая модель, позволяющая численно промоделировать процессы в ультразвуковом сканере. Акустические процессы рассеяния диагностических импульсов на камне исследуются в линейном приближении с использованием системы уравнений эластоупругости (уравнение движения и закон Гука). Моделирование проводится в приближении аксиальной симметрии. Используется конечно-разностный метод на смещённых сетках, имеющий второй порядок точности. Рассматривается аксиально-симметричный почечный камень из изотропного упругого материала. Камень окружён жидкостью. На некотором расстоянии от камня

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

находится многоэлементная решётка приёмников. Зондирование камня производится со стороны приёмной решётки плоской импульсной волной с параметрами, типичными для систем УЗИ. Для устранения паразитных переотражений от границ исследуемой области использован идеально согласованный слой (PML), в котором все волны плавно поглощаются. Расчёты проводились в цилиндрических координатах. После нахождения временной зависимости акустического давления на поверхности камня проводилось моделирование поведения пузырьков микронного размера. Для этого использовалось уравнение Рэлея-Плессета для радиуса одиночного пузырька, совершающего колебания под действием заданного акустического давления. Уравнение решалось численно методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности. По известному закону изменения радиуса от времени рассчитывалось акустическое давление излученной пузырьком сферической волны. Используя акустические сигналы на приёмных элементах при наличии и при отсутствии пузырьков, анализировался возможный доплеровский сигнал и с использованием стандартных алгоритмов строилось изображение. Оказалось, что активность пузырьков действительно даёт вклад в появление доплеровского сдвига, объясняющего возникновение артефакта мерцания. Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-00261.

### **ИМПУЛЬСНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ МИКРОСКОПИЯ МАТЕРИАЛОВ И ОБЪЕКТОВ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ**

**Храмцова Е.А.<sup>1)</sup>, Мороков Е.С.<sup>1)</sup>, Григорьев Т.Е.<sup>2,3)</sup>, Губарева Е.А.<sup>4)</sup>, Сотниченко А.С.<sup>4)</sup>, Кувейда Е.В.<sup>4)</sup>,  
Левин В.М.<sup>1)</sup>, Петронюк Ю.С.<sup>5)</sup>**

*<sup>1)</sup>Ин-т биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН; <sup>2)</sup>Национальный научно-иссл. центр «Курчатовский Институт»; <sup>3)</sup>Ин- элементорганических соединений им.А. Н. Несмеянова РАН, Москва; <sup>4)</sup>Кубанский гос. медицинский университет, Краснодар; <sup>5)</sup>Научно-технологич.центр уник. приборостроения РАН, Москва.  
Тел.: (499 1378347); Факс: (495 1354101); E-mail: ([alyonushk@gmail.com](mailto:alyonushk@gmail.com))*

В докладе представлены результаты экспериментального изучения возможностей применения импульсной акустической микроскопии для неинвазивной характеристики материалов и объектов тканевой инженерии. Изучены особенности визуализации акустическими методами нетканого матрикса, выполненного из тонких натуральных и синтетических волокон толщиной 4-8 мкм, а также губчатых материалов на основе хитозана с размером пор 80-130 мкм. Для отображения малоразмерных цилиндрических элементов структуры матриксов – полимерных волокон и тяжёлых, коллагеновых волокон естественных тканей, применялся ультрамикроскопический режим, основанный на регистрации рассеянного излучения. Предложены ультразвуковые методики для наблюдения объёмной микроструктуры естественных тканевых матриксов, получаемых удалением клеточного содержимого из органов-доноров (пищевод, диафрагма, легкие). Для отображения распределения мелкомасштабных структурных элементов в поперечных сечениях образцов тканевых матриксов развиты методики визуализации с применением динамической фокусировки внутри объекта и последующего полутонового отображения структуры – В/D (*brightness-depth*) методика. Результаты исследования позволяют предложить недоступные ранее методики характеристики объёмной архитектуры материалов, используемых для создания тканевых матриксов, в т.ч. для оценки ориентированности волокон, степени их смачиваемости водными растворами, оценки размеров и структуры пор, ячеек матрикса.

### **ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ХИРУРГИИ С ПЛОТНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

**Росницкий П.Б.<sup>1)</sup>, Гаврилов Л.Р.<sup>2)</sup>, Сапожников О.А.<sup>1)</sup>, Высоканов Б.А.<sup>3)</sup>, Хохлова В.А.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup>Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, <sup>2)</sup>АО «АКИН», Москва.*

*<sup>3)</sup>Механико-математический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва.*

*Тел.: 495 9392952; E-mail: [pavrosni@yandex.ru](mailto:pavrosni@yandex.ru)*

В современной медицине широко используются многоэлементные фазированные решетки для проведения неинвазивных, то есть без прямого хирургического вмешательства, операций по разрушению опухолей внутри тела человека. Такие решетки состоят из большого количества элементов, которые обычно располагаются на сферической оболочке. Варьирование амплитуд и фаз на элементах позволяет перемещать фокус электронным образом и создавать многофокусные конфигурации с целью увеличения облучаемого объема ткани. Кроме того, при облучении органов, закрытых ребрами, можно отключать некоторые элементы, чтобы избежать перегрева костей во время лечения. В существующих клинических системах используются решетки с квази-случайным расположением элементов. Это позволяет расширить область электронного смещения фокуса без образования побочных максимумов поля. Однако, при этом решетки получаются неплотными, коэффициент заполнения или процент излучающей поверхности решетки составляет 55 – 65 %. В последнее время растет интерес к созданию решеток с коэффициентом

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

заполнения, близким к 100% при сохранении нерегулярной структуры расположения элементов. Такие решетки необходимы для реализации нелинейных режимов фокусировки на больших глубинах в ткани либо при облучении через ребра. В данной работе предлагается модель такой решетки, с пространственной структурой, основанной на мозаике Вороного и состоящей из многоугольных ячеек близких по площади. Исследуется влияние изменения формы элементов на размер области динамической фокусировки предложенной решетки по сравнению с распространенными на практике решетками, состоящими из круглых элементов. Проведены расчеты качества полей при смещении фокуса для двух решеток с одинаковыми геометрическими размерами и площадью элементов. Первая из них – 512-элементная решетка со 100% заполнением поверхности элементами в форме ячеек Вороного, а вторая – существующая 256-элементная решетка ультразвуковой хирургии с 50% заполнением поверхности круглыми элементами, расположенными по виткам спирали. Проведено сравнение пространственных областей электронного смещения фокуса с учетом побочных эффектов уменьшения амплитуды давления в фокусе и образования решеточных максимумов. Работа поддержана грантом РФФИ 14-12-00974.

**Ключевые слова:** многоэлементные решетки, фокусировка, дифракция, медицинская акустика, ультразвуковая хирургия, гистотрипсия

### **РАСЧЕТ АППАРАТНОЙ ФУНКЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО АКУСТОТЕРМОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА**

**Аносов А.А.<sup>1)</sup>, Шаракшанэ А.А.<sup>1)</sup>, Мансфельд А.Д.<sup>2)</sup>, Санин А.Г.<sup>2)</sup>**

*<sup>1)</sup> ИРЭ им. В.А. Котельникова, Москва; <sup>2)</sup> ИПФ РАН, Н.Новгород;  
Тел.: (916 0743159); Факс: (495 6245285); E-mail: anosov@hotmail.ru*

Рассчитана аппаратная функция широкополосного (1.6 – 2.5 МГц) датчика, используемого в акустотермометрии. Экспериментальная проверка показала согласование измеренных и расчетных результатов. Проведены исследования влияния характеристик полосы пропускания и размера датчика на аппаратную функцию приемника, а также влияния аппаратной функции на измеряемый датчиком акустотермометрический сигнал. Показано, что для типичных в акустотермометрии расстояниях между датчиком и исследуемым объектом основным параметром, определяющим акустотермометрический сигнал, является отношение длины волны (для средней частоты приема) к диаметру датчика. Для задач локализации нагретой области приемник оптимально устанавливать на расстоянии 15 – 25 мм от нагретой области. Например, в этой зоне для датчика диаметром 8 мм ширина аппаратной функции составляет  $1.2 \pm 0.1$  мм по уровню 0.5 от максимального.

**Ключевые слова:** тепловое акустическое излучение, аппаратная функция, полоса пропускания, акустоэластичная температура

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (БИО) - 08.06.2017 с 16.20 до 18.00**

**АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА  
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ**

**Стрельцов Д.А., Клемина А.В.**

*ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород  
Тел.: 4656305; E-mail: annet17@yandex., danstreltsov@mail.ru*

Исследование физических характеристик биологических жидкостей является актуальной задачей, имеющей прикладное значение в области биологии и медицины. Целью данного исследования явилось исследование изменений структуры эритроцитов акустическим методом – методом интерферометра постоянной длины. Данный метод лежит в основе акустического резонаторного прибора - Анализатор акустический АКБа-01 БИОМ. Метод основан на использовании стоячих ультразвуковых волн в цилиндрическом резонаторе. Термостатирование акустических ячеек выполняет специализированный ультратермостат. Точность поддержания температуры в ячейках объемом 90 мкл составляет 0.002 °С.

В ходе эксперимента бралась цельная кровь человека, на эритроциты которой действовали гипотоническими и гипертоническими растворами. Проводилось сравнение относительной скорости ультразвука в цельной крови и после воздействия на нее гипотоническим и гипертоническим растворами. Была получена четкая картина изменения структуры эритроцитов под воздействием растворов.

Также полученные данные были использованы для исследования зависимости сжимаемости эритроцитов от концентрации клеточного гемоглобина. Сжимаемость эритроцитов - важный физический параметр для вычисления акустических свойств рассеивания крови, также может быть использован как индикатор для оценки упругих свойств эритроцитов, что представляет собой особый медицинский интерес. Обсуждается возможность в дальнейшем использовать эти экспериментальные данные для создания акустического метода определения сжимаемости эритроцитов цельной крови человека.

**ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ОЖИРЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТОНУСА  
ОРГАНИЗМА БОДИСОНИК**

**Кириллов А.Г.<sup>1)</sup>, Рейман А.М.<sup>1)</sup>**

*<sup>1)</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), Нижний Новгород  
Тел.: +7 831 416-49-76; Факс: +7 831 416-49-76; E-mail: kir@ufp.appl.sci-nnov.ru*

Сегодня в списке ценностей современного успешного человека не только карьера, семья, дом, но и физическое здоровье и привлекательная внешность. Как правило, особое внимание уделяется массе тела (количеству жировых отложений). Традиционные методики (взвешивание, импедансометрия) определяют процентное содержание жира от общей массы человека, но в ряде случаев требуется контролировать толщину жировой прослойки в отдельных областях тела (пресс, ягодицы, бедра и т.п.) для эффективной коррекции фигуры, а также для минимизации затрат при подготовке (реабилитации) отдельных участков тела.

В настоящей работе представлена разработанная авторами компьютерная экспертная система БодиСоник на базе портативного прибора, позволяющего методом традиционной линейной эхолокации определять толщину жирового слоя в различных точках человеческого тела. Значения толщины жира в различных точках тела позволяет строить изолинии жировых отложений (картировать тело) и контролировать их изменения в процессе физических упражнений (спорт, фитнес, медицинская реабилитация). К прибору прилагается программное обеспечение, с помощью которого на основе экспериментальных данных пользователь может рассчитывать различные индексы веса, определять расход калорий, выбирать рекомендованные физические нагрузки. При долговременных измерениях программа может указать на предрасположенность к определенным заболеваниям и, даже, порекомендует лечебную диету.

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**НЕЛИНЕЙНОЕ ОТРАЖЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН  
НА ГРАНИЦАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД**

**Михралиева А.И.<sup>1</sup>, Чернов Н.Н.<sup>1</sup>, Заграй Н.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный ун-т», Ин-т нанотехнологий, электроники и приборостроения (ИНЭП); Россия, г. Таганрог  
Тел.: +7(8634)371-767, факс: +7(8634)361-500; E-mail: mihralieva-amalya@yandex.ru, inep@sfedu.ru*

Неоднородная биологическая среда представляется как совокупность ряда плоских слоев с различными акустическими свойствами. Акустические методы диагностики биологических сред по параметрам отраженных сигналов акустических параметрических антенн становятся основой ряда современных методов визуализации таких сред методами нелинейной акустики. Теоретической основой таких методов становится рассмотрение и установление в нелинейном приближении взаимосвязи между параметрами и их изменениями для вторичных акустических полей, генерируемых в среде в результате нелинейного взаимодействия первичных полей волн накачки. При излучении в нелинейно-упругую материальную сплошную среду акустических волн повышенной интенсивности величины прошедших и отраженных полей становятся отличными от случаев малых амплитуд, соответствующих линейной акустике. Расширение граничных условий на второе (нелинейное) приближение в описании акустического поля на границах позволяет определить величины уровней полей отраженных и прошедших и коэффициенты отражения или прохождения в этом приближении.

**ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДЫХ МИКРОЧАСТИЦ В ВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ  
АКУСТИЧЕСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ**

**Кудашова<sup>1</sup> А.А., Демин<sup>1</sup> И.Ю., Андреев<sup>2</sup> В.Г.**

*1) Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород*

*2) Московский госуниверситет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

*Тел.: +7-951-917-05-55; E-mail: kudashova.anastasiya@gmail.com*

В докладе приведены результаты измерения относительных смещений сферических микрочастиц в вязкоупругой среде под действием радиационной силы. В качестве экспериментальной модели были использованы специально разработанные желатиновые фантомы с включениями в виде стеклянных шариков размером от 100 до 300 мкм. Измерения проводились при помощи акустической системы Verasonics с открытой архитектурой, расположенной в лаборатории «Биомедицинских технологий, медицинского приборостроения и акустической диагностики (МедЛаб)» кафедры акустики радиофизического факультета ННГУ. В результате экспериментальных исследований была предложена методика определения размеров частиц из временных зависимостей смещения их относительно однородной среды. Эти результаты могут быть использованы для разработки метода ранней диагностики рака молочной железы по обнаружению твердых микрочастиц – микрокальцификатов, являющихся главным диагностическим параметром для данного типа рака и определению их размера. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-42-02586а

**АКУСТИЧЕСКИЙ ПИНЦЕТ ДЛЯ ЗАХВАТА И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ НА БАЗЕ  
СФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ**

**Лесик М.В., Соловьев С.И., Андреев В.Г.**

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

*Тел.: (495 9392952); E-mail: andreev@acs366.phys.msu.ru*

Рассматривается задача захвата и перемещения микрочастиц с помощью одиночного сфокусированного излучателя на частоте 2 МГц. Рассчитано пространственное распределение радиационной силы, действующей на твердые частицы полистерена и двуокиси кремния в поле фокусирующего излучателя с фокусным расстоянием 70 мм и апертурой 64 мм. Показано, что существуют области на расстоянии 64 мм от поверхности излучателя, где частицы диаметром 150 мкм могут быть захвачены и удержаны при амплитуде колебательной скорости на поверхности излучателя, превышающей 6 см/с. Проведены измерения смещения частиц двуокиси кремния в горизонтальных плоскостях, расположенных на расстояниях 60-70 мм от излучателя. Показано, что

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

под действием радиационной силы микрочастицы смещаются и образуются области чистой поверхности, размеры и положение которых зависят от расстояния до излучателя и интенсивности ультразвука. Экспериментальные результаты соответствуют теоретическим расчетам. Предложенная схема простого акустического пинцета может быть востребована в биоинженерии для захвата и перемещения клеток и клеточных структур.

**Секция РДВ – Распространение и дифракция волн**

Миронов Михаил Арсеньевич, руководитель  
*Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева*  
117036 Москва, ул. Шверника, д. 4; E-mail: mironov\_ma@mail.ru

**08.06.2017 - с 11.20 до 16.00**

**09.06.2017 - с 09.00 до 11.00**

**АКУСТИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА РАЙОНА УСТАНОВКИ АНТЕНН  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ МОДУЛЕЙ**

**Белов А.И., Кузнецов Г.Н.**

*Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва*  
Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

Выполнено экспериментальное исследование методов акустической калибровки мелкого моря с использованием скалярных или векторно-скалярных приемных модулей. Показано, что использование вертикальной составляющей вектора ускорения (скорости) позволяет выделить и измерить параметры большего числа нормальных волн. Установлено, что применение векторно-скалярных приемников в мелком море повышает точность оценки параметров акустической модели грунта.

**Ключевые слова:** акустическая калибровка волновода, параметры модели грунта, векторно-скалярные приемники

**АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ПРИНЦИПА ВЗАИМНОСТИ  
В ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ ПОЛЯХ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

**Степанов А.Н.<sup>2)</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва;*

<sup>2)</sup> *Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, Самара*  
Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

Исследуется применимость принципов взаимности в гидроакустическом волноводе для векторно-скалярных полей мультипольных источников. Показано, что мультипольные источники по этому принципу разделяются на две группы: в первой группе поля звукового давления, горизонтальные проекции векторов колебательной скорости удовлетворяют принципу взаимности, а вертикальные проекции этих векторов не удовлетворяют. Во второй группе давление и горизонтальные проекции вектора колебательной скорости принципу взаимности не удовлетворяют, а их вертикальные проекции удовлетворяют. Установлено, что градиенты фазы и углы прихода сигналов в вертикальной плоскости, в основном, не удовлетворяют принципу взаимности.

**Ключевые слова:** волновод, принципы взаимности, мультипольные источники, векторно-скалярные поля

**ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВАЯ СТРУКТУРА  
УЗКОПОЛОСНЫХ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ СИГНАЛОВ В МЕЛКОМ МОРЕ**

**Белова Н.И., Кузнецов Г.Н.**

*Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва*  
Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

В мелком море выполнен сравнительный анализ амплитуд и фаз узкополосных низкочастотных векторно-скалярных сигналов в зонах интерференционных максимумов и минимумов. Установлено существенное различие интерференционной структуры звукового давления и горизонтальных проекций вектора колебательного ускорения (скорости), с одной стороны, и вертикальных проекций, с другой. Показана устойчивость градиентов фазы в зонах максимумов и быстрое изменение фазы в зонах минимума. Установлена связь этих изменений с зонами дислокаций. Подтверждено хорошее согласие экспериментальных и расчетных зависимостей характеристик векторно-скалярного поля от расстояния.

**Ключевые слова:** векторно-скалярное поле, мелкое море, зоны интерференционных максимумов и минимумов, дислокации, согласие расчетных и экспериментальных зависимостей

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ЗАТУХАНИЕ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ И ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ ВЕКТОРА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ В МЕЛКОМ МОРЕ**

**Белов А.И., Кузнецов Г.Н.**

*Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва  
Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru*

Выполнено экспериментальное исследование затухания в мелком море отдельных нормальных волн, звукового давления, горизонтальной и вертикальной проекций вектора колебательного ускорения (скорости). Эксперименты проведены в районе с известной, установленной в результате акустической калибровки района, моделью передаточной функции. Подтверждено, что моды высоких номеров ослабляются с увеличением расстояния значительно быстрее, чем моды первых номеров. Показано, что параметр, характеризующий затухание звука в грунте, слабо зависит от частоты, что согласуется с моделью Пекериса–Бреховских. Установлено, что вертикальная проекция вектора колебательного ускорения при увеличении расстояния до источника убывает значительно быстрее, чем горизонтальная проекция или звуковое давление. Показано, что законы спада, расчетные и экспериментально измеренные, хорошо согласуются, что подтверждает адекватность построенной модели.

**Ключевые слова:** затухание звукового давления, горизонтальных и вертикальных проекций вектора колебательного ускорения, построение адекватной модели передаточной функции

### **ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПО РАЗМЕРАМ НА ОБРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН**

**Грязнова И.Ю., Иващенко Е.Н., Лабутина М.С.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород  
Тел.: 89519047617; E-mail: gryaznova@rf.unn.ru*

Исследовано влияние статистики распределения дискретных неоднородностей по размерам на среднюю интенсивность обратно рассеянных акустических сигналов. Показано, что появление рассеивателей разных размеров на «звукопрозрачном» дне приводит к увеличению средней интенсивности обратного рассеяния по сравнению с рассеянием на неоднородностях одинакового размера. Доказано, что при наличии отражающей подложки вклад интерференционного слагаемого в среднюю интенсивность при обратном рассеянии на неоднородностях разных размеров уменьшается с увеличением среднего размера рассеивателей.

### **АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВДОЛЬ ПРИЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРАСС В ДВИЖУЩЕЙСЯ ТУРБУЛЕНТНОЙ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ И РАССЕИВАЮЩЕЙ АТМОСФЕРЕ**

**Красненко Н.П.<sup>1,2)</sup>, Буркатовская Ю.Б.<sup>3)</sup>, Раков А.С.<sup>1)</sup>, Раков Д.С.<sup>1)</sup>, Шаманаева Л.Г.<sup>4,5)</sup>**

<sup>1</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск*

<sup>2</sup>*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

<sup>4</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

<sup>5</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск*

*Тел.: (3822 492418); Факс: (3822 491950); E-mail: krasnenko@imces.ru*

При распространении акустического излучения вдоль горизонтальных трасс в атмосфере, происходит его поглощение, обусловленное вязкостью и теплопроводностью воздуха и молекулярным релаксационным поглощением, рассеяние на флуктуациях температуры и скорости ветра, и рефракция на градиентах температуры и скорости ветра. В зависимости от атмосферных условий, вклад многократного рассеяния в сигнал, принимаемый детектором, может составлять от 10 до более 70 %. Для приземных трасс распространения, большое влияние оказывают также эффекты отражения излучения земной поверхностью. В докладе представлены результаты статистического моделирования процесса распространения монохроматического акустического излучения от источника до приемника с учетом вклада многократного рассеяния, рефракции звука, и отражения поверхностью земли для различных моделей атмосферы в зависимости от частоты звука, импедансных свойств земной поверхности, длины трассы распространения, и высот расположения источника и приемника. Расчет проводился методом Монте-Карло с использованием алгоритма локальной оценки по разработанной авторами программе. Проведено сравнение с результатами экспериментальных исследований.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

Ключевые слова: атмосферная акустика, приземное распространение звука, метод Монте-Карло, поглощение, рефракция, рассеяние звука

### ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДИСПЕРСИОННЫХ КРИВЫХ КВАЗИДИПОЛЬНЫХ МОД АНИЗОТРОПНОГО ВОЛНОВОДА С ПОМОЩЬЮ ПОЛУАНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дорофеева А.А.<sup>1), 2), а</sup>, Жарников Т.В.<sup>1), b</sup>, Сыресин Д.Е.<sup>3), c</sup>, Никитин А.А.<sup>4), d</sup>

<sup>1)</sup> Schlumberger Moscow Research, Москва; <sup>2)</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва

<sup>3)</sup> Schlumberger Kabushiki Kaisha, Kanagawa, Japan

<sup>4)</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва

Тел.: (495 9358200); Факс: (495 6442003)

E-mail: <sup>a</sup>aa.dorofeeva@physics.msu.ru, <sup>b</sup>tzharnikov@slb.com, <sup>c</sup>dsyresin@slb.com, <sup>d</sup>nikitin@geol.msu.ru

В данной работе исследуются особенности поведения дисперсионных кривых квазидипольных мод эллиптических анизотропных волноводов. С помощью полуаналитического метода конечных элементов показано, что вблизи точки сближения дисперсионных кривых они не пересекаются, а отталкиваются. Отталкивание сопровождается вращением поляризации мод при изменении частоты. Причиной такого поведения является отсутствие в модели точной симметрии. Пересечение возможно только в моделях с точной симметрией. Предложенный сценарий пересечения дисперсионных кривых важен для геофизических задач, поскольку может быть альтернативой общепринятому сценарию, когда пересечение кривых вызвано преднапряжением вмещающей среды.

Ключевые слова: анизотропный волновод, SAFE, дисперсионные кривые

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В СИЛЬНО ФОКУСИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОУГОЛЬНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Мездрохин И.С.<sup>1)</sup>, Юлдашев П.В.<sup>2)</sup>, Хохлова В.А.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Кафедра акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2)</sup> Кафедра общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

Тел./Факс: (495 939952); E-mail: mezdrokhin@mail.ru

В настоящее время мощный фокусированный ультразвук находит все более широкое применение в медицине для неинвазивного разрушения опухолей различных органов. При разработке протоколов облучения необходимо иметь максимально полную информацию об ультразвуковом поле. В связи с ограничениями экспериментальных методов для описания полей излучателей ультразвуковой хирургии важным инструментом становятся методы численного моделирования. Одной из распространенных моделей здесь является нелинейное уравнение Хохлова-Заболотской-Кузнецова (ХЗК), включающее в себя параболическое приближение описания эффектов дифракции и поэтому справедливое лишь при малых углах фокусировки ультразвукового пучка. Для достижения высоких уровней давлений в фокусе излучатели ультразвуковой хирургии делают сильно сфокусированными. В этом случае параболическую модель дифракции напрямую использовать нельзя. Улучшить точность стандартной параболической модели можно при помощи модификации граничного условия путем подбора параметров эквивалентного излучателя. Другим способом преодоления ограничения малых углов параболической модели является построение широкоугольного приближения на основе Паде аппроксимаций точного дифракционного оператора. В данной работе на основе такого широкоугольного приближения был построен численный алгоритм моделирования поля аксиально-симметричного источника с учетом дифракционных и нелинейных эффектов. В качестве примера в работе рассмотрено поле одиночного излучателя в виде сферического сегмента с частотой  $f = 1$  МГц, апертурой  $a = 5$  см и фокусным расстоянием  $F = 9$  см (половинный угол фокусировки составляет  $\theta = 33.7^\circ$ ). Используя различные приближения, были рассчитаны и сравнивались линейные поля, создаваемые таким излучателем. Рассматривалось точное решение дифракционной задачи на основе интеграла Рэлея; параболическое приближение теории дифракции; параболическое приближение с модификацией граничных условий; широкоугольное приближение с двумя способами задания граничного условия. Также были промоделированы нелинейные поля с использованием уравнения Вестерверльта, уравнения ХЗК с модификацией граничных условий, и нелинейного широкоугольного приближения. Было показано, что линейные и нелинейные решения, полученные на основе широкоугольного приближения, наиболее точно соответствуют решениям точной дифракционной

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

модели по сравнению с другими рассмотренными в работе приближениями. Работа поддержана грантом РФФИ 14-12-00974.

**Ключевые слова:** дифракция, фокусировка, широкоугольное приближение, нелинейные волны, численное моделирование

### ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ГРИНА НЕОДНОРОДНОГО АКУСТИЧЕСКОГО СЛОЯ НА УПРУГОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

**Приходько В.Ю.**

*Московский институт радиотехники, электроники и автоматики (технологический ун-т), Москва;  
Тел.: 8-9055647028; E-mail: prikhodi@mail.ru*

В работе излагается метод построения функций точечного источника звуковых волн в неоднородных средах. Основные результаты получены для случая неоднородного акустического слоя, лежащего на неоднородном полупространстве с переменной по глубине плотностью и скоростью звука. Найдены функциональные соотношения, связывающие характеристики звуковых полей с упругими и спектральными характеристиками неоднородного полупространства. Исследование проводится при помощи обобщенных соотношений ортогональности для векторных нормальных волн в стратифицированных средах. Используются формулы Грина для неоднородного уравнения Гельмгольца и формулы Бетти для уравнений теории упругости.

### ИЗЛУЧЕНИЕ ДИПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ

**Лапин А.Д.**

*АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва  
Тел: 89154216137; E-mail: lapin1932@yandex.ru*

Исследовано звуковое поле точечного диполя с моментом  $\mathbf{M}$  в двух многомодовых волноводах – трубе с прямоугольным и трубе с круговым сечением, стенки обеих труб жесткие. Поле диполя получено дифференцированием поля монополя по координатам этого источника. Показано, что при приближении диполя с моментом  $\mathbf{M}$  к жесткой стенке волновода пропадает излучение, обусловленное компонентой момента, перпендикулярной этой стенке. Рассчитана мощность излучения диполя в многомодовом волноводе, исследована зависимость этой мощности от частоты. Показано, что мощность излучения диполя в узкой (по сравнению с длиной звуковой волны) трубе равна  $\rho c (kM)^2 (4S)^{-1}$ , где  $k$  - волновое число,  $\rho$  и  $c$  - соответственно плотность заполняющей среды и скорость звука в ней,  $S$  - площадь поперечного сечения трубы,  $M$  - проекция момента диполя на ось этой трубы.

**Ключевые слова:** монополь, диполь, многомодовый волновод.

### ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЖНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СИЛЫ ЦЕЛИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

**Попов Ю.Н., Лисенков Н.М.**

*Крыловский государственный научный центр,  
Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44  
E-mail: krylov6@krylov.spb.ru*

Показана возможность измерения силы цели с помощью широкополосных сигналов с кодово-импульсной модуляцией. Обеспечение высокоточного отсчета для синхронизации работы приемника и излучателя обеспечивает определение точного угла и расстояния между приемником источником и целью. Сила цели определяется путем сравнения корреляционных функций сигналов на приемнике, полученных при прохождении зондирующего сигнала и отраженного эхосигнала. Результаты могут быть использованы в задачах гидролокации при поиске подводных объектов.

**Ключевые слова:** гидролокация, сила цели, зондирующий сигнал, эхосигнал

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕЗЕРКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИ РАССЕЯНИИ ПЛОСКОЙ  
ВОЛНЫ НА ПЛАСТИНЕ С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ИМПЕДАНСНЫМИ УСЛОВИЯМИ**

**Попов Ю.Н., Лисенков Н.М.**

*Крыловский государственный научный центр, Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44  
E-mail: krylov6@krylov.spb.ru*

Сформулирована задача формирования и приведен алгоритм расчета незеркальной составляющей при рассеянии плоской волны на пластине с периодическими импедансными условиями. Показано, что на плоской пластине, не имеющей пространственную кривизну, при косом падении волны может возникать сложное рассеяние, в том числе с незеркальной составляющей. Результаты могут быть использованы при проектировании конструкций судов и морских сооружений, для которых важен вопрос помехозащищенности. Ключевые слова: гидролокация, интеграл Кирхгофа, незеркальная составляющая, плоская волна.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОСИ УПРУГОЙ СИММЕТРИИ  
АНИЗОТРОПНОГО ШАРА ПО РАССЕЯННОМУ ЗВУКОВОМУ ПОЛЮ**

**Скобельцын С.А.**

*Тульский государственный университет, Тула  
Тел.: (953 4414356); E-mail: (skbl@rambler.ru)*

Рассматривается задача идентификации направления оси упругой симметрии трансверсально-изотропного упругого материала, из которого выполнен шар. Предполагается, что анизотропия является прямоугольной гексагональной. Поэтому в упругом материале выделяются параллельные плоскости изотропии и перпендикулярная к ним ось упругой симметрии бесконечного порядка. Тензор модулей упругости такой среды имеет простой вид в согласованной с анизотропией прямоугольной декартовой системе координат. В этой системе его компоненты являются постоянными величинами. Ориентация оси упругой симметрии определяется по рассеянию упругим шаром плоской гармонической волны. Наличие анизотропии материала препятствия заметно сказывается на распределении акустического давления в рассеянном поле. Задача дифракции звука на шаре решается для трехмерного случая в рамках моделей идеальной жидкости и линейного упругого тела с использованием метода конечных элементов. Заметим, аналитическое решение задачи или сведение ее к двумерному случаю ввиду неопределенности положения оси упругой симметрии не представляется возможным. Считается, что для некоторого фиксированного направления  $\mathbf{n}^*$  оси упругой симметрии и известных параметрах падающей волны проведено измерение давления в рассеянном поле во множестве точек  $M$  вблизи поверхности шара. В общем случае, предполагается наличие таких измерений для нескольких фиксированных частот  $\omega$ . Таким образом, имеется множество значений давления  $P^*(M, \omega)$ , соответствующих действительной ориентации оси упругой симметрии. Для некоторого предположительного направления  $\mathbf{n}$  оси решается задача дифракции плоской звуковой волны и рассчитывается поле давления  $P$  при тех же частотах  $\omega$  и в тех же точках  $M$ , что и  $P^*$ . Решение задачи дифракции проводится для множества различных значений  $\mathbf{n}$ . В качестве приближенного решения задачи принимается такое направление  $\mathbf{n}'$  из множества  $\mathbf{n}$ , которое обеспечивает минимальную сумму  $(P-P^*)^2$ .

**Ключевые слова: дифракция звука, плоская волна, анизотропное препятствие, обратная задача**

**ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКОЙ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ  
НА ТЕРМОУПРУГОМ ШАРЕ С НЕОДНОРОДНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

**Ларин Н.В.**

*Тульский государственный университет, Тула  
Тел.: (+7) 905-628-37-20, E-mail: Larinaelen@mail.ru*

Создание покрытий для тел с требуемыми звукоотражающими свойствами является актуальной проблемой. Получить заданные звукоотражающие характеристики упругих тел можно с помощью покрытий в виде непрерывно-неоднородного упругого слоя. Такие покрытия можно реализовать с помощью системы тонких однородных упругих слоев, имеющих различные значения материальных констант.

В настоящей работе решены прямая и обратная задачи дифракции плоской гармонической звуковой волны на термоупругом шаре с непрерывно-слоистым покрытием, находящемся в невязкой теплопроводной жидкости.

При решении прямой задачи определяются волновые поля в шаре и вне его. Отраженные от шара с покрытием звуковая и тепловая волны описываются двумя скалярными функциями (потенциалами вектора скорости частиц жидкости), каждая из которых является решением уравнения Гельмгольца и удовлетворяет

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

условиям излучения на бесконечности. Распространение малых возмущений, как в однородном шаре, так и в неоднородном покрытии описывается уравнениями связанной динамической задачи термоупругости изотропного тела. В случае однородного термоупругого шара осесимметричная постановка задачи позволяет свести такую систему уравнений к трем независимым скалярным уравнениям Гельмгольца, описывающим распространение двух видов продольных термоупругих волн и упругой поперечной волны в шаре. В случае неоднородного покрытия упомянутая выше система уравнений сводится к системе линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, краевая задача для которой решена методом сплайн-коллокации с использованием аппарата кубических В-сплайнов. Рассчитаны и проанализированы угловые и частотные характеристики рассеянного акустического поля.

Обратная задача посвящена нахождению законов неоднородности материала покрытия термоупругого шара, обеспечивающих наименьшее отражение плоской звуковой волны в определенном угловом секторе и в заданном диапазоне частот. На основе решения прямой задачи построены функционалы, выражающие интенсивность звукоотражения, и предложен алгоритм их минимизации, основанный на комбинации методов случайного поиска и покоординатного спуска. Получены аналитические выражения, описывающие оптимальные законы неоднородности материала покрытия.

**Ключевые слова:** прямая и обратная задачи дифракции, звуковая волна, термоупругий шар, неоднородный термоупругий слой, невязкая теплопроводная жидкость

### ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В МАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Трушина П.А.<sup>1)</sup>, Канев Н.Г.<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва;  
E-mail: trushina18@gmail.com

<sup>2)</sup>АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Москва;  
E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

Рассеяние звука является существенным фактором, влияющим на процесс затухания звука в помещении. Особое значение рассеяние имеет, если звуковое поле в помещении не является диффузным. Поэтому для расчета звукового поля в помещении необходимо знать не только характеристики поглощения, но и рассеяния его стенок, при этом особое значение имеют звукоотражающие свойства слабопоглощающих поверхностей.

В помещениях со слабыми рандомизирующими свойствами, например, в прямоугольных помещениях, и неравномерным распределением звукопоглощения на стенках закон затухания звука может сильно отличаться от экспоненциального. При этом увеличение звукоотражающих свойств непоглощающих поверхностей приводит к увеличению скорости затухания звука, и при достаточном рассеянии уменьшение звуковой энергии в помещении происходит экспоненциально по закону Сэбина. Коэффициент рассеяния стенок является одним из параметров, определяющих кривую затухания, т.е. зависимость звуковой энергии в помещении от времени. Таким образом, если рассеяние стенок недостаточно, чтобы обеспечить диффузное звуковое поле, то по кривой затухания можно определить значение коэффициента звукоотражения (КЗР), усредненного по поверхности отражающих стенок. Соответствующая методика измерений КЗР и ее теоретическое обоснование предложены сравнительно недавно.

В настоящей работе приводятся результаты измерений КЗР в лабораторном эксперименте на масштабной модели прямоугольного помещения с использованием конструкций, состоящих из отражающих элементов различного размера и формы. Выявлена зависимость кривой затухания от размеров помещения и акустических характеристик его поверхностей, установлен порядок измерения КЗР с учетом расположения отражающих поверхностей. Полученные результаты продемонстрировали возможность измерения КЗР в недиффузном звуковом поле. Показано, что форма кривой затухания значительно меняется при малых изменениях КЗР, это позволяет измерять КЗР с достаточно высокой точностью даже при его малых значениях.

Таким образом, высокая точность измерения малых значений КЗР отличает новый метод от альтернативных способов измерения КЗР. Другой отличительной особенностью является простота процедуры измерений, апробированной в условиях лабораторного эксперимента.

**Ключевые слова:** коэффициент рассеяния звука, недиффузное звуковое поле, прямоугольное помещение, масштабное моделирование

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

### **ЭФФЕКТИВНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕЗОНАНСНАЯ ДИСПЕРСИЯ ЗВУКА В ОБЫЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ КОМПОЗИТАХ И МЕТАМАТЕРИАЛАХ**

**Федотовский В.С.**

*АО "ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт" Обнинск, Россия  
Тел.: 4843998741, E-mail: fedotovskiy@ippe.ru*

Рассмотрено межфазное инерционно-упругое взаимодействие жестких частиц-включений с упругой матрицей дисперсных композитов. Получены соотношения для собственных частот поступательных и вращательных колебаний сферических включений-осцилляторов, обуславливающих резонансы эффективных инерционных и упругих свойств композитов в колебательно-волновых процессах. Поскольку скорость распространения продольных и поперечных волн в дисперсном композите связана с эффективными инерционными и упругими свойствами, то резонансы эффективных свойств (динамической плотности, объемной и сдвиговой упругости) проявляются в резонансной дисперсии продольных и поперечных волн. Установлены резонансные зависимости динамической плотности, объемной и сдвиговой упругости от частоты волн и собственных частот поступательных и вращательных колебаний частиц-включений в упругой матрице дисперсного композита. Приведены оценки собственных частот колебаний сферических включений и других внутренних динамических параметров резиноподобного дисперсного композита, определяющие резонансные свойства и резонансную дисперсию продольных и поперечных волн. Для слабо диссипативных композитов резонансы эффективных свойств приводят к тому, что возникают диапазоны частот, в которых эффективная динамическая плотность и упругость принимают отрицательные значения. При одновременно отрицательной динамической плотности и упругости в некотором частотном диапазоне дисперсный композит принимает уникальные акустические свойства метаматериала (отрицательное преломление, аномальный эффект Доплера и др.). Для продольных волн сжатия в метаматериале одновременно отрицательными должны быть динамическая плотность и объемная сжимаемость. Для этого достаточно чтобы в непрерывной упругой матрице находились включения двух видов. Одни включения-осцилляторы дипольного типа, совершая резонансные поступательные колебания, обеспечивают отрицательность динамической плотности, а другие включения-осцилляторы монополярного типа (полости в упругой матрице), совершая объемные резонансные колебания, обеспечивают отрицательную динамическую сжимаемость. Для поперечных же волн одновременно отрицательными свойствами композита должны быть динамическая плотность и сдвигово-ротационная упругость. Для этого достаточно присутствия в упругой матрице включений-осцилляторов одного вида с близкими собственными частотами поступательных и вращательных колебаний. В докладе рассмотрены зависимости эффективной динамической плотности, трансляционной и сдвигово-ротационной упругости дисперсного композита от его структуры и внутренних динамических параметров – собственных частот поступательных и вращательных колебаний, присоединенной массы и присоединенного момента инерции упругой матрицы для включений. Основное внимание уделяется инерционно-упругому взаимодействию жестких сферических включений с резиноподобной матрицей и оценке собственных частот их поступательных и вращательных колебаний, определяющих частотные диапазоны отрицательных свойств метаматериала. Полученные оценки показывают, что при определенных значениях объемной концентрации включений, механических свойств матрицы и включений инерционно-упругие свойства композита могут быть одновременно отрицательными, т.е. условия существования дисперсного композита как метаматериала практически достижимы.

**Ключевые слова:** дисперсный композит, динамические свойства, резонансная дисперсия, метаматериал

### **ПРЕДЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОДНОМЕРНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ**

**Мионов М.А., Корольков З.А.**

*АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва  
E-mail: mironov\_ma@mail.ru*

Вибрационная черная дыра – замедляющая структура, в которой скорость распространения волны постепенно уменьшается и на конечной длине обращается в нуль. Изменение скорости распространения не должно быть слишком быстрым, чтобы не было отражения волн от промежуточных сечений структуры. Примером вибрационной черной дыры для изгибных волн является стержень, заостренный по параболическому закону. Начиная с некоторой частоты и выше изгибные волны, распространяющиеся по этому стержню, замедляются при приближении к острой кромке и время распространения до нее равно бесконечности. Вследствие этого волна никогда не дойдет до конца стержня и, следовательно, не отразится от него. Такая конструкция является эффективным поглотителем вибрации, не содержащим поглощающего материала. Она может быть использована для поглощения вибрации в различных устройствах. В докладе

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

рассмотрен вопрос о соотношении между массой демпфируемой конструкции и массой демпфирующей черной дыры на простом примере. В качестве демпфируемой конструкции берется однородный стержень конечной длины.

### **К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ АНТЕННЫ ОСТРОНАПРАВЛЕННЫХ МИКРОФОНОВ**

**Субботкин А.О.<sup>1)</sup>, Вахитов Ш.Я.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> МГУСИ, г. Москва;

<sup>2)</sup> СПбГИКиТ, г. Санкт-Петербург.

Тел.: +7-916-093-92-51; E-mail: subov-an@yandex.ru

Существует ряд способов остронаправленного приема звука посредством микрофонов. В профессиональной и специальной звукотехнике наибольшее распространение получил остронаправленный микрофон интерференционного типа, т.н. микрофон “бегущей волны” или “пушка” (от англ. shotgun). На сегодняшний день теория остронаправленных микрофонов дает только качественные представления о формировании характеристики направленности в широком диапазоне частот, а также не учитывает ряд физических явлений, имеющих место в реальных конструкциях микрофонов. Вопросы расчетного проектирования данного типа микрофонов практически не рассмотрены в специализированной отечественной литературе. Все это не позволяет создать на основе существующей теории достаточно точную для инженерных целей математическую модель остронаправленных микрофонов. Ввиду отсутствия такой математической модели невозможно и создание расчетного метода проектирования остронаправленных микрофонов интерференционного типа, результаты расчетов по которому хорошо бы соотносились с результатами экспериментов.

В настоящей статье рассмотрены некоторые физические явления в остронаправленных микрофонах интерференционного типа, критичные для формирования характеристики направленности в широком диапазоне частот, а также представлены первые результаты разработки математической модели микрофонов данного типа.

### **РАСЧЕТ ДИФРАКЦИОННЫХ КОМПОНЕНТ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ**

**Вичевич Д.С.<sup>1)</sup>, Салин М.Б.<sup>2)</sup>, Суворов А.С.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>АО «Концерн «Океанприбор», г. Санкт-Петербург;

<sup>2)</sup> Федеральный исследовательский центр «Ин-т прикладной физики Российской академии наук»,  
г.Н.Новгород;

Тел.: (831) 4164785; Факс: (831) 4164622; E-mail: mikesalin@hydro.appl.sci-nnov.ru

При работе нескольких гидроакустических систем на борту одного носителя, в одном частотном диапазоне встает вопрос об их гидроакустической совместимости. Т.е. необходимо оценить уровень помехи, наведенной на первую систему, находящуюся в режиме приема, из-за одновременного излучения второй системы. Если приемник и передатчик находятся в зоне геометрической тени друг относительно друга, то наводка возникает за счет так называемых дифракционных волн (огibaющих волн и волн соскальзывания), распространяющихся в среде вдоль корпуса. Для тел правильной формы может использоваться аналитический расчет звукового поля или приближенное асимптотическое решение с применением, например, метода Ватсона. Для тел сложной формы применимы решения в численном виде. Причем, для больших волновых размеров тела корректное описание дифракционной составляющей поля связано с применением численных методов, которые традиционно используются в низкочастотном диапазоне. В настоящем докладе представлен опыт применения метода граничных элементов к задачам исследования гидроакустической совместимости и обсуждаются способы ускорения численного счета.

### **ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ**

**Козабаранов Р.В., Власов А.С., Юнин Д.А., Братишка Э.Н.**

СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров Нижегородской обл.

Тел.: (83130 70040); E-mail: (sonolab125@gmail.com)

Приведены результаты измерения резонансных частот цилиндрического резонатора, изготовленного из пьезокерамики системы цирконата-титаната свинца, и распределения давления в объеме воды его заполняющей. Определены условия, при которых в резонаторе реализуется явление кавитации и

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

многопузырьковой сонолюминисценции. Даны результаты опытов исследования сонолюминисценции в системе вода-воздух, азот, аргон.

### СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (РДВ) - 08.06.2017 с 16.20 до 18.00

#### О РОЛИ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ РАССЕЯНИЯ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ДИСКРЕТНЫХ СЛУЧАЙНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Грязнова И.Ю., Иващенко Е.Н., Сомов Р.В.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*  
Тел.: 89519047617; E-mail: [gryaznova@rf.unn.ru](mailto:gryaznova@rf.unn.ru)

Предложено описание возможной корреляции взаимного расположения дискретных донных неоднородностей. Показано, что наличие такой корреляции приводит к существенному изменению средней интенсивности обратного рассеяния. Исследовано, при каких условиях доминируют эффекты, возникающие при наличии разброса неоднородностей по размерам, а при каких – коллективные эффекты рассеяния.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СДВОЕННОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОЩНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Красненко Н.П.<sup>1,2)</sup>, Кузьмин А.А.<sup>2)</sup>, Раков А.С.<sup>1)</sup>, Раков Д.С.<sup>1)</sup>, Шенин И.Ю.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск*  
<sup>2)</sup> *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск*  
Тел.: 8-(3822 492418); Факс: 8-(3822 491950); E-mail: [kuzmich1232@gmail.com](mailto:kuzmich1232@gmail.com)

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований характеристик антенной системы, состоящей из двух мощных излучающих акустических антенных решеток с уровнем звукового давления до 155 дБ. Дается методика расчетов и исследований. Проводятся результаты исследований уровня звукового давления и характеристик направленности антенной системы на основной звуковой частоте и на разностной гармонике.

**Ключевые слова:** антенная решетка, звуковое давление, диаграмма направленности, амплитудное распределение

#### ДИНАМИКА СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО ОТКЛОНЕНИЯ ДЛЯ ТРЕХ КОМПОНЕНТОВ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Красненко Н.П.<sup>1,2)</sup>, Капегешева О.Ф.<sup>3)</sup>, Шаманаева Л.Г.<sup>3,4)</sup>

<sup>1)</sup> *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск*  
<sup>2)</sup> *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*  
<sup>3)</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет*  
<sup>4)</sup> *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск*  
Тел.: (3822 492418); Факс: (3822 491950); E-mail: [krasnenko@imces.ru](mailto:krasnenko@imces.ru)

В докладе анализируется пространственно-временная динамика среднеквадратичного отклонения трех компонент скорости ветра измеренных мини-содаром в пограничном слое атмосферы. На протяжении 5-суточного периода измерений, значения среднеквадратичного отклонения изменяются для  $x$ -,  $y$ -компонентов от 1 до 12 м/с и для  $z$ -компонентов от 0,2 до 0,4 м/с в утренние часы и для  $x$ -,  $y$ -компонентов от 2 до 10 м/с и для  $z$ -компонентов от 0,6 до 0,9 м/с в вечернее время. Анализ полученных высотных профилей СКО трех компонент скорости ветра показал, что рост  $x$  и  $y$  с высотой довольно хорошо описывается степенным законом, с показателем степени, изменяющимся от 0,22 до 1,3 в зависимости от времени суток, а  $z$  растет по линейному закону. Найдены константы аппроксимации и оценены погрешности их использования. Установленные физические закономерности и полученные константы аппроксимации позволяют описывать их суточную динамику и могут быть рекомендованы для использования в моделях АПС.

**Ключевые слова:** акустическое зондирование, содар, атмосфера, скорость ветра, динамика

**Секция УТ – Ультразвуковые технологии**

Сапожников Олег Анатольевич, руководитель  
*Московский государственный университет им. М.В.Ломаносова,  
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1/2; E-mail: oleg@acs366.phys.msu.ru*

**09.06.2017 - с 09.00 до 11.00**

**ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСТАЛОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ  
МЕТОДОМ АКУСТОУПРУГОСТИ**

**Полянский В.А., Третьяков Д.А., Штукин Л.В., Яковлев Ю.А.**

<sup>1)</sup> *ФГАОУ ВО СПбПУ, Санкт-Петербург;  
Тел.: (962 7076338); Факс:(812 5527778); E-mail: dmitry.tretyakov93@yandex.ru*

Одним из перспективных методов диагностики состояния конструкций является разработанный в 60-70-х годах прошлого века метод акустоупругости. Данный метод получил теоретическое обоснование, и на его основе была создана аппаратура для проведения измерений напряженно-деформированного состояния в области упругих деформаций при статическом нагружении, однако единой методики, позволяющей оценить методом акустоупругости напряженно-деформированное состояние в области неупругих деформаций, при циклическом нагружении на данный момент не существует. В представленной работе исследуется возможность использования метода акустоупругости для диагностики НДС при циклическом нагружении. Одной из ключевых характеристик метода акустоупругости является величина акустической анизотропии, определяемая как относительная разность скоростей распространения в исследуемом материале двух поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях поперечных ультразвуковых волн. В ходе исследования были проведены эксперименты с образцами, изготовленными из алюминиевого проката марки АМц, которые подвергались циклическому нагружению. Проводилось измерение распределения акустической анизотропии в зависимости от числа циклов нагружения при помощи ультразвукового прибора ИН-5101А, в состав которого входят трехкомпонентный пьезоэлектрический преобразователь и блок генерации и обработки зондирующего импульса. В исходном состоянии исследуемые образцы имели равномерное распределение акустической анизотропии, характерное для катаных листов. При проведении экспериментов обнаружено, что с ростом числа циклов нагружения распределение акустической анизотропии приобретает существенно неравномерный характер. Наибольшие по абсолютной величине значения акустической анизотропии были получены в тех точках образцов, где перед разрушением наблюдались наибольшие значения пластических деформаций и где в конечном итоге произошло разрушение образцов. Установленные распределения акустической анизотропии были обнаружены на ранних стадиях времени жизни образцов при сравнительно малых остаточных пластических деформациях. Полученный результат имеет большую прогностическую ценность и может в дальнейшем быть использован для разработки новых критериев оценки остаточного ресурса деталей конструкций по измерениям акустической анизотропии.

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИНТЕЗ ГИДРОКСИАПАТИТА В ДОКАВИТАЦИОННОМ И  
КАВИТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ**

**Николаев А.Л.<sup>1)</sup>, Гопин А.В.<sup>1)</sup>, Северин А.В.<sup>1)</sup>, Миронов М.А.<sup>2)</sup>, Дежгунов Н.В.<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет. Москва.*

<sup>2)</sup> *Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева. Москва.*

<sup>4)</sup> *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Беларусь, Минск.*

*Тел.: (495) 939-32-07, E-mail: a.nicmsu@gmail.com*

Гидроксиапатит, являясь веществом близким к природной костной ткани, широко используется в различных композитных материалах медицинского назначения. Широкий спектр его применения определяет разнообразие требований, предъявляемых к размеру его кристаллов, их морфологии, адсорбционным свойствам, способности к агрегированию, скорости растворения. Одним из наиболее технологичных и доступных методов синтеза гидроксиапатита является его осаждение ортофосфорной кислотой из растворов Ca(OH)<sub>2</sub> или суспензий CaO, В работе исследуется влияние ультразвука на синтез гидроксиапатита добавлением ортофосфорной кислоты к водной суспензии, содержащей гидроксид кальция. Такой высокодисперсный гидроксиапатит используется в сонодинамической терапии

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

онкологических заболеваний в качестве соносенсибилизатора. Рассматривается воздействие ультразвука разных частот (22 кГц, 0.88 МГц, 1.76 МГц, 2.64 МГц) и различной интенсивности (0.2-25 Вт/см<sup>2</sup>) на начальные стадии фазообразования. Результаты оцениваются методами рентгенофазового, морфологического и седиментационного анализа. Показано, что в выбранных условиях кристаллы гидроксиапатита, синтезированные при слабом докавитационном ультразвуковом воздействии (1.76 МГц, 0.2 Вт/см<sup>2</sup>), обладают существенно более высокой дисперсностью, чем синтезированные при воздействии интенсивного, кавитационного ультразвука (22 кГц, 25 Вт/см<sup>2</sup>) Предложено объяснение полученных результатов. Впервые рассмотрено влияние низкоинтенсивного ультразвука на различные стадии ферментативного синтеза гидроксиапатита

**Ключевые слова:** наложение ультразвуковых колебаний в процессе химико-термической обработки изделий машиностроения

### **НАЛОЖЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Кудряшов Б.А., Нигметзянов Р.И., Перекрестов А.Е., Перекрестова В.А.** <sup>1)</sup>

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический ун-т (МАДИ), г. Москва  
Тел.: (499 1550868); E-mail: lefmo@yandex.ru*

Повышение ресурса изделий машиностроения остается актуальной задачей.

Увеличение эксплуатационных свойств можно достичь различными путями, например совершенствованием конструкционных решений, работой над составом сталей и сплавов изделий машиностроения или же модификацией поверхностного слоя. По сравнению с внедрением новых конструкторских решений, модификация поверхностного слоя требует меньших затрат. Данное решение широко применяются в машиностроении.

Для повышения долговечности и надежности машин широко используется химико-термическая обработка, обеспечивающая высокое сопротивление износу, коррозии и повышающая сопротивление усталостному разрушению.

Они имеют ряд неоспоримых преимуществ, превышающих недостатки.

К существенному недостатку можно отнести большую длительность процесса, так для получения упрочненного слоя глубиной 0,5 мм необходимо не менее 50 ч. Как известно применение ультразвука позволяет интенсифицировать различные процессы в различных средах. Примером является технология получения ряда материалов с высокими эксплуатационными свойствами в процессе их кристаллизации в поле высокоамплитудных упругих колебаний для конструкционных и инструментальных сталей; высокопрочных алюминиевых и никелевых сплавов; литых композиционных сплавов.

В данной работе рассматривается перспективы применения одного из методов химико-термической обработки - азотирования с наложением ультразвуковых колебаний.

**Ключевые слова:** ультразвук, азотирование, поверхностный слой, эксплуатационные свойства

### **ВЛИЯНИЕ ПОЛОСТЕЙ НА ПРОДОЛЬНОЮ МОДУ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ**

**Вьюгинова А.А.** <sup>1)</sup>, **Новик А.А.** <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург;*

<sup>2)</sup> *ЗАО «Ультразвуковая техника - ИНЛАБ», Санкт-Петербург;*

*Тел.: +7(812)329-49-61; Факс: +7(812)329-49-62; E-mail: alenanovik@rambler.ru*

Объектом исследования является крестообразный ультразвуковой волновод, предназначенный для получения продольных колебаний рабочей поверхности в направлении перпендикулярном направлению возбуждения. В работе с помощью метода конечных элементов исследуется влияние круглой и эллиптической полости, расположенной в центре масс крестообразного волновода, на основную продольную моду колебаний.

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**АВТОРЕЗОНАНСНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Асташев<sup>1,a</sup> В.К., Пичугин<sup>1,b</sup> К.А.**

*<sup>1</sup>Институт машиноведения РАН, Россия, 1019901, Москва,  
E-mail: <sup>1,a</sup>v\_astashev@mail.ru <sup>2,b</sup>pichugin-ka@yandex.ru*

Определяются условия резонансной настройки стержневой системы с пьезоэлектрическим возбудителем колебаний. Показано, что резонансная частота зависит от места расположения возбудителя. Определяются резонансные частоты и амплитуды колебаний. Показано, что резонансные режимы могут быть эффективно реализованы при авторезонансном возбуждении колебаний.

**Ключевые слова:** колебания, ультразвук, стержневая система, пьезоэлектрический возбудитель, резонанс, авторезонанс

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЕГРАДАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ МЕТОДАМИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

**Петронюк Ю.С.<sup>1,2)</sup>, Левин В.М.<sup>1)</sup>, Морочков Е.С.<sup>1)</sup>, Рыжова Т.Б.<sup>3)</sup>, Шаныгин А.А.<sup>3)</sup>**

*<sup>1)</sup> Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва;  
<sup>2)</sup> Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва;  
<sup>3)</sup> Центральный аэрогидродинамический институт имени проф. Н.Е. Жуковского  
Тел.: (499 1378347); Факс: (495 1354101); E-mail: (jps7@mail.com)*

В докладе представлены результаты исследования механизмов деградации современных композитов на основе углеродного волокна и эпоксидной матрицы под действием механических и климатических нагрузок. Экспериментальное исследование проводилось неразрушающими методами импульсной акустической микроскопии на частотах 50-100 МГц. Такой подход позволил наблюдать процессы разрушения структуры в объеме композитных образцов, обнаруживать микроскопические зоны потери адгезии армирующих элементов структуры. Работы выполнены при поддержке Российского Научного Фонда (№15-12-00057).

**УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ ГАЗА С НАКЛАДНЫМИ ДАТЧИКАМИ**

**Мансфельд<sup>1,a</sup> А.Д., Санин<sup>1</sup> А.Г., Волков<sup>1</sup> Г.П., Беляев<sup>1</sup> Р.В., Мороскин<sup>2</sup> Д.В.**

*<sup>1.</sup> ИПФ РАН, Нижний Новгород, <sup>2.</sup> ЗАО «Ультраматр» г. Саров  
Тел.: 9058660231; Факс: 8314363792; E-mail: <sup>a</sup>mansfeld@appl.sci-nnov.ru*

Описаны два типа ультразвуковых расходомеров газа с накладными датчиками, осуществляющих измерение газового потока через металлическую стенку трубы. Основным достоинством разработанных расходомеров является возможность измерения расхода газа даже при низком давлении, без врезки датчиков в стенку. Рассматриваются различные способы локации (импульсный, непрерывный), влияние «стеночных» сигналов, способы выделения полезного сигнала. Приводятся результаты лабораторных и натурных испытаний.

**Ключевые слова:** ультразвуковые расходомеры, ультразвуковая локация, корреляционные измерения.

**СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (УТ) - 08.06.2017 с 16.20 до 18.00**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ**

**Лёвшукина Н.В.<sup>1)</sup>, Кузнецов С.Ю.<sup>1)</sup>, Сундуков С.К.<sup>1)</sup>, Фатюхин Д.С.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва.  
Тел.: (499 1550868); E-mail: sergey-leftmo@yandex.ru*

Прессовые соединения получили широкое распространение в промышленности. Основным недостатком таких соединений является сложность процесса сборки, связанная с необходимостью создания больших усилий запрессовки, больших давлений нагнетания смазочного материала или использования температурных воздействий на собираемые детали. Наложение ультразвуковых колебаний на запрессовываемую деталь является эффективным способом интенсификации процесса сборки соединений с натягом. Это обусловлено возможностью передачи значительных ускорений и эффектом преобразования сухого трения в квазивязкое. Результаты проведённых исследований позволили установить зависимости глубины запрессовки и снижения коэффициента трения от режимов ультразвукового воздействия и заданного натяга соединения.

**Ключевые слова:** прессовые соединения, ультразвуковые колебания, сила трения, коэффициент трения

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ И ДВУМЕРНОЙ ИЗЛУЧАЮЩИХ СИСТЕМ,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ПРОБИРОК**

**Галанов Н.Э., Крошко А.О.**

*СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург;  
Тел.: +7(812)234-37-26; Факс: +7(812)234-37-26; E-mail: galanovn@gmail.com*

Ультразвуковая обработка различных жидкостей и веществ в жидкой среде широко применяется при проведении различных лабораторных исследований для целей экстракции, гомогенизации, диспергирования, эмульгирования и т.д. При этом одной из задач является обработка небольшой порции исследуемого материала в открытой или закрытой стандартной емкости (пробирке). Традиционные излучающие системы, предполагающие погружение излучающего волновода в обрабатываемую среду, не подходят для случая закрытой емкости. Излучающие системы, которые позволяют производить обработку закрытых пробирок, и представляющие собой волноводы с полостями, до настоящего времени мало изучены с точки зрения частотных свойств и эффективности.

В работе исследуются ультразвуковые излучающие системы, предназначенные для одновременной обработки нескольких образцов жидкости, помещенных в стандартные пробирки. Рассмотрены одномерные - на основе стержня, и двумерные - на основе пластины, излучающие системы, реализующие данную технологию.

Исследуются собственные частоты и моды колебаний стержневой системы, вдоль оси которой размещаются пробирки с жидкостью, и собственные частоты и моды колебаний пластины, в которой пробирки размещаются в несколько рядов перпендикулярно направлению возбуждения.

Производится оценка вариаций амплитуды ультразвуковых колебаний, передаваемых на стандартные пробирки в обоих случаях, исследуется возможность одновременной обработки жидкости в пробирках в разных режимах, оценивается эффективность передачи ультразвуковых колебаний в рабочую среду для данного вида излучающих систем.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В  
СИСТЕМЕ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТ-УПРУГИЙ СЛОЙ**

**Пивков А.В.<sup>1)</sup>, Лобачев А.М.<sup>2)</sup>, Полянский В.А.<sup>2)</sup>, Модестов В.С.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург;*

<sup>2)</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург.  
Тел.: +7(921)560-12-39; Факс: +7(812)552-77-78; E-mail: lobachev\_am@spbstu.ru*

В настоящее время особое внимание уделяется развитию метода акустоупругости для диагностики напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкций. Данный метод применяется в области упругих деформаций. Для элементов конструкций, подверженных неупругому деформированию метод акустоупругости

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

не имеет однозначного теоретического описания. С целью идентификации предлагаемых моделей описания акустоупругого эффекта в материале с учетом неупругих деформаций могут проводиться как экспериментальные исследования, так и численное моделирование.

В рамках настоящей работы было проведено численное моделирование работы системы «пьезоэлемент – упругий слой». Рассмотрена нестационарная задача прохождения ультразвуковых волн в плоской постановке. Моделирование работы пьезодатчика производилось путем решения связанной задачи электроупругости. Решение задачи проведено в предположении об упругом поведении материала образца. В рамках исследования рассмотрено распространение продольных и поперечных ультразвуковых волн. Особое внимание уделяется получению временной задержки отраженного сигнала с необходимой для применения метода акустоупругости точностью.

Моделирование проводилось при помощи метода конечных элементов (МКЭ). Применение специальных элементов, моделирующих прохождение акустических волн, не представляется возможным, поскольку эти элементы не позволяют учесть напряженно-деформированное состояние конструкции.

Входными данными модели являлась зондирующая разность потенциалов на электродах пьезодатчика, выходными данными являлась разность потенциалов, возникшая на пьезодатчике в результате прихода отраженной волны. Основным результатом моделирования являлась временная задержка ультразвуковой волны от момента генерации до момента её возвращения после отражения от противоположного края области.

Для обоих типов ультразвуковых волн выявлено значительное влияние шага по времени на результаты расчета.

Рассмотрена эволюция огибающей принятого сигнала в зависимости от шага интегрирования и сделан вывод о том, что, начиная с определенной величины шага интегрирования по времени, происходит стабилизация формы огибающей принимаемого (отраженного) волнового пакета. Установившаяся расчетная огибающая сигнала, генерируемого на пьезоэлементе отраженной ультразвуковой волной, качественно совпадает с получаемой в ходе реальных экспериментов. Начиная с шага интегрирования в 1% от периода колебаний и менее, временная задержка отраженного импульса сходится с нужной для прецизионного измерения времени точностью (0.01%). Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №15-19-00091).

**Секция ОА – Оптиакустика и акустооптика**

Волошинов Виталий Борисович, руководитель  
МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет,  
Кафедра физики колебаний, Москва  
E-mail: volosh@phys.msu.ru

**09.06.2017 - с 11.20 до 13.00**

**ЭЛЕКТРОННАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТЫ  
АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА ФАБРИ-ПЕРО**

**Балакший В.И.<sup>1)</sup>, Магдич Л.Н.<sup>2)</sup>, Манцевич С.Н.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, г. Москва;*

<sup>2)</sup> *Научно-исследовательский институт «Полюс» имени М.Ф. Стельмаха, г. Москва.  
Тел.: 906 0750295; E-mail: balakshy@phys.msu.ru*

В работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование эффекта электронной перестройки частоты акустических резонансов акустооптического модулятора на стоячих волнах, предназначенного для активной синхронизации мод лазера.

В приближении плоских акустических волн решена задача возбуждения акустического резонатора Фабри-Перо пластинчатым пьезопреобразователем с учетом реальных параметров ВЧ генератора и элементов согласования преобразователя с генератором. Получены выражения для основных электрических и акустических характеристик. Показано, что эквивалентные электрические параметры преобразователя находятся в сложной зависимости от частоты возбуждающих колебаний и что резонансная акустическая нагрузка существенно меняет характер этих зависимостей по сравнению с нерезонансной нагрузкой.

Проведенный теоретический анализ подтвердил существование ранее экспериментально обнаруженного эффекта сдвига частоты акустических резонансов при изменении согласующих электрических элементов. Установлено, что причиной эффекта является изменение фазы акустической волны на границе акустического резонатора с пьезопреобразователем, что эквивалентно изменению длины резонатора. Вследствие этого меняются и собственные частоты резонатора.

В эксперименте использовалась акустооптическая ячейка из кварца с преобразователем из ниобата лития, работавшем в диапазоне частот от 111 до 158 МГц. Изменение согласующей индуктивности в диапазоне от 0,025 до 0.2 мкГн обеспечило перестройку частоты акустического резонанса на 0.19 МГц, что превышает полуширину резонанса. Это позволяет сделать вывод, что на основе изученного эффекта можно создать систему автоматической подстройки частоты модулятора, работающего в режиме синхронизации мод лазера.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 14-22-00042.

**ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН  
В МОНОКРИСТАЛЛЕ ЙОДИДА ИНДИЯ ДЛЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

**Пороховниченко Д.Л.<sup>1)</sup>, Дьяконов Е.А.<sup>1)</sup>, Волошинов В.Б.<sup>1)</sup>,  
Кузнецов С.В.<sup>2)</sup>, Федоров П.П.<sup>2)</sup>, Кузнецов М.С.<sup>3)</sup>, Лисицкий И.С.<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва;*

<sup>2)</sup> *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва;*

<sup>3)</sup> *АО «Гиредмет», Москва.*

*Тел.: 495 9394404; E-mail: dporoh@physics.msu.ru*

Кристалл йодида индия (InI), обладающий орторомбической симметрией и прозрачный для излучения с длинами волн от красной области видимого спектра до 50 мкм, является перспективным материалом для применения в акустооптике дальнего инфракрасного диапазона. Выращен монокристаллический образец йодида индия, проведена его ориентация по кристаллографическим осям. Измерены скорости продольных ультразвуковых волн методом эхоимпульсов: 2,23 км/с; 1,96 км/с и 2,18 км/с в направлении кристаллографических осей а, b и с соответственно. Относительная погрешность измерений составляет  $\pm 2,5\%$ . Определены компоненты тензора упругой жесткости кристалла:  $C_{11} = 2,7 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>,  $C_{22} = 2,1 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>,  $C_{33} = 2,6 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> с погрешностью  $\pm 7\%$ . Наблюдалась дифракция лазерного излучения на продольных ультразвуковых волнах в направлении основных кристаллографических осей.

## **II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

Согласно предварительной оценке, коэффициент акустооптического качества кристалла достигает величин в 150...200 единиц относительно коэффициента качества плавленого кварца. Исследования акустических и акустооптических свойств данного кристалла проводятся впервые.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ**

**Кожушко В.В.<sup>1)</sup>, Сергиенко В.П.<sup>1)</sup>, Мышковец В.Н.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого, Гомель;*

<sup>2)</sup> *Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель.*

*Тел.: +375 232719104; Факс: +375 232775212*

*E-mail: kozhushko@laser-ultrasound.com*

С помощью современных технологии из металлов синтезируют композиты, упругие модули которых необходимо определить, поскольку они могут значительно отличаться от модулей исходных объёмных материалов из-за пористости, микроструктуры, плотности дислокаций и т. д. В акустически изотропном материале ультразвуковые методы используют для определения продольного и сдвигового модуля по измерению скорости распространения соответствующих импульсов. Определив два модуля, можно установить коэффициент Пуассона и, следовательно, любой другой модуль, описывающий упругие свойства материала. Небольшие объёмы новых материалов ограничивают возможности применения традиционных методов, поскольку требуют более коротких зондирующих импульсов для проведения измерений в режиме разделения импульсов. Лазерное возбуждение ультразвука значительно упрощает задачу, связанную с передачей упругого возмущения в объём исследуемого образца. В результате оптико-акустического преобразования в металлах поглощённая часть энергии наносекундного импульса лазера возбуждает упругие импульсы приблизительно такой же длительности. Эффективность возбуждения объёмных и поверхностных импульсов различна, так как диаграмма направленности объёмных волн зависит от формы пятна на поверхности металла. В литературе подробно изучен механизм возбуждения продольных импульсов широким лазерным пучком, что уменьшает влияние дифракционных потерь. Эффективность возбуждения поверхностных и сдвиговых импульсов повышается при острой фокусировке оптического излучения на поверхности металла. В работе рассматриваются подготовленные металлические образцы в форме половины диска диаметром 20 мм и толщиной 5 мм. Лазерное излучение фокусируется цилиндрической линзой в отрезок вдоль оси диска, ширина пятна приблизительно 50 мкм, а длина 5 мм. Плоская катушка Ø 5 мм, состоящая из 10 витков провода Ø 0,15 мм, использована для бесконтактной регистрации переменного электромагнитного поля, индуцированного ультразвуковым импульсом. Катушка включена в цепь предварительного усилителя и находится предельно близко к цилиндрической поверхности образца в поле 0,25 Тл постоянного NdFeB магнита. Фронт электрического сигнала фотодиода запускает цифровой осциллограф, и задача по измерению скорости сдвиговой волны сводится к определению времени прихода ультразвукового импульса, так как расстояние от источника до приёмника известно. В экспериментах, проведённых на образцах стали марки 40X, получены значения скоростей объёмных волн и модулей, близкие к справочным.

**Ключевые слова:** оптоакустика, лазерный ультразвук, бесконтактная регистрация

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕНИЯ КРОВИ КИСЛОРОДОМ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Перекатова В.В.<sup>1)</sup>, Субочев П.В.<sup>1)</sup>, Кириллин М.Ю.<sup>1)</sup>, Турчин И.В.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> *603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр*

*Институт прикладной физики Российской академии наук»;*

*E-mail: ValeriyaPerekatova@gmail.com*

Неинвазивное измерение уровня оксигенации крови внутри сосудов является перспективным клиническим приложением оптоакустического (ОА) имиджинга для анализа гемодинамики мозга мелких лабораторных животных, оценки воздействия на опухоли химио- и лучевой терапии, мониторинга заживления ран. Традиционным методом измерения оксигенации крови является метод оптической диффузионной спектроскопии (ОДС). Вследствие низкого пространственного разрешения метода ОДС, результатом диффузионных измерений являются значения оксигенации, усредненные по объёму биологической ткани. ОА имиджинг является одним из методов, позволяющих определять степень насыщения крови кислородом в отдельных кровеносных сосудах. Неизвестное пространственное распределение освещённости значительно осложняет задачу определения оксигенации крови ОА-методом, поскольку освещённость в некоторой точке исследуемой среды зависит от пространственного распределения рассеивателей и поглотителей во всем исследуемом объёме. Поэтому для проведения точных количественных оценок

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

уровня оксигенации крови необходимо учитывать зависимость освещенности от длины волны. Был предложен метод поиска оптимальных длин волн, обеспечивающий минимальную погрешность определения оксигенации крови на различных глубинах двухволновым ОА методом. Было проанализировано влияние измерительных шумов акустического давления и погрешности коэффициентов оптического рассеяния и поглощения, используемых при расчете освещенности, на величины оптимальных длин волн. В кровеносных сосудах поглощение света, как правило, выше, чем в окружающих тканях, что приводит к сильному изменению освещенности внутри сосуда. Была показана нецелесообразность использования длин волн менее 600 нм для измерений оксигенации даже на небольших глубинах. В результате в условиях неизвестного пространственного распределения освещенности на глубинах от 2 до 8 мм минимальная погрешность в определении сатурации крови достигается при использовании длин волн  $658 \pm 30$  нм и  $1069 \pm 40$  нм.

Для экспериментального определения степени насыщения крови кислородом в хвосте лабораторной мыши был проведен *in vivo* эксперимент на ОА микроскопе на паре оптимальных длин волн 658 нм и 1069 нм. Для определения освещенности внутри биоткани было проведено Монте Карло моделирование при использовании фокусируемой системы засветки. Найденные средние значения степени насыщения крови кислородом внутри сосудов составили: в артерии  $\sim 0.66$ , в вене  $\sim 0.54$ , что согласуется с физиологическими параметрами.

### СКАНИРУЮЩАЯ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКАЯ МЕЗОСКОПИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Субочев П.В., Перекатова В.В., Михайлова И.С., Кириллин М.Ю., Орлова А.Г., Турчин И.В.

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*  
Тел.: +7(904 3997916); Факс: +7(904 3997916); E-mail: Pavel.Subochev@gmail.com

Разработано устройство для одновременного оптоакустического (ОА), ультразвукового (УЗ) и диффузионно-оптического (ДО) зондирования биологических тканей на глубину до 3 миллиметров [1-3]. С использованием мелких лабораторных животных продемонстрированы возможности прижизненной тримодальной ОА/УЗ/ДО визуализации биологических тканей с поперечным пространственным разрешением 50 мкм / 25 мкм / 3.5 мм соответственно [4]. ОА модальность позволяет визуализировать светопоглощающие неоднородности, представленные экзогенными или эндогенными хромофорами (например, кровеносными сосудами). УЗ модальность - неоднородности акустического импеданса, представленные анатомическими особенностями биотканей. ДО модальность - неоднородности оптического рассеяния и поглощения. ДО измерения дополняют ОА измерения данными об освещенности внутри биоткани, открывая возможности для количественных ОА измерений концентраций различных хромофоров, в частности, для определения степени оксигенации крови [5].

1. P. Subochev, "Cost-effective imaging of optoacoustic pressure, ultrasonic scattering, and optical diffuse reflectance with improved resolution and speed," *Optics letters* 41, 1006-1009 (2016).

2. P. Subochev, I. Fiks, and M. Frenz, "Simultaneous triple-modality imaging of diffuse reflectance, optoacoustic pressure and ultrasonic scattering using an acoustic-resolution photoacoustic microscope: feasibility study," *Laser Physics Letters* 13, 025605 (2016).

3. П.В. Субочев, А.В. Ковальчук, В.И. Плеханов, М.Б. Прудников, Р.В.Беляев, В.В.Воробьев, А.Г. Орлова, И.В.Турчин "Оптоакустический микроскоп для биоимиджинга" Патент на полезную модель РФ № 2016124856 от 21.06.2016.

4. P. Subochev, A. Orlova, I. Mikhailova, N. Shilyagina, and I. Turchin, "Simultaneous *in vivo* imaging of diffuse optical reflectance, optoacoustic pressure, and ultrasonic scattering," *Biomedical Optics Express* 7, 3951-3957 (2016).

5. V. Perekatova, P. Subochev, M. Kleshnin, and I. Turchin, "Optimal wavelengths for optoacoustic measurements of blood oxygen saturation in biological tissues," *Biomedical Optics Express* 7, 3979-3995 (2016).

**II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией  
Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года**

**АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ЯЧЕЙКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН  
В ПЛОСКОСТИ XZ МОНОКРИСТАЛЛА ТЕЛЛУРА**

**Волошинов В.Б.<sup>1)</sup>, Хоркин В.С.<sup>1)</sup>, Кулакова Л.А.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> *Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Физический факультет, Москва, Россия*

<sup>2)</sup> *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел.: (495 9394404); Факс: (495 9328820) (Волошинов В.Б.)*

*E-mail: (volosh@phys.msu.ru)*

В работе представлено теоретическое описание и экспериментальное исследование акустооптического (АО) взаимодействия на продольных и сдвиговых акустических волнах в плоскости XZ монокристалла теллура. Для теоретического исследования акустических и акустооптических свойств создана компьютерная программа, позволяющая рассчитывать указанные свойства для произвольной плоскости кристаллов. На основе литературных данных о значениях упругих констант, об оптических свойствах кристалла, а также исходя из кристаллографического класса симметрии, в ходе численного анализа были определены скорости акустических волн в кристалле теллура. Для расчета были использованы усредненные значения независимых упругих констант:  $c_{11} = 3.76 \cdot 10^{10}$  Па,  $c_{12} = 0.94 \cdot 10^{10}$  Па,  $c_{13} = 2.88 \cdot 10^{10}$  Па,  $c_{14} = 1.43 \cdot 10^{11}$  Па,  $c_{33} = 7.85 \cdot 10^{10}$  Па и  $c_{44} = 3.55 \cdot 10^{10}$  Па. В случае расчета акустической задачи программа позволила получить сечения поверхности акустической медленности произвольной плоскостью. При анализе акустооптических свойств материала был проведен расчет углочастотных зависимостей в плоскости XZ кристалла, справедливый также и для произвольной плоскости АО взаимодействия.

В работе теоретически определены скорости и поляризации акустических волн, распространяющихся в плоскости XZ монокристалла теллура, а также зависимости угла Брэгга от частоты ультразвука для акустических волн, распространяющихся вдоль оси X. Результаты теоретического анализа были использованы для создания акустооптических ячеек на продольной и сдвиговой акустических волнах. Эти ячейки были использованы при экспериментальном исследовании анизотропного акустооптического взаимодействия в теллуре на длине волны света  $\lambda = 10.6$  мкм. Методом эхо-импульсов были измерены скорости акустических волн в созданных АО ячейках для двух акустических мод: продольной волны, распространяющейся вдоль оси X со скоростью  $v = 2450$  м/с и для сдвиговой волны, распространяющейся под углом  $\alpha = 40^\circ$  к оси X со скоростью  $v = 2700$  м/с.

В работе обсуждаются акустооптические характеристики кристалла теллура с целью применения данного материала в устройствах управления параметрами излучения в дальнем инфракрасном диапазоне длин волн электромагнитного спектра.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №14-12-00380

## **ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР**

**09.06.2017 – с 11.20 до 12.00**

### **МАСТЕР-КЛАСС «МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В COMSOL MULTIPHYSICS»**

**С.С. Янкин, Ф.Е. Митяков**

*ООО «Комсол», Москва*

Пакет **COMSOL Multiphysics®** (и его расширение – модуль Акустика) позволяет рассчитывать распространение акустических волн в твердых телах, пористых и текучих средах и любых их комбинациях. Удобный интерфейс и большой набор специализированных инструментов для задания источников звука, нелинейных и анизотропных материалов, импедансных граничных условий, определения характеристик акустических полей в дальней зоне позволяет проводить специализированные расчеты при решении как фундаментальных задач, так и для R&D проектирования звуковых и ультразвуковых приборов на различных масштабах: от микроструктур метаматериалов до акустики помещений. Междисциплинарность среды /COMSOL/ Multiphysics® позволяет учитывать эффекты термовязкости, пороакустики, пьезоактуации, оптоакустики, аэроакустики, геометрической лучевой акустики и ультразвукового нагрева.

В числе пользователей COMSOL ведущие научно-исследовательские коллективы России и мира, в их числе компании B&K, HARMAN, Escaote, MIT, МГТУ им. Н. Э. Баумана, ИПФ РАН и др.

Краткий видеобзор возможностей (на русском языке):

<https://www.comsol.ru/video/acoustic-modeling-in-comsol-multiphysics>

<https://www.comsol.ru/video/modeling-piezoelectric-devices-in-comsol-multiphysics>