

ПРОГРАММА

АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ



XXXII сессия

Российского акустического общества

14-18 октября 2019, Москва

УДК 534

ISBN 978-5-89118-800-6

Программа и аннотации докладов XXXII-ой сессии Российского акустического общества. - М.: ГЕОС, 2019, 128 с.

В книге собраны доклады XXXII сессии Российского акустического общества.

Труды сессии изданы без дополнительного редактирования по оригиналам докладов, представленных авторами. Оргкомитет не несет ответственности за стиль и форму изложения представленных материалов.

Организаторы



Общественная организация
«Российское акустическое общество»



АО «Акустический институт
имени академика Н.Н. Андреева»

Спонсоры

Финансовую поддержку конференции оказали:



АО «Концерн «Океанприбор»



Группа компаний «Акустик Групп»

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

Акуличев Виктор Анатольевич – академик, президент Российского акустического общества
Гладилин Алексей Викторович – директор Акционерного общества «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева»
Юдина Елена Васильевна – зам. председателя, АО «АКИН», исполнительный директор Российского акустического общества

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

<i>Миронов Михаил Арсеньевич</i>	АКИН – председатель
<i>Егерев Сергей Викторович</i>	АКИН – зам.председателя
<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>	ГИ НИТУ МИС _С
<i>Гурбатов Сергей Николаевич</i>	ННГУ
<i>Диденкулов Игорь Николаевич</i>	ИПФ РАН
<i>Канев Николай Георгиевич</i>	АКИН
<i>Кедринский Валерий Кириллович</i>	ИГЛ СО РАН
<i>Копьев Виктор Феликсович</i>	ЦАГИ
<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>Малеханов Александр Игоревич</i>	ИПФ РАН
<i>Петников Валерий Георгиевич</i>	ИОФ РАН
<i>Потапова Родмонга Кондратьевна</i>	МГЛУ
<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>	НИИ СФ РААСН
<i>Шкуратник Владимир Лазаревич</i>	ГИ НИТУ МИС _С

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

<i>Максимов Герман Адольфович</i>	АКИН
<i>Воропаев Василий Владимирович</i>	АКИН
<i>Григорьев Альберт Генрихович</i>	АКИН
<i>Корольков Захар Александрович</i>	АКИН
<i>Ларичев Владимир Андреевич</i>	АКИН
<i>Лесонен Дмитрий Николаевич</i>	АКИН
<i>Тукенов Данияр Султанбекович</i>	АКИН
<i>Баженова Екатерина Дмитриевна</i>	АКИН, РАО

РАСПИСАНИЕ РАБОТЫ СЕССИИ

Дата				
14.10.19	09:00 – 10:00	Регистрация		
	10:00 – 12:30	ОТКРЫТИЕ, ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 1		
	13:30 – 16:00	НА	АЭР	ГЕО
	16:20 – 18:00	НА	АЭР	ГЕО
15.10.19	09:00 – 10:00	ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 2		
	10:20 – 12:00	АО	АЭР	ШВ
	12:00 – 13:00	АО	АР	ШВ
	14:00 – 16:00	АО	АР	ШВ
	16.20 – 18.00	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ СЕКЦИИ АО, БИО, ГЕО, НА, ФА, ШВ		
16.10.19	09:00 – 11:00	АО	МА (30 мин), АИ	АЭ
	11:20 – 13:00	АО	АИ	РДВ
	14.00--18.00 ОТЧЕТНО-ПЕРЕВЫБОРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ РАО			
17.10.19	09:00 – 11:00	АО	ФА	АММ
	11:20 – 13:00	АО	ФА	АММ
	14:00 – 16.20	БИО	ФА	ОА
	16.20 – 18.40	БИО	ФА	АА
18.10.19	09.00 – 11.00	БИО	АСА	УЗ
	11.20 – 13.00	БИО	АСА	УЗ
	13.00 – 14.00	ЗАКРЫТИЕ XXXII СЕССИИ		

Уважаемые участники конференции!

Во время работы конференции просьба соблюдать регламент: для пленарного доклада длительность презентации составляет 30 минут, для устного доклада длительность презентации - 15 минут, вместе с обсуждением и вопросами.

Материалы конференции размещаются на сайте <http://rao.akin.ru>

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАСПИСАНИЕ СЕССИИ	5
РАСПИСАНИЕ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ	7
ПРОГРАММА СЕССИИ	8
НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА – 14.10.2019- с 13.30 до 18.00	8
АЭРОАКУСТИКА – 14.10.2019 - с 13.30 до 18.00, 15.10.2019 – с 10.20 – 13.00	8
ГЕОАКУСТИКА – 14.10.2019 - с 13.30 до 18.00	9
АКУСТИКА ОКЕАНА – 15.10.2019 – с 10.20 до 16.00, 16.10.2019 – с 09.00 до 13.00, 17.10.2019 – с 09.00 до 13.00	10
АКУСТИКА РЕЧИ – 15.10.2019 – 12.00-16.00	12
ШУМЫ И ВИБРАЦИИ – 15.10.2019 - с 10.20 до 16.00	12
АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ – 16.10.2019 - с 09.00 до 13.00	13
АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА – 16.10.2019 - с 09.00 до 11.00	14
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН – 16.10.2019 - с 11.20 до 13.00	14
ФИЗИЧЕСКАЯ АКУСТИКА – 17.10.2019 - с 09.00 до 18.30	15
ОПТОАКУСТИКА И АКУСТООПТИКА – 16.10.2019 - с 14.00 до 16.00	16
АТМОСФЕРНАЯ АКУСТИКА – 16.10.2019 - с 16.20 до 18.30	16
БИОАКУСТИКА И МЕДИЦИНСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ – 17.10.2019 - с 09.00 до 13.00, 18.10.2019 - с 09.00 до 13.00	17
АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ – 17.10.2019 - с 09.00 до 13.00	18
АРХИТЕКТУРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА – 18.10.2017 – с 9.00 до 13.00	19
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – 18.10.2017 – с 9.00 до 13.00	19
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ (АО, БИО, ГЕО, ФА, НА, ШВ)– 15.10.2019 – с 16.20 до 18.00	20
АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ	22
ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 1	22
ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 2	24
Секция НА – НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА	25
Секция АЭР – АЭРОАКУСТИКА	31
Секция ГЕО – ГЕОАКУСТИКА	39
Секция АО – АКУСТИКА ОКЕАНА	44
Секция АР – АКУСТИКА РЕЧИ	64
Секция ШВ – ШУМЫ И ВИБРАЦИИ	69
Секция АИ – АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	75
Секция АЭ – АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА	81
Секция РДВ – РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН	85
Секция ФА – ФИЗИЧЕСКАЯ АКУСТИКА	89
Секция ОА – ОПТОАКУСТИКА И АКУСТООПТИКА	100
Секция АА – АТМОСФЕРНАЯ АКУСТИКА	103
Секция БИО – БИОАКУСТИКА И МЕДИЦИНСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	106
Секция АММ – АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ	118
Секция АСА – АРХИТЕКТУРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА	122
Секция УТ – УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	126

РАСПИСАНИЕ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 1

14.10.19 - 10.30-12.30

Гладилин А.В., Максимов Г.А. *АО «АКИН», Москва*

О РАЗРАБОТКАХ АКУСТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В ОБЛАСТИ МОРСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Гусев В.А., Ермолаева Е.О., Кравчун П.Н., Сапожников О.А. *МГУ, Москва*

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО АКУСТИКЕ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (К 75-летию КАФЕДРЫ АКУСТИКИ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА)

Максимов Г.А. *АО «АКИН», Москва*

ВАРИАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УРАВНЕНИЙ РЕЛЯТИВИСТКОЙ И НЕРЕЛЯТИВИСТКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 2

15.10.2019 – 09.00-10.00

Егерев С.В., Серебряный А.Н. *АО АКИН, ИО РАН*

НЕФОРМАЛЬНЫЕ И ДОБРОВОЛЬЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ В АКУСТИКЕ И ОКЕАНОЛОГИИ

Комкин А.И. *МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва*

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ

ПРОГРАММА СЕССИИ

Секция НА – Нелинейная акустика

Есипов Игорь Борисович, руководитель

14.10.2019- с 13.30 до 18.00

Савицкий О.А. АО «АКИН», Москва

ОТРАЖЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ОТ ПОВЕРХНОСТИ, ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО ЗАДАННОМУ ЗАКОНУ. ПРИЛОЖЕНИЯ К ЗАДАЧЕ АКТИВНОГО ЗВУКОГАШЕНИЯ

Павловский А.С.¹, Семенова Н.Г.²

¹ООО «Национальная химическая компания», Санкт-Петербург; ²СПбГУ, Санкт-Петербург

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ ЧАСТИЧНОГО ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ГЕНЕРАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЯЗКОЙ ВОЛНЫ

Хватов А.А. СПбГМТУ, Университет ИТМО, Санкт-Петербург

АНАЛИЗ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ЕЁ КОНЕЧНОЙ ЧАСТИ С УЧЁТОМ СЛАБОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Гурбатов С.Н.¹, Дерябин М.С.^{1,2}, Касьянов Д.А.², Курин В.В.¹, Тюрина А.В.¹

¹ННГУ, ²ИПФ РАН, Нижний Новгород

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ УДАРНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА КРАЮ ЭКРАНА

Красненко Н.П.^{1,2}, Раков Д.С.^{1,3}, Раков А.С.^{1,2} ¹ИМКЭС СО РАН, Томск; ²ТУСУР, Томск; ³ТПУ, Томск

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Коробов А.И., Одина Н.И. МГУ, Москва

НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ВОЛН В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ

Гусев В.А. МГУ, Москва

РАДИАЦИОННЫЕ СИЛЫ И АКУСТИЧЕСКИЕ ТЕЧЕНИЯ В ЖИДКОМ СЛОЕ НА УПРУГОЙ ПОДЛОЖКЕ

Ерофеев В.И., Леонтьева А.В. ИПМ РАН– филиал ИПФ РАН, Нижний Новгород

НЕСИНУСОИДАЛЬНЫЕ ПРОДОЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В СТЕРЖНЕ, ПОГРУЖЕННОМ В НЕЛИНЕЙНО-УПРУГУЮ СРЕДУ

Диденкулов И.Н.^{1,2}, Корчагина Т.С.², Прончатов-Рубцов Н.В.² ¹ИПФ РАН, ²ННГУ, Нижний Новгород

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВ В ПРОТОЧНОМ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ

Заславский Ю.М., Заславский В.Ю. ИПФ РАН, Нижний Новгород

О ГЕНЕРАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ПРИ АВТОМОДУЛЯЦИИ НА КОНТАКТЕ ВИБРАТОР-ГРУНТ

Быков А.И.¹, Комкин А.И.¹, Миронов М.А.^{1,2} ¹МГТУ им. Н.Э. Баумана; ²АО «АКИН», Москва

АКУСТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ОТВЕРСТИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ АМПЛИТУД

Секция АЭР – Аэроакустика

Копьев Виктор Феликсович, руководитель

14.10.2019 - с 13.30 до 18.00, 15.10.2019 – с 10.20 – 12.00

Бычков О.П.¹, Копьев В.Ф.¹, Фараносов Г.А.^{1,2} ¹НИМК ЦАГИ, Москва; ²ПНИПУ, Пермь

ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ПРЕДСКАЗАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО УСИЛЕНИЯ ШУМА СТРУИ ВБЛИЗИ КРЫЛА ПРИ НАЛИЧИИ СПУТНОГО ПОТОКА

Крашенинников С.Ю., Миронов А.К. ЦИАМ, Москва

УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ШУМА СТРУИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЛАЙТХИЛЛА

Зверев А.Я. ФГУП «ЦАГИ», Москва

К 30-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО СТЕНДА АК-11

Попов П.А., Иголкин А.А., Кузнецов А.В. Самарский университет, Самара

ОЦЕНКА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РАКЕТУ-НОСИТЕЛЬ «СОЮЗ-5» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Бакланов В.С.¹, Голубев А.Ю.², Потокин Г.А.² ¹ПАО «Туполев», Москва; ²НИМК ЦАГИ, Москва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ АКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КАБИНЕ СВЕРХЗВУКОВОГО САМОЛЕТА

Карзова М.М.¹, Юлдашев П.В.¹, Лешá Т.², Драгна Д.², Оливье С.², Хохлова В.А.¹, Блан-Бенон Ф.²

¹МГУ, физический факультет, Москва; ²Высшая центральная школа г. Лиона (Франция)

НЕЛИНЕЙНОЕ ОТРАЖЕНИЕ N-ВОЛНЫ ОТ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ВОЗДУХЕ

Юлдашев П.В., Карзова М.М., Хохлова В.А. МГУ, Москва

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН ЗВУКОВОГО УДАРА В НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ ОДНО-НАПРАВЛЕННОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ

Мионов М.А. АО «АКИН», Москва

ОПТИМАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ВОЛН В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ

Баженова Л.А. АО «АКИН», Москва

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ ТЕЛА НА ВИХРЕВОЙ ЗВУК ПРИ ОБДУВЕ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Копьев В.Ф.^{1,2}, Остриков Н.Н.^{1,2}, Яковец М.А.^{1,3}, Пальчиковский В.В.², Корин И.А.², Берсенев Ю.В.^{2,4}

¹НИМК ЦАГИ, Москва; ²ПНИПУ, Пермь; ³МФТИ, Жуковский, Моск. область; ⁴«ОДК-Авиадвигатель», Пермь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В ЗАГЛУШЕННОЙ КАМЕРЕ ВЛИЯНИЯ АЗИМУТАЛЬНОЙ АСИММЕТРИЧНОСТИ ИМПЕДАНСА ЗПК НА АЗИМУТАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В КРУПНОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ ВОЗДУХОЗАБОРНИКА

Остриков Н.Н.¹, Яковец М.А.^{1,2}, Ипатов М.С.¹ ¹НИМК ЦАГИ, Москва; ²МФТИ, Жуковский

О ВЛИЯНИИ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ СРЕДНЕГО ПОТОКА В КАНАЛЕ УСТАНОВКИ «ИНТЕРФЕРОМЕТР С ПОТОКОМ» НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИМПЕДАНСА ОБРАЗЦОВ ЗПК

Храмцов И.В., Кустов О.Ю., Пальчиковский В.В. ПНИПУ, Пермь

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗПК С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Александров В.Г., Осипов А.А. ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва

РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЧЕРЕЗ ЕГО ВОЗДУХОЗАБОРНИК И ВЫХЛОПНОЕ СОПЛО

Титарев В.А.^{1,2} ¹НИМК ЦАГИ, Москва; ²ФИЦ ИУ РАН, Москва

ОБЗОР СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ И АЭРОАКУСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК, РЕАЛИЗОВАННЫХ В КОДЕ "ГЕРБЕРА"

Бычков О.П.¹, Фараносов Г.А.^{1,2} ¹НИМК ЦАГИ, Москва; ²ПНИПУ, Пермь

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМА ИЗОЛИРОВАННОЙ СТРУИ И СТРУИ ВБЛИЗИ КРЫЛА В СТАТИЧЕСКИХ И ПОЛЕТНЫХ УСЛОВИЯХ

Шорстов В.А., Макаров В.Е. ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

РАЗВИТИЕ ЗОННОГО RANS-IDDES ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Бойчук И.П., Гринек А.В. ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск

АЭРОАКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНТОВ МАЛОГО МАСШТАБА

Боженко А.Н.¹, Пахов В.В.¹, Зверев А.Я.² ¹КНИТУ – КАИ, Казань; ²ФГУП «ЦАГИ», Москва

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОРМЕ МНОГОГРАННИКОВ

Секция ГЕО – Геоакустика

Вознесенский Александр Сергеевич, руководитель

14.10.2019 - с 13.30 до 18.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

Вознесенский А.С., Красилов М.Н., Куткин Я.О., Корякин В.В. НИТУ «МИСиС», Москва

ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ОТКЛИКА СИСТЕМЫ ГЕОСРЕДА–АНКЕР НА УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Смирнов И.П., Калинина В.И., Хилько А.И., Малеханов А.И. ИПФ РАН, Нижний Новгород

ПОСЛОЙНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСАДОЧНЫХ СЛОЕВ ДНА МЕЛКОГО МОРЯ

Хилько А.И.¹, Мерклин Л.Р.², Плешков А.Ю.², Бирюков Е.А.³, Долгачев А.И.³, Маев П.А.³, Смирнов И.П.¹, Калинина В.И.¹, Малеханов А.И.¹ ¹ИПФ РАН, Нижний Новгород;

²ООО "Морские Инновации", Москва; ³ООО "Сплит", Москва

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО КОГЕРЕНТНОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ МОРСКОГО ДНА В МЕЛКОВОДНОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ПРИСУТСТВИИ РЕВЕРБЕРАЦИОННЫХ ПОМЕХ И ШУМОВ СУДОХОДСТВА

Новиков Е.А., Зайцев М.Г., Назмиева А.Х. НИТУ МИСиС, Москва

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ИХ ПОВТОРНО-ПЕРЕМЕННОГО ТЕРМО-МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Жарников Т.В., Никитин А.А. ЦАГИ, Жуковский, Моск. обл., МГУ, Москва

О ВЫДЕЛЕНИИ СОБСТВЕННЫХ МОД АНИЗОТРОПНОГО ВОЛНОВОДА

Зайцев В.Ю., Радостин А.В., Матвеев Л.А. ИПФ РАН, г. Нижний Новгород

О КРИТЕРИИ САМОСОГЛАСОВАННОСТИ И ЕГО ВЫПОЛНИМОСТИ В МОДЕЛЯХ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТРЕЩИНОВАТЫХ СРЕД

Манаков С.А.¹, Коньков А.И.^{1,2} ¹ИПФ РАН, Нижний Новгород; ²ООО «ГЕОДЕВАЙС», Санкт-Петербург

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ И СДВИГОВОЙ ВОЛН ПО АНАЛИЗУ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

Лебедев А.В., ИПФ РАН, Нижний Новгород

НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕЛАКСАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ШУМА ФИЛЬТРАЦИИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Лебедев А.В., ИПФ РАН, Нижний Новгород

АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В УПРУГОЙ СРЕДЕ С ПОРИСТЫМ НАСЫЩЕННЫМ СЛОЕМ

Лебедев А.В., Манаков С.А., ИПФ РАН, Нижний Новгород

ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СЛОИСТОЙ СРЕДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕКТОРНОГО ПРИЕМА ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ РЭЛЕЯ

Преснов Д.А.¹, Собисевич А.Л.¹, Шуруп А.С.^{1,2} ИФЗ РАН; МГУ, Москва

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКАЯ МОДОВАЯ ТОМОГРАФИЯ ОСАДКОВ, ВОДНОЙ ТОЛЩИ И ЛЬДА МЕЛКОГО МОРЯ

Красилов М.Н., Куткин Я.О., Тютчева А.О., Насибуллин Р.Р., Лучникова А.О. НИТУ «МИСиС», Москва

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИХ ИЗГИБЕ И ДВУХОСНОМ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Высотин Н.Г. ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ УПРУГОГО ГИСТЕРЕЗИСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

Секция АО – Акустика океана

Буланов Владимир Алексеевич, руководитель

Вировлянский Анатолий Львович, руководитель

Петников Валерий Георгиевич, руководитель

15.10.2019 – с 10.20 до 16.00; 16.10.2019 – с 09.00 до 13.00; 17.10.2019 – с 09.00 до 13.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

Есипов¹ И.Б., Попов² О.Е., Солдатов³ Г.В. ¹РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, АКИН, Москва

²ИФА РАН, Москва, ³Технологический институт ЮФУ, Таганрог

СЖАТИЕ СИГНАЛА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ В МЕЛКОВОДНОМ ВОЛНОВОДЕ

Акуличев В.А., Буланов В.А., Бугаева Л.К. ТОИ ДВО РАН, Владивосток

ВЛИЯНИЕ ПУЗЫРЬКОВЫХ ОБЛАКОВ В ВОЗМУЩЕННОМ ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОКЕАНА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА

Ярина М.В.¹, Кацнельсон Б.Г.^{1,2}

¹University of Haifa, Израиль; ²ВГУ, Воронеж

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ МОДОВОГО СОСТАВА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕЛКОВОДНОЙ СРЕДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SWARM'95 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WARPING-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Ужанский Э.¹, Кацнельсон Б.^{1,2}, Луников А.³, Островский И.⁴ ¹University of Haifa, Израиль; ²ВГУ, Воронеж;

³ИОФ РАН, Москва; ⁴Israel Oceanographic and Limnological Research, Израиль

ФЛУКТУАЦИИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ОЗЕРЕ В ПРИСУТСТВИИ ВНУТРЕННЕЙ ВОЛНЫ КЕЛЬВИНА. ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Пересёлков^{1,2} С.А., Кузькин² В.М., Vadiéy³ М., Казначеев¹ И.В., Ткаченко¹ С.А.

¹ВГУ, Воронеж; ²ИОФ РАН, Москва; ³Delaware University, США

ИНТЕРФЕРОГРАММА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ

ПРИ НАЛИЧИИ ИНТЕНСИВНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ОКЕАНИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

Гулин О.Э., Ярощук И.О., Фенгчин Ж.

¹ТОИ ДВО РАН, Владивосток; ²Колледж подводной акустики, Харбинский инженерный ун-т

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА В МЕЛКОВОДНЫХ ВОЛНОВОДАХ С ГАУССОВЫМИ И НЕГАУССОВЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ СКОРОСТИ ЗВУКА

Кацнельсон Б.Г.¹, Луников А.А.^{2,3}, Шабанова Т.М.³

¹Университет Хайфы, Израиль; ²ИОФ РАН, Москва; ³МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

МОДОВАЯ СТРУКТУРА НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ

С ТОНКИМ СЛОЕМ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОСАДКОВ

Калинюк И.В.¹, Маленко Ж.В.^{2,3}, Ярошенко А.А.^{2,3} ¹Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского,

Симферополь; ²Филиал ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова в г.Севастополе; ³СГУ, Севастополь

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ОТ ИСТОЧНИКА В УПРУГОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

Моргунов Ю.Н., Голов А.А., Буренин А.В., Петров П.С. ТОИ ДВО РАН, Владивосток

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНЫХ СКОРОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В СЛОЖНЫХ ВОЛНОВОДАХ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ШЕЛЬФОВОГО И ГЛУБОКОВОДНОГО УЧАСТКОВ

Толченников А.А.^{1,2}, Сергеев С.А.^{1,2}, Петров П.С.³ ¹ИПМех РАН, Москва; ²МФТИ, Долгопрудный, Моск. обл.;

³ТОИ ДВО РАН, Владивосток

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В МЕЛКОМ МОРЕ С НАКЛОННЫМ ДНОМ В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Волков М.В.^{1,2}, Григорьев В.А.³, Луньков А.А.^{1,2}, Петников В.Г.¹

¹ИОФ РАН, Москва; ²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; ³ВГУ, Воронеж

НЕОДНОРОДНОЕ ПОЛЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ДНЕ КАРСКОГО МОРЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Заславский Ю.М., Заславский В.Ю. ИПФ РАН, Нижний Новгород

ОСОБЕННОСТИ ДОННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ, ГЕНЕРУЕМОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ (ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

Кацнельсон Б.Г.^{1,3}, Годин О.А.², Qyanchu Zhang³

¹ВГУ, Воронеж; ²Naval Postgraduate School, Monterey, США; ³University of Haifa, Израиль

ФЛУКТУАЦИИ ПОДВОДНОГО ШУМА В МЕЛКОМ МОРЕ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SHALLOW WATER 2006

Максимов Г.А., Ларичев В.А. АО «АКИН», Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРАТНЫХ ГОЛОВНЫХ, ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ДНА

Пересёлков^{1,2} С.А., Кузькин² В.М., Кузнецов² Г.Н., Ляхов² Г.А., Казначеева¹ Е.С.

¹ВГУ, Воронеж; ²ИОФ РАН, Москва

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЗВУКА В ОТСУТСТВИЕ ИНФОРМАЦИИ О ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ВОЛНОВОДА

Сазонтов А.Г., Смирнов И.П. ИПФ РАН, г. Нижний Новгород

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА В АКУСТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Гончаренко Б.И.¹, Медведева Е.В.¹, Шуруп А.С.^{1,2,3} ¹МГУ ²ИО РАН, ³ИФЗ РАН, Москва

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В МЕЛКОМ ПРЕСНОМ ВОДОЕМЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ШУМОВОГО ИСТОЧНИКА

Григорьев В.А.¹, Луньков А.А.^{2,3}, Петников В.Г.², Шатравин А.В.⁴

¹ВГУ, Воронеж; ²ИОФ РАН, ³МГТУ им. Н.Э. Баумана, ⁴ИО РАН, Москва

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ГРЕНЛАНДСКИХ КИТОВ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ

Аксенов С.П., Кузнецов Г.Н. ИОФ РАН, Москва

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ СЛАБОГО ИСТОЧНИКА ЗВУКА В ЗОНЕ ТЕНИ В ГЛУБОКОМ МОРЕ

Семенов А.Г. АО «АКИН», Москва

К ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ОКЕАНА

Клячин Б.И. МГППУ, Москва

РАССЕЯНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ ОТ СИСТЕМЫ ШЕРОХОВАТЫХ СЛОЕВ

Смирнов И.П., Сидоров К.А., Хилько А.И. ИПФ РАН, Нижний Новгород

МУЛЬТИСТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОКЕАНА ЧАСТИЧНО-КОГЕРЕНТНЫМИ ВОЛНОВОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Кержаков Б.В., Кулинич В.В. ИПФ РАН, Нижний Новгород

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОВОДНОГО ВОЛНОВОДА НА ТОЧНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ТОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Буланов В.А., Стороженко А.В. ТОИ ДВО РАН, Владивосток

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ МОРЯ

Есипов И.Б.¹, Кенигсбергер Г.В.², Попов О.Е.³, Поддубняк В.Я.¹, Михеев В. И.²

¹АО «АКИН», Москва; ²Институт Экологии АН Абхазии, Сухуми; ³ИФА РАН, Москва

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДОННОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ И ВЛИЯНИЮ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ НА АЗИМУТАЛЬНЫЕ УГЛЫ ПРИХОДА СИГНАЛОВ

Буренин А.В., Голов А.А., Моргунов Ю.Н. ТОИ ДВО РАН, Владивосток

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ

Чупин¹ В.А., Будрин¹ С.С., Долгих¹ Г.И., Щербатюк² А.Ф. ¹ТОИ ДВО РАН, ИПМТ ДВО РАН, Владивосток

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН

Львов К.П. АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭХОСИГНАЛОВ ОТ ДНА НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

Серебряный А.Н.^{1,2} ¹ИО РАН, Москва; ²АО «АКИН», Москва

ADCP – МОЩНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ОКЕАНОЛОГИИ

Бритенков А.К., Боголюбов Б.Н., Фарфель В.А. ИПФ РАН, Нижний Новгород

ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРОДОЛЬНО-ИЗГИБНОГО ТИПА СО СЛОЖНОЙ ФОРМОЙ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ

Дмитриев К.В. МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. *ФИРЭ РАН, Московская обл., Фрязино*
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ЛЧМ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА В МЕЛКОМ МОРЕ

Волков М.В.^{1,3}, Григорьев В.А.², Луньков А.А.^{1,3}, Петников В.Г.¹

¹ИОФ РАН, Москва; ²ВГУ, Воронеж; ³МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРИЕМНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ
Максимов Г.А., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Денисов Д.М., Волков А.Ю., Коновалов В.Н., Корольков З.А., Григорьев А.Г. *АО «АКИН», Москва*

АВТОНОМНАЯ СЕКЦИОННАЯ ДОННАЯ СЕЙСМОКОСА ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ШЕЛЬФЕ

Секция АР – Акустика речи, акустические проблемы лингвистики

Ляксо Елена Евгеньевна, руководитель

15.10.2019 - с 12.00 до 16.00

Крейчи С.А., Кедрова Г.Е. *МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва*

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ТЮРКОЯЗЫЧНЫХ ФОНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУССКОГО ЯЗЫКА

Потапова Р.К.¹, Потапов В.В.² ¹ФГБОУ ВО МГЛУ, Москва; ²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

АКУСТИКО-СЕМАНТИЧЕСКИЙ КОНТЕНТ РЕЧЕВОЙ КОММУНИКАЦИИ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Бобров Н.В. *ФГБОУ ВО МГЛУ, Москва*

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ АКУСТИКО-ФОНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧЕВЫХ СЕГМЕНТОВ

Кузнецов В.Б., Бобров Н.В. *ФГБОУ ВО МГЛУ, Москва*

КОАРТИКУЛЯЦИОННОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ МЯГКОСТИ СОГЛАСНЫХ И РАСПОЗНАВАНИЕ ИХ МЕСТА ОБРАЗОВАНИЯ ПО F₂-ПЕРЕХОДАМ ОКРУЖАЮЩИХ ГЛАСНЫХ В РУССКОЙ РЕЧИ

Римская-Корсакова Л.К.¹, Нечаев Д.И.² ¹АО «АКИН», Москва; ²ФГБУН ИПЭЭ РАН, Москва

ОСНОВАННОЕ НА ГРОМКОСТИ ОБНАРУЖЕНИЕ ТЕСТОВОГО ИМПУЛЬСА, ПРЕДЪЯВЛЯЕМОГО ДО ИЛИ ПОСЛЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПОМЕХОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Фролова О.В. *СПбГУ, Санкт-Петербург*

АКУСТИЧЕСКИЕ И ПЕРЦЕПТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧИ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С УМСТВЕННОЙ ОТСТАЛОСТЬЮ

Николаев А.С., Ляксо Е.Е. *СПбГУ, Санкт-Петербург*

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАСНЫХ ИЗ СЛОВ ДЕТЕЙ 5–11 ЛЕТ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Ляксо Е.Е. *СПбГУ, Санкт-Петербург*

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИНСКОЙ РЕЧИ, АДРЕСОВАННОЙ ДЕТЯМ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА И СИНДРОМОМ ДАУНА

Городный В.А., Ляксо Е.Е. *СПбГУ, Санкт-Петербург*

ВРЕМЕННЫЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧИ ДЕТЕЙ 6-7 ЛЕТ С СИНДРОМОМ ДАУНА

Куражова А.В. *СПбГУ, Санкт-Петербург*

СТАНОВЛЕНИЕ РЕЧИ ДЕТЕЙ-БЛИЗНЕЦОВ 4-6 ЛЕТ: АКУСТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Григорьев А.С., Ляксо Е.Е. *СПбГУ, Санкт-Петербург*

АКУСТИЧЕСКИЕ И ПЕРЦЕПТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧИ ПОДРОСТКОВ 14-16 ЛЕТ

Секция ШВ – Шумы и вибрации

Бобровницкий Юрий Иванович, руководитель

Цукерников Илья Евсеевич, руководитель

15.10.2019 - с 10.20 до 16.00

Суворов А.С., Кутузов Н.А., Стуленков А.В., Родионов А.А. *ИПФ РАН, Нижний Новгород*

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ВИБРОАКТИВНОСТИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

Иваненков А.С., Родионов А.А., Савельев Н.В. *ИПФ РАН, г. Нижний Новгород*

СВЕРХРАЗРЕШЕНИЕ БЛИЗКИХ ИСТОЧНИКОВ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

Белоусов Ю.И., Гладилин А.В., Савицкий О.А., Степанов В.Б. *АО «АКИН», Москва*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ВЗАИМНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ ВИБРИРУЮЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Белоусов Ю.И., Степанов В.Б. *АО «АКИН», Москва*

ОЦЕНКА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ВОЗМУЩАЮЩЕЙ СИЛЫ ПО ИЗМЕРЕННОЙ ВЕЛИЧИНЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ КОНСТРУКЦИИ

Бакланов В.С. ПАО «Туполев», Москва

ЭВОЛЮЦИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И СТРУКТУРНЫЙ ШУМ

Жарников Т.В., Голубев А.Ю. ЦАГИ, г. Жуковский, Моск. обл.

О ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПЛАСТИНЫ С ПАРАМЕТРАМИ, ЗАВИСЯЩИМИ ОТ ВРЕМЕНИ

Пудовкин А.А.¹, Кешков Д.И.², Китанов М.Ю.², Кузнецов Г.Н.¹, Кутаков С.И.¹, Майзель А.Б.², Смагин Д.А.³, Сухарцов А.А.¹ ¹ ИОФ РАН, Москва; ² ЦКБ МТ «Рубин», Санкт-Петербург; ³ АО «АКИН», Москва

ПОГЛОЩЕНИЕ ШУМА ПРИ ЕГО АКТИВНОМ ГАШЕНИИ В ВОЗДУХОВОДЕ

Шинкаренко И.А.², Сутырин В.И.¹ БФУ им. И. Канта, Калининград

² АО «Прибалтийский судостроительный завод «Янтарь», Калининград

ВИБРОИЗОЛИРУЮЩАЯ ПОДВЕСКА СУДОВОГО ТРУБОПРОВОДА

Цукерников И.Е.¹, Шубин И.Л.¹, Невенчанная Т.О.², Смирнов В.А.¹ ¹ НИИ СФ, Москва;

² Московский политехнический университет, Москва

СИСТЕМНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НЕПОСТОЯННОЙ ВИБРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Геча В.Я., Либерман М.Ю., Шматков А.В. АО «Корпорация «ВНИИЭМ», Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИМЕТРИИ

ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ЗАГЛУШЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КАМЕР В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

Московец М.Е., Канев Н.Г. МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛАВАЮЩЕГО ПОЛА ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ЗДАНИЯХ

Антипушин Ю.М., Клименкова О.И. ООО «ЭкоКонцепт», Москва

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ – КАК ИСТОЧНИКИ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА

Шлычков С.В. ПГТУ, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ И РАСЧЕТЫ

Карпов И.А. ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНО-ВРЕМЕННЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Секция АИ – Акустические измерения

Секция МА - Музыкальная акустика – в составе АИ

Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель

16.10.2019 - с 09.00 до 13.00

Гутова С.Ю. Герценовский университет, ИМТИХ, Санкт-Петербург

≈700 ГЦ В РУССКОЙ АУТЕНТИЧНОЙ ПЕВЧЕСКОЙ ФОНАЦИИ

Якимук А.Ю., Конев А.А. ТУСУР, Томск

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ В ЗАДАЧЕ ОБУЧЕНИЯ ВОКАЛЬНОМУ МАСТЕРСТВУ

Вировлянский А.Л., Дерябин М.С. ИПФ РАН, Нижний Новгород

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЗВУКА В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЕГО ПОЛЯ В ЛАБОРАТОРНОМ БАССЕЙНЕ

Мешеряков Р.В.¹, Ляпустин Е.С.² ¹ ИПУ РАН, Москва; ² АО «Инфосистемы Джет», Москва

ИДЕНТИФИКАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Глебова Г.М.¹, Кузнецов Г.Н.² ¹ ЮФУ, Ростов-на-Дону; ² ИОФ РАН, Москва

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОЙ АНТЕННЫ

Глебова Г.М.¹, Кузнецов Г.Н.² ¹ ЮФУ, Ростов-на-Дону; ² ИОФ РАН, Москва

ОСЛАБЛЕНИЕ ПСЕВДОЗВУКОВЫХ ПОМЕХ ВЕКТОРНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ ГРАДИЕНТНОГО ТИПА В СОСТАВЕ БУКСИРУЕМОЙ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОЙ АНТЕННЫ

Драченко В.Н., Кузнецов Г.Н., Михнюк А.Н., ИОФ РАН, Москва

ОЦЕНКА КООРДИНАТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОЙ АНТЕННЫ

Симаков И.Г., Гулгенов Ч.Ж., Базарова С.Б. ИФМ СО РАН, Улан-Удэ

АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТИ В ГРАНИЧНОЙ ФАЗЕ

Симаков И.Г., Гулгенов Ч.Ж. ИФМ СО РАН, Улан-Удэ

ИМПУЛЬСНЫЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СКОРОСТИ И ЗАТУХАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Бадмаев Б.Б., Дембелова Т.С., Макарова Д.Н., Вершинина Е.Д. ИФМ СО РАН, Улан-Удэ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ В СУСПЕНЗИИ НАНОЧАСТИЦ ИМПЕДАНСНЫМ МЕТОДОМ

Костеев Д.А., Салин М.Б. *ИПФ РАН, Нижний Новгород*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БЛИЖНЕПОЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Лебедев М.В.¹, Захаров В.О.² ¹*АО «АКИН», Москва;* ²*МАИ, Москва*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ
ИНФОРМАЦИИ О ВРСЗ

Конопацкая И.И., Пятаков П.А., Сवादковский А.Н., Шуляпов С.А. *АО АО «АКИН», Москва*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ МЕГА-
ГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ В ЖИДКОСТИ

Бритенков А.К., Фарфель В.А., Лебедев Е.В. *ИПФ РАН, Нижний Новгород*

ВЛИЯНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЕДИНИТЕЛЬНОГО КАБЕЛЯ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ
ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ
ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Васильев М.Д.^{1,3}, Канев Н.Г.^{2,3} ¹*НИУ МГСУ, Москва;* ²*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва;*

³ *ООО «Акустические материалы», Москва*

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Секция АЭ – Акустоэлектроника

Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель

16.10.2019 - с 09.00 до 11.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

Кузнецова И.Е.¹, Анисимкин В.И.¹, Колесов В.В.¹, Кашин В.В.¹, Юдин С.Г.², Смирнов А.В.¹

¹*ИРЭ РАН, Москва;* ²*Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН, Москва*

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СТРУКТУРЕ «ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
ПЛАСТИНА – ПЛЕНКА ФТАЛОЦИАНИНА АЛЮМИНИЯ»

Зайцев Б.Д., Теплых А.А., Бородина И.А., Семенов А.П. *Сф ИРЭ РАН, Саратов*

ЖИДКОСТНЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА
С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Бородина И.А.¹, Зайцев Б.Д.¹, Гулий О.И.², Староверов С.А.² ¹*Сф ИРЭ РАН,* ²*ИБФРМ РАН, Саратов*

АКУСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ
БАКТЕРИАЛЬНЫХ КЛЕТОК

Семёнов А.П.¹, Зайцев Б.Д.¹, Федоров Ф.С.², Теплых А.А.¹, Бородина И.А.¹, Насибулин А.Г.²

¹*Сф ИРЭ РАН, Саратов;* ²*Сколковский институт науки и технологии, Москва*

ПЛЕНКИ ХИТОЗАНА КАК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕ-
СКОГО РЕЗОНАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Смирнов А.В., Кузнецова И.Е., Недоспасов И.А. *ИРЭ РАН, Москва*

НЕРАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ

Ползикова¹ Н.И., Алексеев¹ С.Г., Лузанов² В.А., Раевский² А.О.

¹*ИРЭ РАН, Москва;* ²*Фч ИРЭ РАН, Фрязино, Моск. обл.*

МАГНИТОУПРУГИЕ ВОЛНЫ И СПИНОВАЯ НАКАЧКА

В КОМПОЗИТНЫХ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ СТРУКТУРАХ

Алексеев С. Г.¹, Лузанов В. А.², Ползикова Н. И.¹ ¹*ИРЭ РАН, Москва;* ²*ФИРЭ РАН, Фрязино, Моск. обл.*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК С НАКЛОННОЙ ОРИЕН-
ТАЦИЕЙ ОСИ ТЕКСТУРЫ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ РЕЗОНАТОРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Секция РДВ – Распространение и дифракция волн

Мионов Михаил Арсеньевич, руководитель

16.10.2019 - с 11.20 до 13.00

Косарев О.И., Остапишин Н.М., Пузакина А.К. *ИМАШ РАН, Москва*

ДИФРАКЦИЯ ЗВУКА НА КОНЕЧНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ В ДАЛЬНОМ ПОЛЕ

Бырдин В.М., Пузакина А.К. *ИМАШ РАН, Москва*

РАЗВОРОТЫ, БИ- И МУЛЬТИ-ИНВЕРСИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ И ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ НА
БАЗЕ ОБРАТНОВОЛНОВЫХ СИСТЕМ

Лапин А.Д. *АО «АКИН», Москва*

МОНОПОЛЬ В ТВЕРДОМ СЛОЕ

Хачай О.А.¹, Хачай А.Ю.², Хачай О.Ю.² ¹*Институт геофизики УрО РАН,* ²*УрФУ, Екатеринбург*

АЛГОРИТМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В СЛОИСТО БЛОКОВОЙ СРЕДЕ
С СОСТАВНЫМИ ИЕРАРХИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ РАЗЛИЧНОГО РАНГА И РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИ-
КО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Грязнова И.Ю., Иващенко Е.Н., Лабутина М.С. *ННГУ, Нижний Новгород*

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАСШТАБОВ ДИСКРЕТНЫХ ДОННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Бычков А.Е.¹, Грязнова И.Ю.¹, Дерябин М.С.^{2,1}, Курин В.В.¹ Хилько А.И.^{2,1}

¹ННГУ, Нижний Новгород, ²ИПФ РАН, Нижний Новгород

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ МИРОВОГО ОКЕАНА

Секция ФА – Физическая акустика

Сапожников Олег Анатольевич, руководитель

17.10.2019 - с 09.00 до 18.30

Жвания И.А., Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А. *АО «АКИН», Москва*

АКУСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ, ВОЗБУЖДАЕМОЕ ФОКУСИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ

Николаева А.В., Карзова М.М., Цысарь С.А., Хохлова В.А., Сапожников О.А. *МГУ, Москва*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ ФОКУСИРОВАННОГО ПУЧКА, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА УПРУГУЮ СФЕРУ В ЖИДКОСТИ

Николаев Д.А., Цысарь С.А., Хохлова В.А., Сапожников О.А. *МГУ, физфак, Москва*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГОЛОГРАФИИ

Сапожников О.А. *МГУ имени М.В. Ломоносова, Физфак, Москва*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ПРИЁМНОЙ РЕШЁТКИ С ДЛИННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДВУМЕРНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА

Буланов В.А. *ТОИ им. В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток*

РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

Мелентьев В.В., Постников Е.Б. *КГУ, Курск*

ВЛИЯНИЕ ИЗОМЕРИЗАЦИИ НА АКУСТИЧЕСКИЕ И ФЛУКТУАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ХЛОПРОПАНА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Миронов М.А., Пятаков П.А., Шуляпов С.А. *АО «АКИН», Москва*

ВЛИЯНИЕ РЕВЕРБЕРАЦИИ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Журавлева Е.С., Кедринский В.К. *ИГ им. М.А. Лаврентьевна СО РАН, Новосибирск*

ФОКУСИРОВКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ РАЗРЕЖЕНИЯ В СЛОЕ ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Ряполов П.А., Полунин В.М., Соколов Е.А. *Юго-Западный государственный университет, Курск*

ГИДРОДИНАМИКА И АКУСТИКА ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

В ПОЛЕ КОЛЬЦЕВОГО МАГНИТА

Субботкин А.О. *ИОФ РАН, Москва*

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НА ПОРШНЕВОЙ МОДЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ С ИМПЕДАНСНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ И В АКУСТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ АНТЕННЕ

Субботкин А.О., Пудовкин А.А., Кузнецов Г.Н. *ИОФ РАН, Москва*

МИКРОФОННЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА "ДИПОЛЬ" И "ТРИПОЛЬ" С НЕИДЕНТИЧНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ

Коробов А.И., Кокшайский А.И., Ширгина Н.В. *МГУ, физфак, кафедра акустики, Москва*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ YBA2CU3O7-X МЕТОДАМИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Коробов А.И., Кокшайский А.И., Ширгина Н.В. *МГУ, физфак, кафедра акустики, Москва*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТИТАНА МЕТОДАМИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Теплых А.А., Зайцев Б.Д., Бородина И.А., Семенов А.П. *Сф ИРЭ РАН, Саратов*

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ МОДЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В СТРУКТУРЕ ИЗ ДВУХ ПЬЕЗОПЛАСТИН КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

Пирозерский А.Л.¹, Чарная Е.В.¹, Недбай А.И.¹, Кумзеров Ю.А.², Фокин А.В.²

¹СПбГУ, Санкт-Петербург; ²ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГАЛИЙ-ИНДИЕВЫХ СПЛАВОВ В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ СТЕКОЛ С РАЗМЕРОМ ПОР 7 НМ

Симаков И.Г., Гулгенов Ч.Ж., Базарова С.Б. *ИФМ СО РАН, Улан-Удэ*

АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОБАРЫ АДСОРБЦИИ ПАРОВ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НИОБАТА ЛИТИЯ

Турчин П.П., Бурков С.И., Турчин В.И., Юркевич С.В., Суходаев П.О., Райкова И.С.

Сибирский федеральный университет, Красноярск

АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ YAL₃(VO₃)₄

Плетнев¹ О.Н., Бурков¹ С.И., Турчин¹ П.П., Золотова² О.П.

¹СФУ, Красноярск; ²СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск

ДИСПЕРСИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛН ЛЭМБА В ПЛАСТИНАХ КРИСТАЛЛА LiNbO₃ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОДНООСНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Николаевцев В.А., Сучков С.Г., Селифонов А.В., Сучков Д.С. СГУ, Саратов
ВОЛНА И АНИСИМКИНА КАК ДЛИННОВОЛНОВАЯ ВЕТВЬ НИЗШЕЙ МОДЫ ЛЭМБА

Кузнецов Г.Н.¹, Степанов А.Н.^{1,2} ¹ИОФ РАН, Москва; ²Самарский университет, Самара.
ОСЛАБЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ СИГНАЛОВ ОТ МУЛЬТИПОЛЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ

Кузнецов Г.Н.¹, Степанов А.Н.^{1,2} ¹ИОФ РАН, Москва; ²Самарский университет, Самара
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗОНАХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МАКСИМУМОВ В МЕЛКОМ МОРЕ

Кузнецов Г.Н.¹, Степанов А.Н.^{1,2} ¹ИОФ РАН, Москва; ²Самарский университет, Самара
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ФАЗОВЫХ СКОРОСТЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ

Ахмеджанов Ф.Р.^{1,2}, Болтабаев А.Ф.², Назаров Ж.Т.³ ¹Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, ²Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан
³Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан

УПРУГИЕ СВОЙСТВА И ПАРАМЕТР ГРЮНАЙЗЕНА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ АМГ-2 И САВ-1

Ахмеджанов Ф.Р.¹, Мирзаев С.З.¹, Мустафаев Т.Ш.¹, Назаров Ж.Т.²
¹Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан
²Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан

ЗАТУХАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН И ПАРАМЕТР УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

¹Жарко Н.А., ¹Минчук В.С., ²Николаев А.Л., ³Сербин В.В., ¹Дежкунов Н.В.
¹БГУИР, Минск, Беларусь; ²МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, ООО «КЕРАМИД», Москва

КАВИТАЦИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Секция ОА – Оптоакустика и акустооптика

Волошинов Виталий Борисович, руководитель

17.10.2019 - с 14.00 до 16.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

Поликарпова Н.В., Волошинов В.Б. МГУ, физический факультет, Москва
МНОГОКРАТНОЕ ОТРАЖЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Хоркин В.С., Волошинов В.Б. МГУ, физический факультет, Москва
АКУСТООПТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В КУБИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ KRS-5 С РЕГУЛИРУЕМОЙ ОПТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Сарнацкий В.М., Судьенков Ю.В., Шилин В.Д. СПбГУ, Санкт-Петербург
ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МАТЕРИАЛАХ С МАГНИТОСТРИКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Балакшиев В.И., Купрейчик М.И., Манцевич С.Н. МГУ, физический факультет, Москва
СЕКЦИОНИРОВАННЫЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Пороховниченко Д.Л.¹, Рю Чж.², Зинкин Д.Г.¹, Волошинов В.Б.¹
¹МГУ, Москва; ²GREEN OPTICS COMPANY, Республика Корея

АКУСТИЧЕСКИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ БРОМИДА РТУТИ

Соколовская Ю.Г.¹, Подымова Н.Б.¹, Карабутов А.А.^{2,3}
¹МГУ, ²МГУ, Международный учебно-научный лазерный центр, Москва; ³НИТУ «МИСиС», Москва

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ КРАМЕРСА-КРОНИГА ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ И ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Секция АА – Атмосферная акустика

Куличков Сергей Николаевич - руководитель

17.10.2019 - с 16.20 до 18.30

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

Красненко Н.П. ИМКЭС СО РАН, Томск; ТУСУР, Томск
АТМОСФЕРНАЯ АКУСТИКА – ИТОГИ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

Иванов В.Н., Русаков Ю.С. ФГБУ "НПО "Тайфун", Обнинск, Моск. область
РАЗРАБОТКА И ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РФ АВТОНОМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

Русаков Ю.С. ФГБУ "НПО "Тайфун", Обнинск, Моск. область
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНО-КОГЕРЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

Куличков С.Н., Попов О.Е., Чунчuzов И.П. ИФА РАН, Москва
О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРОИДА

Куличков С. Н., Попов О. Е., Чунчужов И.П. ИФА РАН, Москва

НАБЛЮДЕНИЕ МИКРОБАРОМ НА СТАНЦИЯХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА

Чунчужов¹ И.П., Перепелкин¹ В.Г., Куличков¹ С.Н., Попов¹ О.Е., Варданян² А., Айвазян² Г.

¹ИФА РАН, Москва, ²Инновационный технический центр Барва, Талин, Армения

РАССЕЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА НА АНИЗОТРОПНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ УСТОЙЧИВО-СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Локощенко М.А.^{1,2}, Богданович А.Ю.¹, Еланский Н.Ф.²

¹Географический факультет МГУ, Москва, ²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, я, Москва

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Секция БИО – Биоакустика и медицинские приложения акустических методов

Бибиков Николай Григорьевич, руководитель

17.10.2019 - с 14.00 до 18.30; 18.10.2019 - с 09.00 до 13.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

Хохлова В.А. МГУ, Москва

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В НЕИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКА ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Росницкий П.Б.¹, Сапожников О.А.¹, Юлдашев П.В.¹, Гаврилов Л.Р.², Хохлова В.А.¹

¹МГУ, Москва; ²АО «АКИН», Москва

РАЗРАБОТКА МАКСИМАЛЬНО ПЛОТНОЙ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ РЕЖИМОВ ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Юлдашев П.В., Карзова М.М., Мездрохин И.С., Росницкий П.Б., Сапожников О.А., Хохлова В.А.

МГУ, физический факультет, Москва

НИГУ ВЕАМ: ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС С ГРАФИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СФОКУСИРОВАННЫХ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКОВ В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДЕ

Цысарь С.А., Николаев Д.А., Сапожников О.А. МГУ, физический факультет, Москва

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ДВУМЕРНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕШЕТКИ МЕТОДОМ НЕСТАЦИОНАРНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ

Крохмаль А.А.^{1,2}, Сапожников О.А.¹, Кудан Е.В.², Цысарь С.А.¹, Незурина Е.К.,

Хесуани Ю.Д.², Парфенов В.А.²

¹МГУ, физический факультет, Москва; ²Лаб.биотехнологических исследований «3D bioprinting solutions», Москва

СБОРКА КОЛЬЦЕОБРАЗНОГО КОНСТРУКТА ИЗ ТКАНЕВЫХ СФЕРОИДОВ В МАГНИТНОАКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Николаев А.Л., Мазина С.Е., Гопин А.В., Саранцев А.В., Кирюхин О.В., Петров В.Г.

МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ МЕТОДОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Демин И.Ю.¹, Лисин А.А.¹, Спивак А.Е.¹, Иванова А.В.¹, Рыхтик П.И.², Сафонов Д.В.³ ¹ННГУ,

²Приволжский окружной медицинский центр ФМБА России, Нижний Новгород; ³ПИМУ, Нижний Новгород

ФИЗИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛАСТОГРАФИИ СДВИГОВОЙ ВОЛНОЙ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Ерофеев А.В.,¹ Аносов А.А.,² Мансфельд А.Д.,³ Шаракшанэ А.А.,³ Щербаков М.И.¹ ¹Первый МГМУ им. И.М.

Сеченова Минздрава России, Москва; ²ИПФ РАН, Нижний Новгород; ³ИРЭ РАН, Москва

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ПАССИВНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

Клочков Б.Н. ИПФ РАН, Нижний Новгород

АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОСОСУДОВ

Богдан О.П., Муравьева О.В., Волков В.В., Подсизерцева М.А. ИжГТУ имени М.Т.Калашикова, Ижевск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА ВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЫ

Лесик М.В.¹, Грамович В.В.², Выборов О.Н.², Андреев В.Г.¹

¹МГУ, Москва; ²ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России, Москва

АНАЛИЗ ФОНОКАРДИОГРАММ С ЦЕЛЬЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ПУЛЬМОНАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ВТОРОГО СЕРДЕЧНОГО ТОНА

Бибиков Н.Г. АО «АКИН», Москва

РОЛЬ ПОСТСПАЙКОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОЗБУДИМОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ РЕАКЦИИ НЕЙРОНОВ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ

Римская-Корсакова Л.К. АО «АКИН», Москва

РАСПОЗНАВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИМПУЛЬСОВ И ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В АНСАМБЛЕ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Андреева¹ И.Г., Клишова² Е.А., Гвоздева¹ А.П., Голованова² Л.Е. ¹ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург; ²ФГБУЗ «Городской геронтологический медико-социальный центр», Санкт-Петербург

МЕТОД ОЦЕНКИ ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СЛУХА ПРИ СЕНСОНЕВРАЛЬНОЙ ТУГОУХОСТИ 2-3 СТЕПЕНИ

Гойхбург М.В.¹, Бахшиян В.В.^{1,2}, А. Важыбок³, Б. Вилигес³, Т. Юргенс⁴, Таварткиладзе Г.А.^{1,2}

¹ ФГБУ «РНКЦ АиС» ФМБА России, Москва; ² ФГБОУ ДПО «РМАНПО» МЗ России, Москва, ³ Отделение медицинской физики и передовых технологий в аудиологии университета Карла фон Оссеицки, Ольденбург, Германия;

⁴ Институт Акустики, Университет прикладных наук, Любек, Германия

КОРРЕЛЯЦИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ И ЧАСТОТНОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛУХА У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ КОХЛЕАРНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Егорова М.А. ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург

ГРУППИРОВАНИЕ И РАЗДЕЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СОБЫТИЙ В РЕАКЦИЯХ НЕЙРОНОВ СЛУХОВОЙ КОРЫ МЫШИ НА МОДЕЛИ КОНСПЕЦИФИЧЕСКИХ ВОКАЛИЗАЦИЙ

Акимов А.Г., Егорова М.А. ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОНОВ СЛУХОВОГО ЦЕНТРА СРЕДНЕГО МОЗГА МЫШИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАТТЕРНАМИ ОТВЕТА ПРИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Хорунжий Г.Д., Егорова М.А. ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЛАТЕНТНЫХ ПЕРИОДОВ ОТВЕТОВ В РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЯХ НЕЙРОНОВ ЗАДНИХ ХОЛМОВ СРЕДНЕГО МОЗГА И СЛУХОВОЙ КОРЫ МЫШИ

Лупанова А.С., Егорова М.А. ФГБУН ИЭФБ РАН, Санкт-Петербург

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ВОКАЛИЗАЦИИ В РЕПЕРТУАРЕ САМОК ДОМОВОЙ МЫШИ (MUS MUSCULUS)

Сафронова М.А., Ширяев А.Д., Коренбаум В.И. ТОИ ДВО РАН, Владивосток

АНАЛИЗ ГАРМОНИК СВИСТЯЩИХ ЗВУКОВ В ШУМАХ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА ЧЕЛОВЕКА

Кабанцова О.И., Почекутова И.А., Малаева В.В., Костив А.Е., Коренбаум В.И. ТОИ ДВО РАН, Владивосток

УДЕЛЬНЫЕ ПОЛОСОВЫЕ ЭНЕРГИИ ШУМОВ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА

В ОЦЕНКЕ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ

Иванов М.П.¹, Бибииков Н.Г.², Данилов Н.А.³, Соколов П.А.³, Романов Б.В.⁴, Красницкий Б.Ю.⁴, Стефанов В.Е.¹

¹СПбГУ, Санкт-Петербург; ²АО «АКИН», Москва; ³ФГУП «ГосНИИПП», Санкт-Петербург;

⁴ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского РАН», Крым

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭХОЛОКАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЕЛЬФИНОВ

Секция АММ – Акустические метаматериалы

Бобровницкий Юрий Иванович, руководитель

Мионов Михаил Арсеньевич, руководитель

17.10.2019 - с 09.00 до 13.00

Мионов М.А. АО «АКИН», Москва

ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС ВИБРАЦИОННОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

Ерофеев В.И., Павлов И.С. ИПМ РАН – филиал ИПФ РАН, Нижний Новгород

РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ И РОТАЦИОННЫХ ВОЛН В ТРЕХМЕРНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ИЗ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

Дамдинов Б.Б.^{1,2,3}, Балошин Ю.А.⁴, Демин А.С.²

¹СФУ, Красноярск; ²БГУ, Улан-Удэ; ³ИФМ СО РАН, Улан-Удэ; ⁴Ун-т ИТМО, г. Санкт-Петербург

РАСТВОРЫ ПВДФ: РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Диденкулов И.Н.^{1,2}, Сагачева А.А.^{2,1} ¹ИПФ РАН; ²ННГУ, Нижний Новгород

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В СУСПЕНЗИИ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ЧАСТИЦ

Захаров Д.Д. МИИТ, Москва

НАХОЖДЕНИЕ ПОЛНОГО БЕСКОНЕЧНОГО СПЕКТРА ВОЛНОВЫХ ЧИСЕЛ ИЗОТРОПНО-СЛОИСТЫХ ПЛАСТИН В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

Томилина Т.М. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

АКУСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Асфандияров Ш.А. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

ЧИСЛЕННЫЙ РАССЧЕТ ПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА

Сотов А.В.^{1,2}, Вдовин Р.А.², Томилина Т.М.¹ ¹Самарский университет им.С.П.Королева, Самара

²Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ-ПРОТОТИПОВ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ИХ АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Сафин А.И.¹, Афанасьев К.М.¹, Бахтин Б.Н.², Томилина Т.М.²

Самарский университет им. С.П.Королева, Самара, ²ИМАШ РАН, Москва

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Бобровницкий Ю.И. *Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Москва*

КАК РАССЧИТАТЬ ЭНЕРГИЮ СРЕДЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ СЖИМАЕМОСТЬЮ

Секция АСА – Архитектурная и строительная акустика

Канев Николай Георгиевич, руководитель

18.10.2019 - с 09.00 до 13.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

Лившиц А.Я.¹, Пономарев А.М.², Канев Н.Г.¹ *¹ООО «Акустические материалы», ²ТПО Резерв, Москва*

АКУСТИКА КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА «ЗАРЯДЬЕ» В МОСКВЕ

Кравчун П.Н. *МГУ имени М.В.Ломоносова, физфак, кафедра акустики, Москва*

АКУСТИКА И НОВЫЙ ОРГАН РЕКОНСТРУИРОВАННОГО КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА

МУРМАНСКОЙ ФИЛАРМОНИИ

Канев Н.Г.^{1,2,3} *¹АО «АКИН», ²МГТУ им. Н.Э.Баумана, ³ООО «Акустические материалы», Москва*

АКУСТИКА ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ БОЛЬШОЙ ВМЕСТИМОСТИ

Перетокин А.В.¹, Лившиц А.Я.¹, Орлов А.В.², Ширгина Н.В.¹

¹ООО «Акустические материалы», г. Москва; ²ООО «Проектный институт «Арена», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИКИ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ФУТБОЛЬНЫХ СТАДИОНОВ FIFA

Шевцов С.Е.^{1,2}, Соменков Е.А.³

¹ООО «ТАМ», Москва; ²ГИТИС, Москва; ³Колледж русской культуры им. А.С.Знаменского, Сургут

ОСОБЕННОСТИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ НЕСКОЛЬКИХ СТАРЫХ КАТОЛИЧЕСКИХ ЦЕРКВЕЙ СИБИРИ

ЧАСТЬ I

Алешкин В.М.¹, Щиржецкий Х.А.¹, Субботкин А.О.^{1,2} *НИИ СФ РААСН, ИОФ РАН, Москва*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЧ-РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ИЗБЫТОЧНОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ

В МОЛЕЛЬНЫХ ЗАЛАХ МЕЧЕТЕЙ

Щиржецкий Х.А., Сухов В.Н. *НИИ СФ РААСН, Москва*

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ АКУСТИКИ МАЛЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

СОВРЕМЕННЫМИ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Гнущик А.П., Черезов М.И. *ГК «ТехноСонус», Москва*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПОМЕЩЕНИЯ

Сумбатын М.А., Боев Н.В. *ЮФУ, Ростов-на-Дону*

ОБ ОТРАЖЕНИИ ЗВУКА ОТ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В АКУСТИКЕ ПОМЕЩЕНИЙ

Лаврова¹. М.А., Канев^{1,2} Н.Г. *¹МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва; ²АО «АКИН», г. Москва*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕИВАТЕЛЕЙ ЗВУКА РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Субботкин А.О.¹, Щиржецкий Х.А.², Алешкин В.М.² *¹ИОФ РАН, ²НИИ СФ РААСН, Москва*

РАСЧЕТ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗА СЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ФОНДА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

Колмаков А.В. *УрГАХУ, Екатеринбург*

АРХИТЕКТУРНЫЕ КОНЦЕПТЫ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Секция УТ – Ультразвуковые технологии

Сапожников Олег Анатольевич, руководитель

18.10.2019 - с 09.00 до 13.00

Петросян С.А.¹, Цысарь С.А.¹, Свет В.Д.², Сапожников О.А.¹ *¹МГУ, ²АО «АКИН», Москва*

АКУСТИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В ЖИДКОСТЯХ С ПОМОЩЬЮ МАТРИЦЫ ИЗ СТЕРЖНЕВЫХ ВОЛНОВОДОВ

Брысев А.П., Клопотов Р.В., Макалкин Д.И. *ИОФ РАН, Москва; Междунар. Ассоциированная Лаборатория критических и сверхкритических явлений в функциональной электронике, акустике и флюидике (LICS)*

НАБЛЮДЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО СФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА МЕГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ГИПСОВЫЙ ФАНТОМ ПОЧЕЧНОГО КАМНЯ

Новик А.А.¹, Вьюгинова А.А.² *¹ООО «ИНЛАБ - Ультразвук», ²СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛНОВОДОВ-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ГАЗОВЫХ СРЕД С РАЗЛИЧНЫМИ РАБОЧИМИ ЧАСТОТАМИ

Неверов А.Н. МАДИ, Москва

РЕЗЬБОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ДВУХСТЕРЖНЕВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Ильяхинский А.В., Родюшкин В.М. ИПМ РАН, Нижний Новгород

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА В ЗАДАЧЕ ИНДИКАЦИИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА

Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А., Фатеев В.О. АО «АКИН», Москва

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ФОНТАНА В ЖИДКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ

Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А., Фатеев В.О. АО «АКИН», Москва

ЭФФЕКТ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРА «ЮНИСИЛ» В ПОЛЕ ИНТЕНСИВНОГО УЛЬТРАЗВУКА

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Стендовая сессия – АО, БИО, ГЕО, ФА, НА, ШВ

15.10.2019 - с 16.20 до 18.00

Аксенов С.П. ИОФ РАН, Москва

РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ВОЛНОВОДА ДЛЯ МЕЛКОГО И ГЛУБОКОГО МОРЯ В МОДОВОМ ВКБ-ПРИБЛИЖЕНИИ

Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф., Разрезова К.В. СПбГМТУ, Санкт-Петербург

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИЗЛУЧЕНИИ ЗВУКА ТЕРМОФОНОМ

Вьюненко Ю.Н.², Муравьев С.И.³, Литвинов М.Ю.³, Смирнов В.В.⁴, Сятковский А.И.⁵, Хлопков Е.А.^{1,2},

¹ СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург; ² ООО «ОПТИМИКСТ ЛТД», Санкт-Петербург; ³ ООО «СУРЭЛ»,

Санкт-Петербург; ⁴ СЗНЦ гигиены и общественного здоровья, ⁵ ОАО «Пластполимер», Санкт-Петербург

УПРАВЛЕНИЕ ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ КОМБИНИРОВАННЫХ ВИБРОЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АНТИВИБРАЦИОННЫХ РУКАВИЦ

Гаврилов А.М. ЮФУ, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, Таганрог

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ САМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ ПОЛЯ ВОЛНЫ РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ НЕЛИНЕЙНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Галкин О.П., Абакумова Н.К. АО «АКИН», Москва

ВОЗМОЖНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЛНЫ ЦУНАМИ

Гордеев А.Б. НГСА, Нижний Новгород

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ФАЗОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

Горовой С.В. ДФУ, Владивосток

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВ МЕЛКОГО МОРЯ НА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ

Гусев В.А., Жарков Д.А. МГУ, Москва

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ НА ПОЛЯ РАДИАЦИОННЫХ СИЛ

Гусев В.А., Комаровский К.О. МГУ, Москва

НЕЛИНЕЙНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В УЗКИХ ТРУБКАХ

Дегтярев В.П. Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ, Таганрог

ГЕНЕРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ЖИДКОСТИ МАЛОРАЗМЕРНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ТЕПЛОВЫМ ИСТОЧНИКОМ

Дмитриев К.В.¹, Липавский А.С.^{1,2}, Панков И.А.¹, С.Н. Сергеев^{1,2} ¹МГУ, Москва; ² ИО РАН, Москва

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДОВОЙ СТРУКТУРЫ И СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ МЕЛКОГО ВОДОЁМА

Кириченко И.А.³, Вишневецкий В.Ю.³, Старченко И.Б., Марколия А.И.¹, Сизов И.И.², Строчант П.П.²

¹АН Абхазии, Сухум; ²Ин-т экологии АН Абхазии, Сухум; ³ЮФУ, Таганрог

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СХЕМЕ ПРОФИЛИРОВАНИЯ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДНА

Колесник Д.А., ИНЭП ЮФУ, Таганрог

СИСТЕМА ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Крутянский Л.М.^{1,3}, Преображенский В.Л.^{1,3}, Макалкин Д.И.¹, Брысев А.П.^{1,3}, Pernod P.^{2,3} ¹ИОФ РАН, Москва; ²Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, ISEN, Univ. Valenciennes, Lille, France; ³Междуна. Ассоциированная Лаборатория критических и сверхкритических явлений в функциональной электронике, акустике и флюидике (LICS)

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРИАД КАПИЛЯРНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НА НЕЕ РАДИАЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Лабутина М.С., Малеханов А.И., Смирнов А.В. ИПФ РАН, Нижний Новгород

О ВЛИЯНИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ В ОКЕАНИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИЕМА МНОГОМОДОВОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ МОДОВЫХ ПОМЕХ

Лекомцев В.М., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Максимов Г.А., Смагин Д.А., Смирнов В.А. АО «АКИН», Москва

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС АКУСТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

БУКСИРУЕМЫХ СЕЙСМОКОС

Либенсон Е.Б., Стреленко Т.Б. АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург

ОШИБКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПРИХОДА ЭХОСИГНАЛА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ
ДЛЯ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА В МЕЛКОМ МОРЕ

Максимов Г.А., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Денисов Д.М., Волков А.Ю., Коновалов В.Н., Корольков З.А., Григорьев А.Г. АО «АКИН», Москва

ЦИФРОВАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ БУКСИРУЕМАЯ СЕЙСМОКОСА ДЛЯ МОРСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМО-
РАЗВЕДКИ

Марапулец Ю.В., Щербина А.О. ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край

ЛОКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ТОЧЕЧНОЙ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМОЙ
НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИЕМНИКА

Миргородский В.И., Герасимов В.В., Пешин С.В., Сударев И.А., Чиберев Р.А. ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
СПОНТАННЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ АКУСТОМИОГРАФИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ - НОВЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ
СИГНАЛЫ, НЕСУЩИЕ ИНФОРМАЦИЮ О ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЧЕЛОВЕКА

Муханов П.Ю.¹, Сергеев С.Н.^{1,2}, Шуруп А.С.^{1,2} ¹ МГУ, Москва; ² ИО им. П.П. Ширшова РАН, Москва
СОВМЕСТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ И ПАРАМЕТРОВ ДНА ПО
КОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ БОЛЬШИХ РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ ГИДРОФОНАМИ

Павловский А.С.¹, Июдина С.А.², Семенова Н.Г.²

¹ООО "Национальная химическая компания", Санкт-Петербург; ²СПбГУ, Санкт-Петербург

ЗАТУХАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДВУМЕРНЫХ ВЯЗКИХ ВОЛН

Сабиров И.Р.¹, Сергеев С.Н.^{1,2}, Шуруп А.С.^{1,2} ¹ МГУ, Москва; ² ИО им. П.П. Ширшова РАН, Москва

ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МЕЛКОГО МОРЕЯ ПО КОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВЫХ СИГНА-
ЛОВ ПРИ БЛИЗКОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ГИДРОФОНОВ

Солодчук А.А., Луковенкова О.О. ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕО-
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Шатравин А.В., Кочетов О.Ю. ИО РАН, Москва

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ В МЕЛКОМ МОРЕ

Щугорев В.Н., Хроматов В.Е., Радин В.П., Щугорев А.В. МЭИ, Москва

ПРИМЕНЕНИЕ ЗВУКОРЕГИСТРИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КО-
ЛЕБАНИЙ КОМПОЗИТНОЙ БАЛКИ

АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 1 14.10.2019 – с 10.30 до 12.30

О РАЗРАБОТКАХ АКУСТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В ОБЛАСТИ МОРСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Гладилин А.В., Максимов Г.А.

АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева»

117036, Москва, ул. Шверника, д.4;

Тел.: +7 499 1267401; E-mail: gladilin@akin.ru, gamaximov@mail.ru

Освоение месторождений углеводородов на арктическом шельфе России является одним из основных перспективных источников восполнения их запасов. При разведке, обустройстве и эксплуатации шельфовых месторождений широко применяются сейсмоакустические исследования, в настоящее время не имеющие альтернативы по точности получаемых результатов и производительности работ. Последние десятилетия развития в этом направлении привели к созданию (зарубежных) высокоэффективных систем, основанных на использовании как буксируемых сейсмокоос, так и донных сейсмокоос и сейсмостанций.

В последние годы в АО «АКИН» выполнен целый ряд опытно-конструкторских работ по разработке морского геофизического оборудования для сейсморазведочных работ на шельфе. Разработка отечественного морского геофизического оборудования выполнялась в рамках Государственной программы «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 годы». В подготовке технических требований к разработанному морскому геофизическому оборудованию принимали участие специалисты АО «Росгеология», ПАО «Совкомфлот», ОАО «МАГЭ» совместно с представителями других российских сервисных компаний и компаний недропользователей.

В результате выполнения указанных работ в АО «АКИН», в частности, изготовлены и испытаны в арктических условиях опытные образцы:

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

В докладе приводятся функциональные и технические характеристики указанного выше, а также другого оборудования в области морского геофизического приборостроения, разработанного в АО «АКИН».

Ключевые слова: освоение шельфа, оборудование, сейсмоакустические исследования

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО АКУСТИКЕ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (К 75-летию КАФЕДРЫ АКУСТИКИ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА)

Гусев В.А., Ермолаева Е.О., Кравчун П.Н., Сапожников О.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики, Москва.

Тел./Факс: (495 9392918); E-mail: vgusev@bk.ru

К началу учебного 1943/1944 года после возвращения Московского университета из эвакуации приказом Всесоюзного Комитета по делам Высшей школы при СНК СССР был утверждён перечень кафедр МГУ (общим числом 131), включавший и нашу кафедру. Одной из главных заслуг профессора С.Н. Ржевкина, заведующего кафедрой с осени 1943 г. и до весны 1975 г., было создание первой в университетах страны кафедры акустики, на которой с момента основания и до нашего времени проводятся исследования мирового уровня. В период 1975-1987 гг. заведующим кафедрой был В.А. Красильников - заслуженный профессор Московского университета, основатель научной школы по нелинейной и физической акустике и волнам в турбулентных средах. Более 30 лет кафедрой акустики руководит академик РАН О.В. Руденко. На кафедре продолжаются исследования в классических для нее направлениях, а также сформированы новые направления акустики мощного ультразвука и медицинской акустики, физики нелинейных волн. В разные годы были удостоены Государственных премий СССР: В.А. Буров,

Л.К. Зарембо, В.А. Красильников, О.В. Руденко; Государственной премии РФ - О.В. Руденко; Ломоносовской премии - Л.К. Зарембо и В.А. Красильников, О.В. Руденко и О.А. Сапожников; премии РАН им. Л.И. Мандельштама - В.А. Красильников. Сотрудниками кафедры были защищены 12 докторских диссертаций. В настоящее время на кафедре решаются задачи гидро- и аэроакустики, акустики органических и концертных залов, медицинского ультразвука, нелинейной диагностики, акустики метаматериалов, создания нелинейных математических моделей и нелинейной динамики, обратных задач рассеяния. Проводятся измерения в реверберационной камере, в гидробассейне, на акустическом полигоне. На кафедре действуют Испытательная лаборатория «Акустического и вибрационного контроля физического факультета МГУ» на базе заглушенной камеры и «Центр коллективного пользования физического факультета МГУ по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю», а также Информационный центр «Акустика». Недавно была образована Лаборатория медицинского и промышленного ультразвука. О разрабатываемых в настоящее время исследованиях и современном состоянии учебной работы на кафедре, а также некоторые исторические материалы, можно прочитать в двух книгах, вышедших к 60- и 70-летнему юбилеям кафедры, а также на сайте кафедры.

Литература

1. Руденко О.В. Кафедра акустики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова – 50 лет. Акустический журнал, т. 40, № 5. С. 877 (1994).
2. Кафедра акустики физического факультета 60 лет. Отв. редактор В.А. Гордиенко. М., 2003, 130 с.
3. Гусев В.А., Ермолаева Е.О., Можаяев В. Г. Об основателе научной школы по нелинейной и физической акустике и волнам в турбулентных средах профессора В.А. Красильникова. Известия ВУЗов: Прикладная нелинейная динамика, т.20, №6. С. 82 (2012).
4. Кафедра акустики сегодня. К 70-летию кафедры акустики физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. Отв. редактор О.А. Сапожников. М., 2013, 100 с.
5. Гусев В.А., Ермолаева Е.О. К 125-летию со дня рождения основателя и заведующего кафедрой акустики физического факультета МГУ профессора С.Н.Ржевкина. Ученые записки физического факультета Московского Университета, №4. С. 164002 (2016).
6. <http://acoustics.phys.msu.ru/>

Ключевые слова: кафедра акустики физического факультета МГУ, история акустики

ВАРИАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УРАВНЕНИЙ РЕЛЯТИВИСТКОЙ И НЕРЕЛЯТИВИСТКОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Максимов Г.А.

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

117036, Москва, ул. Шверника, д.4;

Тел: +7(499)1261392, факс: +7(499)126-84-11; E-mail: bvp@akin.ru

В докладе с использованием известного релятивистского вариационного принципа для точечных частиц сформулирован аналогичный вариационный принцип для центров инерции ансамблей таких частиц и на этой основе осуществлен переход от дискретного к гидродинамическому описанию. Возникающее при таком описании новое понимание вариации позволяет естественным образом на основе лишь одного вариационного принципа получить всю совокупность уравнений гидродинамики.

Уравнение движения для плотности потока импульса получается как прямое следствие вариации функционала действия в виде интеграла по пространству и собственному времени от плотности внутренней энергии. При этом плотность внутренней энергии ансамбля частиц включает в себя вклады от их масс, от энергии неупорядоченного движения и от энергии взаимодействия частиц. В нерелятивистском пределе функционал действия сводится к классической форме с лагранжианом в виде разности плотности кинетической и внутренней энергий.

Учет вариации только собственного времени, сводящегося к вариации релятивистского фактора, приводит к релятивистскому уравнению движения без давления для плотности импульса, отличающимся от классического вида лишь заменой обычной плотности на ее релятивистский аналог. Слагаемое с давлением в уравнении движения возникает при учете вариации плотности, от которой зависит плотность внутренней энергии.

Второе уравнение для баланса плотности энергии получается, как и в случае механики частиц, на основе преобразования субстанциональной производной по времени от лагранжиана с учетом уравнения движения. При этом уравнение баланса плотности энергии, уравнение непрерывности, а также уравнение переноса энтропии оказываются объединены в рамках одного общего уравнения как его отдельные слагаемые.

Таким образом на основе одного вариационного принципа без привлечения дополнительных условий и ограничений удастся вывести всю систему уравнений релятивистской гидродинамики, которая в пределе малых скоростей полностью переходит в классическую систему уравнений гидродинамики идеальной жидкости.

Ключевые слова: вариационный принцип, уравнения релятивистской и нерелятивистской гидродинамики

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 2
15.10.2019 – с 09.00 до 10.00

**НЕФОРМАЛЬНЫЕ И ДОБРОВОЛЬЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ
В АКУСТИКЕ И ОКЕАНОЛОГИИ**

Егерев С.В.¹⁾, Серебряный А.Н.^{2,1)}

¹⁾*Акустический институт имени академика Н.Н.Андреева
Москва, 117036 Шверника 4*

²⁾*Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН
Москва, 117997 Нахимовский просп., 36*

Тел.: (+74991264911); Факс: (+74991268411); E-mail: (segerev@gmail.com)

Быстрое развитие неформальных и добровольческих «распределенных» проектов связано с успехом новых информационно-коммуникационных технологий. Структура проектов основана на множестве «распределенных» добровольцев, поставляющих разнообразные данные в интересах немногочисленного ядра профессиональных ученых или, наоборот, обрабатывающих потоки данных, поступающих от профессионалов. Связующим звеном являются менеджеры, прошедшие специальную подготовку. Такие проекты в последние годы получили название «наука граждан». Океанология и акустика относятся к направлениям, в которых проекты науки граждан приносят ценные результаты. Доклад посвящен обобщению некоторых новых достижений.

Первым проектом науки граждан в современном смысле, был масштабный океанологический проект Уильяма Уивелла 1835 года. В течение двух недель июня того года более тысячи добровольцев по обе стороны Северной Атлантики (девять государств и колоний) фиксировали параметры прилива. У.Уивелл собрал и обработал более миллиона синхронизированных наблюдений. Благодаря этому проекту появилась новая наука о приливах (*tidology*). Сегодня интересы распределенных добровольческих исследований сосредоточены, главным образом, на вопросах охраны рифов, мониторинге экологического состояния морей и океанов, особенно в прибрежных зонах, изучении социального самочувствия морских животных и выявлении зон скопления мусора.

Добровольческие проекты с «акустическим содержанием» часто пересекаются с проектами т.н. «кооперативного зондирования». Выделяются две группы проектов: (а) мониторинг городских шумов и (б) запись образцов пения птиц (с возможной последующей обработкой сигнала на месте). В большинстве проектов обоих направлений в качестве приемника звука используются датчики смартфонов добровольцев в сочетании со специальными приложениями, хотя бывают и исключения. Есть и еще одно направление, предполагающее «добровольческое распределенное» использование автономных сетевых приемников звука для наблюдения природных явлений. Доклад фокусируется на участии в добровольческой программе гронопеленгации Blitzortung.org в части обеспечения акустической регистрации грома и поддержании потоковой передачи данных.

Ключевые слова: наука граждан; кооперативное зондирование; добровольческий мониторинг прибрежных районов океана; распределенный мониторинг шумов окружающей среды

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ

Комкин А.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Тел.: (8-495-263-68-93); E-mail: (akomkin@mail.ru)

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

Ключевые слова: акустика, образование, проблемы, компетентность

Секция НА – Нелинейная акустика

Есипов Игорь Борисович, руководитель

РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

119991 г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1, E-mail: igor.esipov@mail.ru

14.10.2019 - с 13.30 до 18.00

ОТРАЖЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ОТ ПОВЕРХНОСТИ, ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО ЗАДАННОМУ ЗАКОНУ. ПРИЛОЖЕНИЯ К ЗАДАЧЕ АКТИВНОГО ЗВУКОГАШЕНИЯ

Савицкий О.А.

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», г. Москва

Тел. +7(499)1267401; E-mail: osav66@mail.ru

Обсуждается задача об отражении акустической волны от движущейся границы. Рассмотрены различные режимы движения границы. Показано, что в зависимости от закона движения границы, поправки к полю падающей на границу волны могут иметь различный порядок по полю. Предложены подходы к решению задачи активного гашения звуковых полей. В аналитической форме получены некоторые решения задачи, представлены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: движущаяся граница, активное гашение звука

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ ЧАСТИЧНОГО ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ГЕНЕРАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЯЗКОЙ ВОЛНЫ

Павловский А.С.¹⁾, Семенова Н.Г.²⁾

¹⁾ *ООО "Национальная химическая компания", Санкт-Петербург*

²⁾ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

Тел.: (+7 995 9975010); E-mail: tatabukamena@rambler.ru

Впервые для описания процесса генерации и распространения вязких волн применено граничное условие частичного проскальзывания на поверхности осциллирующего в несжимаемой вязкой жидкости источника конечного размера. Граничное условие сформулировано по типу импедансного условия, широко используемого при исследовании иных волновых процессов. Получены аналитические решения задачи о распространении вязких волн в линейном приближении с учетом частичного проскальзывания. Исследованы численные решения нестационарной нелинейной задачи о распространении вязкой волны от источника конечного размера. Вычислены ослабление и скорость распространения нелинейных вязких волн. Геометрическая форма источника влияет на неравномерность распределения скорости жидкости вдоль поверхности, поскольку граничное условие проскальзывания влияет на величину тангенциальной составляющей колебательной скорости поверхности источника вязкой волны. Обнаружены качественные различия немонотонных зависимостей скорости жидкости при распространении вязких волн от плоских и цилиндрических источников конечных размеров. С ростом числа Маха неравномерность распределения величины скорости жидкости на поверхности источника более выражена.

Ключевые слова: граничное условие частичного проскальзывания, нелинейность, вязкая волна, источник конечного размера, число Маха

АНАЛИЗ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ЕЁ КОНЕЧНОЙ ЧАСТИ С УЧЁТОМ СЛАБОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Хватов А.А.

Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет, Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет Информационных Технологий, Механики и Оптики, Санкт-Петербург

Тел.: (812 4952648); E-mail: matematik@student.su

Рассмотрен вопрос применимости теории Флоке на примере слабо нелинейной структуры. Обычно, в литературе рассматриваются только численные решения для задач о массах на пружинах с нелинейной жесткостью. Несмотря на проведенные численные эксперименты, всё ещё отсутствует аналитическое решение. Более того, расширение теории на непрерывную нелинейную структуру всё ещё является предметом дискуссий.

Теория Флоке, применяемая в линейных случаях, не работает в структурах, где не выполняется свойство трансляционной симметрии. Для попытки распространить теорию Флоке на нелинейный случай была рассмотрена задача об акустических волноводах произвольного типа, соединённых пружиной с нелинейной жесткостью. Такого рода структура, очевидно, не имеет свойства трансляционной симметрии. Однако, с некоторыми оговорками, такие задачи можно так же рассматривать в рамках теории Флоке.

На примере данной задачи можно оценить область применимости классической теории Флоке. Для этого, применяется метод гармонического баланса. С другой стороны, можно рассмотреть задачу о собственных частотах конечной части, которая не имеет ограничений на вид акустического волновода и его свойства. Таким образом, можно рассмотреть подобную структуру с двух сторон и оценить предсказания полос запираения, полученные в рамках двух различных задач.

Для наглядности, взята задача предсказания полос запирающих в бесконечной периодической слабо нелинейной структуре, состоящей из балок, соединённых пружиной с нелинейной жёсткостью. Однако, рассмотренные методы такие как метод гармонического баланса и собственные частоты симметричной ячейки периодичности справедливы и для более сложных структур.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ УДАРНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА КРАЮ ЭКРАНА

Гурбатов С.Н.¹⁾, Дерябин М.С.^{1,2)}, Касьянов Д.А.²⁾, Курин В.В.¹⁾, Тюрина А.В.¹⁾

¹⁾ *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород*

²⁾ *Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород*

E-mail: mmm1984@inbox.ru

В работе приведены результаты экспериментального исследования дифракции ударных акустических волн на краю экрана. Лабораторные эксперименты проводились в дегазированной дистиллированной воде при нормальных климатических условиях на установке, обеспечивающей позиционирование приемно-излучающей системы по трем линейным координатам с точностью не хуже 6 мкм. В качестве излучателей использовались поршневые преобразователи с рабочими частотами 1 и 2 МГц, диаметрами апертур от 1 см до 4 см. Амплитуда акустического давления на апертуре излучателей, составляла 1 МПа. Регистрация профиля акустической волны осуществлялась с помощью мембранного гидрофона имеющего практически равномерную характеристику чувствительности в полосе частот вплоть до 40 МГц.

В качестве экранов, закрывающих половину площади волнового фронта падающего акустического пучка, использовались клинья, выполненные из различных упругих материалов: металлов, пластиков и пенопластов различной плотности и упругости, а также дерево. Экраны располагались за последним дифракционным максимумом осевого распределения поля излучателя. В экспериментах подбирались такие значения чисел Рейнольдса, чтобы пилообразный профиль волны успевал полностью сформироваться до попадания пучка в экран, и чтобы интенсивные нелинейные взаимодействия в диафрагируемом интенсивном акустическом пучке продолжались и после преодоления экрана.

В результате экспериментов удалось обнаружить некоторые особенности дифракции интенсивных акустических пучков. В частности, вблизи акустической оси излучателя регистрируются профили акустических волн имеющих спектральную характеристику с законом спада гармоник существенно отличающимся от случая безграничного пространства. В поперечных распределениях амплитуд гармоник с номерами выше 7 наблюдался дополнительный экстремум, связанный как с дифракцией отдельных гармоник, так и с продолжающейся нелинейной генерацией кратных частоте накачки гармоник.

Ключевые слова: дифракция, интенсивные акустические пучки, ударные волны

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Красненко Н.П.^{1,2)}, Раков Д.С.^{1,3)}, Раков А.С.^{1,2)}

¹⁾ *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск;*

²⁾ *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск;*

³⁾ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск.*

Тел.: 8 (3822-492-418); Факс: 8 (3822-491-950); E-mail: krasnenko@imces.ru, rds@tpu.ru

В докладе приводятся результаты исследования характеристик звуковых волн, генерируемых ультразвуковым параметрическим излучателем, на небольших приземных трассах их распространения. Описана методика проведения экспериментальных исследований. Эксперименты проводились на 110-ти элементной ультразвуковой параметрической антенной решетке, работающей на частоте накачки 40 кГц. Особенность конструкции данной решетки заключается в том, что возможно генерирование разностной частоты за счет использования особенностей конструкции антенны (два излучающих контура), либо за счет генерирования амплитудно-модулированного сигнала. Рассматриваются измеренные диаграммы направленности излучения и осевые уровни звукового давления разностной частоты. Проводится сравнение с теоретическими расчетами.

Ключевые слова: параметрический излучатель, частота накачки, разностная частота, трасса распространения, антенная решетка

НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ВОЛН В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ

Коробов А.И., Одина Н.И.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физфак, кафедра акустики, Москва

Тел.: +74959391821; E-mail: niolina@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования нелинейного взаимодействия амплитудно-модулированных волн в металлических резонаторах. В качестве образцов использовались металлы как с дополнительно внесенными (посредством механической деформации) дефектами, так и без них. Экспериментальная установка включала четвертьволновой резонатор, выполненный из исследуемого металла, генератор амплитудно-модулированных волн, усилитель и осциллограф с функцией преобразования Фурье для нахождения спектра при-

нимаемого сигнала. В качестве несущей и огибающей частот амплитудно-модулированного сигнала использовались частоты первой и третьей моды резонатора, предварительно определенные путем снятия амплитудно-частотной характеристики. Проведено исследование зависимости эффективности генерации комбинационных частот (разностной и суммарной) от амплитуды подаваемого сигнала. Проводится обсуждение полученных результатов.

Ключевые слова: структурная упругая нелинейность, поликристаллические металлы, амплитудно-модулированные волны

РАДИАЦИОННЫЕ СИЛЫ И АКУСТИЧЕСКИЕ ТЕЧЕНИЯ В ЖИДКОМ СЛОЕ НА УПРУГОЙ ПОДЛОЖКЕ

Гусев В.А.

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

В работе исследованы особенности формирования и структуры полей радиационных сил в жидком слое, создаваемых поверхностной акустической волной на границе жидкой и упругой сред. Проанализированы различные механизмы возникновения радиационных сил и их воздействие на среду и взвешенные в ней частицы. Показано, что в зависимости от размеров частиц и соотношения плотностей определяющими будут различные механизмы. А именно, на частицы относительно крупных размеров действует радиационная сила (ее можно назвать "линейной"), связанная с рассеянием акустического поля на частице и различием импульсов перед и за частицей. Усреднение приводит к появлению ненулевой силы, причем нелинейные параметры среды в первом приближении здесь несущественны. Крупные частицы сложнее увлекаются акустическими потоками и для них преобладающим является "линейный" механизм. Необходимо отметить, что именно этот "линейный" механизм преимущественно и подразумевают, когда говорят о радиационном давлении. Напротив, для частиц малого размера (наночастиц) этот механизм оказывается неэффективным и им можно пренебречь по сравнению с другим механизмом. Наночастицы будут захватываться акустическими потоками, появление которых обусловлено нелинейностью уравнений гидродинамики. Такой механизм можно назвать "нелинейным", поскольку определяются, в первую очередь, нелинейными параметрами среды. На основе развитой теории радиационных сил рассчитаны акустические потоки в жидком слое на упругой подложке. Обсуждаются особенности структурирования ансамблей взвешенных частиц в таких потоках, а также возможности восстановления параметров сред и наночастиц.

Ключевые слова: радиационные силы, поверхностная акустическая волна, наночастицы, упорядоченные структуры

НЕСИНУСОИДАЛЬНЫЕ ПРОДОЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В СТЕРЖНЕ, ПОГРУЖЕННОМ В НЕЛИНЕЙНО-УПРУГУЮ СРЕДУ

Ерофеев В.И., Леонтьева А.В.

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

Распространение продольных волн в стержне (модель Миндлина-Германа), погруженном в нелинейно-упругую среду, описывается нелинейной системой двух уравнений второго порядка. Система сводится к одному уравнению четвертого порядка относительно продольного смещения частиц стержня. Рассматривая различные случаи соотношения жесткости стержня и жесткости внешней среды, в которую помещен стержень, получаем три предельных случая. Если жесткость внешней среды существенно превосходит жесткость стержня, то эволюционное уравнение представляет собой нелинейное эволюционное уравнение для внутренних волн во вращающемся океане – уравнение Островского. Уравнение не имеет точных решений, но допускает качественное исследование при равенстве нулю старшей производной. Найдено решение для нелинейных периодических стационарных волн. Во втором случае, если жесткость внешней среды существенно уступает жесткости стержня, то эволюционным уравнением является уравнение, которое отличается от уравнения Островского в нелинейной части. Показано, что в этом случае возможно распространение солитонов классического профиля. В последнем случае, если жесткости внешней среды и стержня имеют один порядок, отмечено, что нелинейные стационарные волны не распространяются.

Ключевые слова: продольная волна; стержень Миндлина-Германа; нелинейно-упругая среда; эволюционное уравнение Островского; периодическая волна; солитон

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВ В ПРОТОЧНОМ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ

Диденкулов И.Н.^{1,2)}, Корчагина Т.С.²⁾, Прончатов-Рубцов Н.В.²⁾

¹⁾*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

²⁾*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;*

Тел.: (831 4164782); Факс: (831 4365976); E-mail: diniar@mail.ru

В акустическом поле на пузырьки, помимо силы Архимеда, действует радиационная сила. При балансе радиационной силы и силы Архимеда пузырьки могут зависать (левитировать) в жидкости. При наличии течения жидкости на пузырьки дополнительно действует сила вязкого трения. В проточном акустическом резонаторе за

счет радиационной силы возникает неравномерное распределение концентрации пузырьков, то есть наблюдается эффект чередующихся зон их сгущения и разрежения. В работе рассматривается действие радиационной силы на распределение концентрации пузырьков в акустическом волноводе, в котором присутствует течение жидкости. Учитываются все силы, действующие на пузырек. Рассматривается квазиравномерное движения пузырьков, которое возникает за счет баланса всех сил. Получены аналитические выражения для координат пузырьков и распределения их концентрации в волноводе. Численно исследованы различные режимы движения пузырьков. Рассмотренные эффекты могут найти применение в задачах управления движением пузырьков и малых частиц.

Ключевые слова: проточный волновод, пузырьки, радиационная сила, распределение

О ГЕНЕРАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ПРИ АВТОМОДУЛЯЦИИ НА КОНТАКТЕ ВИБРАТОР-ГРУНТ

Заславский Ю.М., Заславский В.Ю.

¹⁾ *Институт прикладной физики Российской академии наук, Н.Новгород*
Тел.: (831)4164764; Факс: (831)436597 E-mail: zaslav@appl.sci-nnov.ru

Теоретически анализируется эффект контактной нелинейности, который наблюдается в экспериментах по сейсмическому вибро-просвечиванию осадочной толщи. Его следствием является возникновение высших гармоник в спектре ближнего сейсмоакустического поля, регистрируемого в непосредственной близости от вибратора. Для описания эффекта предлагается модель, которая основывается на предположении об автомодуляции площади контакта рабочей мембраны сейсмического виброисточника с грунтом. Построены графики частотной зависимости уровня гармоник сейсмоизлучения для поверхностной волны и пространственно-углового распределения высших гармоник объемной волны сжатия. Расчетные данные представляют интерес для экспресс-оценки параметра акустической нелинейности геосреды.

Ключевые слова: контактная нелинейность, высшие гармоники, продольная, поверхностная волна

АКУСТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ОТВЕРСТИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ АМПЛИТУД

Быков А.И.¹, Комкин А.И.¹, Миронов М.А.^{1,2}

¹ *МГТУ им. Н.Э. Баумана;* ² *АО «АКИН им. академика Н.Н. Андреева»*
Тел.: (8-495-263-68-93); E-mail: (akomkin@mail.ru)

Представлены результаты исследования влияния уровней звукового давления на акустический импеданс отверстий в перегородке на основе проведения измерений в импедансной трубе методом двух микрофонов. Получены зависимости импеданса отверстия от его диаметра на нелинейных режимах. Установлено, что для получения достоверных оценок импеданса отверстия от колебательной скорости в отверстии, последнюю следует определять непосредственными измерениями. Показано, что на режимах развитой нелинейности сопротивление отверстия перестает зависеть от его диаметра, а зависит только от уровня звукового давления на перегородке, причем эта зависимость носит нелинейный характер.

Ключевые слова: перегородка, акустический импеданс, нелинейное сопротивление, колебательная скорость, измерение

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (НА) - 15.10.2019 с 16.20 до 18.00

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ САМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ ПОЛЯ ВОЛНЫ РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ НЕЛИНЕЙНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Гаврилов А.М.

*Южный федеральный университет,
Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, г. Таганрог.*
E-mail: (gavr_am@mail.ru)

В работе предпринята попытка экспериментального наблюдения влияния эффектов самовоздействия в волновом акустическом пучке на процесс формирования поля волны разностной частоты в нелинейном излучателе с бигармонической накачкой. Результаты исследования представляют интерес при использовании нелинейного излучателя для решения измерительных задач, реализуемых как в лабораторных, так и в натуральных условиях. Эффекты самовоздействия обусловлены процессами нагрева среды (тепловое самовоздействие) звуковой волной и возникновения потоков (акустических течений), которые приводят к дефокусировке пучка, распространяющегося в воде.

Предложена и реализована методика выделения вклада эффектов самовоздействия на фоне амплитудно-зависимых процессов генерации волнами накачки гармоник и волн комбинационных частот. В основу методики положена зависимость эффектов самовоздействия от средней акустической мощности волн накачки. В работе использован пьезокерамический плоский излучатель диаметром 20 мм с частотой толщинного резонанса 2 МГц, нагруженный на воду. В качестве параметров, влияющих на интенсивность эффектов самовоздействия, использованы скважность излучаемого импульсного сигнала накачки $Q = T_{СЛ}/\tau$, длительность импульсов τ при постоянной частоте следования и период следования ($T_{СЛ}$) при постоянной длительности излучаемых импульсов. Напряжение накачки на излучателе поддерживалось постоянным.

Показано, что снижение скважности излучаемых радиоимпульсов накачки с 20 до 1 способно изменить поведение осевых распределений амплитуды волны разностной частоты под действием эффектов самовоздействия. Усиление эффектов самовоздействия посредством снижения скважности привело к существенному росту крутизны спадающего участка осевого распределения амплитуды. Такое поведение подтверждает наличие дефокусирующего влияния эффектов самовоздействия, вклад которых требует учета при решении практических задач.

Ключевые слова: нелинейный излучатель, волна разностной частоты, эффекты самовоздействия, акустические течения, волна накачки

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ НА ПОЛЯ РАДИАЦИОННЫХ СИЛ

Гусев В.А., Жарков Д.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физфак, кафедра акустики, Москва
Тел.: 495 9392943; e-mail: denis.zharkov2014@yandex.ru*

Исследуются акустические явления в слоистых средах, содержащих вязкую жидкость, и особенности формирования полей радиационных сил применительно к задачам структурирования ансамблей взвешенных частиц. Рассчитаны акустические поля, формируемые поверхностной волной на границе вязкого жидкого и упругого полупространств. Проведен анализ влияния вязкости и сдвиговых компонент акустического поля на пространственное распределение поля. Показано, что для слабовязких жидкостей изменение дисперсионных характеристик не существенно и наибольшее влияние испытывает затухание волны. Это означает, что для расчета скорости волны при малой вязкости можно использовать упрощенные схемы. При увеличении вязкости сдвиговые компоненты начинают заметно влиять на пространственную структуру поля. Рассмотрены механизмы возникновения радиационной силы, действующей со стороны акустического поля на взвешенные частицы. Показано, что в случае наночастиц основной механизм связан с увлечением их акустическими потоками. Рассчитаны поле и потенциал радиационной силы, формируемой стоячей поверхностной волной в жидкой среде. Наличие сдвиговых компонент приводит к существенному изменению пространственного распределения поля радиационной силы. В частности, при симметричном расположении встречных волн в центре образуется пологая область потенциала, а при удалении от него контраст областей минимальных и максимальных значений возрастает. Это означает, что структурирующее воздействие на наночастицы со стороны радиационных сил возрастает. Можно также ожидать, что при увеличении вязкости будет снижаться мешающее влияние броуновского движения. С другой стороны, при очень большой вязкости любое движение взвешенных частиц будет затруднено. Таким образом, существует диапазон оптимальных значений вязкости жидкости, пригодных для структурирования ансамблей взвешенных частиц.

Ключевые слова: радиационные силы, поверхностная акустическая волна, наночастицы, упорядоченные структуры

НЕЛИНЕЙНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В УЗКИХ ТРУБКАХ

Гусев В.А., Комаровский К.О.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физфак, кафедра акустики, Москва
Тел.: 495 9392943; (+79680641717); E-mail: (kirill_komarovsky_1998@mail.ru)*

Рассмотрены явления, возникающие при распространении волн в узких трубках. Для нелинейных волн, описываемых обобщенным уравнением типа Вебстера, получено нелинейное уравнение. Оно учитывает низкочастотную геометрическую дисперсию, которая приводит к несимметричному искажению профиля периодической волны, качественно похожему на искажение нелинейной волны в дифрагирующем пучке. В модели модифицированного обобщенного уравнения Вебстера исследованы аналитические решения задачи о распространении звуковых волн в канале переменного сечения. Обсуждаются результаты теоретических исследований процессов взаимодействия и самовоздействия сильно искаженных волн, содержащих ударные фронты. Такие пилообразные возмущения формируются при распространении волн в средах, где нелинейность преобладает над конкурирующими факторами — дисперсией, дифракцией и поглощением. Подчеркнута специфика протекания нелинейных процессов в полях пилообразных волн.

Ключевые слова: нелинейность, уравнение Вебстера, ударный фронт, пилообразные волны

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СХЕМЕ ПРОФИЛИРОВАНИЯ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДНА

Вишневецкий В.Ю.³⁾, Кириченко И.А.³⁾, Марколия А.И.¹⁾, Сизов И.И.²⁾, Старченко И.Б., Строчан Т.П.²⁾

¹⁾ *АН Абхазии, Сухум;*

²⁾ *Институт экологии АН Абхазии, Сухум;*

³⁾ *Южный федеральный университет, Таганрог.*

Тел.: (+7 918 5068497); E-mail: ibstarchenko@gmail.com

Развитие методов исследования Мирового океана приводит к повышению уровня требований к техническим средствам, расширению круга решаемых задач по изучению водной среды и повышению точности измерений. Одним из наиболее перспективных инструментов исследования морских ресурсов является параметрическая антенна (ПА) и гидроакустические средства, созданные на ее основе.

При разведке донных отложений стремятся детерминировать границы слоистой структуры. Применение кепстрального анализа акустического сигнала, прошедшего через систему донных слоев, позволяет выделить моменты прихода составляющих отражений. Таким образом, решается задача временного разделения сигналов.

В работе рассмотрены особенности работы параметрического профилографа при вертикальном зондировании системы донных слоев. Исследована теоретическая модель, описывающая влияние N границ раздела, находящихся в области нелинейной взаимодвижения, на поле давления волны разностной частоты. Модель прошла экспериментальную апробацию в условиях гидроакустического бассейна для случая двух границ. Показано, что изменение положения границ раздела оказывает значительное влияние на отраженное поле: при увеличении расстояния происходит обужение поперечного распределения аддитивного отраженного поля, отраженное поле с расстоянием убывает медленнее и изменение пространственного расположения границ не приводит к появлению боковых лепестков в отраженном поле.

Исследовано применение кепстрального анализа эхосигналов от слоистой структуры с целью повышения разрешающей способности профилографа по дистанции. Спектр эхосигнала, отраженного от двух границ раздела, не позволяет непосредственно определить момент прихода эхосигнала. Наблюдаемые искажения спектра эхосигнала обусловлены искажением формы волны, отраженной от обеих границ раздела. Наличие высокочастотной компоненты в спектре эхосигнала, обусловленное присутствием исходных волн накачки, не затрудняет вычисление кепстра низкочастотного импульса. Введение фильтрации высокочастотных волн позволило очистить кепстр низкочастотного эхоимпульса от кепстра исходных волн накачки. Показано, что кепстр низкочастотного эхоимпульса позволяет однозначно определить момент прихода эхосигнала от второй границы раздела при отношении амплитуды сигнала от первой границы к амплитуде сигнала от второй границы меньше 30 дБ, а при перекрытии эхоимпульсов меньше 90 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и АНА в рамках научного проекта № 19-52-40005.

Ключевые слова: параметрическая антенна, донные слои, граница раздела, кепстр, разрешающая способность

ЗАТУХАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДВУМЕРНЫХ ВЯЗКИХ ВОЛН

Павловский А.С.¹⁾, Июдина С.А.²⁾, Семенова Н.Г.²⁾

1) ООО "Национальная химическая компания", Санкт-Петербург

2) Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Тел.: (+7 995 9975010); E-mail: tatabukamena@rambler.ru

Численно исследовано затухание в несжимаемой жидкости вязких волн, генерируемых осциллирующим в своей плоскости плоским источником конечных размеров. В предыдущих исследованиях нами было показано, что такие волны являются нелинейными при малых амплитудах колебательного смещения относительно толщины пограничного слоя и при малых числах Маха. В настоящей работе показано, что в пределах геометрически не расходящегося поля затухание огибающей колебательной скорости вязкой волны в направлении ее распространения от источников разных, но конечных размеров происходит по экспоненциальному закону (с точностью не хуже 5%), как в линейном случае. Однако величина вязких потерь при распространении вязкой волны растет с ростом числа Маха в исследованном диапазоне практически по линейному закону. Предполагается, что причиной этого является возникновение продольной составляющей колебательной скорости (исходно чисто поперечной) волны, а также изменение траектории распространения волны.

Ключевые слова: затухание, нелинейность, вязкая волна, конечного размера источник, число Маха

СИСТЕМА ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Колесник Д.А.

Южный федеральный университет, г. Таганрог;

Тел.: (919)8900123; E-mail: denkolesnik@sfedu.ru

Подводная коммуникация имеет многочисленные области применения для исследователей, морских коммерческих операторов и организаций защиты. Поскольку электромагнитные волны не могут распространяться на длинные расстояния в морской воде, акустические методы обеспечивают самый очевидный выбор канала для подводных коммуникаций. К системам гидроакустической связи предъявляется ряд требований: обеспечение заданной дальности при фиксированной надежности связи и пропускной способности, обеспечение скрытности, секретности, оперативности вхождения в связь. Разрабатываемая система высокоскоростной передачи данных по гидроакустическому каналу предназначена для обеспечения передачи информации о состоянии среды, о местонахождении, о действиях аквалангисту или т.н. «легкому водолазу», для обеспечения взаимодействия группы аквалангистов, работающих на мелководье. Рассчитана дальность действия при различных значениях качества связи. Показана возможность использования параметрических антенн и их преимущества.

Ключевые слова: звукоподводная связь, гидроакустический канал, параметрическая антенна, качество связи, дальность действия

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

14.10.2019 - с 13.30 до 18.00; 15.10.2019 - с 10.20 до 12.00

ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ПРЕДСКАЗАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО УСИЛЕНИЯ ШУМА СТРУИ ВБЛИЗИ КРЫЛА ПРИ НАЛИЧИИ СПУТНОГО ПОТОКА

Бычков О.П.¹⁾, Копьев В.Ф.¹⁾, Фараносов Г.А.^{1,2)}

¹⁾ НИМК ЦАГИ, Москва;

²⁾ ПНИПУ, Пермь;

Тел.: 495 9169091; E-mail: aeroacoustics@tsagi.ru

Повышенная степень двухконтурности двигателей современной гражданской авиации приводит к тому, что шум взаимодействия дозвуковой реактивной струи и закрылка может вносить ощутимый вклад в общие уровни шума самолета на местности. Для оценки данного эффекта для различных компоновок самолета необходимо использование надежных предсказательных моделей. В данной работе рассматривается разработанная ранее модель шума взаимодействия, в основе которой лежит идея о рассеянии линейных гидродинамических пульсаций ближнего поля турбулентной струи на задней кромке несущей поверхности. В качестве исследуемой конфигурации рассматривается маломасштабная модель реального крыла с отклоняемым закрылком вблизи турбулентной струи. В ходе работы продемонстрировано, что даже в условиях наличия ограниченной информации о ближнем поле струи, а также усложненной геометрии конфигурации, модель позволяет с достаточно высокой точностью и надежностью предсказывать основные характеристики шума взаимодействия струи и крыла самолета. Кроме того, впервые продемонстрированы результаты валидации модели в условиях наличия спутного потока.

Ключевые слова: шум струи, взаимодействие струи и крыла, предсказание шума взаимодействия струи и крыла

УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ШУМА СТРУИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЛАЙТХИЛЛА

Крашенинников С.Ю.¹⁾, Миронова А.К.¹⁾

¹⁾ Центральный Институт Авиационного Моторостроения, г. Москва.

Тел.: (495 3620123); Факс: (495 3620123); E-mail: krashenin@ciam.ru

1. Основные положения теории Лайтхилла касаются процесса шумообразования при распространении дозвуковой турбулентной струи в неподвижной среде того же состава, что и вещество струи. Система уравнений Навье-Стокса преобразуется таким образом, что для пульсаций плотности в акустическом поле получается волновое уравнение. В соответствии с его решением, поток энергии в распространяющихся акустических возмущениях:

$$I(\vec{x}) = \frac{1}{16\pi^2 a^5 x^2 \rho} \iint \left[\left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} (T_{ij} - \langle T_{ij} \rangle) \right] \left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} (T'_{ij} - \langle T'_{ij} \rangle) \right] \right] d y d y'; \quad T_{ij} \cong \rho u_i u_j \quad (1)$$

Здесь a -скорость звука во внешней среде (параметрам на срезе сопла соответствует индекс «0»)

Существенно, что при получении этого соотношения принимаются условия:

$$(\rho - \rho_0) / \rho_0 \ll 1, \quad a \approx a_0 \quad (2)$$

Т. е. то, что плотность и скорость звука в области его порождения практически равны их значениям в окружающей среде.

2. Соотношения (1-2) подтверждаются вычислительным моделированием турбулентного течения и смешения турбулентных струй на основе LES технологии, в результате которого получены данные о взаимодействии турбулентного течения в струях с окружающей средой, приводящем к образованию звуковых волн. Согласно данным, полученным на основе фазового анализа пульсаций скорости и давления, возникновение звуковых колебаний происходит на периферии струйного течения в так называемом «ближнем акустическом поле» струи. Это также подтверждают корреляционные измерения вблизи границ струи.

Область, в которой гидродинамические пульсации производят акустические возмущения, соответствует течению, индуцированному струей, с низким уровнем скоростей. Ее характерная ширина в каждом сечении составляет приблизительно четверть длины волны, соответствующей частоте излучения для данного сечения струи. Она увеличивается при уменьшении u_0 . В этой области заведомо выполняются условия (2).

3. Раскрывая соотношение (1), используя размерность входящих в него параметров, можно получить зависимости, характеризующие влияние числа Маха истечения на поток излучаемой звуковой энергии. Каждое дифференцирование по времени в подынтегральном выражении для T_{ij} , имеющего порядок u^2 , умножает этот порядок на частоту u/l . (u – пульсации скорости, l – характерный пространственный масштаб пульсаций.)

$$\text{Т.е. } \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial t^2} \sim u^4 / l^2 \quad (3)$$

Если Λ - характерный размер возмущенной области, то $l \sim \Lambda$.

Используя параметры, входящие в (1), величину $I(x)$ можно представить следующим образом

$$I(x) \sim \frac{\rho^2 \Lambda^6 u^8}{\rho l^4 x^2 a^5} \sim \rho \frac{\Lambda^2 u^8}{x^2 a^5} \sim \rho \frac{\Lambda^2}{x^2} u^3 M_{ak}^5 \quad (4)$$

Т.е. закон u^8 является следствием соотношения (3)

Полная мощность излучения

$$W_{ak} = \int_s Ids \approx I_{cp} x^2 \text{ её величина по (4)} \quad W_{ak} = \rho_0 M_{ak}^5 u^3 \Lambda^2$$

Если принять, что характерная скорость пульсационного движения u пропорциональна u_0 , а $\Lambda^2 \sim F$, площади выходного сечения сопла, то $W_{ak} = \eta W$, где $W = \rho_0 u_0^3 F / 2$

Т.е. $W_{ak} = \eta W$, η – акустомеханический КПД при $\eta \sim M_{ak}^5$

4. Применительно к выводу итогового соотношения теории Лайтхилла, результаты проведенного исследования позволяют сделать заключение, что основные предположения теории, содержащиеся в (2), справедливы и при высоких скоростях распространения струи. Это является следствием того, что в области порождения звуковых волн уровень скоростей достаточно мал.

Известный вывод теории Лайтхилла – закон нарастания мощности звукового излучения струи как u^8 - следует из соотношений (3-4), являющихся следствием соотношения (1).

Ключевые слова: шум струи, турбулентность, акустическая аналогия Лайтхилла

К 30-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО СТЕНДА АК-11

Зверев А.Я.¹⁾

¹⁾ ФГУП «ЦАГИ», Москва

Тел: +749621271794; E-mail: zverev@dubna.ru

Реверберационные и заглушенные камеры являются традиционными установками, которые используются во всем мире для проведения акустических испытаний. Несмотря на то, что существует общая теория и рекомендации для проектирования подобных установок, все они являются уникальными. Однако даже на фоне известных зарубежных стендов установка АК-11, представляющая собой связанный комплекс из двух реверберационных и одной заглушенной камер, выделяется своей многофункциональностью. За 30 лет эксплуатации установки в ее звукомерных камерах проводились самые разнообразные исследования, обзор наиболее интересных из которых представлен в данном докладе.

В проеме между реверберационными камерами определяется звукоизоляция панелей разного размера с различным набором ТЗИ и ВПМ. Динамический диапазон установки позволяет определить ЗИ практически любых интересующих самолетостроительные компании панелей. Также в реверберационных камерах проводится полный цикл виброакустических испытаний панелей, по результатам которых определяются их виброакустические характеристики – локальные и усредненные по поверхности панели значения виброускорений при ее акустическом и механическом возбуждении, полный коэффициент потерь, коэффициент потерь на излучение, модальная плотность, акустическая вибровозбудимость.

Проём между реверберационной и заглушенной камерами используется для определения ЗИ панели при нормальном или наклонном падении звука со стороны заглушенной камеры либо со стороны подглушенной РК – панель в проеме, в зависимости от задачи, может быть установлена с любой стороны.

Испытания на стенде АК-11 проводятся не только с использованием проемов между камерами, но и в отдельных изолированных камерах. В частности, в реверберационной камере проводятся эксперименты по определению характеристик звукопоглощения материалов и конструкций. В реверберационной и в заглушенной камерах была проведена серия экспериментальных работ с отсеком, моделирующим фюзеляж самолета. В РК испытания проводились при возбуждении отсека диффузным звуковым полем. В заглушенной камере – при его возбуждении винтом в кольце, свободным диполем и диполем в кольце. В ЗК проводятся измерения диаграмм направленности и звуковой мощности, излучаемой различными источниками звука. Для определения трехмерной диаграммы направленности источников сконструировано и установлено в заглушенной камере сферическое координатное устройство.

Ключевые слова: Звукоизоляция, звукопоглощение, реверберационная камера, заглушенная камера

ОЦЕНКА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РАКЕТУ-НОСИТЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Попов П.А.¹⁾, Кузнецов А.В.¹⁾, Иголкин А.А.¹⁾

¹⁾ Самарский университет, Самара.

Тел.: (88462288780); Факс: (88469320419) (Попов П. А.); E-mail: banduir@rambler.ru (Попов П. А.)

Одной из важнейших задач при проектировании ракетно-космической техники является выявление источников акустических нагрузок, их оценка, а затем организация возможных конструктивных решений по их снижению. На стадии разработки рабочей документации нормативные требования по акустическим и вибрационным воздей-

ствиям предоставляются подразделениям-разработчикам аппаратуры для формирования разделов технических заданий, технических условий и используются при конструкторских испытаниях аппаратуры. Обязательным требованием при проверке приборов на работоспособность при испытаниях является подтверждение их устойчивого функционирования при воздействии виброакустического нагружения.

Среди всего оборудования особое место занимают гироскопические приборы управления полётом ракеты-носителя (РН), двигательные установки и, конечно же, полезная нагрузка, расположенная под головным обтекателем РН. Данные приборы и агрегаты участвуют в непосредственном управлении полётом, а надёжное функционирование полезной нагрузки на орбите является главным требованием заказчика РН и космических аппаратов (КА).

Важным этапом разработки изделий являются зачётные вибродинамические испытания конструкции. На данном этапе проверяются частотные, прочностные и передаточные характеристики РН. Однако, наиболее точно заданные режимы при данных испытаниях – задача, стоящая ещё на начальных этапах работ и требующая определённой точности, ведь как перегрузка, так и недогрузка могут отрицательно повлиять на результат общей работы. При разработке требований по режимам вибрационного нагружения на элементы конструкции перспективных РН и сборочно-защитных блоков (СЗБ), требуются уже апробированные (по возможности на прежних изделиях) методические средства с привлечением экспериментальных измерений.

В работе представлены результаты расчётно-экспериментального анализа виброакустического нагружения сухих отсеков проектируемой в настоящее время РН «Союз-5» в зависимости от типа конструкции (вафельная, стрингерная, гладкая), массы навесного оборудования (от 5 до 200 кг) и, конечно, внешнего нагружения, которое при проведении проектных работ задавалось как в виде акустического при решении связной упруго-акустической задачи, так и в виде эквивалентного акустическому синусоидального давления.

Ключевые слова: ракета-носитель, сухой отсек, акустическое нагружение, вибрационный отклик, демпфирование

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ АКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КАБИНЕ СВЕРХЗВУКОВОГО САМОЛЁТА

Бакланов В.С.¹, Голубев А.Ю.², Потокин Г.А.²

¹ ПАО «Туполев», Москва; ² НИИМЦ ЦАГИ, Москва;

Тел.: 8495 9169091; E-mail: alexeygolubev@yandex.ru

Проведенные исследования по определению акустических нагрузок в носовой части сверхзвукового самолёта (в условиях наземных гонках двигателей) на различных режимах их работы показали, что суммарный уровень шума в носовой части самолёта включая кабину экипажа, при максимальных режимах работы двигателей существенно ниже требований ГОСТ РВ 20.39.304-98.

Спектральный анализ полученных данных по измерению шума в носовой части самолёта позволил выделить основные составляющие акустических нагрузок, которые определяются как воздействием акустического поля вентилятора и струи, так и структурным шумом, передаваемым по конструкции, от вибрационного воздействия двигателей и струи.

Ключевые слова: акустические нагрузки, наземные гонки двигателей, вибрационное воздействие

НЕЛИНЕЙНОЕ ОТРАЖЕНИЕ N -ВОЛНЫ ОТ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ВОЗДУХЕ

Карзова М.М.¹, Юлдашев П.В.¹, Леша Т.², Драгна Д.², Оливье С.², Хохлова В.А.¹, Блан-Бенон Ф.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, Москва

²Высшая центральная школа г. Лиона (Франция)

Тел. (495 9392952); E-mail: masha@acs366.phys.msu.ru

Развитие концепции создания малых гражданских сверхзвуковых самолётов бизнес-класса привело к возобновлению интереса к проблеме распространения волны звукового удара в неоднородной атмосфере и ее отражения от поверхности земли. При нерегулярном отражении акустических волн с ударными фронтами вблизи жесткой поверхности формируется “ножка” Маха. Процесс ее формирования зависит от структуры, импеданса и геометрии поверхности.

В данной работе в лабораторном эксперименте исследовалось влияние размера зерна шероховатости поверхности на пространственно-временную структуру N -волны при ее отражении от данной поверхности в воздухе. N -волна длиной 1.4 см и амплитудой до 1.5 кПа создавалась искровым разрядным источником. Для восстановления профилей давления N -волны в точках, расположенных на различной высоте от отражающих поверхностей, использовался метод интерферометрии по схеме Маха-Цендера. Метод основан на измерении возмущения оптического показателя преломления среды при распространении сферически расходящейся N -волны, а затем восстановлении по нему профиля давления волны с помощью обратного преобразования Абеля. В качестве отражающих шероховатых поверхностей использовались пять различных листов наждачной бумаги, скрепленных с плоской поверхностью, изготовленной из пластика. Размер зерна шероховатости варьировался от 50 до 500 мкм.

Было показано, что с увеличением размера зерна шероховатости происходило уменьшение высоты “ножки” Маха. Если размер зерна в несколько раз превышал ширину ударного фронта N -волны, то формирования “ножки” Маха не наблюдалось, а отражение происходило регулярным образом. Вблизи шероховатой поверхности (до 2 мм) уровни давления были выше, чем в случае гладкой поверхности, а на профилях давления наблюдались периодические искажения с периодом, зависящим от размера зерна шероховатости.

Результаты эксперимента были количественно подтверждены в численном моделировании уравнений Эйлера, где искровой источник имитировался гауссовским распределением энергии, а геометрия шероховатых поверхностей задавалась случайным образом с использованием гауссовской корреляционной функции с параметрами, полученными в микроскопических измерениях структуры поверхности. Результаты численного моделирования с точностью 10% описали экспериментально измеренные профили давления. Дополнительно в моделировании была показана периодическая структура фронтов, формирующихся за основной волной в результате ее дифракции на шероховатостях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-72-10277.

Ключевые слова: *N*-волна, «ножка» Маха, шероховатость, нерегулярное отражение, интерферометр Маха-Цендера

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНЫ ЗВУКОВОГО УДАРА В НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ

Юлдашев П.В.¹⁾, Карзова М.М.¹⁾, Хохлова В.А.¹⁾

¹⁾Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, Москва

Тел. (495 9392952); E-mail: petr@acs366.phys.msu.ru

Полет сверхзвуковых самолетов сопровождается непрерывной генерацией ударной волны, расходящейся от траектории движения в виде конуса Маха. На земле такая ударная волна амплитудой около 100 Па воспринимается как резкий импульсный шум. По этой причине полеты гражданской сверхзвуковой авиации через густонаселенные территории были запрещены. В настоящее время интерес к сверхзвуковым полетам возобновился и планируется создание малоразмерных летательных аппаратов бизнес-класса. Ожидается, что производимый ими шум будет существенно меньше, чем у полноразмерных лайнеров предыдущего поколения. Важным физическим явлением, которое необходимо учитывать при оценке уровня шума на поверхности земли, является взаимодействие волны с турбулентными неоднородностями атмосферы. Рефракция на случайных неоднородностях скорости звука приводит к появлению случайных областей фокусировки и дефокусировки, с соответствующим увеличением и уменьшением амплитуды. Таким образом, с некоторой вероятностью номинальный уровень шума может быть превышен.

Целью данной работы было создание численной модели распространения ударной волны через случайно-неоднородный турбулентный слой на основе модифицированного параболического уравнения ХЗК для нелинейных импульсов, а также оценка статистики параметров ударных импульсов после прохождения слоя.

В работе численная модель для уравнения ХЗК была реализована в двумерной геометрии. Модель учитывает дифракцию, рефракцию на неоднородностях показателя преломления, термоязкое и релаксационное поглощение. Численное решение строилось на основе метода расщепления по физическим факторам и конечно-разностных схем для отдельных операторов упомянутых выше физических эффектов. В качестве начального условия задавалась плоская *N*-волна с амплитудой 20 Па и длительностью 100 мс, что соответствует малоразмерным летательным аппаратам. Пространственное распределение показателя преломления генерировалось методом случайных Фурье-мод с использованием фон Кармановского спектра неоднородностей с интегральным масштабом $L_0 = 100$ м. Максимальное расстояние распространения в глубину слоя принималось равным 2 км. Для набора статистики моделирование было проведено с достаточно длинными реализациями турбулентного слоя. Показано, что наличие неоднородностей, характерных для реальной атмосферы приводит к существенному искажению поля плоской волны и появлению областей, в которых амплитуда увеличивается более чем в полтора раза, по сравнению с номинальным уровнем.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-72-00196.

Ключевые слова: волна звукового удара, турбулентность, уравнение ХЗК

ОПТИМАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ВОЛН В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ

Миронов М.А.

Акционерное общество «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва
Тел.: (9067595040); Факс: +7 (499) 126-84-11; E-mail: mironov_ma@mail.ru

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

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ ТЕЛА НА ВИХРЕВОЙ ЗВУК

Баженова Л.А.

Акционерное общество «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва
Эл. почта: ekadmit@yandex.ru

Проведено исследование зависимости излучения вихревого звука и вибраций тела, вызванных пульсациями давления на теле, обтекаемом потоком воздуха. Расчет излучения и экспериментальные измерения проведены для стержней разных длин и диаметров, изготовленных из стали, сплавов олова, свинца, латуни и других.

Показано, что материал стержней не влияет на излучение вихревого звука, в то время как сплав, из которого они изготовлены влияет на их вибрации самым существенным образом при разных скоростях потока воздуха.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В ЗАГЛУШЕННОЙ КАМЕРЕ ВЛИЯНИЯ АЗИМУТАЛЬНОЙ АСИММЕТРИЧНОСТИ ИМПЕДАНСА ЗПК НА АЗИМУТАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В КРУПНОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ ВОЗДУХОЗАБОРНИКА

Копьев В.Ф.^{1,2)}, Остриков Н.Н.^{1,2)}, Яковец М.А.^{1,3)}, Пальчиковский В.В.²⁾, Корин И.А.²⁾, Берсенов Ю.В.^{2,4)}

¹⁾ НИМК ЦАГИ, Москва; ²⁾ ПНИПУ, Пермь;
³⁾ МФТИ, Жуковский; ⁴⁾ «ОДК-Авиадвигатель», Пермь
Тел.: 495 9169091; E-mail: aeroacoustics@tsagi.ru

В работе представлены результаты сравнительных испытаний в заглушенной камере ПНИПУ крупномасштабной модели воздухозаборника диаметра 1.783 м в условиях твердых стенок, однородных ЗПК и однородных ЗПК с одной, тремя и пятью накладками, обеспечивающими перекрытие полной длины окружности однородных ЗПК на величину соответственно 6, 18 и 30%, что создает относительную азимутальную неоднородность импеданса ЗПК эквидистантную указанным процентам. Для генерации звукового поля в канале воздухозаборника использовалась система 40 динамиков, совмещенная с горнами, которые были установлены равномерно по окружности сечения тыльной части модели воздухозаборника, что позволило генерировать звуковые азимутальные моды в диапазоне номеров ± 40 . Для определения модальной структуры звукового поля в канале использовалась многоканальная решетка, состоящая из 126 микрофонов, установленных заподлицо стенок канала в зоне за ЗПК в направлении распространения звука, при этом 100 микрофонов образуют круговую решетку, а остальные – линейную. Анализ результатов испытаний показал, что наибольший эффект появления в канале не генерируемых динамиками азимутальных мод с повышенным уровнем амплитуды (фактически амплитуды этих мод сравнимы с амплитудой доминирующей моды, генерируемой динамиками) реализуется для мод, азимутальные номера которых отличаются от номера генерируемой доминирующей моды на числа кратные ± 5 . Данный эффект находится полностью в согласии с предсказанием аналитической модели влияния азимутальной неоднородности ЗПК на распространение вращающихся мод в цилиндрическом канале.

Ключевые слова: распространение звука в каналах, воздухозаборник, звукопоглощающие конструкции (ЗПК), азимутальная неоднородность импеданса, микрофонные решетки

О ВЛИЯНИИ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ СРЕДНЕГО ПОТОКА В КАНАЛЕ УСТАНОВКИ «ИНТЕРФЕРОМЕТР С ПОТОКОМ» НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИМПЕДАНСА ОБРАЗЦОВ ЗПК

Остриков Н.Н.¹⁾, Яковец М.А.^{1,2)}, Ипатов М.С.¹⁾

¹⁾ НИМК ЦАГИ, Москва; ²⁾ МФТИ, Жуковский;
Тел.: 495 9169091; E-mail: aeroacoustics@tsagi.ru

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию влияния параметров потока в канале установки «Интерферометр с потоком» ЦАГИ на процесс определения (извлечения) импеданса образцов звукопоглощающих конструкций. Проведена серия экспериментов в лабораторных условиях (стандартная конфигурация установки) и в условиях заглушенной камеры АК-2, что позволило измерить акустические характеристики ЗПК при различных профилях скорости. При этом в большинстве применяемых до сих пор методах извлечения импеданса используется упрощенные модели распространения звука при наличии потока, при котором поток предполагается однородным по сечению канала с бесконечно тонким пограничным слоем, что отличается от реализуемой на практике ситуации. В ходе настоящего сравнительного исследования показано существенное влияние профиля скорости на импеданс ЗПК, что требует доработки существующих методов извлечения импеданса на случай неоднородного потока.

Ключевые слова: импеданс, звукопоглощающие конструкции, интерферометр с потоком

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗПК С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Храмцов И.В.¹⁾, Кустов О.Ю.¹⁾, Пальчиковский В.В.¹⁾

¹⁾ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь.
Тел.: 83422198917; E-mail: lmsh@pstu.ru

Разработана методика определения акустических характеристик образцов звукопоглощающих конструкций (ЗПК), основанная на численном моделировании физических процессов в интерферометре с нормальным падением волн. Численное моделирование реализуется путем прямого решения нестационарных уравнений Навье-Стокса с учетом сжимаемости в полной трехмерной постановке, в результате которого в точках, симулирующих работу микрофонов, записывается акустическое давление. Полученные в численном моделировании зависимости «давление-время» обрабатываются стандартизированным двухмикрофонным методом передаточной функции, в результате чего определяется импеданс и коэффициент звукопоглощения образца ЗПК. Проведенные исследования отличаются от ранее известных в мировой практике тем, что впервые численное моделирование реализовано для полномасштабных образцов 1-, 2- и 3-слойных локально-реагирующих ЗПК, имеющих геометрические характеристики (глубина слоев, степень перфорации, диаметры отверстий, толщина перфорированных пластин), которые полностью соответствуют реальным ЗПК авиационных двигателей с сотовым наполнителем. Верификация результатов численного моделирования проводится путем сравнения с акустическими характеристиками, получен-

ными на основе натуральных экспериментов, проведенных в интерферометрах на указанных образцах. Отмечается хорошее согласование акустических характеристик образцов ЗПК, полученных в численном моделировании и в эксперименте. Также предложен подход, основанный на численном моделировании физических процессов для уменьшенной модели многослойной локально-реагирующей ЗПК, позволяющей прогнозировать ее акустические характеристики с высокой точностью в области резонансных частот. При этом данный подход позволяет сократить время вычислений в 2 раза при той же плотности расчетной сетки. В целом предложенные подходы могут использоваться для прогнозирования акустических характеристик образцов ЗПК с формами наполнителей, отличных от сотового.

Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, интерферометр с нормальным падением волн, численное моделирование акустических процессов

РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЧЕРЕЗ ЕГО ВОЗДУХОЗАБОРНИК И ВЫХЛОПНОЕ СОПЛО

Александров В.Г., Осипов А.А.

ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва

Тел. (4953616640); Факс: (4953616640); E-mail: aaosipov@ciam.ru

Представлены результаты, иллюстрирующие возможности и особенности математического моделирования аэроакустических явлений, сопряженных с распространением по проточному тракту авиационного двигателя тонального шума, характерного для работы вентилятора и компрессора низкого давления, а также шума внутренних источников (прежде всего, турбины низкого давления) современного турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД), и излучением этого шума соответственно из воздухозаборника и выхлопного сопла двигателя в окружающее пространство в условиях внешнего обтекания мотогондолы. Особенности задач рассматриваемого круга обусловлены формированием высокочастотных (и соответственно коротковолновых) акустических и конвективных возмущений потока в условиях значительной неоднородности осредненного поля течения газа, включающего сдвиговые слои, а также нерегулярной конфигурации обтекаемых поверхностей.

Анализ возможностей дальнейшего совершенствования рабочего процесса в авиационном двигателе, характеризующегося упомянутыми выше факторами, указывает на необходимость развития расчетной методологии в направлении повышения разрешающей способности сеточной дискретизации численного решения путем применения аппроксимирующих схем более высокого порядка точности, а также обеспечения высокой эффективности организации вычислительного процесса на основе разработки обобщенных расчетных модулей с широкими возможностями адаптации расчетной процедуры к особенностям решаемых задач математического моделирования.

Согласно указанным методологическим соображениям в ЦИАМ создана специализированная программная платформа FDUG (Fluid Dynamics on Unstructured Grid), представляющая собой взаимосогласованный набор библиотек и готовых решений для построения программного обеспечения рассматриваемого класса. Разрабатываемый расчетный комплекс предназначен для решения практических инженерных задач со сложной топологией расчетной области, поэтому численные схемы, реализуемые в его составе, ориентированы в основном на работу с неструктурированными сетками. В рамках созданного на основе программной платформы FDUG «контейнера численных методов» реализована, в частности, явная конечно-объемная «распадная» численная схема интегрирования системы уравнений Эйлера второго порядка точности по пространству и времени для трехмерных нестационарных течений. Технологические возможности созданного «контейнера численных методов» позволяют эффективно решать широкий круг задач нестационарной аэродинамики и аэроакустики.

Ключевые слова: трехмерные акустические поля, излучение из воздухозаборника и сопла авиационного двигателя, численное моделирование

ОБЗОР СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ И АЭРОАКУСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК, РЕАЛИЗОВАННЫХ В КОДЕ "ГЕРБЕРА"

Титарев В.А.^{1,2)}

¹⁾ НИМК ЦАГИ, Москва; ²⁾ ФИЦ ИУ РАН, Москва

Тел.: 8495 9169091\$ E-mail: titarev@ccas.ru, vladimir.titarev@tsagi.ru

За последние несколько лет в НИО-9 ЦАГИ создан пакет параллельных программ "Герберга", предназначенный для моделирования аэродинамики и аэроакустики винтовых конфигураций. "Герберга" позволяет моделировать достаточно сложные конфигурации типа винт + пилон, что достигается использованием взаимосвязанной комбинации вращающихся областей в непосредственной близости от винтов и внешней неподвижной области, охватывающей элементы планера. Для проведения вычислений с использованием большого количества процессоров "Герберга" использует двухуровневую модель параллельных вычислений MPI + OpenMP.

В настоящей работе будет описано обобщение кода "Герберга" на задачи моделирования аэродинамики и аэроакустики распределенных силовых установок, представляющих собой комбинацию нескольких вращающихся винтов на пилоне; при этом оси вращения винтов не совпадают. В качестве иллюстрации работоспособности кода будут приведены результаты обтекания тематической геометрии с 3 винтами на системе РСК-Торнадо, установленной в суперкомпьютерном центре Санкт-Петербургского Политехнического Университета Петра Великого

(СПБПУ), с использованием до 128 узлов (3584 ядер). Для проведения тестовых расчетов распределенной силовой установки частично использовались вычислительные ресурсы ЦИАМ им П. И. Баранова.

Ключевые слова: вычислительная аэродинамика, шум винта, параллельные вычисления, разностные схемы на неструктурированных сетках

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМА ИЗОЛИРОВАННОЙ СТРУИ И СТРУИ ВБЛИЗИ КРЫЛА В СТАТИЧЕСКИХ И ПОЛЕТНЫХ УСЛОВИЯХ

Бычков О.П.¹⁾, Фараносов Г.А.^{1,2)}

¹⁾ НИМК ЦАГИ, Москва; ²⁾ ПНИПУ, Пермь;
Тел.: 495 9169091; E-mail: georgiy.faranosov@tsagi.ru

В работе представлены результаты численного моделирования шума изолированной струи и струи вблизи прямоугольной пластины, имитирующей крыло самолета, для статических условий и условий полета. Моделирование проведено методом LES с помощью решателя на основе схемы КАБАРЕ. Расчеты проводились с использованием рабочей станции с 4-мя графическими процессорами на сетках умеренного объема (~15-50 млн. ячеек). Проведен анализ характеристик ближнего поля струи при наличии и отсутствии пластины в статических и полетных условиях. Выполнено сравнение характеристик средних и пульсационных параметров течения с данными термоанемометрических измерений. Также проведено сравнение результатов расчетов с данными измерений шума в дальнем поле. Показано, что расчеты обеспечивают приемлемую точность моделирования характеристик течения, а также шума взаимодействия струи и крыла в дальнем поле.

Ключевые слова: шум струи, шум взаимодействия струи и крыла, численное моделирование

РАЗВИТИЕ ЗОННОГО RANS-IDDES ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Шорстов В.А., Макаров В.Е.

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», Москва
Тел. (4953616640); Факс: (4953616640);

На примере задач о развитом турбулентном течении в плоском канале и шуме задней кромки профиля NASA012, обтекаемого при нулевом угле атаки, протестированы неравновесный закон стенки для модели Спарларта-Аллмараса (SA) совместно с IDDES SA и модификация функции ω IDDES, направленная на улучшение результатов в случае равных шагов сетки по тангенциальным направлениям. Результаты расчетов показали сходимость как параметров пограничного слоя, так и спектра в дальнем поле, для расчетов на сетках с сильно отличающимся размером пристеночных ячеек. Предложенная модификация ω позволяет вдвое уменьшить ошибку по средней скорости в центре канала для случая равномерной по тангенциальным направлениям сетки. Регулярное смещение спектра шума в дальнем поле в этом случае составило 2-3 dB.

Опираясь на детальное сопоставление с экспериментом ближнего поля сверхзвуковой струи, истекающей из прямоугольного сопла с большим отношением ширины к высоте в сечении среза, и опциональным использованием пластины, примыкающей к длинному ребру среза сопла, рассмотрена возможность расчета возникающего течения с использованием численной турбулизации слоев смешения. Выявлено негативное влияние зоны формирования турбулентного контента в окрестности среза на расчетное воспроизведение явления, наблюдаемого в эксперименте. При помощи радикального увеличения подсеточного масштаба (почти до уровня исходной DES – формулировки) показано преимущество более близкого к RANS описания начального участка слоя смешения для воспроизведения экспериментального явления. Высказано предположение, что зонный RANS-LES подход с явной генерацией турбулентного контента может оказаться предпочтительней для решения таких задач.

Доработанный численный метод применен для расчета акустических характеристик модельного выходного устройства (ВУ) перспективного сверхзвукового гражданского самолета (СГС). Сопло рассмотренного ВУ с развитым центральным телом, экранированное с трех сторон элементами планера, имеет прямоугольное поперечное сечение, а рассмотренный режим истечения струи отвечает типовому для условий взлета СГС докритическому перепаду давления. Анализ возникающих нестационарных процессов позволил дать объяснение обнаруженному ранее в ряде экспериментальных работ явлению возникновения в спектре шума ВУ рассматриваемого типа ярко выраженных дискретных составляющих при докритических и близких к критическим перепадам давления на сопле. С высокой долей вероятности причиной такого акустического явления, является возникающая на сопле положительная обратная связь между изменением статического давления на нижней стенке и центральном теле сопла и смещением слоя смешения, сходящего с верхней стенки сопла. Такая обратная связь приводит к возникновению интенсивных поперечных колебаний слоя смешения, вызывающих сильные изменения давления на элементах ВУ, примыкающих к струе, и к появлению ярко выраженных дискретных составляющих спектре шума в дальнем поле.

АЭРОАКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНТОВ МАЛОГО МАСШТАБА

Бойчук И.П., Гринек А.В.

Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск

Тел.: (967 3107324); E-mail: igor_boichuk@mail.ru

Из-за проблем, связанных с установкой и шумом, открытые роторы не нашли коммерческого применения. Современные экспериментальные испытания винтов проводятся в основном в аэродинамических трубах, оснащенных двигателями для вращения роторов и акустическими приборами для снятия шума. Эксперименты в этих установках являются очень дорогими. Из-за сложности производства винтов и высокой стоимости оборудования варьироваться в эксперименте может только небольшое количество параметров ротора.

Появление оборудования и методов трехмерной «печати» дает возможность изготовления сложных, мелко-масштабных объектов с высоким разрешением. Для сложного дизайна винта затраты на производство на несколько порядков ниже, чем изготовление одного и того же изделия с использованием обычной обработки. Это позволяет исследовать большое количество концепций с небольшими затратами, отбирая перспективные конфигурации, которые могут в дальнейшем быть протестированы более подробно. При этом при прототипировании винтов возникают проблемы, связанные с масштабированием и обеспечением заданной прочности лопаток винтов.

В настоящей работе представлен опыт экспериментального аэроакустического исследования винтов малых масштабов. Эксперименты проводились в безэховой камере. В результате экспериментов получено распределение звукового давления в различных точках камеры для различных частот вращения ротора. Показано, что данные эксперименты могут найти применение при решении проблемы шума взаимодействия открытого ротора.

Ключевые слова: открытый ротор, шум взаимодействия, прототипирование, безэховая камера

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОРМЕ МНОГОГРАННИКОВ

Боженко А.Н.¹⁾, Пахов В.В.²⁾, Зверев А.Я.³⁾

¹⁾ КНИТУ – КАИ, Казань; ²⁾ КНИТУ – КАИ, Казань;

³⁾ ФГУП «ЦАГИ», Москва

Тел: +79503222968; E-mail: anbozhenko@kai.ru

Были проведены сравнительные исследования диаграмм направленности и характеристик двух всенаправленных источников акустического излучения, выполненных в форме многогранников. Источник акустического излучения КАИ-А1 представляет собой тело додекаэдрической формы, с установленными в каждой грани динамиком UralAS-130. Динамики источника подключены в последовательно-параллельную сеть для обеспечения синфазной работы и требуемого значения импеданса для усилителя звуковой частоты.

Ближайший серийный аналог такого устройства - источник звукового излучения Bruel&Kjaer OmniPower type 4292L. OmniPower 4292-L использует 12 динамиков в додекаэдральной конфигурации для равномерного излучения звука со сферическим распределением. Все динамики подключены в последовательно-параллельную сеть, чтобы обеспечить как синфазную работу, так и полное сопротивление, соответствующее усилителю мощности.

Измерения диаграмм направленности и звуковой мощности, излучаемой различными источниками звука, проводятся, как правило, в заглушенной камере. В рамках данной работы такие измерения были проведены в заглушенной камере стенда АК-11 (ЦАГИ, г. Дубна). Для получения трехмерных диаграмм направленности в заглушенной камере сконструировано и установлено сферическое координатное устройство. Оно представляет собой легко устанавливаемую/разбираемую деревянную конструкцию, на которой закреплена вращающаяся металлическая рама в виде дуги полуокружности радиуса 1.8 м. На раме установлен ряд микрофонов. В центр дуги подвешивается источник шума, характеристики которого требуется определить. Рама с микрофонами вращается на любой угол в пределах $0-330^{\circ}$. В результате испытаний может быть получено распределение уровней звукового давления от источника по сферической поверхности радиуса 2м, или, другими словами, сферическая диаграмма направленности источника.

В работе представлены диаграммы направленности двух однотипных всенаправленных источников акустического излучения, их анализ и сравнение характеристик акустического излучения источников в треть-октавных полосах. По результатам работы сделан вывод о равномерности диаграммы направленности источника КАИ-А1 и его потенциальной пригодности к различным видам акустических исследований.

Ключевые слова: источник звука, диаграмма направленности, аэроакустика

Секция ГЕО – Геоакустика

Вознесенский Александр Сергеевич - руководитель

Горный институт НИТУ «МИСиС»

119049, г. Москва, Россия, Ленинский проспект, д.4; E-mail: al48@mail.ru

14.10.2019 - с 13.30 до 18.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ОТКЛИКА СИСТЕМЫ ГЕОСРЕДА–АНКЕР НА УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Вознесенский А.С.¹⁾, Красилов М.Н.¹⁾, Куткин Я.О.¹⁾, Корякин В.В.¹⁾

¹⁾ *НИТУ «МИСиС», Москва;*

Тел.: (+7-910-409-94-93); Факс: (+7-499 236 21 05); E-mail: (al48@mail.ru)

В докладе обсуждаются результаты оценки прочности горных пород в кровле подземных горных выработок в массиве гипсоносных пород методом неразрушающего контроля анкерного крепления с помощью ударно-спектрального устройства «Анкер-Тест». Метод использует связь между прочностью и акустической добротностью горных пород. Влияние расслоения пород кровли, выветривания и давления вышележащих слоев на прочность породы вокруг очистной выработки и транспортного штрека показано путем измерения амплитуды, частоты и добротности на основе спектрального анализа отклика анкера, установленного в кровле, на ударное воздействие. Внешние слои породы кровли подвержены воздействию влаги и выветривания, они содержат больше механических повреждений по сравнению с внутренними слоями, как для камеры, так и для штрека. Для них среднее значение акустической добротности меньше, чем для внутренних слоев. Это связано с механическим повреждением в месте, где тестируется кровля камеры. Визуально нарушения (расслоение горных пород и их обрушение) в кровле штрека меньше, чем в камере. Это определяется геологическим строением и большой толщиной гипсовой кровли в штреке, что снижает механические напряжения в породах кровли. Внутренние слои в камере меньше подвержены влиянию, чем в штреке. На это влияет более короткая продолжительность обнажения кровли в камере по сравнению с штреком, когда количество накопленных трещин пропорционально продолжительности механической нагрузки и влажности, возникающей в нависающих породах. Этот метод может быть использован для неразрушающего контроля прочности, усталости и ресурса горных пород вокруг горных выработок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-05-00570.

Ключевые слова: анкерная крепь, горные породы, геоконтроль, ударно-спектральный, кровля

ПОСЛОЙНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСАДОЧНЫХ СЛОЕВ ДНА МЕЛКОГО МОРЯ

Смирнов И.П., Калинина В.И., Хилько А.И., Малеханов А.И.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;

Тел.: (9103872204); Факс: (8314367690); E-mail: a.khil@appl.sci-nnov.ru

Исследован метод повышения точности и устойчивости определения геоакустических параметров морского дна, основанный на их послойной реконструкции с использованием параметрических моделей формирования сейсмоакустических (СА) импульсов, отраженных от упругого слоистого полупространства, при зондировании дна когерентными сигналами. Приводятся результаты анализа эффективности предлагаемых алгоритмов, выполненного методом численного стохастического моделирования. Исследована устойчивость и точность решения задачи СА зондирования морского дна в зависимости от параметров моделей сигналов и шумов, а также от характеристик решающего правила. Установлено, что развитая в рамках приближения геометрической акустики физико-математическая модель формирования СА сигналов позволяет использовать взаимосвязь параметров отдельных донных слоев для сужения интервала поиска решения в многомерном пространстве параметров слоистого дна при их послойной реконструкции. Показано, что рост ошибки оценивания параметров верхних донных слоев понижает точность оценок параметров более глубоких слоев.

Ключевые слова: реконструкция, морское дно, когерентный излучатель, сейсмоакустическое зондирование, стохастическое моделирование

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО КОГЕРЕНТНОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ МОРСКОГО ДНА В МЕЛКОВОДНОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ПРИСУТСТВИИ РЕВЕРБЕРАЦИОННЫХ ПОМЕХ И ШУМОВ СУДОХОДСТВА

Хилько А.И.¹⁾, Мерклин Л.Р.²⁾, Плешков А.Ю.²⁾, Бирюков Е.А.³⁾, Долгачев А.И.³⁾, Маев П.А.³⁾,

Смирнов И.П.¹⁾, Калинина В.И.¹⁾, Малеханов А.И.¹⁾

¹⁾ *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

²⁾ *ООО "Морские Инновации", Москва;* ³⁾ *ООО "Сплит", Москва"*

Тел.: (9103872204); Факс: (8314367690); E-mail: a.khil@appl.sci-nnov.ru

Анализируются результаты сейсмоакустического (СА) импульсного зондирования структуры морского дна в мелководном районе Черного моря в присутствии реверберационных помех и шумов судоходства при буксировке

в подводном положении когерентного излучателя, работающего в режиме излучения ЛЧМ импульсов, и горизонтальной приемной решетки. Исследовано влияние пространственных флуктуаций гидрофонов при их буксировке с меняющейся во времени скоростью. Показано, что при характерной величине таких вариаций на уровне нескольких длин волн звукового поля зондирующего сигнала возникают интерференционные помехи, ослабляющие эффективность когерентного накопления СА сигналов. Рассмотрены возможности устранения таких помех. Особое внимание уделено влиянию помех реверберации, связанных с рассеянием зондирующих импульсов на ветровом волнении и неровностях донной поверхности, и шумов корабля-буксировщика, которые маскируют отклики, соответствующие отдельным границам донных слоев. Обсуждаются возможности подавления реверберационных помех путем использования излучающих решеток.

Ключевые слова: морское дно, когерентный излучатель, сейсмоакустическое зондирование, реверберационные помехи

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ИХ ПОВТОРНО-ПЕРЕМЕННОГО ТЕРМО-МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Новиков Е.А.¹⁾, Зайцев М.Г.¹⁾, Назмиева А.Х.¹⁾

¹⁾ ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва (НИТУ МИСиС), Московский Горный Институт;
Тел./ Факс: 499 2302593. E-mail: e.novikov@misis.ru

Экспериментально установлены закономерности акустической эмиссии в мерзлых грунтах различного вещественного состава, подверженных многократным циклам растепления-заморозки и находящихся при этом под действием квазистатической одноосной механической нагрузки. Исследовано влияние на эти закономерности таких факторов как гранулометрический состав грунта, степень его обводненности и засоленности, а также переменная интенсивность температурного воздействия и неоднородность распределения термического градиента. Обоснованы методические рекомендации по учету влияния указанных факторов на достоверность интерпретации соответствующей измерительной информации. Представлены характеристики и конструктивное исполнение аппаратного измерительного комплекса для акустико-эмиссионных (АЭ) исследований грунтов при воздействии на них изменяющейся механической нагрузки и переменного температурного поля. Комплекс также позволяет верифицировать результаты эмиссионных измерений путем параллельного испытания тех же проб грунта традиционными методами. Изложена и обоснована методика интерпретации установленных АЭ закономерностей, позволяющая по параметрам и характеру акустической эмиссии грунтового материала судить о его несущей способности и стадии деформированного состояния. Сформулированы подходы, позволяющие дать качественную оценку наличия и опасности деструктивных процессов в грунтовых основаниях зданий и сооружений, расположенных в северных регионах России. Полученные результаты подтверждены сравнительными испытаниями тех же проб методами статического зондирования индентором и ультразвукового прозвучивания.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, мерзлый грунт, основания и фундаменты, устойчивость, деформированное состояние

О ПОДХОДЕ К ВЫДЕЛЕНИЮ СОБСТВЕННЫХ МОД АНИЗОТРОПНОГО ВОЛНОВОДА

Жарников Т.В.^{1),a}, Никитин А.А.^{2),b}

¹⁾Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского, ЦАГИ,
ул. Жуковского, 1, 140180, г. Жуковский, МО, РФ.

²⁾ Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет,
Ленинские горы, 119991, Москва, РФ.

Тел.: (+ 7 916 646 8425); Факс: (+ 7 495 777 6332); E-mail: ^atimur_tim@mail.ru, ^bnikitin@geol.msu.ru

Описан подход к классификации собственных функций волновода в наклонной трансверсально анизотропной среде, полученных в рамках полуаналитического метода конечных элементов (SAFE). Предлагаемая процедура позволяет отделить физически осмысленные решения от тех, которые связаны с особенностями численного метода. Приводятся результаты сравнительного анализа различных критериев классификации. Эффективность предложенного подхода продемонстрирована на примерах расчета дисперсионных кривых в случаях быстрой и медленной формаций, ось анизотропии которых может принимать произвольное направление относительно оси волновода.

О КРИТЕРИИ САМОСОГЛАСОВАННОСТИ И ЕГО ВЫПОЛНИМОСТИ В МОДЕЛЯХ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТРЕЩИНОВАТЫХ СРЕД

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

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород.
Тел.: 831 4164749; Факс: 831 4365976; E-mail: radostin@ipfran.ru

Модели, адекватно описывающие влияние трещиноподобных дефектов на упругие модули твердых тел, являются одним из ключевых "ингредиентов", необходимых для получения диагностических заключений о структурных особенностях материала по измерениям его упругих модулей. Одним из наиболее популярных методов измерения связи этих модулей с присутствующими в материале трещинами является изменение скоростей продольных и поперечных упругих волн в зависимости от давления, оказываемого на среду. Для часто рассматриваемых моделей с изотропной ориен-

тацией трещин (что делает среду в среднем изотропной) измерения этих двух скоростей оказывается достаточным, чтобы определить два независимых модуля (например, модуль сдвига и объемного сжатия) через которые могут быть выражены другие интересующие характеристики. При этом прилагаемое давление, постепенно закрывающее трещины, является управляющим параметром, контролирующим концентрацию трещин.

Довольно естественным при построении моделей является получение выражений для упругих модулей через концентрацию трещин (которую практически невозможно непосредственно измерить экспериментально). В связи с этим используются некие дополнительные соображения о связи концентрации трещин с давлением, что позволяет связывать модельные выражения для модулей с измеренными зависимостями от давления. Предполагая некоторые аппроксимации связи давления и концентрации со свободными параметрами, и подбирая их значение, можно добиться наилучшего согласования модельных и экспериментальных зависимостей от давления. Такой подход выглядит довольно естественным и часто применяется, казалось бы, обеспечивая самосогласованность модели при выбранных параметрах.

В данном сообщении показывается, что эта кажущаяся самосогласованность является далеко не очевидной при подходе, основанном на использовании вспомогательной (и непосредственно не измеряемой) связи концентрации с давлением. Выяснить нарушение или, наоборот, выполнение условия самосогласованности позволяет использование такой формы модели, в которой ее входные параметры можно выразить через непосредственно измеряемые в эксперименте величины (в отличие от непосредственно не измеряемой концентрации дефектов). В докладе приводятся примеры использования такого подхода, позволяющего явно проверить выполнение самосогласованности, и показывается, по каким причинам в стандартных моделях самосогласованность может грубо нарушаться.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ No 19-05-00536.

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

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ И СДВИГОВОЙ ВОЛН ПО АНАЛИЗУ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

Манаков С.А.¹⁾, Коньков А.И.^{1,2)}

1) Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;

2) ООО «ГЕОДЕВАЙС», Санкт-Петербург

Тел.: +7(831) 416-47-81; Факс: +7(831) 436-59-76; E-mail: manakovsergej@mail.ru

В докладе представлены результаты развития метода пассивной томографии на поверхностной волне Рэлея. В новой методике предлагается проводить совместный анализ частотных зависимостей фазовой скорости и отношения проекций смещения для реконструкции профилей скоростей обеих упругих волн. В свою очередь, частотные зависимости определяются из корреляционных функций сейсмического шума, записанного в разных точках. Обсуждаются особенности влияния неравномерности распределения источников шума. Представлены результаты применения метода к реальным и синтетическим данным.

Ключевые слова: пассивная томография, волна Рэлея, сейсмический шум

НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕЛАКСАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ШУМА ФИЛЬТРАЦИИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Лебедев А.В.

Институт прикладной физики РАН, Россия, 603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, д.46

Тел.: (8312) 164723; Факс: (8312) 365976; E-mail: swan@appl.sci-nnov.ru

Предложена модель, которая объясняет причину возникновения нестационарности на микроскопическом уровне и связанной с ней генерации шума фильтрации в пористых средах. Шум не связан с гидродинамическими источниками, и для его возникновения не требуется переход к турбулентному режиму течения в порах. Физический механизм нестационарности течения связан с развитием неустойчивости в области контакта трещин или зерен, а также наличием релаксационных явлений в полостях и каналах, всегда присутствующих в горных породах. Показано, что при наличии таких структурных элементов возникает режим автоколебаний. Предложенная модель находится в удовлетворительном согласии с известными экспериментальными данными.

АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В УПРУГОЙ СРЕДЕ С ПОРИСТЫМ НАСЫЩЕННЫМ СЛОЕМ

Лебедев А.В.

Институт прикладной физики РАН, Россия, 603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, д.46

Тел.: (8312) 164723; Факс: (8312) 365976; E-mail: swan@appl.sci-nnov.ru

Исследовано распространение сейсмоакустических волн в трехслойной среде, состоящей из однородного изотропного деформируемого твердого слоя, нагруженного на однородный пористый слой, насыщенный жидкостью. В свою очередь пористый слой покрывает однородное изотропное твердое полупространство. Данная среда моделирует геологический разрез, в котором верхний слой грунта отделен от глубинных пород пористым слоем, содержащим значительное количество жидкости. Проведен анализ полученного дисперсионного уравнения и представлены его решения для важных с практической точки зрения случаев. Отмечены эффекты, обусловленные перемещением жидкой фазы относительно деформируемого твердого скелета при прохождении волны. Выявлены характерные особенности дисперсионных кривых и пространственного распределения полей мод, позволяющие

не только устанавливать наличие под верхним слоем грунта насыщенного жидкостью пористого слоя, но и определять его мощность и глубину залегания.

**ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СЛОИСТОЙ СРЕДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ВЕКТОРНОГО ПРИЕМА ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ РЭЛЕЯ**

Лебедев А.В., Манаков С.А.

Институт прикладной физики РАН, Россия, 603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, д.46

Тел.: (8312) 164723; Факс: (8312) 365976; E-mail: swan@appl.sci-nnov.ru

Рассмотрены важные методические аспекты дистанционного исследования слоистых сред с использованием поверхностных волн рэлеевского типа. Определены погрешности измерения скорости волны сдвига и коэффициента Пуассона в слоях, а также глубин залегания границ слоистой структуры. Показано, что получение оценки коэффициента Пуассона в слоях становится возможным только при использовании частотной зависимости параметра эллиптичности поверхностной волны. При этом в условиях реальных экспериментов погрешность измерений обеспечивает получение информации о структуре связей в гранулированной среде и наличия насыщения пор жидкостью. Определены особенности использования вибрационных источников и даны рекомендации по организации полевых работ.

**СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКАЯ МОДОВАЯ ТОМОГРАФИЯ
ОСАДКОВ, ВОДНОЙ ТОЛЩИ И ЛЬДА МЕЛКОГО МОРЯ**

Преснов Д.А.¹⁾, Собисевич А.Л.¹⁾, Шуруп А.С.^{1,2)}

¹⁾ *Институт физики Земли им. Шмидта РАН, Москва;*

²⁾ *Московский государственный университет им. Ломоносова, Москва.*

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

В работе представлены результаты натурных испытаний в ледовых условиях Ладожского озера морских сейсморазведочных излучателей (ООО ГЕОДЕВАЙС) и площадной измерительной сейсмоакустической системы на основе автономных буёв вмораживаемого типа (ИФЗ РАН совместно с МФТИ). Демонстрируется возможность выделения в принимаемом сигнале отдельных нормальных мод, распространяющихся в слоистой системе «ледовый покров – водный слой – осадочный слой – упругое полупространство». На основе анализа решений прямой задачи строятся эффективные численные алгоритмы томографической оценки характеристик дна, водного слоя и ледового покрова. Полученные в активном режиме результаты используются для развития методов обработки шумовых сигналов и разработки пассивных технологий мониторинга среды.

Ключевые слова: сейсмоакустика, шум, мониторинг, томография, слоистые среды

**АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИХ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ И
ДВУХОСНОМ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

Красилов М.Н.¹⁾, Куткин Я.О.¹⁾, Тютчева А.О.¹⁾, Насибуллин Р.Р.¹⁾, Лучникова А.О.¹⁾

¹⁾ *НИТУ «МИСисС», Москва*

Тел./ Факс: +7 (499) 230-25-93. E-mail: krasilov.maksim.93@mail.ru

Приведены результаты использования акустической эмиссии (АЭ) при двух видах испытаний образцов горных пород. Испытания образцов-балок гипсосодержащих пород при циклическом изгибе по трехточечной схеме показали, что при максимальных нагрузках в циклах до 0,4-0,5 от предельной нагрузки F_n наблюдается проявление многоциклового усталости, при нагрузках более 0,8 F_n происходит хрупкое разрушение. Участок максимальных нагрузок при малоциклового усталости занимает узкую область между областями многоциклового усталости и хрупкого разрушения. Для его оперативного обнаружения производились циклические нагружения в сериях с возрастающими ступенями максимальных нагрузок и непрерывным контролем акустической эмиссии (АЭ). В начале всех ступеней наблюдались большие значения активности АЭ, которые затем снижались до величин 1–2 имп./с. Увеличение активности АЭ происходило на тех ступенях нагружения, на которых впоследствии происходило разрушение при относительно малом числе циклов. Регистрация числа импульсов акустической эмиссии позволила прогнозировать время жизни образца до разрушения. Рассмотрены также особенности АЭ при последовательном 2-осном циклическом нагружении образцов известняка

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-05-00570.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, горные породы, изгиб, хрупкое разрушение, усталость

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ УПРУГОГО
ГИСТЕРЕЗИСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ**

Высотин Н.Г.

¹⁾ *ФГАОУ ВО НИТУ «МИСисС», г. Москва.*

Тел. : 8-916-458-22-56 ; E-mail: kalgani@yandex.ru

В процессе исследований динамическим методом образцов горных пород с помощью автоматизированного структуроскопа «ГЕОСКАН-02МУ» на основе лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М проводилась лазерно-ультразвуковая структуроскопия образцов до и после испытаний по определению упругих параметров, в данной работе статического модуля упругости, с применением стандартных методов. Лазерно-ультразвуковая

структуроскопия позволяет выявить нарушения внутренней структуры образца, в частности, образование трещин или их перераспределение в геоматериале. Приведенные в докладе результаты лазерно-ультразвуковой структуроскопии образцов горных пород позволили оценить степень неоднородности его исходных образцов и образцов, подвергшихся предварительной нагрузке, к проведению дальнейших механических испытаний для определения их упругих параметров. В качестве оптимального для последующего определения нелинейных параметров упругого гистерезиса при расчете упругих параметров образцов горных пород предложено использовать результаты испытаний по стандарту DIN EN 14580-2005, позволяющему стабилизировать упругие характеристики при статических испытаниях и получать более корректные данные в условиях упругого гистерезиса. Также подтвердились результаты исследований по определению диапазона напряжений, вызывающих упругие деформации в горных породах при одноосном сжатии и не нарушающих структуру.

Ключевые слова: деформационные характеристики, нарушенность структуры, лазерно-ультразвуковая структуроскопия, нелинейность диаграммы деформирования, упругий гистерезис горных пород

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (ГА) - 07.10.2019 с 16.20 до 18.00

ЛОКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ТОЧЕЧНОЙ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИЕМНИКА

Марапулец Ю.В., Щербина А.О.

*Институт Космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка
Тел.: +7 (41531) 33-193; Факс +7 (41531) 33-718; E-mail: marpl@ikir.ru*

Представлены результаты исследования направленности геоакустического излучения в сейсмоактивном регионе Камчатка. Для локации источников геоакустической эмиссии использована точечная приемная система на основе комбинированного приемника, которая была установлена у дна природного водоема озеро Микижа. Определение направления прихода звуковой волны осуществлялось на основе оценки вектора потока акустической мощности. Исследования производились в сейсмически спокойные (фоновые) периоды и во время акустоэмиссионных возмущений, возникающих при активизации деформационного процесса на заключительной стадии подготовки землетрясений. Оценены углы прихода геоакустических сигналов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Установлено, что при отсутствии возмущений распределение источников геоакустической эмиссии по пространству в горизонтальной плоскости достаточно изотропно. Во время усиления и увеличения скорости деформирования возникают ярко выраженные максимумы в пространственном распределении геоакустического излучения, которые свидетельствуют об изменении характеристик источников эмиссии в поле напряжений осадочных пород. Проведен анализ распределения таких максимумов для 111 случаев акустоэмиссионных возмущений, зарегистрированных в 3-х суточном интервале перед землетрясениями в период 2008 – 2016 гг. Представлены примеры направленности геоакустического излучения в фоновые периоды и при активизации деформаций перед землетрясениями. В вертикальной плоскости наиболее интенсивное излучение наблюдается с нижней полусферы по углам 60 – 80 градусов относительно горизонта, что с учетом высоты комбинированного приемника над грунтом 35 см, соответствует расстояниям до 0.4 метра от датчика. При этом некоторые сигналы регистрируются с расстояний до десяти метров. Около 30% геоакустических сигналов регистрируется с верхней полусферы, что может быть обусловлено их переотражением от поверхности водоема.

Ключевые слова: геоакустическое излучение, комбинированный приемник, акустоэмиссионное возмущение

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Солодчук А.А., Луковенкова О.О.

*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*

В сейсмоактивном регионе на полуострове Камчатка в пункте наблюдения «Микижа» (ИКИР ДВО РАН) развернут аппаратно-программный комплекс для регистрации импульсных сигналов высокочастотной (в диапазоне от единиц до первых десятков килогерц) геоакустической эмиссии, возникающих в результате динамической перестройки внутренней структуры пород. Для получения экспериментальных данных используется гидроакустическая система, построенная на базе инерционного комбинированного приемника, установленного у дна природного водоема (оз. Микижа). Исследования геоакустической эмиссии показывают, что при подготовке землетрясений и последующей релаксации поля локальных напряжений в пункте наблюдений в геоакустических сигналах возникают ярко выраженные аномалии. Чаще всего они проявляются в виде изменения интенсивности и направленности геоакустической эмиссии, но также могут выражаться и в изменениях частотно-временной структуры пред- и постсейсмических геоакустических импульсов. Типичный геоакустический сигнал представляет собой последовательность импульсов, возникающих в результате наложения и искажения элементарных сигналов от множества распределенных в зоне приема источников.

Ввиду короткой длительности (в среднем 50 мс при частоте дискретизации 48 кГц) и сложной динамически меняющейся структуры импульсов геоакустической эмиссии в качестве основного инструмента для исследования их частотно-временных представлений предлагается использовать разреженную аппроксимацию в комбинации с

другими частотно-временными методами. Для предварительной обработки (сглаживание и очистка от помех) сигналов используется преобразование Гильберта-Хуанга, для оценки значений и временной локализации частот - методы разреженной аппроксимации, а для визуализации результатов на частотно-временной плоскости - преобразование Вигнера-Вилля. Отличительными особенностями данной методики являются уход от избыточности разложений и свобода выбора базисных функций, на которые будет разложен сигнал. Для рассматриваемых сигналов в качестве базисных функций предлагается использовать модулированные и сдвинутые функции Берлаге и Гаусса, поскольку первые имеют высокую корреляцию с типовыми импульсами геоакустической эмиссии, а вторые - минимальную площадь частотно-временного окна.

По построенным частотно-временным представлениям импульсов проведен анализ распределения частот и других параметров, включенных в разложения функций, с целью выделения отличительных особенностей пред- и постсейсмических сигналов, которые в перспективе можно будет использовать в качестве индикаторов изменения напряженно-деформируемого состояния пород в пункте наблюдений.

Ключевые слова: высокочастотная геоакустическая эмиссия, частотно-временная структура, разреженная аппроксимация, преобразования Гильберта-Хуанга, преобразование Вигнера-Вилля

Секция АО – Акустика океана

Буланов Владимир Алексеевич, руководитель

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И.Ильичева ДВО РАН,
690041 Владивосток, ул. Балтийская 43; E-mail: bulanov@poi.dvo.ru*

Вировлянский Анатолий Львович, руководитель

*Институт прикладной физики РАН,
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46; E-mail: viro@appl.sci-nnov.ru*

Петников Валерий Георгиевич, руководитель

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,
119942 Москва, ул. Вавилова 38, РФ, E-mail: petniko@kapella.gpi.ru*

15.10.2019 – с 10.20 до 16.00; 16.10.2019 – с 09.00 до 13.00; 17.10.2019 – с 09.00 до 13.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

СЖАТИЕ СИГНАЛА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ В МЕЛКОВОДНОМ ВОЛНОВОДЕ

Есипов¹⁾ И.Б., Попов²⁾ О.Е., Солдатов³⁾ Г.В.

¹⁾РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина/ Акустический институт им. Н.Н. Андреева, Москва

*²⁾Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, Москва; ³⁾Технологический институт ЮФУ, Таганрог
E-mail: igor.esipov@mail.ru*

Обсуждаются результаты экспериментального исследования применения параметрической антенны для возбуждения частотно-модулированным акустическим сигналом подводного звукового канала в мелком море. Акустический сигнал длительностью 1 мсек генерировался параметрической антенной в частотном диапазоне 7 кГц-15 кГц. Высокая направленность излучения параметрической антенны обеспечивала одномодовое возбуждение подводного звукового канала в мелком море во всем частотном диапазоне. Показано, что частотно модулированный сигнал меняет свою форму при распространении в волноводе из-за волноводной дисперсии. Экспериментально наблюдалось сжатие частотно модулированного сигнала при распространении в мелком море. Сигнал имел направленность 2° при дальности распространения до 500 толщин волновода. Сжатие широкополосного сигнала в волноводе повышает соотношение между сигналом и шумом, тем самым повышает эффективность акустического зондирования мелкого моря. Обсуждается эффективность применения параметрических антенн для создания виртуальных акустических рубежей в мелком море. Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований. Проекты РФФИ 17-02-00434, 16-29-02003

Ключевые слова: параметрическая антенна, подводный звуковой канал, волноводная дисперсия

ВЛИЯНИЕ ПУЗЫРЬКОВЫХ ОБЛАКОВ В ВОЗМУЩЕННОМ ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОКЕАНА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА

Акуличев В.А., Буланов В.А., Бугаева Л.К.

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток
Тел.: 4232374913; Факс: 4232374913; E-mail: bulanov@poi.dvo.ru; bugaeva@poi.dvo.ru*

Вовлечение пузырьков в толщу морской воды в поверхностных волнах приводит к появлению пузырьков облаков, которые при сильном ветре могут достигать значительных глубин в десятки метров. Пузырьки оказывают значительное влияние на акустические свойства воды, приводя в том числе к избыточному поглощению и рассеянию звука. Существуют противоречивые мнения о вкладе приповерхностного слоя пузырьков в затухание звука при распространении вдоль трасс в океане. В ряде работ утверждается, что приповерхностный слой пузырьков слабо влияет на затухание звука в море вплоть до высоких скоростей ветра (Вестон, Бруно и Новарино, и др.).

Другие работы (Вилли, Шнайдер и др.) показывают, что вклад пузырьков в затухание звука на частотах от 1 до 8 кГц в условиях мелкого моря является преобладающим.

В настоящей работе проанализировано влияние приповерхностного слоя пузырьков на затухание звука в море с привлечением последних экспериментальных результатов для функции распределения пузырьков по размерам $g(R)$, полученной при различных состояниях поверхности моря. Показано, что влияние приповерхностного слоя пузырьков на распространение звука может быть значительным при типичных концентрациях пузырьков в приповерхностных слоях моря. Проведены аналитические оценки спада когерентного поля в условиях приповерхностного подводного звукового канала. Влияние слоя пузырьков заключается в дополнительном спаде поля на умеренных дистанциях, вызванного затуханием звука, распространяющегося при малых углах скольжения. Энергия, сосредоточенная при малых углах, постепенно затухает и на больших расстояниях приводит к отсутствию в экспоненциальном законе вклада пузырькового слоя.

Для детального изучения проведено численное моделирование при использовании приближения нормальных мод. Показано, что влияние приповерхностного слоя пузырьков заключается в дополнительном спаде поля на умеренных дистанциях, вызванного затуханием части звуковой энергии, распространяющейся в пузырьковом слое. В дальнейшем эта энергия затухает, что в итоге приводит к отсутствию в экспоненциальном законе вклада пузырькового слоя. Следует обратить внимание на то, что наличие диссипации в приповерхностном слое пузырьков с увеличением концентрации $x > 10^{-6}$ способно приводить к существенной перестройке структуры акустического поля.

Ключевые слова: морская вода, пузырьки, поглощение звука

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ МОДОВОГО СОСТАВА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕЛКОВОДНОЙ СРЕДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SWARM'95 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WARPING-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Ярина М.В.¹⁾, Кацнельсон Б.Г.^{1,2)}

¹⁾ *University of Haifa*; ²⁾ *Воронежский Государственный университет*
Marina-malysheva@autorambler.ru

В работе представлены результаты исследования фильтрации мод, полученные с использованием преобразования деформации (Warping Transform – WT) в частотно-временной области для звукового поля, записанного с помощью одиночных гидрофонов. Результаты сравниваются с полученными на основе «стандартной» методики пространственно-временной фильтрации с использованием линейной вертикальной антенны, в том числе применительно к данным эксперимента SWARM'95, проведенным на Атлантическом шельфе США. Анализируются данные, полученные, как в отсутствие, так и в присутствии нелинейных внутренних волн (НВВ) на акустической трассе длиной 15 км. В данном эксперименте использовались широкополосные сигналы (30-250 Гц) от пневмопушки и частотно-модулированные сигналы (50-300 Гц, источник J15). Прием осуществлялся на две вертикальные антенны (WHOI, NRL), угол между акустическими трассами примерно 30 градусов. Рассматривается период времени, когда в результате горизонтальной рефракции, вызванной движущимися внутренними волнами, имели место флуктуации интенсивности на вертикальной антенне WHOI (фокусировка/дефокусировка в горизонтальной плоскости), зависящие от параметров НВВ, номера моды и частоты, и, соответственно, вызывающих изменение модового состава, в частности, в указанной частотной области вторая и третья моды имеют наибольший показатель преломления в горизонтальной плоскости и испытывают, соответственно, наибольшие флуктуации. Анализ проводится для различных положений НВВ и глубин пневмопушки (выше и ниже термоклина). Обсуждаются возможности использования WT для решения обратной задачи – определения параметров среды по данным зондирования

Ключевые слова: частотно-временной анализ, *warping transform*, эксперимент SWARM'95

ФЛУКТУАЦИИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ОЗЕРЕ В ПРИСУТСТВИИ ВНУТРЕННЕЙ ВОЛНЫ КЕЛЬВИНА. ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ.

Ужанский Э.М.¹⁾, Кацнельсон Б.Г.^{1,2)}, Луньков А.А.³⁾, Островский И.С.⁴⁾

¹⁾ *University of Haifa*; ²⁾ *Воронежский университет*

³⁾ *Институт Общей Физики, Москва*; ⁴⁾ *Israel Oceanographic and Limnological Research*
bkstsnels@univ.haifa.ac.il

В работе представлены результаты экспериментальных исследований и теоретического моделирования пространственно-временной изменчивости звукового поля в мелководном волноводе (озеро Кинерет, Израиль) в присутствии внутренних волн Кельвина (ВВК). Измерения звукового поля проводились с помощью вертикальной антенны длиной 37 м, имеющей 10 гидрофонов на расстояниях 3 м между ними, закрепленной на заякоренной платформе примерно в центре озера (самое глубокое место). ЛЧМ сигналы с частотной полосой 300-2000 Гц и длительностью 5 сек излучались на расстоянии 5.5 км от антенны вдоль трассы, направленной от периферии к центру в течение более 24 часов (периода ВВК). Движение ВВК регистрировалось с помощью трех вертикальных термисторных цепочек, расположенных вдоль указанной трассы и закрепленных в местах с глубинами 10 м, 20 м и 37 м. С их помощью определены фаза ВВК и их амплитуда, а также изменчивость профиля скорости звука по крайней мере вдоль акустической трассы. Полученные акустические данные свидетельствуют о связи пространственно-временных флуктуаций звукового поля на антенне с вариациями водного слоя, обусловленными ВВК. Моделирование звукового поля проводилось с помощью модового разложения и метода Параболического Уравнения в рамках модели звукового канала с измеренными в том числе ранее реальными характеристиками волновода (параметры дна и профиля скорости звука). Результаты моделирования находятся в согласии с данными наблюдений.

Ключевые слова: внутренние волны Кельвина, мелкое море

**ИНТЕРФЕРОГРАММА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ
ПРИ НАЛИЧИИ ИНТЕНСИВНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ОКЕАНИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ**

Пересёлков^{1,2} С.А., Кузькин² В.М., Badiou³ М., Казначеев¹ И.В., Ткаченко¹ С.А.

¹⁾ Воронежский государственный университет

394006 Воронеж, Университетская пл. 1, E-mail: pereselkov@yandex.ru;

²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

119991 Москва, ул. Вавилова 38, E-mail: kumiov@yandex.ru;

³⁾ Delaware University, Evans Hall #316, Newark, DE 19716, USA, E-mail: badiou@udel.edu

В работе приведены результаты обработки натурного эксперимента, когда на стационарных трассах интенсивные внутренние волны приводили к значительной горизонтальной рефракции и взаимодействию мод акустического поля источника. Двукратным преобразованием Фурье интерферограммы на голограмме получены области локализации спектральной плотности, обусловленные невозмущенным и возмущенным полями. Фильтруя эти области, и применяя к ним обратные двукратные преобразования Фурье, реконструированы интерферограммы этих полей, что позволило восстановить передаточную функцию невозмущенного волновода и временную изменчивость среды. По записи голограммы возмущенного поля оценена скорость распространения интенсивных внутренних волн. Изложен алгоритм получения неискаженного модуля спектра источника при наличии неоднородностей среды.

Вариации показателя преломления океанической среды, вызванные гидродинамическим возмущением, инициируют изменения горизонтальных волновых чисел (в широком смысле и амплитуд мод) по отношению к невозмущенным значениям. Это приводит к тому, что результирующая интерферограмма, определяемая разностью горизонтальных волновых чисел, будет представлять собой линейную суперпозицию двух независимых интерферограмм, порожденных невозмущенным и рассеянным полями. Двукратное преобразование Фурье интерферограммы, в силу линейности, формирует на голограмме две независимые локализованные области в форме фокальных пятен. Одна из них, обусловленная невозмущенным полем, концентрируется преимущественно в направлении оси времени, а вторая, вызванная гидродинамическим возмущением, – в направлении оси частоты. Фильтрация областей локализации дает возможность разделить голограммы этих полей. Применение к ним обратного двукратного преобразования Фурье позволяет реконструировать их интерферограммы. В первом случае интерферограмма формируется интерференцией мод невозмущенной среды, во-втором случае – возмущенной среды. При известном спектре источника появляется возможность восстановления передаточной функции невозмущенного волновода и диагностики временной изменчивости среды.

В условиях взаимодействия мод акустического поля источника, вызванного проявлением интенсивных внутренних волн, на основе голографического метода экспериментально продемонстрировано восстановление передаточной функции невозмущенного волновода и возможность наблюдения временной изменчивости среды. Метод основан на записи исходной фурье-голограммы, формируемой невозмущенным и рассеянным полями. Голограмма представляет собой отдельные локализованные области спектральных плотностей, отвечающих отсутствию и наличию возмущения. Считывание этих областей обратным двукратным преобразованием Фурье позволило получить интерферограммы невозмущенного и рассеянного полей. По записи голограммы рассеянного поля оценена скорость распространения возмущения. В работе описан алгоритм получения неискаженного модуля спектра источника при наличии неоднородностей среды.

Ключевые слова: звуковое поле, океанический волновод, интерференционная структура, акустическая голография, передаточная функция

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА
В МЕЛКОВОДНЫХ ВОЛНОВОДАХ С ГАУССОВЫМИ И НЕГАУССОВЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ СКОРОСТИ ЗВУКА**

Гулин О.Э.¹⁾, Ярошук И.О.¹⁾, Фенгчин Ж.²⁾

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

¹⁾ТОИ ДВО РАН, Владивосток, ²⁾Колледж подводной акустики, Харбинский инженерный ун-т

²⁾Колледж подводной акустики, Харбинский инженерный ун-т

Тел.: (+7423 231-26-17); Факс: ((+7423 231-25-73) E-mail: (gulinoe@poi.dvo.ru)

На основе метода локальных мод рассматривается задача о поведении средней интенсивности (потерь при распространении) низкочастотного акустического сигнала в мелководных волноводах с потерями в дне и флуктуациями скорости звука в воде. Ранее было показано, что наличие в волноводе с поглощающим проницаемым дном двумерных (2D) случайных неоднородностей скорости звука с гауссовым вероятностным распределением приводит к возникновению сильных флуктуаций в акустическом поле уже на сравнительно небольших расстояниях от источника звука. Одним из важных и интересных проявлений этого оказывается замедление спада средней интенсивности звукового поля по сравнению с волноводом, у которого таких случайных неоднородностей скорости звука нет. В настоящей работе на основе статистического моделирования приводятся результаты численного анализа спада средней интенсивности звукового поля при наличии как гауссовых, так и негауссовых флуктуаций скорости звука. В качестве негауссовых рассмотрены горизонтальные флуктуации скорости звука в виде телеграфного случайного процесса и процесса с логнормальным вероятностным распределением. Показано, что негауссовы

флуктуации принципиально не меняют вывод об уменьшении потерь при распространении звукового сигнала, но в ряде случаев могут усилить данный статистический эффект.

Ключевые слова: мелководные волноводы, локальные моды, случайно-неоднородная скорость звука, гауссовы и негауссовы флуктуации, статистическое моделирование

МОДОВАЯ СТРУКТУРА НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ С ТОНКИМ СЛОЕМ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ОСАДКОВ

Кацнельсон Б.Г.¹⁾, Луньков А.А.^{2),3)}, Шабанова Т.М.³⁾

¹⁾ Университет Хайфы, Израиль

²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, Москва;

³⁾ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва;

Тел.: (499 5038384); Факс: (499 5038726); E-mail: shabanovtm@student.bmstu.ru

В рамках модовой теории проведен анализ распространения акустических волн в мелководном волноводе с тонким газонасыщенным слоем, толщина которого много меньше длины звуковой волны и скорость звука в котором много меньше скорости звука в воде. Найдены комплексные собственные значения и собственные функции нормальных волн (мод) для волноводов с различными параметрами этого слоя. В низкочастотном диапазоне (до 100 Гц) была выявлена однозначная зависимость коэффициентов затухания волноводных мод от толщины слоя осадков. На основании этой особенности путём сопоставления модельных и экспериментальных кривых затухания различных мод была решена обратная задача по определению толщины газонасыщенного слоя в пресноводном озере Кинерет. В качестве низкочастотных акустических сигналов были использованы дискретные составляющие шума небольшого судна, которое двигалось с постоянной скоростью по направлению к приёмной вертикальной антенне, перегораживающей весь волновод. Результат оценки показал, что толщина газонасыщенного слоя в центральной части озера Кинерет не превышает 0.5 м, что удовлетворительно согласуется с данными КТ-анализа замороженных проб донного грунта.

Работа выполнена при частичной поддержке: РФФИ проекты № 19-02-00127 и №16-32-60194, а также программы президиума РАН № 5 "Фотонные технологии в зондировании неоднородных сред и биообъектов".

Ключевые слова: модовая теория, газонасыщенные осадки, подводные шумы

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ОТ ИСТОЧНИКА В УПРУГОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

Калинюк И.В.¹⁾, Маленко Ж.В.^{2,3)}, Ярошенко А.А.^{2,3)}

¹⁾ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь;

²⁾ Филиал ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова в г. Севастополе, г. Севастополь;

³⁾ Севастопольский государственный университет, г. Севастополь.

E-mail: yaroshenko.575@yandex.ru

Звуковые волны в морской среде, генерируемые геоакустической эмиссией (ГАЭ) в твердом грунте, несут ценную геофизическую информацию, на основании которой можно сделать кратковременные прогностические выводы относительно потенциально опасных сейсмических явлений. Геоакустическая эмиссия является следствием геодинамики твердой среды, которая проявляется в виде акустических шумов. Источниками ГАЭ могут быть микротрещины, которые в результате накопления упругих напряжений, согласно модели лавинно-неустойчивого трещинообразования, объединяются в более крупные трещины и формируют магистральный разрыв. При изучении распространения звуковых волн, вызванных ГАЭ, источники находятся в упругой среде или на его границе.

В работе приведено описание акустических волн, возникающих в жидкости, созданных источником в упругой среде. Кроме продольных волн в жидкости распространяются поверхностные и «вытекающие» волны, а также при определенных условиях существует боковая волна. Рассматриваются трёхслойные физические модели с промежуточным слоем слабо консолидированных осадков. Выводится интегральное представление акустического поля в жидкости с источником в упругом полупространстве. Исследуются корни дисперсионного уравнения. Изучается влияние параметров среды на профили мод. Приводится численно-аналитическое решение спектральной задачи для произвольного профиля скорости звука с дном в виде упругого полупространства. Рассчитаны сейсмоакустические поля давлений для переменного профиля скорости звука с источником в упругом полупространстве.

Ключевые слова: геоакустическая эмиссия, звуковые волны, поле давлений, упругое полупространство, слабоконсолидированные осадки

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНЫХ СКОРОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В СЛОЖНЫХ ВОЛНОВОДАХ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ШЕЛЬФОВОГО И ГЛУБОКОВОДНОГО УЧАСТКОВ

Моргунов Ю.Н.¹⁾, Голов А.А.¹⁾, Буренин А.В.¹⁾, Петров П.С.¹⁾

¹⁾ 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: petrov@poi.dvo.ru

Рассматривается задача определения эффективных скоростей распространения импульсных акустических сигналов в сложных волноводах, состоящих из шельфового и глубоководного участков. Показано, что при расчете эффективных скоростей для шельфового участка протяженной трассы, как правило, можно использовать группо-

вые скорости первой моды для центральной частоты импульсного сигнала. В случае оползневого характера распространения звука аналогичная оценка эффективной скорости может быть получена и в приближении геометрической акустики с использованием инвариантов Вестона. Для глубоководного участка, задавшись некоторым горизонтом приема, мы предлагаем использовать групповую скорость моды наименьшего номера, интервал вертикальной локализации которой содержит данный горизонт. Данная методика применена для анализа результатов эксперимента, проведенного в сентябре 2017 года. В данном эксперименте широкополосные фазоманипулированные импульсные сигналы излучались источником, установленном на шельфе в придонном слое (вблизи м. Шульца), и принимались на различных горизонтах в глубоководной части Японского моря. Эффективные скорости определялись в эксперименте с помощью системы единого времени и данных GPS о расстоянии между источником и приемником. Полученные в эксперименте значения эффективных скоростей на различных горизонтах сравнивались с теоретическими значениями, рассчитанными по описанной выше методике, причем для трассы общей протяженностью 198 км установлено их сходство с высокой степенью точности. Важно отметить, что эффективные скорости практически не зависят от выбора горизонта приема в диапазоне глубин от 50 до 500 метров. В работе дано качественное физическое объяснение этого результата. Разработанная методика определения эффективных скоростей на различных горизонтах может быть использована при решении задач акустической дальнометрии.

Ключевые слова: акустическая дальнометрия, импульсный сигнал, метод нормальных волн, эффект оползня

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В МЕЛКОМ МОРЕ С НАКЛОННЫМ ДНОМ В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Толченников А.А.^{1,2)}, Сергеев С.А.^{1,2)}, Петров П.С.³⁾

¹⁾ *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва;*

²⁾ *Московский Физико-Технический Институт (Государственный университет), г. Долгопрудный;*

³⁾ *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток.*

Тел.: (495)433-75-44; E-mail: tolchennikovaa@gmail.com, sergeevse1@yandex.ru, petrov@poi.dvo.ru

Рассматривается задача о распространении импульсных акустических сигналов в волноводе мелкого моря с наклонным дном в случае однородной скорости звука, а также в при наличии в водном слое выраженного термоклина. Решение задачи строится с использованием лучевой теории распространения звука и метода канонического оператора Маслова. Для обоих случаев исследована геометрия трехмерных лучей с различными углами выхода из источника, построены их проекции на горизонтальную плоскость, а также огибающие проекций семейств лучей с общим вертикальным углом выхода из источника. Известно, что в случае постоянной скорости звука в водном слое проекциями лучей на горизонтальную плоскость являются гиперболы. Нами установлено, что в случае наличия термоклина в водном слое происходит растяжение гипербол, соответствующих большим углам выхода относительно направления изобаты в горизонтальной плоскости. В обоих случаях сигналы нами рассчитаны в точках приема. Результаты расчетов сравниваются с результатами, полученными другими методами.

Ключевые слова: мелкое море, импульсный сигнал, лучевая теория, метод канонического оператора Маслова, наклонное дно

НЕОДНОРОДНОЕ ПОЛЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ДНЕ КАРСКОГО МОРЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Волков М.В.^{1,2)}, Григорьев В.А.³⁾, Луньков А.А.^{1,2)}, Петников В.Г.¹⁾

¹⁾ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, Москва;*

²⁾ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва;*

³⁾ *Воронежский государственный университет, Воронеж*

Тел.: (499 5038384); Факс: (499 5038726); E-mail: lunikov@kapella.gpi.ru

В работе проведен статистический анализ пространственных вариаций скорости звука в верхнем слое донных осадков для одного из районов Карского моря. Для анализа использовано распределение скорости звука, полученное по данным 3D-сейсморазведки. Обнаружена существенная пространственная анизотропия этой квазислучайной физической величины. Её радиус пространственной корреляции может изменяться от сотен метров до нескольких километров в зависимости от выбранного направления в горизонтальной плоскости и глубины горизонтального разреза, отсчитываемого от границы вода – дно. Рассмотрена задача о взаимодействии нормальных волн (мод) в мелководной акватории постоянной глубины на частотах до 500 Гц над участком дна с изменяющимся импедансом. Предполагалось, что изменение импеданса обусловлено вариациями профиля скорости звука в донном осадочном слое, отмеченными выше. Показано, что при типичных горизонтальных градиентах скорости звука в дне межмодовое взаимодействие оказывает слабое влияние на среднюю по глубине интенсивность звукового поля, и для определения усреднённых энергетических характеристик можно пользоваться адиабатическим приближением. В то же время это взаимодействие оказывается заметным при анализе интерференционной картины звукового поля.

Работа выполнена при частичной поддержке: РФФИ проекты № 19-02-00127 и №16-32-60194, а также программы президиума РАН № 1.7 "Актуальные проблемы фотоники, зондирование неоднородных сред и материалов".

Ключевые слова: Арктический шельф, межмодовое взаимодействие

ОСОБЕННОСТИ ДОННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ, ГЕНЕРУЕМОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ (ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

Заславский Ю.М., Заславский В.Ю.

*Институт прикладной физики Российской академии наук, Н.Новгород
Тел.: (831)4164764; Факс: (831)436597 E-mail: zaslav@appl.sci-nnov.ru*

На основе применения конечно-элементного метода выполнено $3D$ – трехмерное численное моделирование гидроакустических и поверхностных донных сейсмических волн при их возбуждении акустическим монополем, установленным в прибрежной акватории, где горизонтальное дно сменяется наклонным. Рассмотрены режимы импульсной работы и непрерывных гармонических пульсаций гидроакустического источника при различных глубинах погружения и удалении от береговой кромки вода-суша. Исследована структура и особенности распространения возбуждаемых гидро- и сейсмоакустических поверхностных рэлеевских волн в случае скальной донной породы. Построены волновые годографы, анализ которых позволяет селективировать волновые типы. Обсуждается возможность регистрации поверхностной донной волны, выходящей на сушу по береговому склону, сейсмическими приемниками. Дается сравнительная оценка ее уровня относительно гидроакустической. Полученное моделированием амплитудно-волновое пространственное распределение демонстрируется на иллюстрациях.

Ключевые слова: поверхностная донная волна, наклонное дно, $3D$ – моделирование

ФЛУКТУАЦИИ ПОДВОДНОГО ШУМА В МЕЛКОМ МОРЕ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SHALLOW WATER 2006

Кацнельсон Б.^{1,3}), Годин О.²), Qyanchu Zhang³)

*¹Воронежский университет; ²Naval Postgraduate School, Monterey; ³University of Haifa
bkatsnels@univ.haifa.ac.il*

В работе представлены результаты исследования флуктуаций шума, записанного одиночными гидрофонами (SHRU) и L-образной антенной (HVLA: 70 м вертикальная и 450 м горизонтальная части) в эксперименте Shallow Water 2006, проведенном на Атлантическом шельфе США. Область эксперимента характеризуется заметной активностью внутренних волн; в частности, примерно дважды в сутки пакеты нелинейных внутренних волн (НВВ) состоящие из нескольких (до 10-12) отдельных пиков (солитонов) с амплитудой до 10-15 м генерируются в области бровки шельфа и распространяются по направлению к берегу. В процессе своего движения указанные пакеты НВВ проходят пять одиночных гидрофонов и антенну, расположенных приблизительно вдоль линии, перпендикулярной берегу с расстояниями 5-8 км между ними. На этом участке также располагалась система термисторных цепочек, позволяющих восстановить характер движения и эволюцию формы НВВ. В работе показано, что при прохождении пакета НВВ в окрестности SHRU возникают флуктуации широкополосного шума с амплитудой на 20-40 дБ больше, чем фоновые значения. Ширина и положение максимумов на спектрограмме акустического сигнала точно соответствуют временному интервалу и положению солитонов в пакете НВВ. Проанализирована связь шума с пакетами НВВ в четырех эпизодах генерации внутренних волн с 17 по 22 августа 2006 г. Авторы связывают возникновение шума с движением частиц воды по примерно эллиптическим траекториям, сопровождающим НВВ, и, соответственно, вызывающим взмучивание осадков, частицы которых в свою очередь, генерируют шум при столкновениях. Рассмотрено изменение интенсивности и спектра шума на разных гидрофонах, в зависимости от амплитуды НВВ в данном месте.

Ключевые слова: нелинейные внутренние волны, шум в мелком море

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРАТНЫХ ГОЛОВНЫХ, ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ДНА

Максимов Г.А., Ларичев В.А.

*АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва
117036, Москва, ул. Шверника, д.4;
Тел.: +7 903 1862309; E-mail: gamaximov@mail.ru*

Интересной особенностью распространения головных (преломленных) волн, которые можно видеть на записях, регистрируемых многоэлементной донной сейсмокозой, является их многократное возбуждение. Действительно, поскольку при отражении от дна под критическим углом, коэффициент отражения равен 1, то луч вышедший под критическим углом и сформировавший в точке отражения от дна головную волну, после отражения от поверхности еще раз отразится от дна под критическим углом, сформировав еще одну головную волну, и т. д. Временные задержки между приходами кратных головных и объемных волн связаны с акустическими параметрами дна. В свою очередь времена приходов объемных кратных волн могут быть получены из геометрических параметров акустических трасс в лучевом приближении. Таким образом, для определения акустических параметров дна можно использовать времена приходов кратных головных и объемных волн.

Если одновременно условия возбуждения позволяют эффективно генерировать поверхностную волну Шолте-Стоунли, так что она регистрируется на записях многоэлементной донной сейсмокозой, то скорость ее распространения можно оценить скорость поперечных волн в морском дне. Таким образом кинематические параметры поверхностных волн Шолте-Стоунли и кратных головных и объемных волн позволяют получить полную оценку упругих параметров дна.

В докладе представлена методика определения акустических параметров морского дна основе кинематических параметров кратных головных, объемных и поверхностных волн, а также приведены результаты применения этой методики к данным, полученным с помощью мультилинейной донной антенны в Голубой бухте на морском полигоне ЮО ИО РАН.

Ключевые слова: кратные головные, объемные волны, поверхностные волны

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЗВУКА В ОТСУТСТВИИ
ИНФОРМАЦИИ О ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ВОЛНОВОДА**

Пересёлков^{1,2} С.А., Кузькин² В.М., Кузнецов² Г.Н., Ляхов² Г.А., Казначеева¹ Е.С.

¹⁾ Воронежский государственный университет; 394006 Воронеж, Университетская пл. 1

E-mail: pereselkov@yandex.ru;

²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН; 119991 Москва, ул. Вавилова 38

E-mail: kumiov@yandex.ru;

В работе проанализирована разрешающая способность голографического метода локализации источника звука по его шумовому полю. Представлены два варианта реализации метода, которые для определения координат источника не требуют знания характеристик среды распространения. Они решают проблему идентификации малозвучного источника в акваториях, в которых невозможно проведение акустической калибровки. Получена оценка максимальной дальности применимости метода, позволяющая оптимизировать обработку сигнала источника.

Под адаптацией голографического метода понимается возможность нахождения коэффициентов, определяющих пространственные и частотные масштабы изменчивости передаточной функции волновода, посредством измерения связанных с ними величин на фоне малого входного отношения с/п в отсутствие знания передаточной функции волновода. Такими измеряемыми величинами являются пеленг и частотный сдвиг интерференционных максимумов волнового поля. В работе описаны два варианта определения этих коэффициентов, реализуемые с использованием двух векторно-скалярных приемников, разнесенных на некоторое горизонтальное расстояние.

Таким образом, в работе проанализированы и продемонстрированы возможности реализации голографического метода локализации источника звука. На основе критерия Рэля сформулированы условия разрешения соседних фокальных пятен голограммы. В зависимости от передаточной функции волновода они накладывают ряд ограничений на выбор ширины полосы и время наблюдения, а также на радиальную скорость и удаленность источника, обеспечивающих применимость метода. Предложены два варианта реализации метода, не требующих информации о передаточной функции волновода. Методы реализуются на основе измерений пеленга и частотных сдвигов интерференционных максимумов между двумя разнесенными векторно-скалярными приемниками. Эти измерения, на этапе обнаружения, позволяют определять характеристики передаточной функции волновода, связывающие положения максимумов фокальных пятен с радиальной скоростью и удаленностью источника. В зависимости от входного отношения с/п, времени наблюдения и определяемой характеристики передаточной функции среды получена оценка максимальной удаленности источника, при которой сохраняется работоспособность метода. Результаты анализа проиллюстрированы числовыми оценками для низкочастотной области шумового источника, которые позволяют сформулировать требования к практическим схемам реализации метода.

Ключевые слова: звуковое поле, океанический волновод, интерференционная структура, акустическая голография, передаточная функция

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА В АКУСТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Сазонтов А.Г.¹⁾, Смирнов И.П.¹⁾

¹⁾ Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород;

Тел.: (9056688861); Факс: (4365745); E-mail: sazontov@ifpran.ru

В настоящей работе построен адаптивный модовый алгоритм, позволяющий локализовать источник с использованием горизонтальной антенной решетки (АР), работающей в условиях неполной информации о среде распространения. Предложенный метод оценивания аналогичен алгоритму пониженного ранга, используемому в технике частично калиброванных АР, в котором роль числа подрешеток играет число мод, а вектор амплитудно-фазовой калибровки соответствующих подрешеток заменяется модовым вектором. Важно подчеркнуть, что целевая функция алгоритма не содержит информации о координатах источников, и следовательно, предложенный способ позволяет определить направления источников без знания их местоположения.

Представлены результаты статистического моделирования, демонстрирующие вероятности правильной локализации источника в зависимости от входного отношения сигнал/шум. Показано, что указанный алгоритм характеризуется достаточно высокой разрешающей способностью и обеспечивает приемлемое качество локализации источника без использования трудоемкой процедуры одновременного поиска как искомым координат, так и неизвестных параметров волновода. Установлено, что обработка в модовом пространстве обеспечивает большую устойчивость метода к детерминированному рассогласованию, обусловленному неточным знанием геоакустических характеристик донных осадков, по сравнению с традиционной обработкой в пространстве элементов АР.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В МЕЛКОМ ПРЕСНОМ ВОДОЕМЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ШУМОВОГО ИСТОЧНИКАГончаренко Б.И.¹⁾, Медведева Е.В.¹⁾, Шуруп А.С.^{1), 2), 3)}¹⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики, Москва;²⁾ Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Москва;³⁾ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва.

Тел.: 495 9393081; Факс: 495 9328820; E-mail: shurup@physics.msu.ru

Приводятся результаты натурных измерений векторно-фазовой структуры акустического поля на гидроакустическом полигоне МГУ имени М.В. Ломоносова в акватории Клязьминского водохранилища. Для регистрации звукового давления и трех взаимно ортогональных составляющих колебательной скорости использовались две разнесенные в пространстве автономные донные станции, содержащие векторные приемники и приемники звукового давления. Источником шумового сигнала являлось судно, проходящее вблизи точек расположения станций. Приводятся результаты оценки пеленга на движущийся шумовой источник на основе различных алгоритмов обработки экспериментальных данных. Полученные результаты позволили рассчитать зависимости спада относительных уровней различных составляющих звукового поля от расстояния до источника. Анализ экспериментальных данных показывает, что характер убывания звукового давления и трех взаимно ортогональных составляющих колебательной скорости сигнала различный, что указывает на возможность использования этих данных в качестве исходных для решения обратной задачи восстановления характеристик волновода. Например, наблюдаемое существенное поглощение скалярно-векторных характеристик звукового поля может определяться параметрами газонасыщенного слоя, присутствующего в приповерхностном слое осадков Клязьминского водохранилища. В свою очередь, использование синхронизованных записей с двух донных станций позволило получить результаты, направленные на изучение пространственных корреляционных характеристик векторно-фазовой структуры шумового поля для целей пассивной томографии. Основным преимуществом пассивных методов томографического исследования акваторий является снижение требований на практическую сторону проведения натурного эксперимента – не требуется использование дорогостоящего низкочастотного источника, специальным образом размещаемого в исследуемой области. Вместо этого, информация о среде извлекается из шумового поля, присутствующего в акватории. Основным недостатком пассивных томографических методов является существенное время накопления шума при его корреляционной обработке. Полученные в работе результаты демонстрируют преимущества использования векторно-фазовых методов регистрации и обработки акустических полей в задачах пассивной томографии при учете пространственной анизотропии шумового поля, что позволяет уменьшить требуемое время накопления шума по сравнению с ненаправленным приемом.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-29-02097 офи_м.

Ключевые слова: векторно-фазовые методы, пеленгование источника, пространственное убывание звука, пассивная томография**ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ГРЕНЛАНДСКИХ КИТОВ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ**Григорьев В.А.¹⁾, Луньков А.А.^{2), 3)}, Петников В.Г.²⁾, Шатравин А.В.⁴⁾¹⁾ Воронежский государственный университет, Воронеж²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, Москва³⁾ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва⁴⁾ Институт Океанологии им. П.П. Шириова Российской Академии Наук, Москва

Тел.: (+7 950 7517782); Факс: (+7 473 2208755); E-mail: grig 4@yandex . ru

В рамках численного моделирования исследовано распространение сигналов, излучаемых гренландскими китами, в мелководном волноводе, характерном для арктического шельфа России. Для моделирования использовались записи сигналов, зарегистрированные в натурных экспериментах.

Анализировалась степень затухания и вариации характеристик сигналов с ростом расстояния до 5 км в условиях: 1) мягкого и жесткого дна, 2) различной глубины погружения кита, 3) поверхностного волнения, 4) аддитивных шумов, 5) приема на одиночный гидрофон и вертикальную антенну. Одной из основных анализируемых характеристик выбиралась спектрограмма сигнала, обычно используемая на практике для идентификации китов указанного вида. Вариации спектрограммы оценивались по изменению с расстоянием коэффициента её корреляции со сформированной эталонной спектрограммой.

Показано, что при использовании вертикальной приемной антенны закономерности в затухании сигналов и в изменениях их спектрограмм более стабильны и устойчивы по отношению к приему на одиночный гидрофон. Имеется ввиду стабильность и устойчивость к изменениям глубины кита и к возможным в условиях Арктики значительным перепадам скорости звука в дне, а также к воздействию аддитивных шумов. Полученные результаты могут быть использованы для пассивного акустического мониторинга гренландских китов на арктическом шельфе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 16-32-60194, № 16-29-02036, а также программы президиума РАН № I.7 "Актуальные проблемы фотоники, зондирование неоднородных сред и материалов".

Ключевые слова: акустический мониторинг гренландских китов, арктический шельф

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ СЛАБОГО ИСТОЧНИКА ЗВУКА В ЗОНЕ ТЕНИ В ГЛУБОКОМ МОРЕ

Аксенов С.П., Кузнецов Г.Н.

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва.
Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru*

Обнаружение слабых источников при умеренных помехах достаточно эффективно выполняется, если источник расположен в ближней зоне освещенности (БЗО) или в первой дальней зоне освещенности (ДЗО). Но в глубоком море протяженность БЗО не более нескольких километров – далее формируется зона тени. Как следствие, отношение сигнал/помеха (ОСП) резко убывает и эффективность обнаружения снижается.

Установлено, что голографическая обработка на основе двухэтапного анализа может применяться для обнаружения слабых сигналов и в зоне тени. На первом этапе формируется скрытая помехой двумерная интерферограмма, на втором – в результате применения двумерного преобразования Фурье звуковая энергия фокусируется и ОСП (и дальность обнаружения) увеличиваются более чем на порядок. Следовательно, возможность применения этого метода определяется наличием или отсутствием двумерной интерферограммы.

Расчет интерферограмм выполнен в модовом ВКБ-приближении для одного из глубоководных (3 км) районов Норвежского моря при вертикальном распределении скорости звука, характерном для августа. Показано, что группы однотипных вытекающих, захваченных и водных мод формируют устойчивые интерференционные структуры, которые различаются, но могут использоваться для формирования голограмм. В зонах тени вблизи БЗО и вблизи первой ДЗО интерферограммы образованы группами вытекающих и захваченных мод. При размещении источника в ДЗО интерферируют преимущественно водные моды. Отметим различие наклонов интерферограмм в частотно-пространственной области и, соответственно, динамических инвариантов.

Учет вытекающих и захваченных донных мод приводит из-за интерференции к появлению в зонах тени достаточно больших максимумов поля, ненамного меньших максимумов в зоне ДЗО. Энергия этих максимумов поля, сформированных при движении источника вытекающими или захваченными донными модами, определяется их когерентностью. Это обосновывает возможность применения голографических методов обнаружения и сопровождения слабого источника звука и в зоне тени.

Ключевые слова: обнаружение, вертикальная стратификация, глубокое море, зона тени, голографические методы

К ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ОКЕАНА

Семенов А.Г.

*АО «Акустический институт им. Академика Н.Н. Андреева»
117036 Москва, ул. Шверника, д.4,
Телефон: +79164952849; E-mail: asemen182@rambler.ru*

Рассматриваются простейшие методы акустической томографии океана, основанные на регистрации сигналов в спектре огибающей полей естественных или искусственных источников звука, наблюдаемых при пересечении трассы приемник – источник движущимися неоднородностями. Отмечается, что природа сигналов определяется взаимодействием зондирующего акустического поля с телом неоднородности, а также с окружающей водной средой, вовлекаемой в движение. Актуальность работы обосновывается необходимостью уточнения физических пределов использования метода при зондировании различного рода неоднородностей на протяженных трассах. Обсуждаются также пути совершенствования методов наблюдения некоторых типов неоднородностей (локализованных вихрей, морских млекопитающих, кораблей, подводных объектов и т.п.) и даются соответствующие оценки.

В отношении исследованного в последние годы в ряде работ, в том числе работ автора, метода томографии океана, использующего низкочастотную модуляцию поля искусственного источника звука, вызываемую дифракцией звука на теле неоднородности, настоящая работа ограничивается только двумя аспектами. Первый из них – сравнение физических возможностей (дальностей, оптимальных частот и т.п.) такого простейшего метода с возможностями классического метода эхо - локации в условиях глубоководного океана и некоторых мелководных районов. Второй - оценка возможности реализации метода для значительных дальностей в мелководных районах с использованием остронаправленного параметрического излучения, основанного на нелинейном преобразовании частоты высокочастотного сигнала накачки.

Более подробно обсуждаются дополнительные возможности метода, основанного на наблюдении модуляции звуковых полей естественных и искусственных источников, возникающей за счет гидродинамического и волнового движения водной среды в слое океана, вызванного неоднородностью. Эта модуляция, имеющая гидродинамическую природу, связывается с «гидродинамическим» сигналом, наблюдаемым в огибающей звукового поля, в отличие от «дифракционного» сигнала, связанного с рассеянием звука телом неоднородности. Экспериментальные данные и теоретические оценки свидетельствуют о значительном расширении возможностей метода, если при его использовании обеспечивается наблюдение совокупности «гидродинамической» и «дифракционной» компонент сигнала, по сравнению с его возможностями при наблюдении лишь «дифракционной» компоненты. Однако даже и этот простейший метод томографии, в большинстве условий мелководных районов (на дальностях до 300 км) и в глубоководных районах, имеет заметные преимущества перед классическим методом эхо – гидролокации неоднородностей.

РАССЕЯНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ ОТ СИСТЕМЫ ШЕРОХОВАТЫХ СЛОЕВ

Клячин Б.И.

Московский государственный психолого-педагогический университет. Москва.

Тел.: (89096406609; E-mail: klboris@rambler.ru

Рассматривается слоистая среда с шероховатыми границами между жидкими параллельными слоями. (Внутри отдельного слоя акустические параметры не меняются.)

Из однородного полупространства на эту систему слоев падает плоская звуковая волна. Задача решается в два этапа. На первом этапе вычисляется когерентное звуковое поле, возникающее при многократном отражении и преломлении на системе слоев. На втором этапе вычисляется некогерентное поле, возникающее при многократном рассеянии на шероховатостях. Это некогерентное поле, естественно, так же испытывает многократное отражение и преломление на границах слоев.

На обоих этапах используется метод самосогласованного поля, который основан на однородности поля в направлении вдоль системы параллельных слоев.

Первый этап - вычисление когерентного поля - хорошо изучен.

Второй этап – вычисление некогерентного поля - оригинален. Здесь (на втором этапе) используется теория переноса излучения. Применение этой теории приводит к выводу системы интегральных уравнений для лучевой интенсивности некогерентного поля. (Лучевая интенсивность – плотность потока мощности звукового поля на единичную площадку и в единичный телесный угол.)

В рамках простых предположений о шероховатостях между слоями получается решение задачи. Вычисляется отраженное, преломленное и рассеянное поле всей системой слоев. Анализируется так же и поле внутри слоев.

Когерентное поле остается когерентным в результате отражений и преломлений (в том числе и многократных). Когерентное поле переходит в некогерентное в результате рассеяния (даже однократного). Некогерентное поле всегда остается некогерентным.

Ключевые слова: многократное отражение, преломление, рассеяние звука; теория переноса излучения; когерентное и некогерентное поле

МУЛЬТИСТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОКЕАНА ЧАСТИЧНО-КОГЕРЕНТНЫМИ ВОЛНОВОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Смирнов И.П., Сидоров К.А., Хилько А.И.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;

Тел.: (9103872204); Факс: (8314367690); E-mail: a.khil@appl.sci-nnov.ru

Анализируются возможности мультистатического высокочастотного (ВЧ) акустического наблюдения в случайно-неоднородном океане при использовании направленных частично-когерентных импульсов. Показано, что интерференционные компоненты коэффициентов когерентности отдельных волноводных структур по разному ослабляются по мере усиления случайных флуктуаций среды. Получены оценки продольных горизонтальных масштабов когерентности волноводных компонент ВЧ поля. Установлено, что вертикальный масштаб области когерентности ВЧ поля зависит от формы фронтов волн рефракции, которые, в свою очередь, определяются профилем показателя преломления волновода и положением источника звука в нем. Показано, что эффективность мультистатического ВЧ акустического наблюдения может быть повышена при селекции отдельных волноводных компонент путем временного стробирования, а также использованием вертикально ориентированных излучающих и приемных решеток.

Ключевые слова: зондирование океана, мультистатическое наблюдение, решетка когерентных излучателей, когерентность, флуктуации

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОВОДНОГО ВОЛНОВОДА НА ТОЧНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ТОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Кержаков Б.В., Кулинич В.В.

ИПФ РАН, Нижний Новгород;

Тел.: (8312- 436-57-45); Факс: (8312- 436-57-45); E-mail: (kul@appl.sci-nnov.ru)

Представлены результаты исследования влияния геоакустических характеристик волновода (донных осадков и гидрологии) на точность восстановления координат точечного источника тональных сигналов в зависимости от глубины и дальности в регулярном мелководном волноводе. В качестве контролируемой величины при оценках точности определения координат задается целевая функция, строящаяся на основе использования разностей вертикальных угловых спектров звукового поля источника излучения в опорном волноводе и угловых вертикальных спектров расчетных моделей волноводов при вариации величин рассогласования вертикального распределения скорости звука в водном слое и геоакустических параметров донных осадков относительно опорного волновода. Опорный волновод характеризуется водным слоем и двухслойным жидким дном с подстилающим полупространством с заданными акустическими характеристиками осадков и мощностью слоев. Оценка глубины и дальности источника сигналов производилась на основе минимизации целевой функции методом быстрого отжига в сочетании с методом прямого поиска Хука-Дживса.

Приводятся оценки ошибок определения координат источника как при совместном рассогласовании гидрологии и геоакустических характеристик дна волновода, так и при их раздельном рассогласовании. При этом, выбор донных параметров расчетных моделей волноводов проводился путем случайного их перебора с равномерным распределением в заданных областях. Вертикальное распределение скорости звука в водном слое варьировалось в соответствии с возможными гидродинамическими возмущениями водной среды в мелководных районах.

Сравнительные оценки приводятся для двух типов гидрологии с положительной и с отрицательной рефракцией звуковых волн на различных дистанциях и глубинах расположения источника в канале. Одновременно с этим рассматривается возможность уменьшения влияния дна путем фильтрации волноводных мод

Ключевые слова: волновод, угловой спектр, координаты источника

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА В ВЕРХ- НЕМ СЛОЕ МОРЯ

Буланов В.А., Стороженко А.В.

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток.
Тел.: 423 2374913; Факс: 423 2312573; E-mail: bulanov@poi.dvo.ru; storozhenko_and@mail.ru*

Акустическое зондирование на основе обратного рассеяния звука позволяет изучать мелкомасштабную структуру морской среды и ее изменчивость, связанную с турбулентными образованиями, проявлением внутренних волн, наличием пузырьков, твердых взвесей, а также планктона и других биологических объектов. Наиболее изменчивым слоем водной толщи океана является верхний слой и для этого слоя характерно сосредоточение биоресурсов и наличие интенсивных динамических процессов, существенно влияющих на распределение практически всех биологических объектов. Данные о рассеянии звука имеются для сравнительно низких и средних частот звука, которые в основном использовались в рыбопоисковой технологии. Информация о величине и природе высокочастотного рассеяния более скудна. Большую роль в рассеянии высокочастотного звука играют планктонные сообщества и в первую очередь с позиции иерархии сечения рассеяния звука одиночным объектом выступает особь зоопланктона. Фитопланктон рассеивает звук существенно слабее, однако наличие его в больших количествах порой создает конкуренцию зоопланктону в рассеянии звука на высоких частотах. Наличие флуктуаций гидрофизических параметров среды за счет турбулентности и других механизмов также приводит к усилению рассеяния звука на высоких частотах. Цель работы – решение практического вопроса оценки распределения биомассы в деятельном слое моря по данным о рассеянии звука. Представлены результаты исследований рассеяния звука в верхнем слое дальневосточных морей России, с помощью которых определена изменчивость гидрофизических характеристик морской воды и исследована динамика биомассы в приповерхностном слое моря при различных условиях. Измерения коэффициентов рассеяния звука в приповерхностном слое моря проводились на различных трассах на ходу судна и на отдельных станциях на высоких частотах от 100 до 250 кГц, хотя в шельфовых районах иногда использовали частоты до 650 кГц. Исследования проводились в различные годы с 2004 г. по 2018 г. в Японском и Охотском морях и в 2013 г. в морях восточной Арктики. Были получены многочисленные данные о рассеянии звука в верхнем слое моря в различные сезоны года.

Ключевые слова: рассеяние звука, планктон, мелкомасштабная структура

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДОННОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ И ВЛИЯНИЮ БАТИ- МЕТРИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ НА АЗИМУТАЛЬНЫЕ УГЛЫ ПРИХОДА СИГНАЛОВ.

Есипов И.Б.¹, Кенигсбергер Г.В.², Попов О.Е.³, Поддубняк В.Я.¹, Михеев В. И.²

*¹Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева», Москва
²Институт Экологии АН Абхазии, Сухуми; ³Институт физики атмосферы РАН, Москва
E-mail: igor.esipov@mail.ru*

Рассмотрены результаты экспериментальных работ на акватории Чёрного моря по измерению характеристик донной реверберации при расположении излучателя и приёмной системы на расстоянии от 80 до 1600м от береговой

черты при глубине места от 13 до 36м. Излучались импульсы различной длительности с линейной частотной модуляцией и тональные в диапазоне частот 1500-15000Гц. Методом измерения задержек приходов сигналов на три приёмника вычислялись азимутальные углы и углы места для отражений от дна. По времени распространения сигнала определялись расстояния. В результате было показано, что точки наиболее мощных отражений в основном соответствуют диапазону глубин от 5м до береговой черты в интервале азимутальных углов до 150 градусов. Для разнесённых точек излучения и приёма были проведены оценки изменения азимутальных углов прихода прямых сигналов из-за влияния батиметрической рефракции. Работа выполнена при поддержке РФФИ 19-52-40004 и 16-29-02003.

Ключевые слова: донная реверберация, батиметрическая рефракция, азимуты прихода сигналов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ

Буренин А.В., Голов А.А., Моргунюв Ю.Н.

¹⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
690041 Владивосток, ул. Балтийская 43
Тел.: (423-2)311-613; Факс: (423-2)312-600
E-mail: alex;

В работе обсуждаются результаты экспериментального исследования пространственной структуры векторно-скалярного звукового поля, сформированного при буксировке тонального низкочастотного излучателя на шельфе Японского моря. Методически эксперимент обеспечивался буксировкой на глубине 20 метров источника тонального сигнала с частотой 134 Гц на различных акустических трассах с удалением до 10 км от комбинированной приемной системы, состоящей из приемников звукового давления и трех ортогональных компонент векторно-скалярного поля. Особое внимание уделялось исследованию интерференционной структуры скалярных и векторных полей с обеспечением технической и методической достоверности результатов экспериментов в контролируемых гидрологических условиях. Обсуждаются количественные характеристики и особенности формирования интерференции на различных по глубине трассах. Наибольший интерес представляют результаты сравнения горизонтальных и вертикальных составляющих векторно-скалярных полей, которые позволили выявить на некоторых трассах наличие “завихренностей” акустического поля источника, которые обусловили значительные по величине (сотни метров) смещений минимумов и максимумов сигналов в каналах РХУ относительно канала Z. Анализируется возможность практического применения результатов исследований.

Ключевые слова: интерференция, буксируемый низкочастотный излучатель, комбинированный приемник, векторно-скалярные звуковые поля, мелкое море

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН

¹Чупин В.А., ¹Будрин С.С., ¹Долгих Г.И., ²Щербатюк А.Ф.

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток
²Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток
Тел.: +79147908143; Факс: +74232312573; E-mail: chupin@poi.dvo.ru

На основе применения берегового лазерного деформографа и автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА), оснащённого мобильной гидроакустической приёмной системой, состоящей из гидрофона 8104 фирмы Briel & Kjaer, аналого-цифрового преобразователя, системы записи и хранения данных, изучены особенности распределения гидроакустического поля, создаваемого низкочастотным гидроакустическим излучателем на частоте 33 Гц, по шельфу убывающей глубины с определением зон наиболее эффективной трансформации гидроакустической энергии в сейсмоакустическую энергию. При обработке синхронных экспериментальных данных лазерного деформографа и АНПА определена доля гидроакустической энергии, уносимая в земную кору и литосферу в виде поверхностных и объёмных волн, изучены особенности влияния поверхностных морских волн и более низкочастотных гидросферных процессов на пространственно-временные амплитудно-фазовые вариации гидроакустического поля, создаваемого низкочастотным гидроакустическим излучателем.

Ключевые слова: гидроакустическое поле, шельф, автономный необитаемый подводный аппарат, гидроакустический излучатель

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭХОСИГНАЛОВ ОТ ДНА НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

Львов К.П.

АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург;
Тел.: +7-911-2734751; E-mail: k.lwow@mail.ru

Приведены экспериментальные оценки коэффициентов авто и взаимной пространственно-временной корреляции и изолиний синхронных «срезов» поля плоской горизонтальной приемной многоэлементной антенной решетки (АР) при нормальном падении тонально-импульсных сигналов излучающей АР на дно. АР были установлены в плоскости днища движущегося судна. Район плавания - Лофотенская котловина, представляющая собой понижение в рельефе дна с максимальной глубиной более 3000 м. В ходе эксперимента эхосигналы на несущей частоте 25 кГц усиливались, выделялись низкочастотные квадратурные составляющие, синхронно оцифровались с частотой дискретизации 5 кГц и записывались в файлы для последующей лабораторной обработки. Выделение амплитуды (огибающей) эхосигналов, получение оценок коэффициентов пространственно-временной корреляции производилось в среде MATLAB. Значения радиуса горизонтальной корреляции определялись через произведение временного интервала корреляции и скорости судна. По спаду в e раз коэффициента пространственной автокорреляции синхронного «среза» поля по взаимно перпендикулярным направлениям также оценивались радиусы горизонтальной корреляции и изотропность. Произведено сравнение с известными, общедоступными оценками из экспериментальных работ Акустического института для других районов Мирового океана.

Ключевые слова: корреляция, огибающая, плоская антенная решетка, радиус корреляции, изотропность

ADCP – МОЩНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ОКЕАНОЛОГИИ
Серебряный А.Н.^{1,2)}

¹⁾ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;*

²⁾ *АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва.*

Тел.: (+7916 1106453); Факс: (84991245983); E-mail: (serebryany@hotmail.com)

Акустическая океанология – наука об исследовании океана с помощью акустических измерений, появившаяся с изобретением эхолота, продолжает активно развиваться в наше время. В начале 80-х годов появились акустические доплеровские профилометры течений (ADCP). Эти приборы осуществляют измерения течений морской среды акустическим методом, успешно заменяя традиционные контактные измерители течений. В представленном докладе будет показано, что ADCP, разработанный как измеритель течений, на самом деле имеет намного более широкий спектр функций, что делает его мощным многопрофильным инструментом современной акустической океанологии. В сочетании с мониторингом фонового течения ADCP одновременно измеряет интенсивность обратно рассеянного сигнала, что позволяет контролировать и изучать разнообразные процессы в водной толще. Возможности прибора будут продемонстрированы на основе проведенного нами 15-летнего цикла исследований с использованием ADCP “Rio Grande 600 kHz” в шельфовых зонах российских морей.

ADCP как измеритель течений в штатном режиме позволяет регистрировать временную изменчивость течений (трех компонентов-двух горизонтальных и вертикальную) по толщине водного столба в режиме «заякоренных» измерений в одной точке акватории или со стационарных платформ. При проведении пространственных съемок с судна измеряется пространственная 3-мерная структура течений, а также распределение коэффициента обратного акустического рассеяния. В местах впадения в море больших рек пространственная съемка с ADCP позволяет собрать подробную информацию о динамике пломов распресненных вод. С помощью специальной пространственной съемки удастся измерять параметры, а также исследовать динамику субмезомасштабных вихрей на шельфе. Использование ADCP полезно при проведении подспутниковых морских экспериментов, поскольку позволяет связать особенности, проявляющиеся на поверхности моря с их вызывающими течениями. ADCP позволяет существенно продвинуться в экспериментальном изучении внутренних волн, как в вопросах их генерации, так и различных важных эффектов, сопровождающих внутренние волны. ADCP возможно использовать для решения задач морской геологии и морской биологии для измерения концентрации взвешенного вещества и распределения планктона в морской толще, а также для экологического мониторинга моря. ADCP также может служить регистратором различных аномальных явлений в море.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0011).

Ключевые слова: ADCP, обратное рассеяние, течение, внутренние волны, вихри

**ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ПРОДОЛЬНО-ИЗГИБНОГО ТИПА СО СЛОЖНОЙ ФОРМОЙ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ**
Бритенков А.К., Боголюбов Б.Н., Фарфель В.А.

Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород

Тел.: +7910-7942673; Факс: +7831-4160630; E-mail: britenkov@ipfran.ru

Современный гидроакустический преобразователь представляет собой технически сложное устройство, являющиеся совокупностью механических и электрических цепей, в котором происходит преобразование электрической энергии сигнала в механические колебания окружающей среды. Особую сложность при расчетах и в производстве имеют компактные гидроакустические преобразователи (размером корпуса менее 60 см) ввиду прямой зависимости КПД излучателя и его рабочей частоты от его волнового размера, что в значительной степени определяется габаритами преобразователя и в меньшей – его конструктивным устройством. Наибольшую эффективность и технологичность изготовления имеют преобразователи продольно-изгибного типа с пьезоэлектрическими активными элементами, использующими принцип механического трансформатора, нагруженного на активно-реактивную нагрузку. Проблемой традиционных преобразователей продольно-изгибного типа является герметизация щелей, выполняемых для снижения рабочей частоты, которая определяется поперечной жесткостью корпуса. Альтернативным способом снижения поперечной жесткости корпуса является волнообразное гофрирование излучающего элемента, что снимает проблемы герметизации, увеличивает эффективную площадь излучения при одинаковых габаритных размерах преобразователя и увеличивает чувствительность излучателя.

Разработанный гидроакустический излучатель с корпусом из титанового сплава Ti-6Al-4V, имеет основной резонанс в воздухе на частоте 4 кГц, в воде на частоте около 1,7 кГц. Такой излучатель на базе пьезокерамического активного элемента из 8 колец ЦТБС-3 [3] 36×14×8 мм, имеет чувствительность на резонансной частоте до 1 Па×м/В, при ширине полосы 25 %, КПД до 26 %. Ресурсные испытания в количестве более 10¹⁰ циклов подтверждают устойчивость излучателя к циклическим нагрузкам. Подобный компактный излучатель может найти применение для малогабаритных и миниатюрных гидроакустических систем, модемов, устройств управления в диапазоне частот от 1,6-2,5 кГц и до 12-18 кГц.

Ключевые слова: гидроакустический излучатель, пьезоэлектрический преобразователь продольно-изгибного типа, гидроакустическая система, электроакустические характеристики излучателя, звуковое поле

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Дмитриев К.В.¹⁾

¹⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва;
Тел. (495) 939-3081, E-mail: kdmtrie@aesc.msu.ru

Возросший интерес к исследованию мелководных водоемов ставит задачу разработки малогабаритных и дешевых автономных комплексов, состоящих из гидроакустических антенн с несколькими приемными гидрофонами и синхронизированных между собой по времени регистраторов, осуществляющих оцифровку, предварительную обработку и запись сигналов. Несколько таких комплексов образуют единую систему, которая может быть использована для решения томографических задач как активного, так и пассивного типа.

При разработке регистраторов учитывался ряд факторов, возникающих из-за особенностей поставленной задачи. Во-первых, низкое энергопотребление и, одновременно, возможность хранения большого объема данных. Это обеспечивает возможность проведения автономных измерений в течение продолжительного времени (от 3 суток), что особенно важно в пассивных схемах томографии. Во-вторых, синхронизация всех модулей по времени. Она достигается как за счет приема GPS сигнала, так и путем применения в каждом модуле калиброванных и термокомпенсированных часов реального времени. В-третьих, требуется большое число приемных каналов АЦП с большим динамическим диапазоном. Разработанные модули могут содержать от 1 до 16 независимых каналов АЦП с разрешением 24 бита. Уменьшение числа каналов позволяет снизить тактовую частоту и уменьшить энергопотребление устройства. В-четвертых, возможно проведение измерений в режиме накопления спектра шумовых источников. Это позволяет существенно уменьшить объем хранимых данных.

Описанная система была создана и испытана в условиях водоемов Московской области и Арктики. Она включала в себя 6 автономных комплексов с антеннами, содержащими по 4 гидрофона. Получены первые результаты обработки записанных данных в активном и пассивном режимах.

Ключевые слова: акустика океана, акустическая томография, шумовая интерферометрия, гидроакустическая антенна, регистратор сигналов

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ЛЧМ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА В МЕЛКОМ МОРЕ

Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
Россия, 141190 Московская обл., г. Фрязино, пл. акад. Б.А. Введенского д.1
Тел.: 8(916)590-05-77; E-mail: kvi43@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований амплитудных и фазовых характеристик сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) в интерферометрической системе позиционирования подводного аппарата (ПА). Сигналы с ЛЧМ применяются в системах позиционирования для увеличения энергетики и помехозащищенности. Исследования проведены в мелководном водоеме в условиях многолучевого распространения сигналов маяка –ответчика на ПА к антеннам интерферометра. Высокоточные измерения дальности до маяка обеспечиваются широкой полосой девиации ЛЧМ сигнала и оптимальной обработкой, а угла – размером базы интерферометра. Увеличение точности угловых измерений в системах позиционирования достигается фазоразностными вычислениями сигналов с антенн интерферометра. Поскольку для обеспечения высокой энергетики база ЛЧМ сигнала достигается большой длительностью, то интерферометром принимаются и сигналы рассеянные дном и водной поверхностью, искажающие и зашумляющие интерференционную картину. Анализ экспериментальных распределений модуля мощности сигналов, принимаемых антеннами интерферометра, выявил присутствие отражений от дна и поверхности воды, при этом фазы принятых сигналов носят не случайный характер, а характерную структуру. Проведено математическое моделирование распространения сигналов с ЛЧМ в мелком водоеме, позволяющее объяснить фазовую структуру сигналов, принятых антеннами интерферометра. Сравнение результатов моделирования и экспериментальных измерений подтвердило когерентность сигналов маяка и зеркальных отражений от поверхности дна и воды, что определяет неслучайное поведение фазы сигналов, принятых интерферометром. При этом выявлена связь изменений фазограмм с изменениями глубины водоема в точке зеркального отражения. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение при планировании исследований в мелком море и при проектировании систем подводной навигации, локации и связи.

Ключевые слова: гидроакустические системы, ЛЧМ сигналы, корреляционная обработка сигналов, позиционирование подводного аппарата, мелкое море

**ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРИЕМНЫЕ АНТЕННЫ
ДЛЯ ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ**

Волков М.В.^{1,3)}, Григорьев В.А.²⁾, Луньков А.А.^{1,3)}, Петников В.Г.¹⁾

¹⁾Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, Москва

²⁾Воронежский государственный университет, Воронеж

³⁾Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

Тел.: (499 5038777 доб. 384); Факс: (499 503 8726); E-mail: petniko@kapella.gpi.ru

Проанализированы методики звукоподводной связи (ЗПС), основанные на использовании вертикальных приемных антенн и ориентированные для применения на арктическом шельфе России. В частности, рассмотрены методика, использующая селекцию нормальных волн (мод) мелководного акустического волновода и методика, основанная на обращении волнового фронта акустических волн. Численное моделирование для волновода со взволнованной верхней границей и с границей, в виде ледового покрова, показало, что вертикальные антенны обеспечивают устойчивый прием при шуме на 15 дБ больше, чем в случае применения точечного одиночного приемника. Расстояние между корреспондирующими точками при этом составляло 5 км. Учитывался анизотропный в вертикальной плоскости шум, связанный с развитым поверхностным волнением. Продемонстрировано, что обе из перечисленных выше методик обеспечивают примерно одинаковое качество приема информации и имеют одинаковое преимущество по сравнению с одиночным приемником в случае, когда антенны перегораживают большую часть волновода. Рекомендован диапазон частот 600-900 Гц как наиболее удобный для ЗПС на арктическом шельфе при дальности передачи в несколько километров. В этом диапазоне частот качество связи слабо зависит от свойств морского дна и характеристик морской поверхности, что становится важным, когда эти свойства априори не известны.

Работа выполнена при частичной поддержке: РФФИ проекты № 19-02-00127 и №16-32-60194, а также программы президиума РАН № 1.7 "Актуальные проблемы фотоники, зондирование неоднородных сред и материалов".

Ключевые слова: пространственная обработка гидроакустических сигналов, звукоподводная связь

**АВТОНОМНАЯ СЕКЦИОННАЯ ДОННАЯ СЕЙСМОКОСА ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ
НА ШЕЛЬФЕ**

**Максимов Г.А., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Денисов Д.М., Волков А.Ю., Коновалов В.Н.,
Корольков З.А., Григорьев А.Г.**

АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва

Тел.: 903 1862309; E-mail: gamaximov@mail.ru

Освоение месторождений углеводородов на шельфе России является одним из основных перспективных источников восполнения их запасов. При разведке, обустройстве и эксплуатации шельфовых месторождений широко применяются сейсмические исследования, в настоящее время не имеющие альтернативы по точности результатов и производительности работ данными методами.

В морской сейсморазведке и мониторинге шельфовых месторождений находят применение различные технологии, в том числе сейсморазведка с использованием гибких протяженных буксируемых сейсмокос и донных сейсмических станций. Однако более детальную сейсморазведку и, особенно, мониторинг шельфовых месторождений и исследование транзитных зон, целесообразнее осуществлять с помощью распределенных донных сейсмических кос в кабельном исполнении (как автономном для относительно глубоководных зон, так и со связью с пунктом сбора и обработки информации при работах на мелководье, находящемся на берегу или на одном из вспомогательных плавсредств или судов).

В докладе представлены технические характеристики и результаты морских натурных испытаний автономной секционной донной сейсмокосы (АСДС), разработанной в Акустическом институте для детальной сейсморазведки в шельфовой зоне на глубинах до 200 м и в мелководной транзитной зоне.

АСДС представляет собой линейную кабельную антенну, состоящую из 30 секций, общей длиной 6 км, которая подключена к радиобуе. Радиобуй содержит систему автономного электропитания в виде аккумуляторной батареи и дизельного генератора, модуль сбора и хранения сейсмической информации, блок GPS синхронизации по глобальному времени, радиоканал управления и wi-fi канал передачи данных. В кабельной секции сейсмокосы длиной 200 м через каждые 12.5 м расположены 16 цифровых пятикомпонентных (5С) датчиков. Каждый датчик содержит 3 геофона + 2 гидрофона с блоком электроники, а также трехкомпонентный акселерометр и трехкомпонентный компас. Рабочий диапазон сейсмокосы лежит в интервале от 3 до 300 Гц, при этом частота дискретизации может меняться от 0.5 до 4 кГц. Наличие двух гидрофонов и возможность регистрации ультразвука на частоте 30 кГц позволяют проводить как индивидуальное акустическое позиционирование каждого датчика, так и определять его пространственную ориентацию не только по данным акселерометра и компаса, но и акустическим способом.

Ключевые слова: донная сейсмокоса, шельф, сейсморазведка

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (АО) - 07.10.2019 с 16.20 до 18.00; 08.10.2019 с 16.20 до 18.00

**РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ВОЛНОВОДА
ДЛЯ МЕЛКОГО И ГЛУБОКОГО МОРЯ В МОДОВОМ ВКБ-ПРИБЛИЖЕНИИ**

Аксенов С.П.

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва.
Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru*

Для решения целого ряда прикладных гидроакустических задач необходимы вычислительные программы, обладающие высокой производительностью и точностью описания.

Предлагается использовать для расчета передаточной функции волновода (ПФВ) модифицированную программу, построенную в модовом ВКБ-приближении (МВКБП), позволяющем быстро и достаточно точно вычислять ПФВ волновода с учетом большого количества (до десяти тысяч) мод, в том числе в неоднородном волноводе.

Разработанная программа представляет собой реализацию метода МВКБП, доработанного в следующих аспектах:

- вертикальный разрез скорости звука (ВРСЗ) может быть произвольным (в классическом МВКБП допустим лишь один тип ВРСЗ);
- при вычислении продольных волновых чисел мод и собственных функций волновода (СФВ) учитываются модуль и фаза коэффициента отражения плоской волны от границы раздела вода-дно, потери в дне и на взволнованной поверхности моря;
- при вычислении СФВ вблизи точек заворота бриллюэновских лучей и вблизи поверхности моря используются первая и вторая функции Эйри;
- в сумму мод входят не только водные и захваченные донные моды, но и вытекающие донные моды, определяющие основной вклад в ПФВ на малых расстояниях от источника.

Проведенная верификация программы подтвердила хорошее совпадение результатов расчета интерференционной структуры и усредненных законов спадания ПФВ по разработанной программе с результатами расчетов по программам других авторов.

Ключевые слова: передаточная функция волновода, мелкое море, глубокое море, модовое ВКБ-приближение, функции Эйри

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИЗЛУЧЕНИИ ЗВУКА ТЕРМОФОНОМ

Васильев Б.П., Легуша Ф.Ф., Разрзова К.В.

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

Термоакустические источники звука – термофоны относятся к классу широкополосных нерезонансных источников звука. Термофоны являются практически безынерционными источниками звука. Появившиеся в последние годы плёночные термофоны открывают широкие возможности их практического применения для решения различных задач физической и технической акустики.

Например, они могут быть использованы в качестве вторичных эталонов единицы звукового давления. По этой причине усовершенствование методики расчёта акустических параметров термофонов является важной практической задачей.

Активным элементом (АЭ) термофона является тонкий электропроводный слой, нанесённый на плоскую поверхность твёрдого тела, являющегося изолятором тепла. Протекание по АЭ переменного электрического тока приводит к появлению на его поверхности переменной температуры $T' = T'_m e^{j\omega t}$. На поверхности АЭ, соприкасающейся с жидким полупространством, должно выполняться граничное условие $T' = T'_H$. Выполнение этого граничного условия приводит к появлению в пристеночном слое жидкости неоднородной тепловой волны $T'_H = T'_m \cdot e^{-\frac{x}{\delta_T}} \cos\left(\omega t - \frac{x}{\delta_T}\right)$, где $\delta_T = \sqrt{2a/\omega}$ – толщина теплового пограничного слоя, $a = \chi/C_p \rho$ – коэффициент температуропроводности среды, C_p – удельная теплоёмкость при постоянном давлении, ρ – плотность газа.

Анализ условий формирования температурного поля в пристеночном слое показал, что реальная толщина пристеночного, в котором амплитуда тепловой волны $T'_m \exp(-x/\delta_T)$ ещё заметно отличается от нуля, составляет $\Delta_T = 1,57 \delta_T$. Излучающая поверхность термофона также находится на расстоянии Δ_T от плоской поверхности АЭ. Учёт реальной толщины пристеночного слоя Δ_T позволяет найти амплитуду колебательной скорости в звуковой волне, излучаемой термофоном, $u_m = 1,208 u_{mL}$, где $u_{mL} = \frac{\sqrt{2}}{2} \beta_V \sqrt{\omega a} T'_m$ β_V – коэффициент теплового объёмного расширения среды. Выражение для u_{mL} получено Л.Д. Ландау.

Для проведения экспериментальной проверки представленных выше результатов исследования, на кафедре физики СПбГМТУ были специально изготовлены плёночные термофоны. Акустические измерения показывают, что результаты расчётов достаточно хорошо соответствуют экспериментальным данным.

Ключевые слова: термофон, электрический ток, тепловая волна, толщина пристеночного слоя, амплитуда колебательной скорости

ВОЗМОЖНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЛНЫ ЦУНАМИ

Галкин О.П., Абакумова Н.К.

Акционерное общество «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева»

Россия, 117292, Москва, ул. Шверника, 4

Тел.: (499) 126-9835; Факс: (499) 126-8411; E-mail: aba_nin@mail.ru

Рассмотрены методы прогнозирования цунами на основе гидроакустических полей в океаническом волноводе, создаваемых подводными землетрясениями на больших расстояниях от очага землетрясения. Проведена разработка гидроакустического метода оценки цунамигенности удаленных подводных землетрясений с целью повышения эффективности прогнозирования цунами, вызываемого подводными землетрясениями. Сделана попытка проведения анализа и обобщения имеющихся данных по подводным землетрясениям и цунами, повторяемости землетрясений в одних и тех же районах. Проведена оценка влияния различных параметров землетрясений и распространения звука на характеристики принимаемых гидроакустических сигналов и взаимосвязи силы подводных землетрясений на различных глубинах дна океана с возникновением разрушительных волн цунами; оценка возможных ложных тревог и пропусков.

Ключевые слова: подводные землетрясения, цунами, гидроакустические поля

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВ МЕЛКОГО МОРЯ НА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ

Горовой С.В.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Тел.: +79147212186; E-mail: GorovoySV@mail.ru

Представлены результаты экспериментального оценивания временной изменчивости в течении 3-х часов одномерной плотности распределения, дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса звукового давления шумов моря вблизи судоходной трассы в заливе Петра Великого Японского моря в диапазонах частот 300-1000 Гц, 1000-3000 Гц, 300-3000 Гц при времени накопления 0,1 с, 1 с, 3 с. Глубина места составляла 55 м, грунт ил-песок, состояние моря 3 балла. Использовался одиночный ненаправленный гидрофон, прикрепленный с использованием упругой развязки к бую. Глубина погружения гидрофона составляла 31 м. Для уровня значимости 0,05 приведены результаты оценивания динамики отклонения распределения от гауссовского при использовании критерия хи-квадрат для указанных частотных диапазонов и времен накопления.

Ключевые слова: шум мелкого моря, статистические характеристики, отклонение от гауссовости

ГЕНЕРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ЖИДКОСТИ МАЛОРАЗМЕРНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ТЕПЛОВЫМ ИСТОЧНИКОМ

Дегтярев В.П.

Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ

347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2

Тел.: (988 5300532), Факс: (8634 371795); E-mail: dvp777@mail.ru

В работе представлена физическая модель и конструкция малоразмерного теплового источника, возмущающего водную среду импульсным тепловым воздействием. Выполнено моделирование теплового и акустического полей в ближней зоне теплового источника. Рассмотрена зависимость параметров акустического поля от энергии и длительности теплового воздействия. Отмечен эффект возникновения низкочастотных акустических колебаний в водной среде после окончания теплового воздействия. Экспериментально исследована зависимость параметров низкочастотных колебаний от энергии импульсного теплового воздействия. Приведены рекомендации по прикладным применениям малоразмерных импульсных тепловых источников в гидроакустических системах.

Ключевые слова: термоакустика, тепловой источник, акустическое поле, низкочастотные колебания

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДОВОЙ СТРУКТУРЫ И СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ МЕЛКОГО ВОДОЁМА

Дмитриев К.В.¹⁾, Липавский А.С.^{1),2)}, Панков И.А.¹⁾, Сергеев С.Н.^{1),2)}

¹⁾ *МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва;*

²⁾ *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, г. Москва.*

Тел. (495) 939-3081, E-mail: sergeev@aesc.msu.ru

В работе представлены результаты собственных экспериментов авторов по изучению характеристик шумовых сигналов в мелком водоёме. Водоём располагается в природном заказнике в Московской области, характеризуется низким уровнем антропогенных шумов, малой глубиной (порядка 1 м) и высоким уровнем донной и береговой реверберации. Авторы интересовались возможностью выделения мод в таком водоёме при использовании одиночных гидрофонов в разной конфигурации расположения в водоёме в разные времена года, а также характеристики собственных шумов. Мелкая глубина водоёма приводит к высокой (порядка сотен Герц) частоте отсечки и к соответ-

ствуюшему изменению характера спектра распространяющихся в водоёме сигналов. Изучалась возможность использования получившего в последние годы распространение метода шумовой интерферометрии применительно к мелкой воде. Предполагается, что полученные результаты могут быть использованы при работе в узкой береговой зоне.

Ключевые слова: акустика океана, акустическая томография, шумовая интерферометрия, шельф

О ВЛИЯНИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ В ОКЕАНИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИЕМА МНОГОМОДОВОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ МОДОВЫХ ПОМЕХ

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

ИПФ РАН, Нижний Новгород

Тел.: (831) 4164742; E-mail: lexsmial@ipfran.ru

Рассматривается задача пространственной фильтрации многомодового сигнала, представляющего собой совокупность распространяющихся мод океанического волновода со случайными амплитудами, и принимаемого вертикально ориентированной короткой антенной решеткой (АР) на фоне помех, содержащих интенсивную компоненту модового спектра. В качестве характеристики эффективности метода фильтрации определен коэффициент усиления (выигрыш) АР, который зависит не только от параметров сигнала и помехи на её входе (спектр и взаимная корреляция модовых амплитуд, спектр волновых чисел волновода), но также от её параметров (полная длина АР, межэлементное расстояние, положение в волноводе) и выбранного амплитудно-фазового распределения. В работе проведен теоретический анализ и численное моделирование в поиске оптимального выбора параметров АР в предположении взаимно-некоррелированных модовых амплитуд полезного сигнала и помех. Проведено сравнение полученных результатов с эвристическим методом согласованной фильтрации отдельных мод. Показано, что величина коэффициента усиления АР варьируется в широких пределах в зависимости от разрешающей способности АР в модовом пространстве.

Ключевые слова: волновод, пространственная обработка, многомодовый сигнал, линейная антенная решетка

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС АКУСТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БУКСИРУЕМЫХ СЕЙСМОКОС

Лекомцев В.М., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Максимов Г.А., Смагин Д.А., Смирнов В.А.

АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва

Тел.: 903 1862309; E-mail: gamaximov@mail.ru

Одним из ключевых моментов повышения точности (разрешенности) сейсморазведочных работ является контроль за позиционированием сейсмодатчиков, входящих в состав регистрирующих комплексов. В частности, существует острая потребность в навесных системах акустического позиционирования буксируемых сейсмокос, поскольку данный тип сейсмического оборудования для шельфовых работ подпадает под секторальные санкции.

В докладе представлены результаты разработки программно-аппаратного комплекса акустического позиционирования буксируемых сейсмокос (ПАК АПД). Основу ПАК АПД составляет сеть навесных акустических транспондеров, установленных на параллельно буксируемые судном сейсмокосы. Каждый транспондер излучает короткие акустические импульсы с индивидуальной фиксированной частотой из диапазона 50-70 кГц и принимает сигналы других транспондеров. Бортовой вычислительный комплекс задает каждому транспондеру его частоту излучения и частоты приема, определяя сетевую схему измерения. Моменты излучения всех элементов измерительной сети синхронизированы. Измеренные времена прихода импульсов передаются по сейсмокосам на борт буксирующего судна вычислительному комплексу с помощью модемов и катушек индуктивности, вмонтированных в сейсмокосы. Концевые транспондеры, установленные в начале и конце буксируемых сейсмокос, позиционируются при помощи GPS-приемников, их координаты передаются на бортовой вычислительный комплекс по Wi-Fi или радиоканалу. Цикл измерений времен пробега ультразвуковых импульсов между всеми элементами сети транспондеров составляет порядка 10 сек. За цикл измерений вычислительный комплекс получает набор дистанций (времен пробега) между заданными узлами сети, а также координаты некоторых (концевых) узлов. Из этих данных формируется целевая функция, представляющая собой сумму квадратов разностей искомым и измеренных расстояний между транспондерами. При этом координаты транспондеров, снабженных приемниками GPS фиксируются, а координаты остальных транспондеров варьируются до достижения минимума целевой функции. Эта задача решается бортовым вычислительным комплексом.

В 2018 году в акватории г. Геленджика на НИС «Борей» были проведены морские натурные испытания ПАК АПБС. Для испытаний использовались 4 имитатора буксируемых сейсмокос длиной по 500 м и 16 транспондеров. Вдоль сейсмокос транспондеры были установлены на дистанции 100 м, а расстояние между сейсмокосами составляло порядка 30-40 метров. Скорость движения НИС «Борей», использованного для буксировки сейсмокос, была не менее 3 узлов. В этих условиях оценка ошибки позиционирования по остаточным невязкам в целевой функции не превышала 1 метра.

Ключевые слова: акустическое позиционирование, буксируемые сейсмокосы

**ОШИБКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПРИХОДА ЭХОСИГНАЛА
В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ДЛЯ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА В МЕЛКОМ МОРЕ**

Либенсон Е.Б., Стреленко Т.Б.
АО «Концерн «Океанприбор», г. Санкт-Петербург
Тел.: (812)4997454

Представлены результаты оценки ошибок определения угла прихода эхосигнала в вертикальной плоскости в многолучевом канале. Рассмотрена взаимосвязь между параметрами многолучевой структуры и ошибками определения угла прихода эхосигнала в вертикальной плоскости. Исследования проведены на программном макете для условий мелкого моря. Получены оценки ошибок при разных величинах разрешающей способности гидролокатора по времени.

Ключевые слова: гидролокатор, угол прихода эхосигнала, интерференция в многолучевом канале, тональный и сложный сигнал, согласованная фильтрация

**ЦИФРОВАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ БУКСИРУЕМАЯ СЕЙСМОКОСА
ДЛЯ МОРСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**

**Максимов Г.А., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Денисов Д.М., Волков А.Ю., Коновалов В.Н.,
Корольков З.А., Григорьев А.Г.**
АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва
Тел.: 903 1862309; E-mail: gamaximov@mail.ru

Сейсмокосы для морской инженерной сейсморазведки предназначены для проведения инженерных исследований при решении задач изысканий под строительство сооружений на шельфах, установку платформ для поискового, разведочного, эксплуатационного бурения, укладку коммуникаций (электрические кабели, кабели связи, трубопроводы), поисков и разведки общераспространенных полезных ископаемых (строительных материалов – песка и гравия), россыпных месторождений (погребенные речные долины), картирование газогидратных осадков и т.п.

Среди пользовательских требований к инженерным сейсмокосам выделяются такие, как многоэлементная и многопозиционная регистрация и возможность их применения с маломерных неспециализированных судов, а также требование экологической безопасности, которое накладывает ограничения на использование традиционных маслonaполненных сейсмокос. Указанным требованиям удовлетворяют цифровые твердотельные буксируемые сейсмокосы (ЦТБС) в кабельном исполнении.

Для решения задач морской инженерной сейсморазведки в Акустическом институте разработан регистрирующий комплекс (РК) на основе ЦТБС малого диаметра, который позволяет выполнять работы с маломерных неспециализированных судов. Разработанный РК ЦТБС состоит из четырех регистрирующих секций, которые могут последовательно или параллельно подключаться к модулю сбора геофизической информации (МОСГИ) через силовые оптоволоконные кабель-тросы, обеспечивая либо более глубинную 2D сейсморазведку при последовательном подключении, либо 3D сейсморазведку при параллельном подключении. Между собой секции соединяются с помощью линейных электрических модулей, которые обеспечивают электрическое питание секций и формирование магистрального Ethernet-потока данных. Длина секции сейсмокосы составляет 75 м, она содержит 48 цифровых датчиков, эквидистантно смонтированных на кабеле через каждые 1.56 м. Диаметр кабеля, обеспечивающего нейтральную плавучесть, равен 20 мм, а диаметр датчика не превышает 25 мм. Цифровой датчик на основе пьезокерамики обеспечивает регистрацию сигналов в полосе частот от 30 Гц до 16 кГц, и также имеет ультразвуковой канал приема на частоте 30 кГц для индивидуального позиционирования при буксировке. Секции ЦТБС снабжены электронными датчиками давления и компасами для контроля глубины и направления.

Ключевые слова: буксируемая сейсмокоса, морской инженерной сейсморазведка

**СОВМЕСТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ
И ПАРАМЕТРОВ ДНА ПО КОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ
ПРИ БОЛЬШИХ РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ ГИДРОФОНАМИ**

Муханов П.Ю.¹⁾, Сергеев С.Н.^{1),2)}, Шуруп А.С.^{1),2)}

¹⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва;

²⁾ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва.

Тел. (495) 939-3081, E-mail: shurup@physics.msu.ru

В работе проводится совместное восстановление параметров водного слоя и дна по результатам численного моделирования и в привязке к данным натурного эксперимента. Рассматривается корреляция естественных шумов моря в различных пространственных положениях принимающих одиночных гидрофонов (метод шумовой интерферометрии). В отличие от известных подходов авторы используют модовые сигналы, что, как было показано ранее, позволяет существенно уменьшить время накопления таких сигналов. Подробно анализируется случай, далее называемый схемой с большими расстояниями между гидрофонами, в котором расстояние между приёмниками позволяет модам «разбежаться» за счёт волноводной дисперсии. В этой схеме моды удаётся разделить при частотно-временном анализе спектрограммы функции взаимной корреляции шумового поля. Полученные из анализа спектрограммы времена распространения модовых сигналов разных номеров в различных частотных диапазонах

являются исходными данными для решения обратной задачи восстановления неоднородностей стандартными методами теории возмущений.

Ключевые слова: акустика океана, акустическая томография, шумовая интерферометрия, шельф

ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МЕЛКОГО МОРЯ ПО КОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ БЛИЗКОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ГИДРОФОНОВ

Сабиров И.Р.¹⁾, Сергеев С.Н.^{1),2)}, Шуруп А.С.^{1),2)}

¹⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва;

²⁾ Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, г. Москва.

Тел. (495) 939-3081, E-mail: shurup@physics.msu.ru

В работе рассматривается возможность восстановления параметров водного слоя и дна при таком расположении гидрофонов, при котором распространяющиеся в изучаемой акватории моды ещё не успеют «разбежаться» за счёт дисперсии, что далее будем называть близким расположением гидрофонов. В такой ситуации при использовании одиночных гидрофонов нет возможности оценить времена распространения мод и использовать данную информацию для решения задачи акустической инверсии. При этом в качестве исходных данных рассматривается корреляция шумовых сигналов от естественных источников моря (шумовая интерферометрия), из которой моды и должны быть выделены. Для решения последней задачи используется обнаруженная авторами возможность оценки критических частот мод на основе скачков фазы функции взаимной корреляции шумов. Также используется информация о фазе первой моде и положении минимума её групповой скорости. После выделения указанной информации происходит решение обратной задачи восстановления параметров волновода. Полученные результаты использованы при численном моделировании и анализе данных натурального эксперимента.

Ключевые слова: акустика океана, акустическая томография, шумовая интерферометрия, шельф

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗВУКОПОДВОДНОЙ СВЯЗИ В МЕЛКОМ МОРЕ

Шатравин А.В., Кочетов О.Ю.

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

Тел.: (+7903 5342332); Факс: (+7499 1245983); E-mail: ashatravin@ocean.ru

В работе обсуждается опыт применения методов машинного обучения в задаче декодирования сигнала при осуществлении когерентной звукоподводной связи. Набор экспериментальных данных состоит из нескольких тысяч сеансов связи продолжительностью от 1 до 30 секунд, проведённых между автономными донными гидроакустическими станциями, которые устанавливались на шельфе Черного моря на глубине ~35 м на расстоянии от 1 до 3 км друг от друга. Несущая частота составляла 10 кГц, скорость передачи данных 2 кбит/с, кодирование цифровой последовательности осуществлялось бинарной фазовой манипуляцией. Изменчивость гидрофизических параметров среды приводила к колебаниям доли ошибок декодирования в очень широких пределах от 0 до 0.1 при использовании стандартного метода компенсации межсимвольной интерференции MMSE-DFE (эквалайзер с обратной связью на основе минимизации математического ожидания среднеквадратичной ошибки). Соответствующие колебания уровня среднеквадратичной ошибки демодуляции составляли более 8 дБ. Использование альтернативных методов декодирования на основе сетей радиально-базисных функций, метода опорных векторов и свёрточных нейронных сетей позволяет добиться значительного улучшения качества связи. Однако эффективность этих подходов существенно зависит от объёма и представительности обучающих выборок. Мы исследуем зависимость качества обучения от временного распределения обучающих выборок, что интуитивно можно интерпретировать как полноту использованного для обучения набора данных в смысле разнообразия наблюдаемых во время сеансов связи импульсных откликов среды и фонового шума. Также был опробован искусственный способ расширения обучающих выборок посредством добавления к сигналам связи фонового шума, зарегистрированного в другие моменты времени.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема 0149-2019-0011).

Ключевые слова: акустика мелкого моря, звукоподводная связь, машинное обучение

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

15.10.2019 - с 12.00 до 16.00

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ТЮРКОЯЗЫЧНЫХ ФОНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУССКОГО ЯЗЫКА

Крейчи¹ С.А.^а Кедрова^{2,б} Г.Е.

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, филологический факультет, лаборатория фонетики и речевой коммуникации. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, 1 гум. корпус, к. 948.

² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, филологический факультет, кафедра русского языка. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, 1 гум. корпус, к. 964.

E-mail: ^а k46-7-47@yandex.ru, ^б kedr@philol.msu.ru

УДК801.7

Интерференция фонетических систем разных языков часто является существенным препятствием для безакцентного произношения при изучении иностранного языка. В данной работе исследовалось влияние фонетической организации устной речи носителей тюркских языков на произношение звуков и реализацию интонации в русской речи тюркоязычных студентов, изучающих русский язык как иностранный. В качестве звукового материала использовались записи чтения сбалансированного словаря из 1,5 тысяч наиболее часто употребляемых русских слов, чтение анкетных вопросов и спонтанных ответов на них, находящиеся в базе данных звучащей русской речи, разработанной в лаборатории фонетики и речевой коммуникации филологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Анализ отклонений от русской произносительной нормы проводился как на сегментном, так и на супра-сегментном уровне. В качестве образца для сравнения использовался аналогичный звуковой материал, начитанный носителями русского языка с нормативным литературным произношением. Выделены основные акустические и артикуляторные признаки интерференции при произнесении отдельных звуков русской речи и их сочетаний, а также отличительные особенности просодической реализации русской синтагмы под влиянием эквивалентных высказываний на родном языке у носителей тюркских языков.

Ключевые слова: тюркоязычный, интерференция, фонетические системы, безакцентный, спонтанная речь, артикуляторные признаки, просодическая реализация, синтагма

АКУСТИКО-СЕМАНТИЧЕСКИЙ КОНТЕНТ РЕЧЕВОЙ КОММУНИКАЦИИ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Потапова Р.К.¹, Потапов В.В.²

¹ ФГБОУ ВО МГЛУ, г. Москва; ² МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Тел.: (495 6375697); E-mail: RKPotapova@yandex.ru

В докладе представлен оригинальный подход к исследованию акустико-семантического контента, обеспечивающего эффект речевой коммуникации реципрокного типа, позволяющий реализовать двунаправленный диалог «человек - машина» и «машина - человек», что на данной ступени развития робототехники является одной из приоритетных задач реализации обратной связи в быстродействующем экономном режиме «стимул-реакция» ↔ «реакция-стимул» применительно к различным видам коммуникации в робототехнике, что нашло отражение в подходах, объединяемых в настоящее время в научно-исследовательскую область «Interactive Collaborative Robotics» (см., например, R. Potapova “Speech Dialogue as a Part of Human-Machine Interactive Systems” in: “Interactive Collaborative Robotics. 1st International Conference – ICR 2016”, LNAI 9812, Springer International Publishing, pp. 208–218). На данном этапе активно разрабатываются различные модели человеко-машинных интерфейсов, входящих в состав интерактивных систем робототехники. Наряду с методами распознавания зрительных образов (мимики, жестов и т.д.) основополагающими остаются направления исследований в области акустико-семантического контента, включающего профильные базы данных, базы знаний, алгоритмы управления коммуникативным актом, а также типом и степенью интерактивности.

Ключевые слова: робототехника, интерактивные системы, акустико-семантический контент, распознавание образов, человеко-машинная коммуникация

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ АКУСТИКО-ФОНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧЕВЫХ СЕГМЕНТОВ

Бобров Н.В.¹

¹ ФГБОУ ВО МГЛУ, г. Москва

Тел.: (495 6375697); E-mail: arctangent@yandex.ru

В докладе освещаются технологические аспекты получения информации о фонетическом качестве речевых сегментов путём автоматического анализа акустического сигнала во временной области. Некоторые акустико-

фонетические признаки (такие, например, как вокальность, резкость, прерванность) определяются таким образом достаточно легко, и соответствующие алгоритмы давно и широко известны; другие же (назальность, бемольность, дизонность и т. п.) традиционно считаются измеримыми только с использованием того или иного вида спектрального анализа. В настоящем исследовании предпринимается попытка показать, что, по крайней мере, качественные оценки многих из признаков последней группы можно получить непосредственно из осциллограммы звукового давления (а именно – из анализа взаимного расположения её экстремумов различной магнитуды), не прибегая к ресурсоёмким вычислительным методам, что открывает ряд новых возможностей как для автоматического распознавания речи, так и для решения других прикладных задач, требующих получения максимального количества информации о речевом сообщении при ограниченных вычислительных ресурсах.

Ключевые слова: акустическая фонетика, автоматическое распознавание речи, вычислительные методы, анализ временной области, оптимизация

КОАРТИКУЛЯЦИОННОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ МЯГКОСТИ СОГЛАСНЫХ И РАСПОЗНАВАНИЕ ИХ МЕСТА ОБРАЗОВАНИЯ ПО F_2 -ПЕРЕХОДАМ ОКРУЖАЮЩИХ ГЛАСНЫХ В РУССКОЙ РЕЧИ

Кузнецов В.Б.¹⁾, Бобров Н.В.²⁾

^{1), 2)} ФГБОУ ВО МГЛУ, г. Москва

Тел.: (495 6375697); E-mail: arctangent@yandex.ru

На основе качественного анализа ограниченных данных было выдвинуто предположение, что формантный переход после мягких согласных (в отличие от твердых согласных) содержит мало информации о месте их образования. Это объяснялось тем, что артикуляция палатализации в процессе коартикуляции согласного с последующим гласным является определяющим фактором. Результаты перцептивных экспериментов свидетельствовали в пользу этого предположения: было установлено, что в большинстве случаев опознание места образования удаленного мягкого согласного по последующему гласному не превышает уровень случайного угадывания. Одновременно было продемонстрировано, что предшествующий гласный обеспечивает довольно точную идентификацию места образования мягкого согласного.

Задача настоящего исследования – получить на основе анализа представительных данных достоверную оценку информативности F_2 -перехода о месте образования мягкого согласного на предыдущем и последующем гласных. В качестве инструмента количественного описания F_2 -переходов применялись локус уравнения, представляющие собой уравнения линейной регрессии начального или конечного значения частоты F_2 по значениям F_2 , измеренным в характерной точке данного гласного. Было записано 6 дикторов мужчин, которые с трехкратным повторением произносили в рамочном предложении структуру СГСГ с ударением на втором слоге. Гласные и согласные были в структуре идентичными. В качестве согласных использовались мягкие взрывные и фрикативные [п', т', к', ф', с', х'] и в качестве гласных – [а, и, у]. Точки измерения формантных частот определялись по спектрограммам и осциллограммам. Границы окна анализа устанавливались вручную и его длина равнялась одному периоду. Вычисляемые БПФ и ЛПК спектры накладывались друг на друга, и путем подбора порядка модели ЛПК добивались максимального совпадения спектральных максимумов. Частота F_2 измерялась на ЛПК спектре. Статистически достоверного различия между локус уравнениями для ударных и безударных СГ-переходов в зависимости от способа и места образования согласного не обнаружено. Достоверно различались уравнения для мягких согласных в ударном и безударном слогах. Интерпретация результатов регрессионного анализа ГС-перехода носит сложный характер.

Ключевые слова: F_2 -переход, частота форманты, локус уравнение, место образования, мягкий согласный

ОСНОВАННОЕ НА ГРОМКОСТИ ОБНАРУЖЕНИЕ ТЕСТОВОГО ИМПУЛЬСА, ПРЕДЪЯВЛЯЕМОГО ДО ИЛИ ПОСЛЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПОМЕХОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Римская-Корсакова Л.К.¹⁾, Нечаев Д.И.²⁾

¹⁾ АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва

²⁾ ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (ИПЭЭ РАН), Москва

Тел.: +7(916) 6552119; Факс: +7(499) 1268411; E-mail: lkrk@mail.ru

В интересах поиска причин снижения разборчивости речи изучали обнаружение моделей фонем согласных звуков, предъявляемых до или после последовательностей помеховых фонем с разными периодами следования. За модели тестовых и помеховых фонем принимали узкополосные импульсы с частотой 4 кГц. Интенсивность помеховых импульсов была равна 80 дБ УЗД, число импульсов помехи – 11, а период следования Т варьировали от 20 до 110 мс. Если интенсивность тестового импульса (ТИ) была заметно меньше интенсивности импульсов помехи, то слушатель мог обнаружить ТИ на основании его громкости. При близости интенсивностей ТИ и импульсов помехи слушатель мог обнаружить ТИ, распознавая интенсивности тестового и помехового импульсов. Зависимости % правильного обнаружения ТИ от его интенсивности при разных периодах Т были получены у слушателей с нормальным слухом и сенсоневральными потерями. Зависимость обнаружения ТИ от периода следования импульсов помехи выявляли: (1) порог временного разрешения (Tmin), равный минимальному периоду Т, при котором слушатель мог обнаружить ТИ; (2) сдвиг (dIso) порога обнаружения ТИ, предъявляемого до или после помехи, относительного порога обнаружения одиночного импульса; (3) смещение (dI-) пороговой разности между интенсивностями ТИ и помехового импульса относительно разностного порога распознавания интенсивности одиночного

помехового импульса. Смещение dI - оценивали для случая, когда интенсивность ТИ была меньше интенсивности импульсов помехи. Пороги T_{min} разных слушателей варьировали от 20 до 110 мс, а сдвиги dI_{so} и смещения dI - при периоде T близком к T_{min} могли достигать 20 дБ. Показатели T_{min} , dI_{so} , dI - сопоставляли со слуховой чувствительностью, со свойствами временной суммации тонов и последовательностей импульсов. Показатели T_{min} , dI_{so} , dI - указывали на мешающие обнаружению ТИ известные слуховые эффекты. Если интенсивность помеховых импульсов заметно превышала интенсивность ТИ, то обнаружению могли мешать временная маскировка и частичная маскировка громкости ТИ. Если интенсивность ТИ почти соответствовала, но была меньше интенсивности помехового импульса, то обнаружению мог мешать возникающий при временной маскировке слуховой эффект повышения громкости ТИ. В зависимости от положения ТИ относительно помехи такие эффекты компенсировали или усиливали действие друг друга. Согласно полученных результатов, к снижению разборчивости быстрой речи могли приводить как снижение громкости фонем согласных звуков, так и уменьшение диапазона интенсивностей фонем, в котором слушатель был способен их обнаружить.

Ключевые слова: слуховое обнаружение, распознавание интенсивности, маскировка, повышение громкости импульсов при маскировке, модель фонемы согласного звука

АКУСТИЧЕСКИЕ И ПЕРЦЕПТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧИ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С УМСТВЕННОЙ ОТСТАЛОСТЬЮ

Фролова О.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
Тел.: (+7911 2631204); Факс: (8 812 3289596); E-mail: olchel@yandex.ru*

Цель исследования – выявить особенности акустических и перцептивных характеристик речи детей с диагнозами: умственная отсталость лёгкой степени (УО) и смешанные специфические расстройства психологического развития (СР), по сравнению с типично развивающимися (ТР) детьми. Участники исследования - дети 5-7 лет: 10 детей с УО, 20 детей с СР, 5 ТР детей, воспитывающихся в детском доме; 10 детей с СР, 20 ТР детей, растущих в условиях семьи. Использована комплексная методика, разработанная в группе по изучению детской речи СПбГУ: произведена аудиозапись речи, видеозапись поведения детей при взаимодействии с взрослым. Проведён фонетический (SAMPA), перцептивный (163 носителя русского языка), спектрографический анализ речи детей («Cool Edit Pro»). Установлено, что для всех детей характерно присутствие в словах несформированных согласных /r/, /tS/, /S/, ротацизм (замена /r/ ненормативным для русского языка, вульгарным дрожащим /R/); частота употребления постальвеолярных согласных у детей с УО ниже, чем у ТР детей и детей с СР. Вероятность распознавания взрослыми лексического значения слов детей с УО значимо ниже, чем вероятность распознавания лексического значения слов ТР детей и детей с СР, воспитывающихся в условиях семьи. На основании данных акустического спектрографического анализа установлено, что значения длительности и частоты основного тона (ЧОТ) ударных гласных в словах детей с УО выше, чем значения длительности и ЧОТ ударных гласных в словах ТР детей и детей с СР. Диапазон ЧОТ ударных гласных в словах детей с УО и детей с СР, воспитывающихся в детском доме, выше, чем у детей, воспитывающихся в условиях семьи и ТР детей из детского дома. Формантный треугольник ударных кардинальных гласных из слов детей с УО смещён в высокочастотную область двухформантной плоскости по значениям первой форманты относительно формантных треугольников ударных гласных из слов детей других групп. Значение индекса артикуляции ударных гласных (ИАГ) в словах детей с УО минимальны по сравнению с ИАГ детей с СР и ТР детей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-013-01133).

Ключевые слова: акустические характеристики, перцептивный анализ, речь детей, умственная отсталость, смешанные специфические расстройства психологического развития

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАСНЫХ ИЗ СЛОВ ДЕТЕЙ 5–11 ЛЕТ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Николаев А.С.¹⁾, Ляксо Е.Е.¹⁾

*¹⁾ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
E-mail: al.nikolajew@gmail.com*

Цель работы: изучение временных характеристик ударных и безударных гласных из слов детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) по сравнению с типично развивающимися (ТР) детьми.

Объект исследования: 10 детей с РАС в возрасте 5–11 лет и 10 ТР детей того же возраста (контрольная группа). Дети с РАС поделены на две группы по уровню их речевого развития: РАС-А, в которую вошли дети с более высоким уровнем речевого развития, и РАС-Б, в которую вошли дети с более низким уровнем речевого развития. Используются методы перцептивного и акустического анализа. Перцептивный эксперимент, в котором приняли участие 116 взрослых носителей русского языка (аудиторов), проводили с целью выявления слов детей, распознанных взрослыми с высокой (значение слова верно определено в более чем 75% ответов) и низкой (значение слова определено верно в менее чем 25% ответов) вероятностью. В словах, распознанных с высокой и низкой вероятностью, определяли длительность ударных и безударных (первого предупредительного и первого заударного) гласных. У детей всех групп длительность (медиана) ударных гласных в словах, распознанных с низкой вероятностью, больше, чем в словах, распознанных с высокой вероятностью. Выявлены различия между детьми с РАС и ТР детьми по длительности ударных и безударных гласных в словах, значение которых определено с высокой и низкой вероятностью. Слова детей с РАС обеих групп характеризуются большей по сравнению с ТР детьми дли-

тельностью ударных и безударных гласных. Слова ТР детей 8–11 лет характеризуются наименьшей длительностью ударных и безударных гласных. В словах, распознанных с высокой вероятностью, длительность ударных гласных у детей группы РАС-Б больше ($p < 0,05$), чем у детей группы РАС-А и ТР детей, длительность безударных гласных — больше, чем у ТР детей. В словах, распознанных с низкой вероятностью, длительность ударных и безударных гласных у детей с РАС больше ($p < 0,05$), чем у ТР детей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-18-00063.

Ключевые слова: восприятие речи, расстройство аутистического спектра, детская речь, акустический анализ

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИНСКОЙ РЕЧИ, АДРЕСОВАННОЙ ДЕТЯМ С РАС-СТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА И СИНДРОМОМ ДАУНА

Ляксо Е.Е.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
Тел. +7(921)996-24-92 E-mail: lyakso@gmail.com*

Проведено сравнение характеристик материнской речи (МР), обращенной к детям 4-7 лет типично развивающимся (ТР, $n = 40$), детям с расстройствами аутистического спектра (РАС, $n = 20$) и детям с синдромом Дауна (СД, $n = 20$).

Показано, что значения частоты основного тона (ЧОТ) выше в речи матерей детей с РАС ($p < 0,0001$ - критерий Манна - Уитни), чем у матерей ТР детей и детей с СД в высказывании, во фразе, слове, ударном гласном. Сравнительный анализ значений индекса артикуляции гласных (VAI) показал, что значения VAI ударных гласных в словах МР, обращенной к детям с СД, выше, чем значения VAI для МР обращенной к детям с РАС и ТР детям. Значения VAI безударных гласных значимо не различаются в словах МР, обращенной детям трех групп. Данные о значениях площадей формантных треугольников гласных и значениях VAI указывают на большую четкость артикуляции матерями слов, обращенных детям с нарушениями речи – РАС и СД, при более четкой МР, адресованной к детям с СД. Высказывания матерей детей с РАС более длинные ($p < 0,001$), чем высказывания, обращенные ТР детям и детям с СД, содержат более короткие фразы ($< 0,005$). Длительность слов и ударных гласных значимо не различаются при тенденции к большей длительности в речи матерей детей с РАС. В речи матерей детей с СД длительность пауз между фразами в высказывании больше, чем в МР ТР детей; в речи матерей, обращенной детям с РАС паузы между высказываниями ($p < 0,005$) и между словами ($p < 0,005$) больше, чем в речи адресованной ТР детям.

Таким образом, на основе инструментального анализа выявлены различия в характеристиках МР, обращенной к ТР детям и детям с атипичным развитием, установлены особенности характеристик МР, адресованной детям с РАС и детям с СД.

Работа выполнена при поддержке РФФИ–ОГН (проект № 17-06-00503а).

Ключевые слова: материнская речь, акустические характеристики, дети с синдром Дауна дети с расстройствами аутистического спектра

ВРЕМЕННЫЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧИ ДЕТЕЙ 6-7 ЛЕТ С СИНДРОМОМ ДАУНА

Городный В.А.¹⁾, Ляксо Е.Е.¹⁾

*¹⁾ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
E-mail: wimndgor@mail.ru, lyakso@gmail.com*

Исследования акустических характеристик речи детей с синдромом Дауна широко представлены на материале разных языков, однако для русского языка подобные исследования единичны. Цель исследования – сравнительный анализ временных и частотных характеристик речи детей с синдромом Дауна.

В исследовании участвовало 20 детей 6-7 лет: с синдромом Дауна (СД, $n=10$) и типично развивающиеся (ТР, $n=10$). Запись речевого материала детей проведена по методике, разработанной в Группе по изучению детской речи СПбГУ (Ляксо и др., 2012). Спектрографический анализ осуществлен в звуковом редакторе «Cool Edit Pro 2.0». Из записей речи детей выделены слова. Для слов и гласных из слов детей определены длительность, значения частоты основного тона (ЧОТ), вычислен диапазон ЧОТ. На стационарном участке гласного считали значения ЧОТ, значения двух первых формантных частот (F1, F2). На двухформантной плоскости построены формантные треугольники ударных и безударных гласных /a/, /i/, /u/ из слов детей, определены значения их площадей (Ляксо, Григорьев, 2013). Вычислены значения индекса артикуляции ударных и безударных гласных (VAI) (Roy et al., 2009). Статистический анализ данных проведен в программе “Statistica.10”.

Обнаружено, что длительности слов и гласных из слов детей с СД значимо выше, по сравнению с ТР детьми. Значения ЧОТ слов и ударных гласных из слов детей с СД выше, чем у ТР сверстников. Формантные треугольники ударных и безударных гласных /a/, /i/ и /u/ из слов детей с СД и ТР детей различаются по форме и ориентации. Значения F1 для ударного гласного /i/ и F1 для безударных гласных /a/ и /i/ из речи детей с СД смещены в высокочастотную область. Значения площади формантного треугольника безударных гласных значимо выше у детей с СД, по сравнению с ТР детьми. Для детей с СД характерны низкие значения VAI ударных гласных.

Таким образом, в исследовании получены данные об акустических характеристиках речи детей с синдромом Дауна и определены различия между детьми с СД и типично развивающимися детьми.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 18-18-00063.

Ключевые слова: детская речь, спектрографический анализ, синдром Дауна, индекс артикуляции

СТАНОВЛЕНИЕ РЕЧИ ДЕТЕЙ-БЛИЗНЕЦОВ 4-6 ЛЕТ: АКУСТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Куражова А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Тел: +7(812)3213361; e-mail: avk_spb@bk.r

Работа выполнена в рамках исследований речи русскоязычных детей с типичным и атипичным развитием, проводимых группой по изучению детской речи СПбГУ (Ляксо, Фролова, 2018). Близнецы, относимые к группе риска в связи с действием факторов пренатального, раннего постнатального развития, характеризуются спецификой речевого развития по сравнению с нормально развивающимися одиночно рожденными детьми. Акустические особенности речи детей-близнецов изучены недостаточно. Цель исследования - проследить формирование акустического аспекта речи детей-близнецов в период с 4 до 6 лет, сравнить уровень речевого развития первого и второго по порядку рождения ребенка в паре.

В исследовании принимали участие 10 дизиготных близнецов в возрасте от 4 до 6 лет. Проводили аудиозапись и видеосъемку речевого поведения детей в заданных ситуациях при взаимодействии с матерью. Оценивали уровень речевого развития близнецов, используя методы перцептивного, фонетического и инструментального спектрографического анализа.

С возрастом детей увеличивается количество слов, достоверно распознаваемых аудитором, и к шестилетнему возрасту составляет 60%. В период с 4 до 6 лет растет количество звуков, четко произносимых как первыми, так и вторыми детьми, но и в шестилетнем возрасте сохраняются артикуляционные ошибки - пропуски и замены согласных в словах. Значения частоты основного тона (ЧОТ) гласных из слов первых по порядку рождения детей снижаются с увеличением их возраста, в словах вторых детей значительно не изменяются; значения ЧОТ гласных в словах первых по порядку рождения детей значительно ниже, чем в словах вторых детей. Формантные частоты ударных гласных из слов близнецов имеют высокие значения. Длительность гласных и их стационарных участков уменьшается в период с 4 до 6 лет и значительно не различается в словах первых и вторых детей.

Наблюдаемая динамика акустических характеристик речи дизиготных близнецов согласуется с данными по одиночно рожденным детям. Однако, выявлены различия между первыми и вторыми по порядку рождения близнецами в паре, которые заключаются в более низких значениях ЧОТ гласных в речи первых детей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ–ОГН (проект № 17-06-00503а).

Ключевые слова: речевое развитие, акустические характеристики, дети, близнецы

АКУСТИЧЕСКИЕ И ПЕРЦЕПТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧИ ПОДРОСТКОВ 14-16 ЛЕТ

Григорьев А.С¹⁾, Ляксо Е.Е¹⁾

¹⁾Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Тел: +79111353781, E-mail: a.s.grigoriev89@gmail.com

На данный момент основное внимание исследователей сосредоточено на изучении формирования речи при атипичном различии детей (расстройства аутистического спектра, синдром Дауна и др.), однако для этих исследований очень важным является наличие данных о нормативном развитии речи при типичном развитии детей. Считается, что фонетическое освоение речи при типичном развитии заканчивается к 8 годам, но развитие речи в её тонких аспектах, включая акустические, продолжается до позднего подросткового возраста. Целью работы явилось изучение акустических и перцептивных характеристик речи подростков 14-16 лет. Осуществлена запись речи 60 типично развивающихся детей (по 10 мальчиков и 10 девочек для каждого возраста). В ходе перцептивного эксперимента определена возможность взрослых аудиторов, нейтральных по отношению к подростку, определять значение фразы, пол и возраст, а также эмоциональное состояние говорящего. Для его осуществления созданы тестовые последовательности, содержащие фразы детей разного возраста в различных эмоциональных состояниях (нейтральное, комфортное и дискомфортное). Описаны акустические характеристики фраз, отражающих разное эмоциональное состояние – длительность фразы, длительность пауз между фразами, значение частоты основного тона (ЧОТ) по фразе, его максимальное и минимальное значение, форма контура ЧОТ, длительность ударного слова, а также акустические характеристики ударных гласных – длительность гласного, длительность стационарного участка гласного, значения ЧОТ и трех первых формант гласного на стационарном участке, определены параметры отражающие четкость артикуляции гласных – индекс артикуляции и площади формантных треугольников. Полученные в работе сведения могут быть использованы в качестве нормативных при проведении исследований формирования речевой функции при атипичном развитии, а также расширяют представления о формировании голоса в период полового созревания при типичном развитии детей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-18-00063.

Ключевые слова: детская речь, спектрографический анализ, перцептивный анализ, частота основного тона, форманты

Секция ШВ – Шумы и вибрации

Бобровницкий Юрий Иванович, руководитель
Институт машиноведения РАН им. А.А. Благоднарова,
119334, Москва, ул. Бардина, д.4; E-mail: yuri@imash.ac.ru

Цукерников Илья Евсеевич, руководитель
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва
127238 Москва, Локомотивный пр., 21; E-mail: 3342488@mail.ru

15.10.2019 - с 10.20 до 16.00

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ВИБРОАКТИВНОСТИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

Суворов А.С., Кутузов Н.А., Стуленков А.В., Родионов А.А.

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород;
Тел.: (831) 416-47-74; Факс: (831) 436-59-76; E-mail: nik-kutuzov@yandex.ru

В работе рассматривается задача локализации источника вибрационной активности в сложной механоакустической системе. Сравнивается эффективность работы нескольких методов для случаев тонального и широкополосного полезного сигнала, а также для одного или нескольких источников. Численное моделирование и экспериментальная апробация показали, что рассмотренные методы позволяют с высокой степенью достоверности проводить локализацию виброисточника при использовании усреднения по различным частотам. Разрешения двух и более источников также возможно, но в ограниченном числе сценариев

Ключевые слова: локализация виброактивности, конечно-элементная модель, метод максимального правдоподобия

СВЕРХРАЗРЕШЕНИЕ БЛИЗКИХ ИСТОЧНИКОВ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

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

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

В работе рассматривается задача построения акустических изображений двух близких источников звука с использованием гибких микрофонных решеток. Такая задача актуальна в большом спектре практических приложений, решающих проблемы локализации источников повышенной шумности механизмов, их акустической диагностики, определения утечек звука в комнатной акустике и др. Для её решения применяются известный метод MUSIC, широко использующийся для оценок направления прихода плоских волн, а также новый метод оценки параметров сигналов в антенных решетках – метод максимально правдоподобной классификации сигналов (МПКС). В работе были получены результаты локализации акустических источников с помощью численного моделирования, а также с помощью эксперимента в безэховой камере. Было показано, что метод МПКС обладает лучшим, чем метод MUSIC пространственным разрешением.

Ключевые слова: решетки микрофонов, метод максимального правдоподобия, акустические изображения

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ВЗАИМНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ ВИБРИРУЮЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Белоусов Ю.И., Гладиллин А.В., Савицкий О.А., Степанов В.Б.

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Москва
Тел.: 89165206133; belurel@mail.ru

Приводятся варианты применения принципа взаимности для определения зависимостей звукового поля как от угла, так и от расстояния. Конструкции могут быть возбуждены сосредоточенной динамической силой, воздушным шумом внутри, вибрациями корпуса. Поле может быть определено как при наличии границ, так и в безграничном пространстве.

Ключевые слова: принцип взаимности, структура звукового поля, вибрация, динамическая сила, воздушный шум

ОЦЕНКА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ВОЗМУЩАЮЩЕЙ СИЛЫ ПО ИЗМЕРЕННОЙ ВЕЛИЧИНЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ КОНСТРУКЦИИ

Белоусов Ю.И., Степанов В.Б.

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Москва
Тел.: 89165206133; belurel@mail.ru

С использованием концепций статистической энергетической модели колебания механической структуры получено выражение для определения величины эквивалентной среднеквадратичной силы, способной вызвать колебания структуры с заданной среднеквадратичной вибрационной скоростью. Базовое соотношение модифицирова-

но для проведения инженерного расчёта эквивалентной силы по измеряемой величине уровней виброускорения в полосах частот. Даны оценки возможных погрешностей расчёта. Приведен пример расчёта для отрезка стальной трубы, подкреплённой системой кольцевых ребер жёсткости.

Ключевые слова: колебание структуры, эквивалентная сила, статистическая энергетическая модель

ЭВОЛЮЦИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И СТРУКТУРНЫЙ ШУМ

Бакланов В.С.

ПАО «Туполев», Москва

Тел.8 9165153306; E-mail: baklanov@tupolev.ru

Для турбовентиляторных двигателей нового поколения характерна повышенная степень двухконтурности - 9 - 12. Самолеты, оснащенные этими двигателями, успешно выполняют новые стандарты шума на местности (гл. 14 ИКАО), обеспечивают снижение вредных выбросов и существенное (12 – 15 %) повышение топливной эффективности. Опыт эксплуатации этих двигателей показал, что произошло существенное перераспределение источников шума. При значительном снижении шума струи двигатель остается основным источником шума, но теперь это шум вентилятора как в передней, так и в задней полусферах.

Повышенная степень двухконтурности двигателя приводит не только к значительному увеличению акустической мощности вентилятора, но и к изменению спектра шума. С увеличением диаметра вентилятора концы лопаток вращаются со сверхзвуковой скоростью, генерируя ударные волны. Взаимодействие ударных волн с колесом вентилятора образует полигармонический ряд дискретных составляющих вокруг основных частот следования лопаток (первая и вторая гармоники), отличающихся на частоту вращения вала вентилятора, названный «пилообразным шумом». Одна из необходимых мер борьбы с ударными волнами – снижение окружной скорости вентилятора, что требует снижения частоты вращения вала вентилятора. Вибрационный спектр турбовентиляторных двигателей существенно расширяется со сдвигом в низкочастотный диапазон вследствие пониженной частоты вращения ротора вентилятора (особенно в случае применения редуктора).

Эти составляющие и будут определять спектр динамического воздействия двигателей, передаваемый через узлы крепления на конструкцию планера. Для планера современного самолета характерно наличие нескольких десятков собственных форм колебаний в низкочастотной части спектра (изгибных и крутильных форм колебаний фюзеляжа, крыла, стабилизатора и других элементов конструкции планера. Взаимодействие некоторых из них с возмущающим воздействием силовой установки может привести к генерированию в кабинах самолетов дискретных низкочастотных составляющих шума высокого уровня.

Акустическое поле гермокабины претерпевает существенное изменение с применением двигателей большой двухконтурности. Решение проблем структурного шума низкочастотной части спектра потребует создания нового крепления двигателей (видимо, с встроенными низкочастотными блоками виброизоляции).

Ключевые слова: турбовентиляторный двигатель, двухконтурность, спектр, структурный шум

О ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПЛАСТИНЫ С ПАРАМЕТРАМИ, ЗАВИСЯЩИМИ ОТ ВРЕМЕНИ

Жарников Т.В., Голубев А.Ю.

Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского, ЦАГИ, ул. Жуковского, 1, 140180, г. Жуковский, МО, РФ.

Тел.: (+ 7 916 646 8425); Факс: (+ 7 495 777 6332); E-mail: timur_tim@mail.ru

Классическая задача о колебаниях струны с распределенными параметрами рассматривается в связи с задачей звукоизоляции. Приводятся уравнения колебаний. Анализируется влияние переменного распределения физических параметров на звукоизолирующую способность конструкции.

ПОГЛОЩЕНИЕ ШУМА ПРИ ЕГО АКТИВНОМ ГАШЕНИИ В ВОЗДУХОВОДЕ Пудовкин А.А.¹⁾, Кешков Д.И.²⁾, Китанов М.Ю.²⁾, Кузнецов Г.Н.¹⁾, Кутаков С.И.¹⁾, Майзель А.Б.²⁾, Смагин Д.А.³⁾, Сухарцов А.А.¹⁾

¹⁾ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва;*

²⁾ *Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин», г. Санкт-Петербург;*

³⁾ *АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», г. Москва.*

Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

Подавление широкополосных шумов и вибраций является одной из актуальных акустических задач. Наиболее сложная задача — ослабление низкочастотных сигналов, особенно в широкой полосе. Рекомендуется на низких частотах из-за недостаточной эффективности пассивных поглотителей использовать активные методы и технические средства. В работе решается эта задача применительно к воздуховоду, в котором распространяются широкополосные сигналы.

Расположение исполнительных элементов активного гашения в двух отстоящих друг от друга вдоль оси волновода сечениях позволяет при идентификации моделей передаточных функций и правильной настройке работы актюаторов создать активное поглощение на участке между исполнительными элементами.

Выполнен анализ результатов физического эксперимента с поглощением широкополосного шума в воздуховоде при его активном гашении с использованием разработанной многоканальной системы. В качестве сигнала,

предназначенного для ослабления, использовался широкополосный шум с равномерным спектром в рабочей полосе 30–2500 Гц. Сигналы возбуждались с использованием электродинамика или достаточно мощного вентилятора. В воздуховоде вследствие влияния резонансов и взаимодействия акустических импедансов наиболее интенсивный сигнал, подлежащий гашению, формировался в полосе 40–750 Гц.

Показано, что применение активных методов обеспечивает ослабление широкополосных сигналов во всей рабочей полосе частот на 10–12 дБ, максимальные спектральные плотности на частотах 100–150 Гц подавляются на 16–18 дБ.

Ключевые слова: шум, воздуховод, активное гашение, поглощение

ВИБРОИЗОЛИРУЮЩАЯ ПОДВЕСКА СУДОВОГО ТРУБОПРОВОДА

¹Шинкаренко И.А., ²Сутырин В.И.

¹ *Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград*

² *АО «Прибалтийский судостроительный завод «Янтарь», Калининград,*

Тел.(4012) 61-34-37, E-mail: van-125@mail.ru

По неопорным связям амортизированного механизма – воздушным и жидким трубопроводам, жестким кабелям может передаваться значительная вибрационная энергия, сопоставимая с энергией, передаваемой фундаменту через амортизаторы. Если задача снижения передачи вибрации по опорным связям в настоящее время успешно решается с помощью амортизаторов, то проблема эффективной виброизоляции неопорных связей становится все более актуальной. В первую очередь это относится к судовым трубопроводам, являющихся одним из самых распространенных элементов энергетической установок на судах.

Для виброизоляции судовых трубопроводов широко применяют виброизолирующие подвески. В настоящее время стандартные типы подвесок не всегда обеспечивают требуемое снижение передаваемой на опору вибрации. В данной работе предложена новая конструкция подвески судового трубопровода. Приведены сравнительные результаты натурных исследований подвески предлагаемой конструкции и стандартных судовых виброизолирующих подвесок.

Ключевые слова: колебания, виброизоляция, амортизатор, подвеска трубопровода

СИСТЕМНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НЕПОСТОЯННОЙ ВИБРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Цукерников И.Е.¹⁾, Шубин И.Л.¹⁾, Невенчанная Т.О.²⁾, Смирнов В.А.¹⁾

¹⁾ *Научно-исследовательский институт строительной физики, Москва;*

²⁾ *Московский политехнический университет, Москва*

Тел.: 916 4664172; E-mail: 3342488@mail.ru

В последнее время увеличилось число работ, связанных с прогнозированием вибрации, создаваемой рельсовым транспортом (железнодорожные линии и линии метрополитена мелкого заложения) в помещениях жилых и общественных зданий. В больших городах это связано с расширением точечного строительства, когда проектируемые здания оказываются в зоне воздействия указанных видов рельсового транспорта. Рассмотрены проблемы оценки непостоянной вибрации, создаваемой рельсовым транспортом в помещениях жилых и общественных зданий. Они связаны с неверной трактовкой положений санитарных норм об установлении нормируемого параметра и соответствующих ему допустимых значений, а также со спецификой измерения оцениваемого параметра. Показано, что в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 в качестве нормируемого параметра вибрации следует принимать эквивалентное значение частотно скорректированной виброскорости или виброускорения или их уровней, и именно для этих величин установлены ужесточенные в 0,32 раза (на - 10 дБ) допустимые значения. Приведены доводы в пользу принятия в качестве нормируемого параметра в помещениях жилых и общественных зданий соответствующих значений виброскорости. Отмечена целесообразность включения в состав нормируемых параметров также максимального значения указанных величин и одновременной оценки обоих значений нормируемых параметров. Даны соответствующие нормативные значения и предельные значения нормируемых параметров в октавных полосах типичного для рельсового транспорта диапазона частот, которыми можно руководствоваться при подборе средств виброзащиты. Обоснована необходимость применения при измерении максимальных значений времени усреднения виброизмерителя 1 с. и определения эквивалентных значений (уровней) оцениваемых параметров за дневное и ночное время оценки воздействия вибрации. Отмечено, что для поездов метрополитена указанные вопросы регламентированы в своде правил СП 23-105-2004 и установленной им методикой следует руководствоваться при определении эквивалентных и максимальных значений оцениваемых параметров. Для железнодорожных линий указанные положения установлены в разработанном в 2018 г. НИИСФ РААСН проекте свода правил, который прошел этапы публичного согласования и экспертной оценки и находится в стадии утверждения. На примере проиллюстрировано, что неправильное применение указанных положений приводит к серьезным ошибкам в оценке прогнозируемой вибрации и, как следствие, к значительному удорожанию реализации мероприятий по ее снижению.

Ключевые слова: непостоянная вибрация, нормирование, измерение, оценка

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИМЕТРИИ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ЗАГЛУШЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КАМЕР В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

Геча В.Я., Либерман М.Ю., Шматков А.В.

*АО НПК «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы»
имени А.Г.Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»), Москва
E-mail: mikhail_liberman@mail.ru*

Представлены результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований метрологических возможностей метода акустической интенсивности при проведении метрологической аттестации заглушенной акустической камеры в низкочастотном диапазоне. Установлено, что при проведении аттестации камеры с использованием стандартной методики (ГОСТ ISO 3745-2014, Приложение А) в низкочастотном диапазоне метрологические проблемы обусловлены влиянием систематических погрешностей на результаты измерений. Эти проблемы связаны, в частности, с проведением акустических измерений в ближней зоне комплексного акустического поля.

Анализ физических процессов, которыми обусловлено формирование акустических полей в объеме камеры показывает, что в низкочастотном диапазоне систематическая погрешность акустических измерений обусловлена возбуждением в объеме камеры реактивных акустических полей. При проведении аттестации с использованием образцового источника звука в заглушенной камере формируется комплексное акустическое поле. Формирование комплексного акустического поля обусловлено отрывом пограничного слоя от поверхности лопатки при прохождении воздушного потока через межлопаточные каналы колеса вентилятора. Отрыв пограничного слоя приводит к возбуждению двух полей пульсаций давления: активного поля звуковых пульсаций давления и реактивного поля псевдо звуковых пульсаций давления. Энергия поля звуковых пульсаций давления трансформируется в энергию поля звуковых волн. Энергия реактивного поля псевдо звуковых пульсаций давления сконцентрирована около ближней зоне (на выходе из межлопаточных каналов).

Кроме того, в камере формируется чисто реактивное поле стоячих звуковых волн (на первых собственных частотах камеры). В низкочастотном диапазоне (ниже 100 Гц) микрофон не может отличить реактивные акустические поля от активных полей. Для устранения влияния систематических погрешностей необходимо обеспечить возможность раздельного измерения характеристик активных и реактивных акустических полей. Именно метод акустической интенсивности обеспечивает возможность раздельного определения характеристик комплексного акустического поля, то есть измерить характеристики активного и реактивного поля.

Использование метода акустической интенсивности позволяет устранить влияние систематической погрешности (обусловленной формированием реактивной компоненты комплексного акустического поля в объеме камеры) на результаты аттестационных измерений. Аттестация камеры в низкочастотном диапазоне основывается на проверке соответствия результатов измерений скорости спада уровня активной компоненты интенсивности звука (с расстоянием) с расчетными значениями, вычисленными для ближней зоны акустического поля дипольного источника звука. В соответствии с изложенным, для проведения корректной метрологической аттестации заглушенных акустических камер в низкочастотном диапазоне следует использовать метод акустической интенсивности.

Ключевые слова: аттестация заглушенных камер; низкочастотный диапазон; активная и реактивная компоненты комплексного акустического поля; активная и реактивная компоненты интенсивности звука; звуковые и псевдо звуковые пульсации давления; ближняя зона акустического поля; реактивное акустическое поле стоячих волн; систематические погрешности измерений

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛАВАЮЩЕГО ПОЛА ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ЗДАНИЯХ

Московец М. Е., Канев Н. Г.

*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва
тел. +7 (925) 839-51-25 e-mail: ambernebula@icloud.com*

Движение рельсового транспорта вызывает интенсивные колебания грунта, которые передаются на конструкции зданий, расположенные вблизи путей наземных видов транспорта и тоннелей метрополитена, и может приводить к повышенному вибрационному и шумовому воздействию на людей в этих зданиях. Передача вибрационного воздействия на человека происходит, как правило, через пол помещений. В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования влияния конструкции плавающего пола на передачу вибрации. Рассмотрены две широко используемые на практике конструкции плавающих полов: в первом случае стяжка выполнена по точечным упругим опорам из вспененного полиуретана, во втором – по сплошному упругому слою из стекловолоконных плит. Источником вибрационного воздействия были трамваи и поезда метрополитена. В обоих случаях измерялись уровни виброускорения на поверхности плавающего пола и на основании, на котором выполнен плавающий пол. По результатам измерений было установлено, что уровни виброускорения на поверхности плавающего пола выше, чем на основании, в частотном диапазоне 16-31.5 Гц, в котором находятся характерные резонансные частоты рассмотренных конструкций плавающих полов. При этом усиление вибрации в некоторых третьоктавных полосах частот достигает 10-12 дБ. На частотах выше 50 Гц, напротив, наблюдается ослабление вибрации. Таким образом, несмотря на эффективность плавающих полов для звуко- и виброизоляции, при определенных условиях их применение может приводить к увеличению вибрационного воздействия на низких частотах. На основании результатов работы сделаны два основных вывода. Во-первых, типовые конструкции плавающих

полов неэффективны для снижения повышенного вибрационного воздействия, создаваемого рельсовым транспортом, и не могут использоваться для решения этой проблемы. Во-вторых, рассмотренные конструкции плавающего пола для звукоизоляции в жилых помещениях или в помещениях с рабочими местами в зданиях, расположенных в непосредственной близости к рельсовым путям и тоннелям метрополитена, должны применяться с учетом их негативного влияния на вибрационное воздействие в низкочастотном диапазоне.

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ – КАК ИСТОЧНИКИ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА

Антипушин Ю.М., Клименкова О.И.

ООО «ЭкоКонцепт», г. Москва

Тел.: (910 4406716); E-mail: inectter@mail.ru

В последнее время для создания микроклимата в помещениях в летнее время стали широко применяться системы охлаждения. Наиболее мощные, к которым относятся чиллеры и драйкулеры, часто являются источниками повышенного шума как на прилегающих нормируемых территориях, так и в помещениях окружающих зданий.

В данной работе авторы постарались разработать обобщенный метод расчетов мероприятий по снижению шума от систем охлаждения в помощь организациям, которые занимаются разработкой проектов по охране окружающей среды и проектов санитарно –защитных зон.

Ключевые слова: звуковая мощность, звуковое давление, допустимые уровни шума, обесшумливающие мероприятия, экраны

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ И РАСЧЁТЫ

Шлычков С.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Поволжский государственный технологический университет»

424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3

Тел.: +79276808703; факс: (8362) 41-08-72; эл. почта: shlychkovsv@volgatech.net

УДК 534.3:539.4

Древесина является наиболее распространенным и востребованным конструкционным материалом. Изделия из древесины широко используются во многих отраслях производства. Это элементы музыкальных инструментов, стеновые панели концертных залов, изделия в оборонной и аэрокосмической промышленности. В этой связи необходимо иметь четкое представление о ее физико-механических свойствах, их изменениях в зависимости от различных факторов. Корректный учет этих сведений при построении математических моделей проектируемых конструкций позволит избежать существенных ошибок.

С целью уточнения и определения упруго-диссипативных свойств древесины спроектировано и изготовлено специальное устройство. С его помощью в диапазоне низших и средних частот определены декременты колебаний стержневых образцов из древесины для двух низших собственных форм. Замечено уменьшение декремента с увеличением формы колебаний. Исследованы образцы с разными геометрическими размерами и кривизной. Полученные результаты показывают существенное влияние на диссипативные свойства количественного содержания поздней и ранней древесины. Проанализировано влияние лаковых покрытий, установлено существенное снижение декремента колебаний для образцов, покрытых лаком.

Экспериментальные результаты положены в основу построенного механизма демпфирования в математической модели тонкостенной конструкции. Динамическая модель построена на базе метода конечных элементов, как связанная упруго-акустическая система и учитывает влияние воздушной полости, соприкасающейся с ней. Анализ виброакустических характеристик таких конструкций может быть востребован при проектировании акустических стеновых панелей или совершенствовании дек музыкальных инструментов. Проанализировано динамическое поведение акустической панели. Установлено, что спектр колебаний связанной системы отличается от парциальных в диапазоне низших частот незначительно. В диапазоне средних частот выявлены новые устойчивые режимы колебаний для связанной системы и соответственно новые частоты и формы колебаний, существенно отличающиеся от парциальных систем. Структурные моды, находящиеся в этих частотных областях гасятся или видоизменяются. В полосе более высоких частот они перестают реализовываться.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНО- ВРЕМЕННЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Карпов И.А.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва.

Во многих задачах виброакустики приходится иметь дело с дискретными случайными сигналами. Основным аппаратом их исследования является классический спектральный анализ, т.е. вычисление спектральной плотности мощности по корреляционной функции. Альтернативными ему являются т.н. параметрические методы анализа случайных процессов, основанные на построении параметрических моделей – авторегрессионной (АР), скользящего среднего (СС) и АРСС-моделей. Эти методы обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими (минимальное число модельных параметров, более высокое спектральное разрешение, экономия вычислений), однако, в акустике они почти не применяются. В докладе построен алгоритм построения параметрических моделей, созданы компьютерные программы,

которые применены к реальным акустическим и вибрационным сигналам при спектральном оценивании и нахождении передаточной функции динамических систем. Проведено сравнение с классическими методами.

Ключевые слова: дискретно-временные случайные процессы, параметрические модели, спектральное оценивание

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (ШВ) 15.10.2019 - с 16.20 до 18.00

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ФАЗОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

Гордеев А.Б.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»
603107 Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97,
Тел.: 89200143456; E-mail: g0rd.ab@mail.ru*

Проведены экспериментальные исследования, предложены более точные методы измерения виброперемещений путем акустического зондирования исследуемой поверхности, сформулированы требования к основной и вспомогательной аппаратуре. Сравняются по фазе излученный на границу раздела сред акустический сигнал с сигналом, отраженным от этой границы. Из-за движения границы разность фаз изменяется с течением времени. При низкочастотных колебаниях границы раздела сред, виброскорость мала, тогда девиация частоты отраженного сигнала также мала. Акустический сигнал целесообразно проводить путем фазового детектирования. Спектр отраженного сигнала состоит из несущей частоты ω_0 и двух боковых: верхней $\omega_0 + \Omega$ и нижней $\omega_0 - \Omega$. В зависимости от соотношения падающей волны A_0 и амплитуды R_0 при условии, что спектры помех и полезного сигнала различаются, возможно построение нескольких вариантов схемных решений, позволяющих оптимизировать процесс измерения. Можно выделить три случая: $A_0 \geq R_0$, $A_0 < R_0$, $A_0 \ll R_0$. Рассмотрены первый и третий случаи. В первом имеет место потеря информации, если в спектре исследуемого процесса имеются составляющие с частотами близкими к частоте зондирующего сигнала. В третьем случае для увеличения чувствительности измерителя при измерении виброперемещений менее долей миллиметра необходимо повышать частоту зондирующего акустического сигнала до 300 кГц. Второй случай удовлетворяет граничным условиям при измерении.

Ключевые слова: виброперемещения, акустический, зондирование, частота, девиация

УПРАВЛЕНИЕ ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ КОМБИНИРОВАННЫХ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ АНТИВИБРАЦИОННЫХ РУКАВИЦ

Вьюненко Ю.Н.², Муравьев С.И.³, Литвинов М.Ю.³, Смирнов В.В.⁴, Сятковский А.И.⁵, Хлопков Е.А.^{1,2},

¹⁾ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург;

²⁾ ООО "ОПТИМИКСТ ЛТД", Санкт-Петербург;

³⁾ ООО "СУРЭЛ", Санкт-Петербург;

⁴⁾ Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Санкт-Петербург;

⁵⁾ ОАО "Пластполимер", Санкт-Петербург.

Тел.: (911 7675334); Факс: (812 6840817); E-mail: hlopkovelisey@mail.ru

Разнообразие спектральных характеристик вибраций, воздействующих на рабочих в многочисленных технологических процессах, делает необходимым оптимальный подбор средств индивидуальной защиты (СИЗ). Его задача – обеспечение максимальной безопасности труда. Это может быть реализовано выбором из существующего множества конструкций СИЗ наилучших образцов для каждой конкретной технологической операции. Несколько иным путем позволяет решить данную проблему предварительное определение вибрационного спектра на рабочем месте. На стадии изготовления комбинированных антивибрационных элементов возможна их адаптация под определенные технологические условия. Этот результат достигается изменением геометрических параметров деталей и физических характеристик материалов вибропоглощающей конструкции. Показана возможность повышения уровня защиты в заданных частотных диапазонах. Результаты экспериментов продемонстрировали значительное влияние уровня силового взаимодействия инструмента с обрабатываемым объектом на антивибрационные свойства рукавиц. Взаимозависимость характеристик эффективности защитных свойств и силового фактора может быть немонотонной в октавных полосах частотного спектра.

Ключевые слова: антивибрационные рукавицы, средства индивидуальной защиты, эффективность

ПРИМЕНЕНИЕ ЗВУКОРЕГИСТРИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОМПОЗИТНОЙ БАЛКИ

Щугорев В.Н., Хроматов В.Е., Радин В.П., Щугорев А.В.

Национальный Исследовательский Университет «Московский Энергетический Институт», Москва;

Тел.: (+7 495 3627700); Факс: (+7 495 3627700); E-mail: KhromatovVY@mpei.ru

Композиционные материалы находят широкое применение в различных областях техники. Владение современными методами исследований физических свойств необходимо для глубокого понимания механики композитов. На дан-

ный момент широко разработаны эффективные методы оценки поведения конструкций из композиционных материалов в условиях статического нагружения [1-3]. Однако до сих пор не существует сравнимых по эффективности методов расчета поведения конструкций из композита при ударе внешними объектами и дальнейшего колебательного процесса. Значительный интерес при проведении таких исследований представляет собой *акустическая* и *видеофиксация* процесса нагружения и дальнейшего поведения исследуемых композитных балок.

Для исследования процесса колебаний композитной балки и визуирования прогиба использовалась скоростная видеокамера [4] и звукозаписывающая аппаратура. Проведено сопоставление экспериментально полученных значений собственных частот колебаний композитной балки с использованием *звуко и видеозаписывающей* аппаратуры с теоретическим решением.

Современные микрофоны позволяют записывать звук в диапазоне от нескольких Гц до десятков кГц. Это позволяет фиксировать звук обусловленный колебаниями большинства балочных элементов конструкций. Современные Action камеры позволяют фиксировать быстро протекающие процессы со скоростью до 1000 кадров в секунду, при этом разрешение кадра видеоматериала составляет 1080 строк для некоторых моделей камер. Покадровая видеофиксация процесса колебаний позволяет оценить форму колебаний.

Анализ звуковых колебаний проводился с использованием программ - звуковых редакторов. Для обработки видеоинформации использовались программные средства- видеоредакторы. Эти средства позволяют изменять временной масштаб отображения происходящего процесса. Разрешение звукового видеоматериала вполне достаточно для оценки частоты собственных колебаний.

Выводы: Вышеприведенное исследование показывает, что применение звуко- и видеозаписывающей аппаратуры позволяет достоверно определить частоты собственных колебаний балки, изготовленной из композитного материала. Сопоставление точного теоретического решения и результатов, полученных экспериментально с использованием звуко- и видеорегирующей аппаратуры дает их хорошее соответствие. Использование Action камеры в качестве фиксатора видеоинформации возможно после сопоставления масштаба исследуемого объекта, скорости протекающего процесса и изменения конфигурации системы за межкадровый промежуток времени.

Принципы фиксации скоростных процессов, рассмотренные выше, используются в специальных курсах магистерской подготовки студентов, при выполнении выпускных бакалаврских работ и магистерских диссертаций студентов специальности «Динамика и прочность машин» НИУ «МЭИ», научных исследованиях и могут быть обобщены для решения задач неконсервативной устойчивости и колебаний [5].

Литература:

1. Bolotin Vladimir V. Stability problems in fracture mechanics. - John Wiley & Sons, Inc. - 1996.-187 с.
2. Динамика удара: Пер. с англ./Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. и др.-М.: Мир, 1985.
3. Касьянов К. Г., Щугорев В.Н., Подмазов Д.А, Никишин В.И. Исследование напряженно деформированного состояния в слоистой плите при низкоскоростном ударном нагружении. // Материалы XXIV международного симпозиума “Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред” им. А.Г. Горшкова.-МАИ.-2018.- С.228-229.
4. GoPro 6 Black. Руководство пользователя. Nevk Advance. 2018г., 108 с.
5. Решение неконсервативных задач теории устойчивости // В.П.Радин, Ю.Н. Самогин, В.П.Чирков, А.В. Щугорев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017.-240 с.

Ключевые слова: композитная балка, частоты собственных колебаний, акустическая и видео фиксация колебаний балки

Секция АИ – Акустические измерения

Секция МА – Музыкальная акустика – в составе секции АИ

Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель

ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7, E-mail: kuziren@yandex.ru

16.10.2019 - с 09.00 до 13.00

≈700 ГЦ В РУССКОЙ АУТЕНТИЧНОЙ ПЕВЧЕСКОЙ ФОНАЦИИ

Гутова С.Ю.

РГПУ им. Герцена, институт музыки, театра и хореографии, Санкт-Петербург;

Тел. 8-926-062-47-87; e-mail: gutik57@mail.ru

Приведены данные по экспериментальному измерению акустического сигнала вокальной речи русских этнопевцов методом слоговой артикуляции. В исследовании участвовали три группы исполнителей – традиционные певцы из различных регионов России, профессиональные и полупрофессиональные исполнители, работающие в фольклоризированной манере, и ученики автора. Для объективности анализировались 12 образцов фольклорных песен, исполненных аутентичными певцами и «перепетых» фольклоризированными исполнителями.

Установлено, что в аутентичном голосе обнаруживается устойчивое присутствие частоты колебания в ≈700 Гц (это 698, 46 Гц – по таблице А. Веркмейстера, 700 Гц или немного выше). Есть основания полагать, что данная частота, являющаяся первой гармоникой к основному тону f в данном случае первой октавы и находящаяся на стыке низкой и средней певческих формант, имеет важное значение для обертоново-резонансного раскрашивания русского традиционного этнозвука.

Выявлено, что ≈700 Гц:

- проявляются на ноте f независимо от октавного расположения и всегда динамически активнее других гармоник;
- присущи рече-певческой позиции, т. е. диалектной вокальной речи;
- влияют на эстетические качества певческого звука.

На ≈ 700 Гц:

- выстраиваются обертоны натурального звукоряда, а также образуются специфические обертоны, которые проявляются при особых акустических условиях на длинных звуках-интонациях;
- усиливается резонансное свойство звука;
- межформантные области более плотные и насыщены гармониками.

В фольклоризированном голосе эта частота присутствует только в 40% случаев, а в аутентичном – 90%.

Эксперимент с усилением частоты ≈ 700 Гц на учащихшихся показал возможность обучения по методике гармонического усиления для улучшения вокального звука.

Исходя из данных эксперимента и трудов других исследователей следует, что ≈ 700 Гц связаны с биофизическими свойствами рече-дыхательной системы, а значит, данная частота является природным акустическим механизмом.

Ключевые слова: аутентичный тембр, темброинтонирование, русское обертоновое пение, ≈ 700 Гц

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ В ЗАДАЧЕ ОБУЧЕНИЯ ВОКАЛЬНОМУ МАСТЕРСТВУ

Якимук А.Ю., Конев А.А.¹⁾

¹⁾ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.

Тел.: (983 2352431); E-mail: (yay@keva.tusur.ru)

В данный момент чаще всего используется сольфеджио (пение по нотам) при обучении студентов в музыкальных школах по курсу вокальное мастерство. Из-за того, что у студентов еще не сформирован развитый музыкальный слух, затруднительно оценить с точки зрения правильности исполненную ноту. Особенно эта проблема заметна, если необходимо определить степень отклонения от идеального звучания ноты. Данная работа посвящена разработке алгоритмов сегментации и идентификации нот максимально приближенных к принципу действия человеческого уха.

Ключевые слова: распознавание нот, частота основного тона, сегментация

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЗВУКА В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЕГО ПОЛЯ В ЛАБОРАТОРНОМ БАССЕЙНЕ

Вировлянский А.Л., Дерябин М.С.

ИПФ РАН, Нижний Новгород

Тел.: (831 4164784); Факс: (831 4365976); E-mail: viro@appl.sci-nnov.ru

Показано, что комплексная амплитуда поля излучателя звука в свободном пространстве может быть восстановлена по измерениям поля, возбужденного этим излучателем в области с отражающими границами. Для решения задачи применен метод эквивалентных источников, в рамках которого поле излучателя аппроксимируется суперпозицией полей акустических монополей, расположенных в узлах кубической решетки. Ключевое предположение заключается в том, что один и тот же набор монополей с теми же самыми амплитудами моделирует поле излучателя и в свободном пространстве, и в бассейне с отражающими границами. Амплитуды монополей реконструируются по измерениям поля излучателя в бассейне. Решение этой обратной задачи требует знания функции Грина, то есть поля акустического монополя. Необходимые значения данной функции измеряются с использованием процедуры, которая названа калибровкой бассейна. Она заключается в том, что эталонный акустический монополь поочередно помещается в точки расположения эквивалентных источников и его сигналы, излучаемые из этих точек, регистрируются всеми приемниками. Амплитуды эквивалентных источников подбираются таким образом, чтобы суперпозиция их полей в точках приема наилучшим образом аппроксимировала измеренные в этих точках амплитуды сигналов от излучателя. После этого поле излучателя в свободном пространстве вычисляется с использованием найденных амплитуд эквивалентных источников и известного выражения для функции Грина. Работоспособность предложенного подхода продемонстрирована в лабораторном эксперименте с помощью комплекса автоматизированных акустических измерений.

Ключевые слова: излучатель звука, реконструкция поля, метод эквивалентных источников, лабораторный бассейн

ИДЕНТИФИКАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Мещеряков Р.В.¹⁾, Ляпустин Е.С.²⁾

¹⁾ ИПУ РАН, город Москва;

²⁾ АО «Инфосистемы Джет», город Москва.

Тел.: (929 369 0474); E-mail: (es.lyapustin@mail.ru)

Беспилотные летательные аппараты (далее - БЛА), используемые в незаконных целях, представляют собой растущую проблему, и потребность в системах обнаружения беспилотных летательных аппаратов неуклонно возрастает. Проведенный анализ отечественных и зарубежных источников показал, что обнаружение БЛА с исполь-

зованием аудиоанализа возможно и что реализация решений по идентификации беспилотных летательных аппаратов может стать полезным продуктом для систем охраны.

Рассмотрены различные возможные методы обнаружения БЛА. Анализ их достоинств и недостатков показал, что подсистемы, включающие как активные, так и пассивные механизмы обнаружения, такие как радар и обработка изображений необходимо комплексировать в единую систему. Было решено, что любая спроектированная система будет функционировать на первом этапе получая звук, издаваемый БЛА, затем модуль, который обрабатывает этот звук, сравнивает его с эталоном-идентификатором БЛА и с помощью триангуляции по силе звука, предоставляем информацию о мгновенном местонахождении устройства. Для этого система обнаружения была разделена на пять отдельных модулей:

1. Обнаружение звука;
2. Формирование сигнала;
3. Сбор и передача данных;
4. Обработка;
5. Вывод данных.

Выводы. Обнаружение БЛА с использованием аудиоанализа возможно. Тем не менее, звуки, исходящие от похожих по ТТХ БЛА трудно отличить друг от друга и идентификатор может давать ложные срабатывания. В рамках данной работы можно сделать дальнейшую модернизация в части добавлении локализации источника звука в детектор обнаружения, чтобы можно было подавлять звуки ниже определенного угла источника звука, тем самым увеличить вероятность идентификации количества БЛА по аудиоотпечатку.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОЙ АНТЕННЫ

Глебова Г.М.¹⁾, Кузнецов Г.Н.²⁾

¹⁾ Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону;

²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва.

Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

Рассмотрена задача оценки направленности излучения движущимся протяженным источником, акустическая модель которого может быть представлена совокупностью распределенных вдоль апертуры элементарных источников монопольного типа. Учитывается распределение звуковой энергии вдоль апертуры и корреляционные характеристики источников. Предполагается, что измерения выполняются на фоне шумов моря, протяженный источник перемещается, пространственно-развитая многоэлементная антенна стационарна. Получены аналитические соотношения и с использованием компьютерного моделирования выполнен расчет точности оценки параметров каждого элементарного источника для алгоритмов, работающих с различными компонентами векторно-скалярного акустического поля. Результаты сравниваются с оценками погрешностей, полученных с использованием только скалярных приемников. Показано, что суперпозиция малозумных источников, параметры которых были вычислены при решении обратной задачи в волноводе, достаточно точно формирует поле, эквивалентное протяженному многоэлементному источнику. Наилучшие результаты получены при обработке сигналов с использованием потоковой векторно-скалярной компоненты акустического поля. Пространственные характеристики (направленность излучения) эквивалентного протяженного источника в этом случае оцениваются с наименьшей погрешностью.

Ключевые слова: векторно-скалярная многоэлементная антенна, многокомпонентный протяженный источник, пространственная корреляция, решение обратной задачи, минимизация функционала

ОСЛАБЛЕНИЕ ПСЕВДОЗВУКОВЫХ ПОМЕХ ВЕКТОРНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ ГРАДИЕНТНОГО ТИПА В СОСТАВЕ БУКСИРУЕМОЙ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОЙ АНТЕННЫ

Глебова Г.М.¹⁾, Кузнецов Г.Н.²⁾

¹⁾ Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону;

²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва.

Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

В мелководном районе выполнено исследование спектральных и корреляционных характеристик помех турбулентного происхождения, образующихся в пограничном слое буксируемой векторно-скалярной антенны (ВСА). Эксперименты проведены при малом и достаточно большом удалении антенны от носителя. Установлено, что при буксировке ВСА на малом расстоянии от носителя основным источником помех является шум от гребного винта носителя. При достаточном удалении антенны от носителя турбулентные помехи в низкочастотной области превышают помехи носителя и имеют псевдозвуковой характер.

Выполнено сравнение формы спектров и уровней турбулентных помех на скалярных и векторных приемниках. Показано, что векторные приемники градиентного типа различным образом взаимодействуют с турбулентными пульсациями. На высоких частотах, для которых интервал пространственной корреляции турбулентных псевдозвуковых пульсаций меньше размеров векторного приемника, величина помех оказывается соизмеримой или на 1.5–3 дБ превышает помеху на скалярных приемниках. На низких частотах, на которых интервал пространственной корреляции псевдозвуковых пульсаций больше чем размер векторного приемника, наблюдается ослабление помех по сравнению с помехами на скалярном гидрофоне. Подавление турбулентных пульсаций достигает 5–8 дБ, что является существенным с точки зрения увеличения отношения сигнал/помеха и увеличения дальности обнаружения слабых сигналов.

Отметим, что при буксировке ВСА на малом расстоянии от носителя шума (помехи) носителя подавляются с использованием векторных каналов также значительно эффективнее, чем с использованием только скалярных гидрофонов. Одновременно многоканальная ВСА обеспечивает однонаправленность приема, т.е. разделяет сигналы, пришедшие с левого и правого борта.

Ключевые слова: скалярные и векторно-скалярные антенны, спектры, пространственная корреляция, подавление турбулентных помех и шумов носителя

**ОЦЕНКА КООРДИНАТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНОЙ АНТЕННЫ**

Драченко В.Н., Кузнецов Г.Н., Михнюк А.Н.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва.

Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790) (Кузнецов Г.Н.); E-mail: skbmortex@mail.ru (Кузнецов Г.Н.)

Экспериментальное исследование выполнено в мелководном районе глубиной около 90 м на расстояниях от источника до приемной системы от 300 до 3000 м. Прием сигналов выполнялся 96-канальной вертикальной векторно-скалярной антенной цилиндрической формы. Антенна стационарно устанавливалась на глубине, которая измерялась с использованием встроенного в антенну датчика. Одновременно производились оценки температуры воды и ориентации антенны в пространстве, в том числе — истинного пеленга относительно магнитного меридиана. Это позволило в последующем получить несмещенные оценки пеленга.

Источник с постоянной скоростью буксировался на заданной глубине, достигая минимального расстояния на траверзе, и удалялся по прямолинейной траектории. В конце траектории движения источник буксировался по дуге окружности. Широкополосные сигналы, излучаемые источником, регистрировались и обрабатывались для оценки дальности, глубины и пеленга на источник. Предварительно производился замер вертикального профиля скорости звука и анализировался по данным геологов наклон грунта. Эти характеристики использовались при обработке сигнала с целью выполнения согласованной с передаточной функцией волновода фильтрации.

Принятые сигналы после формирования пространственного отклика и фурье-анализа подвергались корреляционной и кепстральной обработке, что позволило разрешить сигналы, принятые по разным лучам во временной области, и измерить с достаточной точностью разность временных задержек между принятыми сигналами.

В основе согласованной фильтрации была использована минимизация невязки экспериментальных и расчетных значений временных задержек между принятыми лучами. Частотно-пространственная обработка производилась на выходе пространственных откликов, построенных с использованием группы вертикальных антенн. Для оценки пеленга использовались скалярные и векторно-скалярные поля, а также обработка по потоку мощности. Полученные оценки усреднялись и в последующем использовались для построения траектории движения и зависимости глубины источника от расстояния.

Результаты экспериментов хорошо согласуются с исходными данными и заданными параметрами.

Ключевые слова: векторно-скалярная антенна, движущийся широкополосный источник, оценка пеленга, дальности и глубины

**АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЖИДКОСТИ В ГРАНИЧНОЙ ФАЗЕ**

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

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ.

E-mail: baz_say@mail.ru

Рассмотрены особенности распространения поверхностных акустических волн в динамически равновесной системе «пьезоэлектрическая подложка – адсорбционный граничный слой – парогазовая среда». Продемонстрирована возможность применения поверхностных акустических волн в качестве инструмента исследования диэлектрических свойств жидкости в граничной фазе. В результате воздействия силового поля твердой поверхности структура жидкости в граничной фазе модифицирована, соответственно изменены её диэлектрические свойства. Время диэлектрической релаксации жидкости в граничной и объемной фазе существенно отличаются. Показано, что частотная зависимость диэлектрических характеристик адсорбированной воды хорошо согласуется с уравнением Дебая. Представленный в работе метод может успешно дополнять существующие методы исследования диэлектрических характеристик граничных слоев жидкостей и релаксационных процессов в них.

ИМПУЛЬСНЫЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СКОРОСТИ И ЗАТУХАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Симаков И.Г., Гулгенов Ч.Ж.

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ.

E-mail: chingisbarga@gmail.com

На основе модификации разработанного ранее метода предложен высокочувствительный метод определения малых изменений скорости и затухания поверхностных акустических волн. В предложенном методе измерение основано на интерференции прямого и задержанного противофазных электрических сигналов. Сигнал нарушения баланса фаз или амплитуд (в результате исследуемого воздействия, например адсорбции) регистрируется приемным устройством. Для повышения чувствительности метода измерения в предлагаемой модификации влияние ос-

новых паразитных сигналов устранено использованием режимов импульсной модуляции и непрерывной генерации и применением управляемой временной селекции измеряемого результирующего сигнала

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ В СУСПЕНЗИИ НАНОЧАСТИЦ ИМПЕДАНСНЫМ МЕТОДОМ

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

Институт физического материаловедения СО РАН

Россия, 670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8

Тел.: (3012) 432-282; Факс: (3012) 433-238; E-mail: lmf@ipms.bsnet.ru, dagzama@mail.ru

Характерные особенности наносуспензий позволяют их использовать в создании микроэлектромеханических систем (МЭМС), при создании систем транспортировки тепловой энергии, в нанотехнологиях различного назначения, при разработке новых лекарственных препаратов, смазочных материалов, лаков и красок. Все это требует всестороннего исследования их физических и переносных свойств. В данной работе приведены результаты исследований низкочастотной (10^5 Гц) сдвиговой упругости коллоидной суспензии наночастиц диоксида кремния SiO_2 с размерами наночастиц 100 нм в полиэтилсилоксановой жидкости ПЭС-2 (1.25 масс.%) импедансным (аналогичным методу Мэзона) методом.

На горизонтальную поверхность пьезокварца в виде прямоугольного бруска наносится слой исследуемой жидкости. Размер пьезокварца составляет $35 \times 12 \times 6$ мм³, масса 6,82 г, резонансная частота 72,3 кГц. При тангенциальных колебаниях пьезокварца на резонансной частоте слой жидкости испытывает деформации сдвига, и в ней распространяется сдвиговая волна. При полном затухании сдвиговой волны в толстом слое жидкости действительный $\Delta f'$ и мнимый $\Delta f''$ сдвиги резонансной частоты стремятся к предельным значениям. Если у исследуемой жидкости мнимый $\Delta f''$ и действительный $\Delta f'$ сдвиги частот равны, то жидкость ньютоновская. Если же $\Delta f'' > \Delta f'$, то суспензия обладает сдвиговой упругостью.

Результаты эксперимента показали, что предельное значение мнимого сдвига резонансной частоты для исследованной суспензии $\Delta f'' = 12$ Гц, а действительный сдвиг $\Delta f'$ пренебрежимо мал. Видно, что $\Delta f''$ намного больше $\Delta f'$. Это говорит о том, что исследуемая суспензия обладает низкочастотной сдвиговой упругостью при частоте эксперимента. Рассчитанное значение действительного модуля сдвига $G' = 0.22 \cdot 10^5$ Па. Дальнейшие исследования показали, что с уменьшением размеров и с увеличением концентрации наночастиц модуль сдвига суспензии уменьшается. Таким образом, установлено, что коллоидные суспензии наночастиц обнаруживают низкочастотную сдвиговую упругость.

Ключевые слова: наносуспензия, пьезокварц, колебания, модуль

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БЛИЖНЕПОЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Костеев Д.А.¹⁾, Салин М.Б.¹⁾

¹⁾ ИПФ РАН, Нижний Новгород;

Тел.: 920 0652795; E-mail: d_kosteev@mail.ru

Применение методов ближнепольной голографии открывает возможности для измерения характеристик источников при сложной внешней обстановке. Например, необходимо измерить поле источника в дальней зоне, но это не представляется возможным, из-за ограниченных размеров лабораторной установки, на которой проводится эксперимент, или по иным причинам. Применение методов голографии позволяет рассчитать искомое поле. Существует и во многих случаях используется возможность проводить измерения на произвольной дистанции от источника звука, и находить значения в дальней зоне расчетным образом. При этом амплитуда и фаза сигнала должна быть измерена в достаточном количестве точек. Измерение характеристик источников широкополосных сигналов представляет большой интерес. При решении подобной задачи, наиболее важными являются два параметра: форма временной реализации и средний уровень поля давления, если речь идет об акустике. Форму временной реализации нагляднее всего исследовать на примере импульсных сигналов. В настоящей работе описан соответствующий лабораторный эксперимент, проведенный в безэховой камере, методика восстановления дальнего поля, а так же результаты расчетов и сравнение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: акустическая голография; ближнее поле

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ВРСЗ

Лебедев М.В.¹⁾, Захаров В.О.²⁾

¹⁾ АО АКИН, г.Москва; ²⁾ МАИ, г.Москва;

Тел.: (903 0058575); E-mail: max_lebedev@mail.ru

Данная работа посвящена исследованию применения алгоритмов снижения размерности для оптимального хранения информации о ВРСЗ. Рассмотрено три основных подхода для сжатия информации: метод главных компонент, K-SVD и нейронная сеть. Качество алгоритмов сжатия определяется по трем критериям: точность восстановления координат профиля ВРСЗ, размер хранимой информации после сжатия, точности извлечения информации о сезоне из сжатого профиля ВРСЗ. Для оценки сезона было использовано несколько известных алгоритмов классификации: регрессия, бустинг, решающие деревья. Исследования проводились для нескольких районов мирового океана.

Ключевые слова: алгоритмы снижения размерности, ВРСЗ, классификация

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ МЕГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ В ЖИДКОСТИ

Конопатская И.И.¹⁾, Пятаков П.А.¹⁾, Свядковский А.Н.¹⁾, Шуляпов С.А.¹⁾

¹⁾АО "АКИН", г. Москва

Тел: (499)723-6321; Факс: (499)126-8411; E-mail: ikonopatskaya@gmail.com

При решении широкого круга прикладных задач постоянно возникают проблемы экспериментального измерения акустических полей излучателей ультразвука (УЗ) мегагерцового диапазона частот в воде. Во-первых, это необходимо для предсказания или объяснения результатов воздействия поля таких излучателей на вещество, например, на биологические ткани, если данные излучатели предназначены для использования в медицине или биологии. Во-вторых, сопоставление данных измерения акустического поля конкретного излучателя с результатами расчета позволяет подтвердить (или опровергнуть) верность выбранной теоретической модели, используемой для расчета проектируемых акустических систем, поскольку существует определенная сложность учета в расчетах эффектов неоднородности пластин излучателей, концевых эффектов закрепления пластин в корпусе и т.д. Проведение подобных измерений вручную требует существенных временных затрат, но не обеспечивает достаточные точность и детализацию измеряемого поля, поэтому важной задачей является автоматизация процесса измерений. Создана система автоматизированного измерения акустических полей в диапазоне частот 10кГц-5МГц, распространяющихся в жидкой среде. Поле давлений измеряется гидрофоном, перемещающимся относительно неподвижного излучателя, посредством устройства на основе трёхкоординатного станка PureLogic. При сканировании гидрофон движется с постоянной скоростью. Механическая точность позиционирования гидрофона составляет 0.1мм. Низкоуровневое управление перемещением гидрофона и контроль текущих координат осуществляется платой на базе микроконтроллера Arduino UNO. Электрический сигнал с гидрофона (после аналоговой фильтрации и усиления) регистрируется цифровым осциллографом. Возбуждающий сигнал с генератора на излучатель подается в импульсном режиме, чтобы избежать искажений поля в следствие переотражения от стенок бассейна. Генератор также осуществляет тактирование измерительной системы. Общее управление процессом измерения, а также обработку полученных данных, осуществляет программа, разработанная в среде LabView. Реализованная система, при сравнительно невысокой стоимости, обеспечивает высокую скорость, детализацию и повторяемость проводимых измерений. Кроме того, у пользователя есть возможность задания произвольной траектории сканирования, что обеспечивает гибкость в случае измерения сложной структуры поля.

Ключевые слова: автоматизация, измерение гидроакустических полей

ВЛИЯНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЕДИНИТЕЛЬНОГО КАБЕЛЯ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Бритенков А.К., Фарфель В.А., Лебедев Е.В.

Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород

Тел.: +7910-7942673; Факс: +7831-4160630; E-mail: britenkov@ipfran.ru

Низкочастотные гидроакустические излучатели широко используются для различных приложений: от дальней звукоподводной связи и телеуправления до сейсмоакустической разведки. Обилие задач и специфика конкретной реализации зачастую накладывает достаточно жесткие требования к обеспечению заданных электроакустических параметров излучателей. В связи с этим необходимо проведение натурных испытаний гидроакустических преобразователей в открытых акваториях на различных глубинах для точного измерения их электроакустических характеристик. Использование длинного кабеля связи от системы возбуждения до излучателя без учёта электрических характеристик такой линии приводит с одной стороны, к высоким погрешностям измерений, а с другой к отсутствию оптимального согласования системы возбуждения и низкочастотного излучателя и снижению эффективности работы излучающего комплекса. Соединительный кабель длиной более 100 м можно рассматривать как длинную линию с эквивалентной схемой в виде четырёхполюсника, что является упрощённой формой телеграфных уравнений.

На основе данных, полученных во время морских испытаний по оценке влияния кабеля длиной 1000 м и сечением жил 1,5 мм² на электроакустические характеристики низкочастотного излучателя и параметры его эквивалентной схемы в диапазоне частот порядка сотен Гц, разработаны рекомендации по методике проведения измерений и обработке экспериментальных данных с учётом первичных параметров линии связи. Экспериментальные данные подтверждают, что влияние кабеля длиной 1000 м при измерении резонансной частоты и ширины полосы частот излучателя незначительно, однако значения напряжения и тока системы возбуждения значительно отличаются от тока и напряжения на излучателе, а КПД и чувствительность оказываются заниженными по отношению к его реальным характеристикам.

Ключевые слова: низкочастотный гидроакустический излучатель, пьезоэлектрический преобразователь, телеуправление АПА, электроакустические характеристики, длинная линия

**НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА**

Васильев М.Д.^{1,3)}, Канев Н.Г.^{2,3)}

¹⁾ *Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, Москва.*

²⁾ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва*

³⁾ *ООО «Акустические материалы», Москва*

Тел.: +79166361084; E-mail: mick03vasil@mail.ru

В работе рассмотрены вопросы неопределённости, возникающей в результате измерений нормируемых параметров вибрации, вызываемой движением железнодорожного транспорта. Основная трудность заключается в определении максимальных значений уровней виброускорения в октавных полосах частот, а также максимального значения скорректированного уровня виброускорения. Отдельные проезды поездов создают разные уровни виброускорения, поэтому для корректной оценки требуется, во-первых, достаточно долгий период наблюдения и большое количество событий прохождения поезда и, во-вторых, количественная оценка неопределённости измерения. Для оценки статистических характеристик параметров вибрации проанализированы суточные записи вибрации в зданиях, расположенных рядом с линиями железнодорожного транспорта. Рассмотрены три вида транспорта: поезда, трамваи, метрополитен. Обработка и анализ результатов измерений проведены на основании положений и рекомендаций группы стандартов ГОСТ 34100. По результатам анализа сформулированы рекомендации по выбору количества событий прохождения поездов, которые необходимо зафиксировать во время измерений для получения статистически достоверной информации о вибрационном воздействии железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: измерения вибраций, неопределённость измерений, рельсовый транспорт

Секция АЭ – Акустоэлектроника

Кузнецова Ирен Евгеньевна, руководитель

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

16.10.2019 - с 09.00 до 11.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СТРУКТУРЕ «ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНА – ПЛЕНКА ФТАЛОЦИАНИНА АЛЮМИНИЯ»

Кузнецова И.Е.¹⁾, Анисимкин В.И.¹⁾, Колесов В.В.¹⁾, Кашин В.В.¹⁾, Юдин С.Г.²⁾, Смирнов А.В.¹⁾

¹⁾ *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва;*

²⁾ *Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, Москва.*

Тел.: (915 2379880); Факс: (495 6293678); E-mail: kuziren@yandex.ru

В последние годы разработка фотодетекторов на основе органических пленок привлекает все большее внимание исследователей [1]. Это связано с их механической гибкостью, большой площадью поверхности детектирования и низкой стоимостью при производстве. В известных работах сообщается о резистивных датчиках, используемых в качестве сенсорной пленки фталоцианина различных металлов. Работы, в которых рассматривается возможность создания на основе фталоцианинов акустических фотодетекторов – отсутствуют. В настоящей работе проведен теоретический анализ влияния освещенности на характеристики акустических волн в структуре «пластина LiNbO₃-пленка фталоцианина алюминия (РТС Al)» с учетом нагрева подложки во время эксперимента. Также проведено экспериментальное исследование влияния света в диапазоне 350-1000 нм на фазовый и амплитудный отклики акустических волн в вышеуказанной структуре. Линия задержки с длиной волны 1.2 мм на поверхности пластины LiNbO₃ толщиной 380 мкм была создана при помощи проводящих чернил на основе наночастиц серебра методом печати на струйном принтере. Были измерены температурные коэффициенты задержки (ТКД) акустических волн высших порядков, возбуждающихся в такой пластине и выбрана волна, характеризующаяся практически нулевым ТКЗ с частотой 8.23 МГц и скоростью 10142 м/с. Это позволило нивелировать эффект нагрева подложки при ее облучении. Проведенные эксперименты показали возможность разработки акустического фотодетектора селективно чувствительного к различным длинам волн видимого диапазона света, и характеризующегося высокой скоростью срабатывания. Работа поддержана проектами РФФИ 17-07-00750-а и 19-07-00145-а.

[1] Wang C., Chen X., Chen F., Shao J. Organic photodetectors based on copper phthalocyanine films prepared by a multiple drop casting method// Organic Electronics 66 (2019) 183–187

Ключевые слова: акустический фотодетектор, фталоцианин алюминия, видимый свет, струйная печать, пьезоэлектрическая пластина

ЖИДКОСТНЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Зайцев Б.Д.¹⁾, Теплых А.А.¹⁾, Бородин И.А.¹⁾, Семенов А.П.¹⁾

¹⁾ *Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Саратов
Тел.: (+79173047418); Факс (+78452272401); E-mail: zai-boris@yandex.ru*

Основной элемент датчика это контейнер объемом 2 мл, в качестве основания которого использовался резонатор с поперечным электрическим полем. К резонатору с помощью герметика приклеивалась прямоугольная рамка из оргстекла. Резонатор был выполнен на пластине керамики ЦТС-19 с толщиной 3.54 мм и поперечными размерами 18x20 мм. На одну сторону резонатора была нанесена пленка из алюминия с зазором в центре шириной 4 мм. Полярная ось пьезоэлектрика была ориентирована перпендикулярно зазору. По бокам жидкостного контейнера были приклеены две металлические пластины для осуществления надежного контакта электродов с анализатором импедансов. Измерения, показали, что в диапазоне 75 – 300 кГц существует два ярко выраженных резонанса. Первый резонанс с частотами последовательного и параллельного резонансов 92 и 98 кГц характеризовался коэффициентом электромеханической связи ~14%. Указанные частоты второго резонанса с коэффициентом электромеханической связи ~5% оказались равными 258 и 264 кГц. В обоих случаях значения добротности лежали в диапазоне 130 – 160. Очевидно, что большие значения коэффициента электромеханической связи открывают перспективу создания датчика для измерения электрической проводимости жидкостей. Были проведены эксперименты с образцами проводящей жидкости на основе раствора хлористого натрия в дистиллированной воде. Проводимость образцов изменялась в пределах 3 – 10000 мкСм/см. Было установлено, что варьирование проводимости жидкости в указанных пределах изменяло частоту параллельного резонанса на несколько процентов. Изменялись также значения модуля электрического импеданса или адмиттанса в пределах несколько десятков процентов. Экспериментальные результаты оказались в хорошем соответствии с данными теоретического анализа, проведенного методом конечных элементов. Показана также возможность создания на этой основе биологического датчика для обнаружения и идентификации бактериальных клеток непосредственно в жидкой фазе.

Ключевые слова: пьезоэлектрический резонатор с поперечным электрическим полем, резонанс, коэффициент электромеханической связи, проводимость жидкости, электрический импеданс

АКУСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ КЛЕТОК

Бородин И.А.¹⁾, Зайцев Б.Д.¹⁾, Гулий О.И.²⁾, Староверов С.А.²⁾

¹⁾ *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратовский филиал, г. Саратов*

²⁾ *Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, г. Саратов*

Тел.: (+79063036937); Факс (+78452272401); E-mail: borodinaia@yandex.ru

Разработан метод экспресс-анализа и оценки жизнеспособности бактериальных клеток непосредственно в жидкой проводящей суспензии при использовании акустического датчика на основе щелевой моды. Основным элементом датчика является линия задержки, изготовленная из пластины Y-X ниобата лития. На поверхности пластины были нанесены два встречно-штыревых преобразователя (ВШП) для возбуждения и приема акустической SH₀ волны. Жидкостной контейнер помещался над волноводом линии задержки между ВШП с заданным зазором. Дно контейнера было изготовлено из пластины Z-X+30° ниобата лития. Для проведения исследований датчик подключался к измерителю S-параметров E5071C («Agilent», США) и проводились измерения частотной зависимости полных потерь выходного сигнала датчика. В ходе измерений наблюдалось наличие ярко выраженных резонансных пиков на частотной зависимости полных потерь датчика, связанных с возбуждением щелевой моды. Метод анализа микробных клеток был основан на регистрации изменений глубины и частоты пиков резонансного поглощения на частотной зависимости полных потерь датчика до и после биологического взаимодействия микробных клеток со специфичными бактериофагами. Датчик регистрировал заражение микробных клеток специфическими бактериофагами в суспензиях с начальной проводимостью 4.5 - 30 мкСм/см. Время анализа составляло 5-10 минут, предел определения микробных клеток был равен 10³ кл/мл. Проводились контрольные эксперименты с неспецифическими взаимодействиями микробных клеток с бактериофагами, в которых изменение параметров датчика не наблюдалось. Для оценки жизнеспособности суспензию клеток нагревали до 60, 80 и 100 °С. Затем клеточную суспензию охлаждали до комнатной температуры, помещали в жидкостную ячейку и фиксировали показания датчика. После этого добавляли специфичный бактериофаг и вновь регистрировали показания датчика. Отличительной особенностью используемого датчика является отсутствие контакта исследуемой суспензии с тонким (200 мкм) волноводом линии задержки. В связи с этим дополнительным преимуществом датчика является наличие съемного контейнера с жидкостью, что позволяет многократно использовать его и облегчить процесс очистки контейнера от отработанного образца. Этот факт является важным условием при работе с микроорганизмами.

Ключевые слова: акустическая линия задержки, щелевая мода, пики резонансного поглощения, бактериальные клетки, бактериофаги

ПЛЕНКИ ХИТОЗАНА КАК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Семёнов А.П.¹⁾, Зайцев Б.Д.¹⁾, Федоров Ф.С.²⁾, Теплых А.А.¹⁾, Бородин И.А.¹⁾, Насибуллин А.Г.²⁾

¹⁾ Саратовский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратов

²⁾ Сколковский институт науки и технологий, Москва

Тел.: 8(8452) 39-12-33; Факс: (+78452272401); E-mail: alex-sheih@ya.ru

В работе исследована газочувствительная способность датчика на основе резонатора с поперечным возбуждающим электрическим полем (ПЭП), изготовленного из пластины пьезокерамики ЦТС-19 с двумя прямоугольными электродами на одной стороне пластины и пленкой хитозана на другой стороне. Для измерений было использовано 3 ПЭП резонатора, изготовленных из пластин пьезокерамики ЦТС-19 с толщинами 3.54 мм, 3.55 мм и 3 мм и поперечными размерами 20×18 мм с двумя прямоугольными алюминиевыми электродами с размерами 20×7 мм и зазором между ними 4 мм на каждом резонаторе. Полярная ось была ориентирована вдоль размера 18 мм. Пленки хитозана наносились на свободную от электродов поверхность ПЭП резонаторов. В качестве газочувствительных пленок использовались пленки ацетата хитозана, лактата хитозана и гликолата хитозана, сорбционные свойства которых изучались по отношению к парам воды, этанола и 10% аммиака. Полученные данные сравнивались с результатами аналогичных экспериментов на дисковых резонаторах с продольным электрическим полем на основе пьезокерамики ЦТС-19 с толщинами 2.955 мм, 1.95 мм и 1.97 мм и с диаметрами 20 мм, 21.9 мм и 21.9 мм, соответственно, с перечисленными выше пленками хитозана. Полярная ось дисковых резонаторов была сориентирована по их толщине. Для проведения экспериментов каждый резонатор с пленкой хитозана помещался в специально оборудованную герметичную камеру, которая заполнялась парами летучей жидкости. Измерялись зависимости реальной и мнимой частей электрического импеданса резонатора с пленкой от времени в присутствии паров и после их удаления. По результатам экспериментов были построены графики. Анализ полученных результатов показал качественное совпадение результатов экспериментов с ПЭП резонаторами и резонаторами с продольным электрическим полем: во всех случаях резонансная частота и максимальное значение реальной части импеданса уменьшались в присутствии используемых паров летучих жидкостей и восстанавливались после их удаления. Практически во всех случаях отклик по резонансной частоте для ПЭП резонаторов с пленками хитозана в присутствии газа оказался более значительным по сравнению с дисковыми резонаторами с такими же пленками хитозана.

Ключевые слова: газовые датчики, резонатор с поперечным электрическим полем, пленки хитозана, электрический импеданс

НЕРАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ

Смирнов А.В.¹⁾, Кузнецова И.Е.¹⁾, Недоспасов И.А.¹⁾

¹⁾ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва;

Тел.: (915 2379880); Факс: (495 6293678); E-mail: andre-smirnov-v@yandex.ru

Из литературы известно о существовании акустических волн с чисто мнимыми или комплексными волновыми числами, так называемые нераспространяющиеся волны. В случае чисто мнимого волнового числа, либо при значительном превышении мнимой части волнового числа над его реальной частью, нераспространяющаяся мода соответствует вибрации вблизи источника внешней силы, экспоненциально затухает при удалении от источника и не переносит энергию. Дисперсионные зависимости для подобного типа волн были получены для изотропных и пьезоэлектрических пластин кубической симметрии. В основном исследовались недиссипативные среды, в которых вязкость материала полагалась равной нулю. При существовании частотной области, когда действительная часть волнового числа больше, чем его мнимая часть существует условие для распространения этой волны на короткое расстояние. Существование нераспространяющихся волн Лэмба было экспериментально подтверждено на краях пластины. Интерес к исследованию подобных волн связан с возможностью их использования при неразрушающем контроле. В связи с близостью этих волн к частоте отсечки они должны быть также очень чувствительны к изменению свойств окружающей среды, что позволит создать на их основе высокочувствительные химические акустоэлектронные датчики. В настоящей работе предложен новый метод обнаружения нераспространяющихся акустических волн в пьезоэлектрических пластинах. Проведен теоретический анализ дисперсионных кривых волн S_1 и SH_1 в $YX-LiNbO_3$ и $YX-KNbO_3$, вблизи точки нулевой групповой скорости. Обнаружена ветвь, соответствующая нераспространяющимся акустическим волнам. Найден частотный диапазон, где действительная часть фазовой скорости больше, чем мнимая. В этой области мода является обратной волной, так как характеризуется противоположно направленными фазовой и групповой скоростями. Методом конечных элементов был смоделирован набор встречно-штыревых преобразователей, размещенных на поверхности пластины $LiNbO_3$ Y-среза, с различными пространственными периодами. Были обнаружены резонансные частоты, соответствующие нераспространяющейся S_1 моде. Из-за близости этой волны к точке нулевой групповой скорости ее свойства должны быть чрезвычайно чувствительными к изменению качества волновода и окружающей среды. Это открывает возможность использовать эти волны для разработки высокочувствительных датчиков и неразрушающего волноводного анализа. Работа частично поддержана проектами РФФИ №17-07-00608-а и №19-07-00070-а

Ключевые слова: нераспространяющиеся волны, обратные волны, точка нулевой групповой скорости, метод конечных элементов

**МАГНИТОУПРУГИЕ ВОЛНЫ И СПИНОВАЯ НАКАЧКА
В КОМПОЗИТНЫХ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ СТРУКТУРАХ**
Ползикова Н. И.¹⁾, Алексеев С. Г.¹⁾, Лузанов В. А.²⁾, Раевский А. О.²⁾

¹⁾ *Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Москва;*

²⁾ *Фрязинская часть Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Фрязино.
Тел.: (495 6293412); E-mail: polz@cplire.ru*

В композитных структурах, содержащих пьезоэлектрические и ферро(ферри)магнитные слои, спиновые волны (ADSW - acoustically driven spin waves) могут возбуждаться с помощью переменного электрического поля за счет пьезоэффекта и магнитострикции в соответствующих слоях. Поскольку такое электроакустическое возбуждение спиновой динамики не требует приложения переменных магнитных полей и создающих их токов, то устройства на основе ADSW могут работать с низким энергетическим потреблением. В частности, ADSW перспективны для применения в области микроволновой спинтроники для создания акустической спиновой накачки (ASP) – преобразования спинового углового момента ADSW в постоянный спиновый ток на границе с немагнитным металлом.

В докладе предполагается проанализировать новые направления, связанные с изучением ADSW в различных структурах и их применения в фононной и магнотронной логике, стрейнтронике, микроволновой спинтронике и других областях. Основное внимание будет уделено работам авторов доклада последних лет, посвященным экспериментальным и теоретическим исследованиям ADSW и ASP в гиперзвуковом резонаторе объемных волн, со структурой ZnO-GGG-YIG/Pt [1-3]. Будут представлены новые результаты по возбуждению и детектированию спиновых волн и спиновых токов, демонстрирующие хорошее соответствие теоретических и экспериментальных частотно-полевых зависимостей резонансных частот резонатора $f_n(f, H)$ и величины напряжения $U_{ISHE}(f, H)$ обратного спинового эффекта Холла в Pt. Показано, что ADSW в условиях резонатора создает спиновую накачку, которая также носит резонансный характер. Объяснена существенная асимметрия частотной зависимости сигнала напряжения, детектируемого на пленке Pt, относительно частоты магнитоупругого резонанса. Исследовано влияние толщины магнитной пленки на эффективность возбуждения ADSW и величину ASP. Сравнение теоретических и экспериментальных магнито-полевых зависимостей резонансных частот, а также теоретических и экспериментальных зависимостей $U_{ISHE}(f, H)$ позволяет определить ряд параметров магнитных пленок, таких как эффективная намагниченность, обменная жесткость, константа магнитоупругой связи. Таким образом, резонатор со спинтронной структурой YIG/Pt представляет интерес не только как эффективный источник спинового тока, но и как инструмент исследования магнитных и упругих параметров магнитоупорядоченных пленок и магнитных структур.

1. AIP Advances, 2016, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4943765>

2. AIP Advances, 2018, <https://doi.org/10.1063/1.5007685>

3. Phys. Solid State, 2018, DOI: 10.1134/S1063783418110252

4. Bull. RAS: Phys., 2017, <https://link.springer.com/article/10.3103/S1062873817080251>

Ключевые слова: пьезоэлектрик, ферромагнетик, магнитоупругость, акустический резонатор, акустическая спиновая накачка

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК С НАКЛОННОЙ
ОРИЕНТАЦИЕЙ ОСИ ТЕКСТУРЫ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ РЕЗОНАТОРНОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ**

Алексеев С. Г.¹⁾, Лузанов В. А.²⁾, Ползикова Н. И.¹⁾

¹⁾ *Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Москва;*

²⁾ *Фрязинская часть Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Фрязино.
Тел.: (495 6293412); E-mail: alekseev@cplire.ru*

На сегодняшний день наиболее распространенным методом осаждения пьезоэлектрических пленок на неориентируемые металлизированные подложки является метод магнетронного реактивного распыления в вакууме (MPP). Преимущества метода состоят в высокой однородности получаемых пленок, в достаточно высокой скорости осаждения, в относительно низких температурах осаждения. Поскольку для ряда приложений возникает необходимость возбуждения сдвиговых (S) акустических волн, в последнее время значительное внимание уделяется способам получения пьезоэлектрических пленок, ось аксиальной текстуры которых наклонена по отношению к ее нормали. Например, для акустических сенсоров, работающих в жидкой среде, возбуждение S-волн является принципиальным, поскольку в отличие от продольных, компрессионных волн, они не передают энергию в жидкость и вследствие этого испытывают гораздо меньшее затухание.

Наклон оси [0001] пленок, осаждаемых методом MPP, достигается за счет создания преимущественно наклонного падения осаждаемых частиц на плоскость подложки. В нашем методе необходимый наклон оси текстуры пьезоэлектрических пленок обеспечивается боковым смещением подложки от центра мишени. Для создания необходимой конфигурации магнитного поля при магнетронном разряде была изготовлена специальная магнитная система, в которой обеспечивалось двукратное превышение напряженности магнитного поля по краю мишени по сравнению с центральной областью.

При осаждении пьезоэлектрических пленок ZnO и AlN методом MPP в качестве подложек использовались открытые поликристаллическим алюминием пластины кремния. Ориентирующее влияние подложки в этом случае

исключается. Подложки располагались параллельно плоскости мишени на различных расстояниях от проекции центра мишени, а также на разных расстояниях от плоскости мишени.

В недавней работе по оптимизации процесса осаждения пленок ZnO с наклоненной осью текстуры [1] для контроля наклона оси текстуры применялся метод рентгеноструктурного анализа. В настоящей работе этот метод применяется одновременно с методом акустической резонаторной спектроскопии (АРС) [2]. Метод АРС позволяет получать частотные зависимости эффективной константы электромеханической связи k_{eff} в полученной пленке. Выбором положения подложки, при котором достигается максимальное значение k_{eff} , осуществляется оптимизация процесса осаждения пьезоэлектрических пленок с наклонной ориентацией оси текстуры.

[1]. РЭ, 2018, DOI: 10.1134/S1064226918090127

[2]. РЭ, 2015, DOI: 10.1134/S1064226915030018

Ключевые слова: пьезоэлектрик, акустическая резонаторная спектроскопия, ZnO, AlN, наклонная ось текстуры

Секция РДВ – Распространение и дифракция волн

Миронов Михаил Арсеньевич, руководитель

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»
117036 Москва, ул. Шверника, д. 4; E-mail: mironov_ma@mail.ru

16.10.2019 - с 11.20 до 13.00

ДИФРАКЦИЯ ЗВУКА НА КОНЕЧНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ В ДАЛЬНОМ ПОЛЕ

Косарев О.И., Остапишин Н.М., Пузакина А.К.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

E-mail: alla-puzakina@yandex.ru

Доклад посвящен расчету вторичного дальнего гидроакустического поля, переизлученного конечной цилиндрической оболочкой в жидкости. Проблема актуальна для морских подвижных объектов. Новизна связана с решением задачи для конечной цилиндрической оболочки и проявлением дифракции в дальнем поле. Целью работы является получение аналитического решения. Для расчета звукового давления в дальнем поле используется интегральная формула Кирхгофа, преобразованная к виду

$$p(r, \theta) = \frac{e^{-ikR}}{R} \frac{i^n}{2} \left[\mu J'_n(\mu) \int_0^L p(x) e^{ikx \cos \theta} dx - a \rho \omega^2 J_n(\mu) \int_0^L w(x) e^{ikx \cos \theta} dx \right], \quad (1)$$

где $\mu = k \sin \theta$, $k = \omega/c$, $\omega = 2\pi f$ - угловая частота, c - скорость звука в жидкости, L - длина оболочки, ρ - плотность жидкости, $w(x, \varphi)$ - виброперемещение поверхности оболочки, $r = a$ - радиус оболочки, x, φ - продольная и окружная координаты оболочки, θ - угол наблюдения. Полное звуковое давление на поверхности оболочки равно сумме звукового давления падающего p_0 и рассеянного p_s полей, т.е. $p(x) = p_0 + p_s$, где $p_s = p_{sw} + p_{st}$, p_{sw} - рассеянное как от упругого тела, p_{st} - отраженное как от абсолютного твердого тела, n - окружная гармоника.

Деформации $w(x)$ определяется из решения задачи о вынужденных колебаниях оболочки. Считая, что взаимодействие оболочки с жидкостью происходит только по радиальной координате W , уравнение вынужденных колебаний конечной цилиндрической оболочки можно представить в виде

$$(L(\gamma) + \omega^2 \bar{E}) \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{a}{q}(p_0 + p_s) \end{pmatrix},$$

где U, V, W - продольные, касательные и радиальные перемещения при колебаниях поверхности оболочки, элементы матрицы $L(\gamma)$ являются функциями фазы падающего поля $\gamma = k a \cos \psi$.

Звуковое давление падающего поля на поверхности цилиндра в разложении по цилиндрическим функциям

$$p_0 = K_H \cdot e^{ikx \cos \psi} \sum_{n=0}^{\infty} i^n \varepsilon_n J_n(ka \sin \psi) \cos n\varphi, \quad K_H = \frac{i \rho \omega V e^{-ikH}}{4\pi H}.$$

Рассеянное поле p_s определяется с учетом граничного условия на поверхности оболочки

$$\partial p / \partial r = \rho \omega^2 w(x, \varphi) \text{ при } 0 \leq x \leq L.$$

Звуковое давление на конечной цилиндрической оболочке при функции деформации $w(x)$, представляемой интегралом Фурье, определяется формулой Шендерова Е.Л. (для одной гармоники n)

$$p_{sw} = \frac{a \rho \omega^2}{2\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{w(x) H_n^{(2)}(a\tau) e^{i\gamma(z-x)} d\gamma dx}{a \tau H_n^{(2)\prime}(a\tau)},$$

где $H_n^{(2)}(a\tau)$, $H_n^{(2)\prime}(a\tau)$ функция Ганкеля второго рода и ее производная, $\tau = \sqrt{k^2 - \gamma^2}$, γ - переменная интегрирования. Отраженное звуковое поле на поверхности твердого цилиндра

$$p_{st} = -\frac{k_H}{4} \varepsilon_n i^n e^{ikx \cos \psi} \cdot \frac{J'_n(ka \sin \psi) \cdot H_n(ka \sin \psi)}{H'_n(ka \sin \psi)}$$

Решение задачи упрощается, если упругой деформацией можно пренебречь и считать оболочку твердым телом. Этой задачей занимались многие известные авторы, в их неполный список входят: Р. Дж. Урик, В.В. Музыченко, Е. Скучик, П.Я. Уфимцев, Williams W.E. и др. Однако анализ результатов их решений показал, что они ошибочные. Формула (1) для абсолютно твердой цилиндрической оболочки имеет вид

$$p(N) = -\frac{e^{-ikR} i^n}{2R} ak \sin \theta J'_n(ka \sin \theta) \int_0^L (p_0 + p_s) e^{ikx \cos \theta} dx \quad (2)$$

Формулу (2) можно преобразовать с использованием, в том числе, свойств дельта-функции, определителя Вронского и др. Окончательная формула звукового давления вторичного гидроакустического поля в дальней зоне в результате проведенных преобразований имеет вид

$$p(N) = \frac{K_H}{\pi} \frac{e^{-ikR}}{R} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n i^{2n+1} \left(\frac{\sin \theta}{\sin \psi} \right) \left(\frac{J'_n(\mu)}{H_n^{(2)'}(\lambda)} \right) \left(\frac{e^{ik\beta L} - 1}{ik\beta} \right) \cos n\varphi,$$

где $\beta = \cos \psi + \cos \theta$, $\lambda = ka \sin \psi$, $\mu = ka \sin \theta$.

Ключевые слова: дифракция, конечная оболочка, дальнее поле

РАЗВОРОТЫ, БИ- И МУЛЬТИ-ИНВЕРСИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ И ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ НА БАЗЕ ОБРАТНОВОЛНОВЫХ СИСТЕМ

Бырдин В.М.¹⁾, Пузаккина А.К.¹⁾

¹⁾ Институт Машиностроения им. А.А. Благонравова РАН, Москва
Тел.: (499) 1358530 (-0430); Факс: (499) 1358530; E-mail: V_M_Byrdin@mail.ru

Исследуется обратноволновая инверсия при разноимённой дифракции на плоской границе раздела сред, метаматериалов или волноводных и периодических 2D-структур. Разноимённые системы: обратная волна слева от стыка, прямая справа или наоборот и т.п. Механизм инверсии (разворотов) связан с отрицательным преломлением и фокусировкой преломленного поля. Первый разворот профиля падающего поля (его амплитудного и фазового распределения, характеристики и диаграммы направленности) формируется за границей раздела. Второй разворот возникает за плоскостью фокусировки (т.е. за плоскостью мнимого источника, плоскостью симметрии). В идеале, для вполне согласованных, не поглощающих систем профили поля и диаграммы направленности во всех трёх зонах вполне совпадают, дважды разворачиваясь на 180°. В согласованных структурах получаем трёхкратное обужение основного лепестка диаграммы направленности $F(3\varphi)$, хотя и местное, локализованное в третьей зоне, после фокуса. При дублировании идентичных, вполне согласованных разноимённых стыков, волноводная система из n состыкованных элементов даёт $2n-2$ разворотов поля и $2n-1$ -кратное обострение характеристики направленности. Разворачиваясь в точках мнимых источников, основной лепесток описывает горизонтальные «8-ки», «∞» симметрично плоскостям мнимых источников. В акустике би- и мульти-инверсия может быть реализована на базе лэмбовских волн в пластине; в радиотехнике – на базе «отрицательных» сред. Этот изящный эффект, очевидно, найдёт приложение в радиотехнических и акустических, инженерных системах. В наших работах теоретически решено несколько задач по данной и смежной дифракционной проблематике: с лэмбовскими модами, двойко нагруженной пластинкой, «отрицательными» и киральными средами, с узкими и гауссовыми пучками. В частности для бегущих электромагнитных волн произвольного профиля (сферических, цилиндрических, волновых пучков и т.д.) доказана следующая теорема: коэффициенты отражения и прохождения на плоской границе раздела вполне согласованных сред равны, соотв., 0 и 1 (полная прозрачность), а поле получает два идеальных разворота, за границей раздела и за плоскостью мнимого источника. В целом обратноволновая проблематика сегодня весьма востребована, актуальна и широко представлена в ряде мировых и российских центров, причём наиболее представлены работы по сверхфокусировке на суперлинзе из метаматериала.

Ключевые слова: обратные волны; обратноволновая инверсия поля; обратноволновая сверхфокусировка; дифракция на границе раздела; диаграмма направленности

МОНОПОЛЬ В ТВЕРДОМ СЛОЕ

Лапин А.Д.

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»
117036 Москва, ул. Шверника, д. 4; Тел.: +79154216137; E-mail: lapin1932@yandex.ru

В безграничной твердой однородной среде точечный монополю излучает только сферическую продольную волну. При наличии границ, помимо продольной волны, возникают и поперечные волны. В работе найдено поле точечного монополя в твердом однородном слое со свободными границами. Это поле характеризуется векторным и скалярным потенциалами. Вследствие осевой симметрии поля векторный потенциал имеет только угловую компоненту. Интегральное представление потенциалов получено методом Фурье-Бесселя. На основе теории вычетов поле монополя в слое представлено в виде суперпозиции цилиндрических мод Лэмба. Рассчитаны амплитуды возбуждаемых мод.

Ключевые слова: векторный и скалярный потенциалы, метод Фурье-Бесселя, цилиндрические волны Лэмба

АЛГОРИТМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В СЛОИСТО БЛОКОВОЙ СРЕДЕ С СОСТАВНЫМИ ИЕРАРХИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ РАЗЛИЧНОГО РАНГА И РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Хачай О.А.^{1)*}, Хачай А.Ю.²⁾, Хачай О.Ю.²⁾

¹⁾ *Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург;* ²⁾ *Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург;*
Тел.: * (967 6320290); Факс: (343 2678872); E-mail: (olgakhachay@yandex.ru)

Иерархическая структура характерна для многих систем, особенно для литосферы Земли, где было выделено по геофизическим исследованиям более 30 иерархических уровней от тектонических плит протяженностью в тысячи километров до отдельных минеральных зерен миллиметрового размера. Таким образом, земная кора представляет собой не сплошную среду, а дискретную систему блоков и, как любой синергетический дискретный ансамбль, обладает свойствами иерархичности и самоподобия.

Процессы разработки нефтегазовых месторождений связаны с движением многофазных многокомпонентных сред, которые характеризуются неравновесными и нелинейными реологическими свойствами. Реальное поведение пластовых систем определяется сложностью реологии движущихся жидкостей и морфологического строения пористой среды, а также многообразием процессов взаимодействия между жидкостью и пористой средой. Учет этих факторов необходим для содержательного описания процессов фильтрации за счет нелинейности, неравновесности и неоднородности, присущих реальным системам. При этом выявляются новые синергетические эффекты (потеря устойчивости с возникновением колебаний, образование упорядоченных структур). Это позволяет предложить новые методы контроля и управления сложными природными системами, которые настроены на учет этих явлений. Таким образом, пластовая система, из которой необходимо извлечь нефть, представляет собой сложную динамическую иерархическую систему.

Разработан новый метод моделирования активного акустического мониторинга с использованием источника продольных и поперечных волн слоисто-блоковой упругой среды с несколькими включениями различного физико-механического и фазового иерархического строения. Разработан итерационный процесс решения прямой задачи для случая трех иерархических включений l , m , s -ых рангов на основе использования 2D-интегро дифференциальных уравнений. Степень иерархичности включений определяется значениями их рангов, которые могут быть различными. Иерархические включения расположены в разных слоях друг над другом: верхнее аномально напряженное, второе флюидо-насыщенное и третье аномально плотностное. Степень заполнения включениями каждого ранга для всех трех иерархических включений различная. Результаты моделирования могут быть использованы при проведении мониторинговых исследований контроля флюидо отдачи нефтяных месторождений и для анализа динамического состояния горного массива глубокозалегающих месторождений.

Ключевые слова: иерархическая среда, акустическое поле, итерационный алгоритм, интегро-дифференциальные уравнения, прямая задача

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАСШТАБОВ ДИСКРЕТНЫХ ДОННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Грязнова И.Ю.¹⁾, Иващенко Е.Н.¹⁾, Лабутина М.С.¹⁾

¹⁾ *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (ННГУ), Нижний Новгород;*
Тел.: (951 9047617); E-mail: gryaznova@rf.unn.ru

Целью данной работы являлось изучение статистических характеристик обратно рассеянного акустического поля при изменении параметров расположенных на дне дискретных жестких неоднородностей и корреляции в их взаимном расположении, а также при изменении условий излучения и приема звуковых сигналов.

Получено теоретическое выражение для средней интенсивности обратного рассеяния при учете статистической зависимости взаимного расположения рассеивателей, которое демонстрирует зависимость так называемой коллективной компоненты интенсивности от отношения апертуры излучателя-приемника звуковых сигналов к радиусу корреляции взаимного расположения неоднородностей на плоскости дна и от размера самих рассеивающих частиц.

Проведено сравнение с данными, полученными в ходе проведенных на кафедре акустики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского экспериментов по физическому масштабному моделированию процессов обратного рассеяния акустических сигналов на дискретных случайных неоднородностях, имитирующих железо-марганцевые конкреции, расположенные на океаническом дне, получено хорошее соответствие предлагаемой теоретической модели экспериментальным результатам.

Показано, что взаимная корреляция положений дискретных случайных неоднородностей, расположенных на плоской поверхности дна, существенно влияет на среднюю интенсивность обратного рассеяния акустических сигналов, увеличивая ее тем сильнее, чем больше радиус пространственной корреляции в расположении частиц. В свою очередь, антикорреляция положений неоднородностей приводит к уменьшению средней интенсивности обратного рассеяния. При этом поперечный радиус пространственной корреляции обратного рассеянного акустического поля определяется характерным масштабом скоплений неоднородностей, если они невелики по сравнению с апертурой источника-приемника, и размером эффективной апертуры преобразователя в противном случае.

В ходе численного моделирования показано, что распределение рассеивателей по размерам также приводит к росту средней интенсивности. В то же время поперечная функция корреляции рассеянного акустического поля слабо изменяется при наличии рассеивателей разных размеров и изменении статистики их распределения по размерам.

Работа выполнена в рамках базовой части госзадания №3.5672.2017/8.9.

Ключевые слова: акустические сигналы, обратное рассеяние, дискретные неоднородности, статистические характеристики

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ МИРОВОГО ОКЕАНА

Бычков А.Е.¹⁾, Грязнова И.Ю.¹⁾, Дерябин М.С.^{2),1)}, Курин В.В.¹⁾, Хилько А.И.^{2),1)}

¹⁾ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), Нижний Новгород;

²⁾ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»
(ИПФ РАН), Нижний Новгород
Тел.: (9200387088); E-mail: kurin@rf.unn.ru

Целью работы являлось исследование вертикальной структуры коротких модовых импульсов вблизи критических толщин волноводов постоянной и переменной глубины с различными моделями дна.

Выяснено, что для отчетливого временного разрешения двух последовательных импульсов, приходящих в точку приема, соответствующих двум разным модам волновода, необходимо выполнение критерия разрешимости. Также необходимо выполнение условия существования групповой скорости модового импульса, т.е. условия, что длительность импульса больше периода заполнения. В ходе работы было теоретически получено выражение критерия разрешимости для коротких модовых импульсов в волноводах постоянной глубины с различными типами дна.

Получена формула оптимального расстояния разрешения последовательных модовых импульсов, приходящих в точку приема сигнала, в зависимости от параметров излучаемого сигнала и параметров самого волновода. На основе теоретически полученных результатов разработана математическая модель распространения коротких модовых импульсов в волноводах постоянной и переменной глубины.

Получена теоретическая модель для расчета огибающей акустического радиоимпульса в волноводе переменной глубины с различными типами дна. Данная модель численно описывает распространение сигнала, в ходе которого происходит разделение излучаемого короткого сигнала на импульсы по отдельным модам, связанное с межмодовой дисперсией, и уширение импульса на каждой моде из-за влияния внутримодовой частотной дисперсии.

В ходе экспериментальной части работы проведено измерение амплитуды сигнала от времени на трассах различной длины при фиксированном заглублении приемника, также определялась длительность излученного сигнала на приемнике. Проведено измерение амплитуды принимаемых последовательных модовых импульсов при различных заглублениях приемника. В отличие от идеального клина, для которого на нижней границе слоя находился максимум амплитуды давления для каждой моды, в волноводе с поглощающим дном максимум давления расположен в водном слое. В области критических расстояний распространяющиеся моды ведут себя аналогично модам в идеальном клине.

Проведено сравнение данных, полученных в ходе проведенных на кафедре акустики Нижегородского университета экспериментов по физическому масштабному моделированию распространения коротких модовых импульсов в волноводах постоянной и переменной глубины, получено хорошее соответствие выдвинутой теоретической модели экспериментальным результатам.

Работа выполнена в рамках базовой части госзадания №3.5672.2017/8.9.

Ключевые слова: масштабное физическое моделирование, межмодовая дисперсия, внутримодовая дисперсия, модовый импульс, разрешение сигнала

Секция ФА – Физическая акустика

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

17.10.2019 - с 09.00 до 18.30

АКУСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ, ВОЗБУЖДАЕМОЕ ФОКУСИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОМ

Жвания И.А.¹⁾, Конопацкая И.И.¹⁾, Миронов М.А.¹⁾, Пятаков П.А.¹⁾

¹⁾АО «Акустический институт имени академика Н.Н.Андреева», Москва
Тел.: (499)723-6321; Факс: (499)126-8411; E-mail: ikonopatskaya@gmail.com

Представлены результаты экспериментального исследования акустического течения, возбуждаемого в воде ультразвуковым фокусированным пучком. Фокусное расстояние излучателя с рабочей частотой 0.92 МГц равно 70 мм, диаметр фокального пятна при этом составляет 4.3 мм. Исследование проводилось в стеклянном заглушенном с торца бассейне, заполненном водой, размеры которого намного превышали длину волны ультразвука, что позволяло смоделировать течение в бесконечной среде. Измерение скорости установившегося течения производилось методом лазерной доплеровской анемометрии с одновременным измерением гидрофоном акустического давления в пучке, возбуждающем течение. Исследовался характер структуры течения вдоль оси акустического пучка, как в свободном потоке, так и при наличии экрана, поставленного поперек пучка, а также поперечные профили течения. Максимальное значение зафиксированной скорости составляло ≈ 5 см/сек. Основным результатом является полученная линейная зависимость скорости течения от электрического напряжения, подаваемого на излучатель (в пределах общей акустической мощности до 4.8 Ватт).

Ключевые: фокусированный ультразвук, акустическое течение, лазерная доплеровская анемометрия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ РАДИАЦИОННОЙ СИЛЫ ФОКУСИРОВАННОГО ПУЧКА, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА УПРУГУЮ СФЕРУ В ЖИДКОСТИ

Николаева А.В., Карзова М.М., Цысарь С.А., Хохлова В.А., Сапожников О.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет
Москва, Ленинские горы, 1с2

Тел: +7 (495) 939-29-52, E-mail: av.nikolaeva@physics.msu.ru

Целью работы является повышение точности метода измерения акустической радиационной силы, действующей со стороны фокусированного ультразвукового пучка мегагерцового диапазона частот на сферический упругий рассеиватель миллиметрового размера в жидкости. Ультразвуковой пучок генерируется одноэлементным пьезокерамическим преобразователем (частота 1,072 МГц, фокусное расстояние 70 мм, диаметр 100 мм), который располагается на дне бассейна с водой. Сферические рассеиватели диаметром от 2 до 6 мм, изготовленные из нейлона, стекла или нержавеющей стали, помещаются вдоль вертикально ориентированной оси излучателя. Каждый рассеиватель закрепляется в специально сконструированной раме с 3-х уровневой ловушкой из тонких лесок. Метод определения радиационной силы основан на балансе между силой тяжести, силой Архимеда и радиационной силой и измерении порогового значения силы, при котором баланс нарушается. Измерения проводятся следующим образом: начальная мощность пучка выбирается достаточно высокой, чтобы переместить рассеиватель к верхнему уровню ловушки. Затем постепенное уменьшение мощности, приводящее и к уменьшению радиационной силы, осуществляется до тех пор, пока шарик не начнет отрываться от верхних лесок и двигаться вниз. Это пороговое значение мощности соответствует условию равенства радиационной силы и разности силы тяжести и силы Архимеда. Значение акустической мощности в проведенных экспериментах не превышает 40 Вт, а соответствующая радиационная сила - 4 мН. Также по известным параметрам рассеивателя (диаметр, плотность, скорость продольных и поперечных волн) и известному угловому спектру пучка радиационная сила рассчитывается численно. Угловой спектр определяется по измерениям акустической голограммы (поперечного распределения амплитуды и фазы акустического давления). Экспериментальные и теоретические результаты хорошо согласуются в области перед и за фокусом со средней ошибкой измерения 10%. Показано, что если ширина пучка в фокусе намного меньше диаметра рассеивателя, то наиболее эффективное силовое воздействие происходит в области до и после точки фокуса, где ширина пучка превышает размеры рассеивателя. Работа поддержана грантами НИИ-Р01-DK43881, РФФИ 18-32-00659, 18-02-00991 и 17-02-00261.

Ключевые слова: акустическая радиационная сила, фокусированный пучок, экспериментальные измерения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГОЛОГРАФИИ

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

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва
Тел. +79856371157; E-mail: da.nikolaev@physics.msu.ru

При использовании ультразвука в исследовательских целях либо в практических приложениях важно знать акустические характеристики среды распространения, такие как скорость звука и коэффициент поглощения в оп-

ределенном диапазоне частот. По определению эти параметры относятся к распространению плоской волны. Однако реальные источники не излучают плоскую волну; вместо этого генерируются ограниченные акустические пучки с неоднородной пространственной структурой. Это делает акустические измерения неточными, а иногда вовсе не соотносящимися с плосковолновой теорией, особенно в ближнем поле излучателя. Метод акустической голографии может быть использован для реализации плосковолнового режима для передачи ультразвука через слой конечной апертуры. Угловой спектр пучка, который представляет акустическое поле в виде суперпозиции плоских волн, распространяющихся под разными углами, может быть определен из двумерной записи акустического поля, измеренной с помощью гидрофона малого размера. В линейном режиме эти плоские волны распространяются через поглощающий слой независимо друг от друга. Кроме того, для ограниченных акустических пучков такой слой конечной апертуры можно считать бесконечным в поперечном направлении при регистрации всего поперечного волнового поля пучка. Следовательно, нормальная передача плоской волны через бесконечный слой может быть реализована с учетом перпендикулярной к поверхности слоя компоненты углового спектра волны.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию акустических параметров среды распространения с использованием голографического метода. Эксперимент проводился в несколько этапов. Ультразвуковой преобразователь мегагерцового диапазона частот помещался в ёмкость с дегазированной водой и излучал акустический пучок, распространявшийся через слой исследуемого материала. Амплитуда и фаза прошедшего поля акустического давления измерялась гидрофоном с диаметром чувствительного элемента малым по сравнению с длиной волны. Гидрофон перемещался управляемой компьютером системой позиционирования. Проведено измерение акустических параметров различных материалов, включая акриловый пластик и различные гели. Показано, что предлагаемый способ позволяет с высокой точностью измерять скорость звука и коэффициент поглощения среды в широком частотном диапазоне. Работа поддержана грантами НИИ R01EB025187, НИИ R01EB007643, РФФИ 17-02-00261 и РФФИ 18-02-00991.

Ключевые слова: акустическая голография, угловой спектр, измерение коэффициента поглощения

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ПРИЁМНОЙ РЕШЁТКИ С ДЛИННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДВУМЕРНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА

Сапожников О.А.

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

Измерение пространственной структуры акустических полей является важной частью ультразвуковых исследований. При экспериментальном изучении ультразвука мегагерцового диапазона частот, используемого в неразрушающем контроле и медицине, соответствующие данные обычно собираются путем растрового сканирования поля с использованием одиночного приёмника малого размера. Таким способом осуществляется синтез двумерной решётки приёмников с количеством элементов порядка нескольких тысяч. Физических решёток такого типа пока не существует, поэтому указанный синтез является важным методом исследования полей. Некоторым недостатком является его времяёмкость, до нескольких часов. Более быстрый подход может быть основан на использовании линейной приёмной решётки, состоящей из нескольких десятков элементов малого размера, аналогичных используемым в ультразвуковых сканерах. При перемещении такой решётки в направлении, перпендикулярном её образующей, также можно синтезировать двумерную решётку, и такой синтез потребует гораздо меньшего времени сканирования по сравнению со случаем одиночного приёмника. Трудно преодолимым ограничением является сложность создания небольших приёмных элементов, обеспечивающих приемлемое отношение сигнал/шум. В настоящем докладе представлен альтернативный дизайн одномерной линейной решётки приёмников: вместо использования небольших элементов предлагается использовать узкие, но протяжённые элементы, с шириной менее половины длины волны и длиной, превышающей диаметр ультразвукового пучка. Элементы располагаются параллельно друг другу на плоской поверхности, а их количество подбирается таким, чтобы общая ширина решётки превышала диаметр исследуемого ультразвукового пучка. Благодаря своей протяжённости площадь элементов оказывается относительно большой, что обеспечивает высокий уровень сигналов. Более того, указанные сигналы элементов оказываются пропорциональными интегралам от акустического давления вдоль их образующих, т.е. фактически осуществляется запись проекции поля вдоль указанного направления. Алгоритм записи полного поля заключается в измерении сигналов на элементах при различных углах поворота решётки, устанавливаемых последовательно путём вращения решётки вокруг оси, перпендикулярной её поверхности. Экспериментально указанный поворот может быть легко осуществлён системой позиционирования с угловым перемещением. Процесс реконструкции аналогичен используемому в проекционной томографии и основан на применении пространственного спектрального алгоритма. Проведённое численное моделирование применительно к полям типичных ультразвуковых источников показало высокую точность восстановления двумерной поперечной структуры поля. Работа поддержана грантом РФФИ 17-02-00261.

Ключевые слова: акустическая голография, томография, сканирование ультразвукового поля

РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

Буланов В.А.

Тихоокеанский океанологический институт имени В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток.

Тел.: 423 2374913; Факс: 423 2312573; E-mail: bulanov@poi.dvo.ru

Представлены результаты теоретических исследований распространения акустических импульсов в кристаллизующейся жидкости, содержащей центры кристаллизации. Показано существенное влияние фазовых превраще-

ний на рассеяние, поглощение и нелинейную трансформацию акустических сигналов в кристаллизующейся жидкости. Выявлено аномальное поведение частотных и концентрационных зависимостей коэффициента рассеяния, поглощения, фазовой и групповой скорости распространения акустических импульсов, существенно отличающихся по своему характеру от таковых по сравнению со случаем жидкости с частицами без фазовых превращений. Показано, что фазовые превращения оказывают сильное влияние на центры кристаллизации с размерами, характерными для экспериментов с кристаллизующимися жидкостями в пористых средах, в которых ранее экспериментально были установлены аномалии в поведении поглощения и дисперсии скорости звука при кристаллизации и плавлении. Показано, что особенностью коэффициента поглощения и параметра акустической нелинейности в кристаллизующейся воде при монодисперсном распределении центров кристаллизации по размерам функции является резкое (до двух порядков) возрастание этих параметров при малых размерах. Проведен анализ влияния функции распределения по размерам центров кристаллизации на указанные выше акустические характеристики кристаллизующейся жидкости. Показано, что в целом происходит снижение аномальных свойств жидкости с полидисперсной функцией распределения центров кристаллизации по размерам $g(R)$ по сравнению с жидкостью, имеющую монодисперсную функцию $g(R)$. Тем не менее, в целом фазовые превращения приводят к усилению поглощения в кристаллизующихся жидкостях, увеличивают акустическую нелинейность и усиливают дисперсионные характеристики кристаллизующихся жидкостей, что ведет к дополнительным дисперсионным искажениям формы акустических импульсов по мере их распространения в кристаллизующейся жидкости. Проведены оценки применительно к морской воде, содержащей ледовую шугу. Показано, что распространение акустических импульсов при типичных характеристиках приповерхностного слоя воды с ледовой шугой обнаруживает аномалии поглощения и рассеяния звука, а также параметра акустической нелинейности. Обсуждается возможность дистанционной диагностики состояния приповерхностного слоя морской воды по результатам регистрации отраженных и рассеянных акустических импульсов с различной амплитудой. Обнаружено, что наиболее значительное влияние фазовых превращений наблюдается на относительно низких частотах и при малых размерах центров кристаллизации.

Ключевые слова: кристаллизующаяся жидкость, распространение акустических импульсов

ВЛИЯНИЕ ИЗОМЕРИЗАЦИИ НА АКУСТИЧЕСКИЕ И ФЛУКТУАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ХЛОРПРОПАНА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мелентьев В.В., Постников Е.Б.

ФГБОУ Курский государственный университет, Курск, Россия.

Тел. 9606887728, E-mail: mels@inbox.ru

Экспериментальные данные о плотности, скорости ультразвука, изобарной теплоёмкости в широком диапазоне температур и давлений, полученные в НИЦ физики конденсированного состояния Курского государственного университета ранее для 1-хлорпропана [1] и новые для 2-хлорпропана, были использованы для оценки влияния изомеризации на термодинамические свойства объектов. Рассмотрены возможности прогнозирования плотности, ее производных и скорости звука под давлением для изомеров хлорпропана на основе параметра обратных приведенных флуктуаций, который непосредственно связан с изотермической сжимаемостью и является универсальной функцией плотности для заданного вещества. Как следствие, он может быть определён на основе термодинамических свойств на линии насыщения, что было ранее подтверждено на примере различных классов жидкостей в базовой неизомерной форме. Данная работа обобщает анализ области применимости флуктуационного подхода с учетом молекулярных конфигураций.

1. Melent'ev, V. V.; Postnikov, E. B. Speed of Sound and Density of 1-Chloropropane in the Range of Temperatures 180–373 K and Pressures up to 196.1 MPa. *J. Chem. Eng. Data* **2017**, 62, 3409.

Ключевые слова: скорость ультразвука, плотность, изобарная теплоёмкость, флуктуации плотности

ВЛИЯНИЕ РЕВЕРБЕРАЦИИ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Миронов М.А.¹⁾, Пятаков П.А.¹⁾, Шуляпов С.А.¹⁾

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

Тел: (8-499-723-6321), Факс: (8-499-126-8411); E-mail: ppyatakov@mail.ru

Корреляционный метод определения местоположения источника акустической эмиссии состоит в сравнении исходного принимаемого эмиссионного сигнала с сигналами, создаваемыми искусственными ударами в различных точках объекта. Чем ближе координаты удара к координатам источника эмиссии, тем больше взаимная корреляция между эмиссионным сигналом и сигналом от удара. Этот эффект уверенно наблюдается экспериментально. Коэффициент корреляции слабо зависит от природы источника эмиссии (растущая трещина или, например, удар молоточком). Существенным является лишь кратковременность воздействия. Это условие необходимо, но недостаточно для эффективного использования. Очевидно, что точность определения местоположения зависит еще от резкости и глубины спада коэффициента корреляции при удалении точки приложения зондирующего воздействия от места локализации искомого источника эмиссии. На зависимость коэффициента корреляции от расстояния зонда до источника эмиссии влияет размер, структура и материал объекта.

В работе проведено исследование влияния длительности анализируемых сигналов, определяемой количеством учитываемых реверберационных откликов, на пространственное распределение коэффициента взаимной корреляции (KK). Функция KK непосредственно определяет разрешающую способность метода. Эксперименты выполне-

ны на образцах из стали (размеры плиты $800 \times 400 \times 11$ мм³) и композитного материала (размеры плиты $1000 \times 500 \times 7,5$ мм³). Диапазон частот преобразователя сигналов акустической эмиссии 120-160 кГц. Показано, что уменьшение длительности анализируемого сигнала в образце из стали от 30 мс вплоть до 6 мс не приводят к заметным изменениям в пространственных зависимостях *КК*. Существенные изменения, ухудшающие разрешающую способность метода, возникают при дальнейшем уменьшении длительности анализируемого сигнала, когда его пространственная протяженность становится сравнима по величине с несколькими характерными размерами объекта.

Реверберацию можно рассматривать как появление дополнительных источников (мнимых источников) и суперпозицию сигналов, ими излучаемых, с первичным импульсом. Такое представление указывает на возможность создания "искусственной реверберации" с целью увеличения разрешающей способности корреляционного метода в условиях сильного поглощения (рассеяния) ультразвука или в случае, когда необходимо использовать короткий обрезанный импульс. Предложено осуществить "искусственную реверберацию" с помощью многоканального приема. При этом анализируемый сигнал формируется в виде последовательно расположенных сигналов, принятых по отдельным каналам. Эта последовательность сигналов в определенном смысле имитирует эффект реверберации. Экспериментально на образце из сильно поглощающего композитного материала осуществлена "искусственная реверберация" и показано значительное увеличение, в данном случае более чем в 4 раза, разрешающей способности корреляционного метода. На частоте 130 кГц разрешающая способность по уровню 0,7 составила ~ 2 мм, что существенно меньше длины волны на этой частоте.

Ключевые слова: корреляционный метод, реверберация

ФОКУСИРОВКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ РАЗРЕЖЕНИЯ В СЛОЕ ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Журавлева Е.С., Кедринский В.К

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьевна СО РАН, г Новосибирск

Тел 913 9819543 Факс 383 3331612 E-mail: kedr@hydro.nsc.ru

Рассматривается формирование ударной волны (УВ) и волны разрежения (ВР) при импульсном нагружении слоя жидкости со свободной поверхностью. Инициирование УВ выполняется заданием импульса массовой скорости поршня, соосного с осью симметрии, в форме экспоненты с диапазоном максимальных скоростей от 20 до 200 м/с. Постоянная экспоненты варьируется до 40 мкс. Радиус слоя жидкости изменялся от 1 до 10 см. Численный анализ формирования УВ выполнялся для двух состояний жидкости – чистой и дистиллированной воды с микропузырьками свободного газа. Согласно экспериментальным данным радиус микропузырьков имеет порядок 1.5 микрона, их концентрация $K_0 = 10^{-5}$, а плотность совместно с микротвердыми частицами достигает 10^6 см⁻³. Двухфазная матмодель представлена в виде системы Иорданского – Когарко – ван Вийнгаардена для средних значений массовой скорости, плотности и давления, которая включала уравнение для концентрации свободного газа типа уравнения Рэлея. Численный расчет выполнялся в два этапа: 1 – расчет формирования, распространения, отражения УВ от свободной поверхности (формирование ВР) и фокусировка ВР на ось симметрии в однофазной чистой жидкости, 2 – в процессе формирования ВР в расчет включалась система ИКванВ, которая рассчитывала и формирование кавитационной пузырьковой зоны при фокусировке ВР на ось симметрии, и динамику структуры ВР. Для чистой жидкости рассчитывались распределения максимальных амплитуд УВ вдоль радиуса до свободной поверхности ВР от свободной поверхности до поверхности поршня. При этом полученные распределения максимальных амплитуд УВ и ВР оказались практически симметричными относительно радиуса. Было показано, что от поршня вдоль радиуса амплитуда УВ в процессе распространения уменьшается, достигая асимптотики $r^{-0.72}$. Распространение ВР к оси симметрии носит кумулятивный характер, а за ее фронтом регистрируется интенсивный рост объемной концентрации газовой фазы. Выполнены расчеты влияния на ее рост амплитуды УВ-нагружения (от 40 до 200 м/с) и роли начальных данных состояния воды, увеличения постоянной спада экспоненты до 40 мкс. Обнаружен рост *K* вплоть до 15% при начальных данных: $R_0=7$ мкм и концентрации $K_0=10^{-3}$.

ГИДРОДИНАМИКА И АКУСТИКА ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛЕ КОЛЬЦЕВОГО МАГНИТА

Ряполов П.А.¹⁾, Полунин В.М.¹⁾, Соколов Е.А.¹⁾

¹⁾ Юго-Западный Государственный университет, Курск

Тел.: (4712) 22-25-53; Факс: (4712) 50-48-00; E-mail: r-piter@yandex.ru

Магнитные, акустические и теплофизические явления в магнитожидкостных системах нашли применение при конструировании магнитожидкостных герметизаторов, амортизаторов, чувствительных трехосных акселерометров, плотномеров, ряда других прогрессивных устройств. Этим объясняется интерес к изучению данных эффектов. В последнее время в связи с бурным развитием микрофлюидики появляется все больше работ по динамике магнитных жидкостей в каналах различной формы, находящихся под различными воздействиями внешних физических полей. Однако свойства левитирующей газовой полости, а также магнитные, акустические и теплофизические явления, сопровождающие динамические перемещения газовых полостей и пузырей в МЖ изучены весьма поверхностно, хотя потенциально представляют большой научный и практический интерес.

Для проведения экспериментов создана специальная установка с применением системы скоростной видеофиксации результатов эксперимента, а также с регистрацией электромагнитных и акустических возмущений с последующей обработкой.

В работе исследована динамика захвата пузырьков магнитной жидкостью в области «магнитного вакуума» кольцевого магнита. Получены данные о влиянии концентрации магнитной жидкости на прочность магнитожид-

костных перемычек при воздействии внешнего давления. Эти сведения могут быть полезны для разработки стенда для испытания магнитной жидкости, применяемой в герметизаторах, где жидкости испытывает подобные воздействия.

Для детализации механизма образования воздушной полости в области «магнитного вакуума» кольцевого магнита поставлен эксперимент по видеофиксации раздела фаз «газ - магнитная жидкость», заполняющей плоский прозрачный канал. Рассмотрены этапы искривления поверхности МЖ под воздействием неоднородного поля магнита, образования первоначальной воздушной полости из микропузырьков газа. Детально рассмотрены моменты разрыва МЖ и прорыва пузырька в газовую полость внутри жидкости, а также отрыва газового пузырька при сдавливании воздушной полости ко дну канала.

Для серии образцов магнитной жидкости проведен эксперимент по прессингу воздушной полости, в результате которого отделялись газовые пузырьки. Осуществлялась регистрация электромагнитных и акустических возмущений, возникающих при всплытии немагнитного пузырька в МЖ. По известным выражениям на основе этих данных определены размеры пузырьков, построено распределение пузырьков по размерам. Полученные данные сравниваются с результатами видеофиксации. Сделаны выводы о влиянии физических параметров магнитной жидкости и конфигурации магнитного поля на диаметр получаемых пузырьков.

Работа выполнена при финансовой поддержке базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ. Код проекта 3.8949.2017/БЧ.

Ключевые слова: магнитная жидкость, взаимодействие полей, многофазные системы, акустомагнитная индикация, неоднородное магнитное поле

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НА ПОРШНЕВОЙ МОДЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ С ИМПЕДАНСНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ И В АКУСТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ АНТЕННЕ Субботкин А.О.¹⁾

¹⁾ ФГБУН институт общей физики им А.М.Прохорова Российской академии наук;
Тел.: +7 (916) 093 92 51; E-mail: subov-an@yandex.ru

Колебательные процессы в трубах являются классической проблемой акустики. Уравнение колебательного процесса в замкнутой на два импеданса трубе хорошо известно и представлено в классической литературе. Также в литературе и периодических изданиях подробно рассмотрены вопросы прохождения волн через различные импедансные включения в бесконечных и полубесконечных трубах (отводы, резонаторы, разветвления и т.д.). Однако, задача определения результирующего звукового поля в замкнутых трубах при наличии импедансных включений на сегодняшний день в известной литературе не рассмотрена.

В настоящей работе представлено уравнение колебательного процесса на поршневой моде в цилиндрической трубе с импедансными включениями и в акустической интерференционной антенне (трубы с боковыми отверстиями). Определен входной импеданс торцевого входа трубы с импедансными включениями, а также входной и выходной импеданс боковых отверстий интерференционной антенны.

Ключевые слова: труба, колебания в трубах, акустическая интерференционная антенна, остронаправленный микрофон

МИКРОФОННЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА "ДИПОЛЬ" И "ТРИПОЛЬ" С НЕИДЕНТИЧНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ

Субботкин А.О.¹⁾, Пудовкин А.А.¹⁾, Кузнецов Г.Н.¹⁾

¹⁾ ФГБУН институт общей физики им А.М.Прохорова Российской академии наук;
Тел.: +7 (916) 093 92 51; E-mail: subov-an@yandex.ru

Несмотря на большой опыт применения микрофонных дипольных и трипольных групп, в широко известной литературе подробно не рассматриваются подобные системы, состоящие из однотипных приемников с неидентичными амплитудными и фазовыми характеристиками. Изложенные в источниках теоретические основы не формулируют полной математической модели подобных микрофонных систем с идентичными и с неидентичными приемниками, что не позволяет определить все характеристики системы (например, частотный диапазон направленного приема), т.к. не приводится аналитическое выражение для ее чувствительности.

В настоящей работе представлены следующие оригинальные теоретические результаты:

- Сформулирована математическая модель для микрофонных систем типа "диполь" и типа "триполь", состоящих из ненаправленных приемников (приемников звукового давления) с неидентичными амплитудными и фазовыми характеристиками;
- Выведены все основные аналитические выражения для характеристик микрофонной системы (чувствительность, направленность, уровень неравномерности чувствительности, коэффициенты деления);
- Проанализировано влияние неравномерности характеристик на коэффициенты деления "фронт-фланг" и "фронт-тыл" для "диполя" и "триполя";
- Предложен способ перемещения зоны эффективного направленного приема "триполя" в пределах рабочего частотного диапазона системы;
- Предложен способ формирования эффективного направленного приема "триполя" во всем рабочем диапазоне системы.

Ключевые слова: электроакустика, диполь, триполь, электрически комбинированные микрофонные системы, векторно-скалярный приемник

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ МЕТОДАМИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

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

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

Образцы высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ для экспериментальных исследований были приготовлены в НИЦ «Курчатовский институт». Аналогичная керамика используется в различных технических устройствах. В интервале температур от 78 до 300 Кельвина экспериментально исследованы линейные и нелинейные упругие свойства ВТСП-керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Линейные упругие свойства керамики исследовались путем измерения импульсным методом скорости продольных и сдвиговых волн, а нелинейные свойства этих материалов исследовались спектральным методом по эффективности генерации второй упругой гармоники. Были измерены температурные зависимости амплитуд первой и второй гармоник продольной и сдвиговых волн, а также температурные зависимости скоростей этих волн. При температуре порядка 91 К в исследованном образце ВТСП-керамики было обнаружено аномальное поведение линейных и нелинейных упругих характеристик образца, которое связывается с переходом в сверхпроводящее состояние. На фоне монотонного роста с понижением температуры у скорости как продольных, так и сдвиговых волн обнаружено аномальное поведение при температуре порядка 91 К. В случае продольных волн при этой температуре отмечено изменение угла наклона зависимости скорости от температуры, что соответствует аномалии как относительного изменения скорости, так и ее производной по температуре. Скачок относительного изменения скорости продольных волн в области перехода составил -0.0001 , а скачок производной относительного изменения скорости волны по температуре 0.0002 . Для сдвиговой скорости скачка скорости в области перехода не наблюдалось, а величина скачка производной составила также 0.0002 . В окрестности температуры фазового перехода шириной порядка 10 К установлено локальное увеличение продольного нелинейного акустического параметра примерно на 20%. Проведенные экспериментальные исследования упругих свойств ВТСП-керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в области сверхпроводящего перехода при $T=91K$ показывают, что перестройка электронной подсистемы в твердых телах при электронных фазовых переходах оказывает существенное влияние на упругие свойства твердых тел. Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-22-00042).

Ключевые слова: высокотемпературная сверхпроводящая керамика, продольные и сдвиговые упругие волны, нелинейный упругий параметр, генерация второй гармоники

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТИТАНА МЕТОДАМИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

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

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

В интервале температур от 78 до 300 Кельвина исследованы линейные и нелинейные упругие свойства поликристаллического титана. В исследуемом образце титана в интервале температур (78-300) К проведены температурные исследования зависимости скорости, амплитуд первой и второй гармоник продольной и сдвиговых волн. При уменьшении температуры в образце наблюдалось монотонное увеличение скорости продольных и сдвиговых волн. При температуре порядка 156 К наблюдалось скачкообразное увеличение скорости продольных волн на $(0,03)\%$ и ее производной по температуре на $(0,01)\%$, которое связывается с электронно-топологическим переходом (ЭТП). Для сдвиговой волны скачка скорости в области электронно-топологического перехода не наблюдалось, величина скачка производной скорости по температуре составила 0.0002 . Отмечен рост амплитуды продольной второй гармоники в титане при $T=156 K$ (примерно на 10%). Проведенные экспериментальные исследования упругих свойств титана в области ЭТП при $T=156K$ показывают, что перестройка электронной подсистемы в твердых телах при электронных фазовых переходах оказывает существенное влияние на упругие свойства твердых тел. Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-22-00042).

Ключевые слова: поликристаллический титан, нелинейный упругий параметр, генерация второй гармоники

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЩЕЛЕВОЙ МОДЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В СТРУКТУРЕ ИЗ ДВУХ ПЬЕЗОПЛАСТИН КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

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

*Саратовский филиал Института Радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН.
Тел.: (+79173047418); Факс (+78452272401)*

В данной работе рассматривается щелевая мода акустической волны, которая распространяется в структуре, состоящей из двух пьезопластин, разделенных узким вакуумным зазором. Когда обе пластины имеют бесконечную длину, эта волна хорошо описывается полуаналитической теорией. Бегущая акустическая волна в одной пьезопластине создает квазистатическое периодическое электрическое поле с периодом, равным длине волны, которое проникает в вакуум и возбуждает акустическую волну в другой пьезопластине. Однако когда верхняя пластина имеет конечную длину порядка 10 длин волн, в эксперименте по измерению частотных зависимостей вносимых потерь в такой системе наблюдаются хорошо выраженные равноудаленные резонансные пики затухания. Это оз-

начает, что на определенных частотах потери резко возрастают, что может объясняться возникновением в верхней пластине стоячей акустической волны и перекачкой энергии из нижней в верхнюю пластину. Полуаналитическая теория неспособна объяснить этот эффект. Поэтому в данной работе описаны особенности моделирования щелевой моды на основе поперечно-горизонтальной акустической волны нулевого порядка SH₀ в структуре из двух пьезопластин ниобата лития конечной длины при помощи метода конечных элементов. Модель включает в себя обе пьезопластины, окружающий их вакуум, а также излучающий и приемный ВШП на нижней пластине. В результате были рассчитаны зависимости вносимых потерь и фазы сигнала, которые хорошо количественно соответствуют результатам эксперимента. Показано, что электрические граничные условия на верхней стороне верхней пластины сильно влияют на характер резонансных пиков затухания, что делает эту структуру пригодной для анализа проводящих жидкостей, находящихся в контакте с верхней пластиной.

ОСОБЕННОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГАЛИЙ-ИНДИЕВЫХ СПЛАВОВ В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ СТЕКОЛ С РАЗМЕРОМ ПОР 7 НМ

Пирозерский А.Л.¹⁾, Чарная Е.В.¹⁾, Недбай А.И.¹⁾, Кумзеров Ю.А.²⁾, Фокин А.В.²⁾

¹⁾ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;

²⁾ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург.

Тел.: 812 4284330; Факс: 812 4287240; E-mail: piroz@yandex.ru

Исследования влияния размерных эффектов и условий ограниченной геометрии на фазовые переходы плавления и кристаллизации представляют интерес, как с точки зрения фундаментальной физики, так и для возможных практических применений. К настоящему времени выявлен ряд общих закономерностей плавления и кристаллизации в условиях ограниченной геометрии, в частности, температурный гистерезис между плавлением и кристаллизацией, смещение температурных областей плавления и кристаллизации по сравнению с объемными материалами, размытие фазовых переходов. Для конкретных материалов наблюдались специфические особенности, в частности, для галлия в порах наблюдалось формирование новых фаз и стабилизация фаз, метастабильных в объемном материале.

Среди различных методов исследования фазовых переходов в нанокompозитах акустические методы имеют ряд преимуществ, связанных с широкими возможностями выбора температурных режимов измерений, быстротой измерений при фиксированной температуре и высокой точностью.

В настоящем докладе представлены результаты акустических исследований плавления и кристаллизации галлий-индиевых сплавов с содержанием галлия 85, 91, 94 и 96 ат.%, внедренных в пористые стекла со средним размером пор около 7 нм. Измерения проводились модифицированным импульсно-фазовым методом на продольных акустических волнах частотой 7 МГц, в температурном диапазоне 135–310 К при полных и частичных циклах нагрева-охлаждения. Проведенные исследования показали наличие гистерезиса между ветвями нагрева и охлаждения температурной зависимости скорости ультразвука. Петли гистерезиса имели сложную форму, что можно интерпретировать как образование нескольких модификаций галлия при кристаллизации сплава в порах. Для частей сплава в порах, кристаллизовавшихся с образованием α - и β -Ga, интервалы плавления были сдвинуты в область низких температур. Для сплава с долей галлия 91 ат.% выявлено формирование неизвестной фазы галлия, температурный интервал плавления которой лежит выше интервала плавления α -Ga. Выдвинуто предположение, что данная фаза является обнаруженной ранее тетрагональной фазой галлия.

Ключевые слова: размерные эффекты, плавление и кристаллизация, сплавы, нанокompозиты, полиморфизм

АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОБАРА АДСОРБЦИИ ПАРОВ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НИОБАТА ЛИТИЯ

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

Институт физического материаловедения СО РАН; г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

E-mail: chingisbarga@gmail.com

Изучено влияние температуры адсорбента на динамику процесса адсорбции паров воды на поверхности звукопровода из ниобата лития. В результате адсорбции пара на поверхности ниобата лития формируется слой воды в граничном состоянии. Акустические свойства граничной воды и толщина адсорбционного слоя зависят от температуры. Показано, что параметры поверхностных акустических волн (ПАВ), в силу выше перечисленных причин, зависят от температуры и динамики адсорбционного процесса. При температуре адсорбента ~ 60 °С адсорбционный слой практически отсутствует. Обнаружено, что время задержки ПАВ при охлаждении адсорбирующей поверхности уменьшается, достигает минимального значения и затем увеличивается. В точке минимума температурный коэффициент времени задержки ПАВ равен нулю. Охлаждение адсорбирующей поверхности, с одной стороны, приводит к увеличению скорости ПАВ в результате уменьшения размера звукопровода и изменения акустических параметров ниобата лития. С другой – к уменьшению скорости ПАВ под действием адсорбционного слоя. Из анализа температурного изменения скорости ПАВ получена изобара адсорбции водяного пара.

АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $YAl_3(BO_3)_4$
Турчин¹ П.П., Бурков¹ С.И., Турчин¹ В.И., Юркевич¹ С.В., Суходаев П.О., Райкова И.С.

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
E-mail: pturchin@sfu-kras.ru; sburkov@sfu-kras.ru

Тригональные монокристаллы $YAl_3(BO_3)_4$ относятся к числу редкоземельных оксиборатов $RMe_3(BO_3)_4$ (где, $R = Y, La-Lu$; $M = Fe, Al, Cr, Ga, Sc$), но не обладают магнитной подсистемой. Благодаря этому иттриевые алюмобораты являются модельной структурой для изучения электромеханических свойств монокристаллов указанного ряда. В работе получены экспериментальные значения электромеханических постоянных этих монокристаллов и на их основе исследуется анизотропия параметров акустических волн различного типа: объемных, поверхностных, Лява и Лэмба.

Ключевые слова: иттриевый алюмоборат, электромеханические свойства, акустические волны

ДИСПЕРСИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛН ЛЭМБА В ПЛАСТИНАХ КРИСТАЛЛА $LiNbO_3$ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОДНООСНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Плетнев¹ О.Н., Бурков¹ С.И., Турчин¹ П.П., Золотова² О.П.

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск; ²СибГУ им. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск
E-mail: opletnev@sfu-kras.ru; sburkov@sfu-kras.ru

На основе теории распространения акустических волн в пьезокристаллах, подвергнутых воздействию внешнего одноосного механического давления, рассмотрено влияние одноосного механического давления на характеристики распространения акустических волн в пластине ниобата лития. Представлены результаты расчёта коэффициентов электромеханической связи и коэффициентов управляемости при различных вариантах приложения внешнего механического одноосного давления. Выполнен анализ влияния одноосного механического давления на степень взаимодействия мод упругой волны в пьезоэлектрической пластине.

Ключевые слова: ниобат лития, волна Рэлея, волна Лэмба, одноосное давление

ВОЛНА И.АНИСИМКИНА КАК ДЛИННОВОЛНОВАЯ ВЕТВЬ НИЗШЕЙ МОДЫ ЛЭМБА

Николаевцев В.А.¹⁾, Сучков С.Г.¹⁾, Селифонов А.В.¹⁾, Сучков Д.С.¹⁾

¹⁾ ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов;
Тел.: (960 3579297); Факс: (845 2520642); E-mail: nikolaevcev@yandex.ru

Исследованы эффективность и селективность возбуждения волн Лэмба в пластинах различных сортов стекла (закаленное листовое стекло, флинтглас и боратное стекло) клиновидным ультразвуковым преобразователем из оргстекла с фазированной решеткой пьезопреобразователей из пьезокерамики PZT-4. Построены карты зависимости эффективности возбуждения волн Лэмба от частоты и разности фаз между элементами фазированной решетки. Обнаружено, что в пластинах исследованных сортов стекла при использовании фазированной решетки пьезопреобразователей возможно эффективное селективное возбуждение основных мод Лэмба в длинноволновой области (длина волны сравнима с толщиной пластины). Показано, что эффективное селективное возбуждение основных мод Лэмба в длинноволновой области в исследованных пластинах невозможно обычным клиновидным ультразвуковым преобразователем. В отличие от предыдущих работ, было установлено, что мода И.Анисимкина в данном случае является вырождением не высшей, а основной симметричной моды Лэмба. При этом, также в отличие от результатов предыдущих работ, вырождение волны Лэмба в квазипродольную волну происходит в длинноволновой области.

Ключевые слова: волна Лэмба, ультразвуковая дефектоскопия, волна И.Анисимкина, физическая акустика, фазированная решетка

ОСЛАБЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВЕКТОРНО-СКАЛЯРНЫХ СИГНАЛОВ ОТ МУЛЬТИПОЛЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ

Кузнецов Г.Н.¹⁾, Степанов А.Н.^{1),2)}

¹⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва;
²⁾ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, г. Самара
Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790) (Кузнецов Г.Н.); E-mail: skbmortex@mail.ru (Кузнецов Г.Н.)

Выполнено численное и аналитическое исследование зависящих от расстояния закономерностей ослабления регулярных составляющих звукового давления (ЗД) и ортогональных — горизонтальной и вертикальной проекций вектора колебательной скорости (ГП ВКС и ВП ВКС). Анализ произведен применительно к мультипольным источникам (МПИ) — монополям, вертикальным и горизонтальным диполям, а также квадрупольям с двумя горизонтальными, двумя вертикальными и смешанными осями. Расчеты выполнены для низкочастотных полей, образованных этими источниками в волноводе Пекериса.

Установлено, что наблюдается существенное различие законов спада сигналов от различных типов МПИ, в частности, сигналы, образованные вертикальными диполями и квадрупольями со смешанными осями, а также вертикальные составляющие колебательной скорости убывают существенно быстрее, чем остальные, например, давление и горизонтальные составляющие векторно-скалярного поля.

Закономерности ослабления давления и проекций колебательной скорости также существенно зависят от расстояния между источником и приемниками и ориентации мультипольного источника.

Показано, что сигналы, излученные всеми типами мультиполей при условии их расположения вблизи границ раздела, или принятые скалярными или векторными приемниками, расположенными у свободной поверхности или у дна, при увеличении расстояния ослабляются значительно быстрее, чем для источников или приемников, расположенных в середине волновода.

Установлено, что полученные в результате исследования аппроксимирующие зависимости описывают законы спада достаточно точно. Эти зависимости представлены в виде простых аналитических соотношений, зависящих от различных параметров, которые характеризуют условия проведения эксперимента, что позволяет выполнить обоснованный и достаточно точный прогноз пределов изменения ЗД, ГП ВКС и ВП ВКС при вариации частоты, глубины волновода, глубин расположения источников и приемников, а также расстояния между ними. Эти оценки производятся, не прибегая к сложным полевым расчетам.

Ключевые слова: волновод Пекериса, мультиполи, векторно-скалярные поля, аппроксимация законов ослабления инфразвука, влияние условий распространения.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗОНАХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МАКСИМУМОВ В МЕЛКОМ МОРЕ

Кузнецов Г.Н.¹⁾, Степанов А.Н.^{1),2)}

¹⁾ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва;*

²⁾ *Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, г. Самара.*

Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); (E-mail: skbmortex@mail.ru)

Анализ характеристик инфразвуковых сигналов в зонах интерференционных максимумов (ИМА) представляет интерес из-за увеличения отношения сигнал/помеха и особых свойств поля в этих зонах. В связи с этим выполнено численное и аналитическое исследование пространственной структуры и закономерностей ослабления звукового давления (ЗД) и проекций вектора колебательной скорости (ВКС). В качестве источников рассмотрены инфразвуковые мультиполи (МП) различного типа, размещенные в волноводе Пекериса.

Установлено, что в зонах ИМА для всех типов МП целый ряд закономерностей пространственной структуры и законов ослабления ЗД и ВКС хорошо согласуется с аналогичными характеристиками регулярной составляющей гидроакустического поля. Например, сигналы, излученные всеми типами МП при условии их расположения вблизи границ волновода, или принятые скалярными или векторными приемниками, расположенными у свободной поверхности или у дна, при увеличении расстояния ослабляются значительно быстрее, чем для источников или приемников, расположенных в середине волновода. Можно также отметить, что структура всех зависимостей существенно зависит от типа МП и расстояния между источником и приемником. Но наблюдается и различие — ослабление всех составляющих поля происходит в \sqrt{r} раз быстрее.

Показано, что в зонах ИМА аппроксимирующие соотношения позволяют выполнить достаточно точный прогноз пределов изменения ЗД и ВКС при вариации частоты, глубины волновода, глубин расположения источников и приемников, а также расстояния между ними.

Установлено, что поля всех МП по характеристикам пространственной структуры и законам спада разделяются на две группы. В первую группу входят монополь, горизонтальные диполи и квадруполь с двумя горизонтальными и с двумя вертикальными осями. Во вторую группу входят вертикальные диполи и квадруполь со смешанными осями.

Ключевые слова: волновод Пекериса, мультиполи, векторно-скалярные поля, законы ослабления инфразвука, влияние условий распространения

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ФАЗОВЫХ СКОРОСТЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ

Кузнецов Г.Н.¹⁾, Степанов А.Н.^{1),2)}

¹⁾ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук, г. Москва;*

²⁾ *Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, г. Самара.*

Тел.: (495 9410193), Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

В мелком море из-за дисперсионных свойств нормальных волн наблюдается деформация пространственного отклика антенны и смещение оценок пеленга относительно реальных значений. Учет дисперсионных характеристик возможен, если при пеленговании использовать согласованную фильтрацию. Но для этого требуется точная информация о параметрах грунта, профиле скорости звука и других условиях проведения эксперимента. Возникает необходимость разработки усредненных моделей передаточной функции волновода, которые, будучи устойчивыми к вариации условий распространения, позволяли бы частично учесть влияние дисперсионных характеристик мод.

Для повышения эффективности обнаружения горизонтальными антеннами и получения несмещенных оценок пеленга рекомендуется применять модель эквивалентной плоской волны (ЭПВ), которая при расположении антенны в зонах интерференционных максимумов (ИМА), особенно при косых углах, и использовании эффективной фазовой скорости (ЭФС) вместо скорости звука в воде (СЗВ) на горизонте приема позволяет устранить смещения пеленга.

Экспериментально и расчетным путем установлено, что в зонах ИМА величины ЭФС превышают СЗВ на 5–12%. При косых углах при использовании СЗВ оценки пеленга отличаются от истинных значений примерно на эти же значения.

Показано, что при увеличении расстояния ЭФС уменьшается и стремится к среднему значению, но всегда превышает СЗВ. При увеличении частоты наблюдаются резкие «скачки» ЭФС относительно средних значений — вблизи частот, на которых появляются новые нормальные волны. Экспериментальная проверка и моделирование подтвердили основные выводы относительно вариаций значений ЭФС при изменении расстояния или частоты.

Аналитические зависимости ЭФС, полученные для разных глубин и расстояний, хорошо согласуются с экспериментальными данными и результатами моделирования, что позволяет рекомендовать модель ЭПВ для практического применения.

Ключевые слова: многомодовый волновод, эквивалентная плоская волна, интерференционные максимумы, зависимости эффективной фазовой скорости от расстояния и частоты

УПРУГИЕ СВОЙСТВА И ПАРАМЕТР ГРЮНАЙЗЕНА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ АМГ-2 И САВ-1

Ахмеджанов Ф.Р.^{1,2)}, Болтабаев А.Ф.²⁾, Назаров Ж.Т.³⁾

¹⁾Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан

²⁾Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан

³⁾Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан
Тел. +998 66 2121998, E-mail: akhmedzhanov.f@gmail.com

Получены экспериментальные данные по упругим свойствам и коэффициенту Грюнайзена поликристаллических сплавов алюминия АМГ-2 и СаВ-1, широко применяемых в машиностроении и реакторостроении. В частности сплав САВ-1 используют в качестве конструкционного материала для изготовления защитных оболочек ТВЭЛ в водоохлаждаемых реакторах типа ИРТ, ВВР-М, ВВР-Ц и др.

Исследования проводились импульсным интерференционным методом Лэмба, который был модифицирован так, что позволял одновременно определять скорость и коэффициент затухания акустических волн. Акустические волны возбуждались с помощью пьезокварцевых преобразователей в диапазоне частот 10-50 МГц. Рассчитаны коэффициент Пуассона, упругие модули и на их основе определено значение так называемого акустического параметра Грюнайзена, который находится через скорости распространения акустических волн, без знания упругих постоянных второго и третьего порядков, то есть только по акустическим данным.

Определенные значения параметра Грюнайзена, теплопроводности и упругие модули второго порядка использовались для расчета затухания в исследованных сплавах. Показано удовлетворительное совпадение расчетных значений затухания с результатами эксперимента. Рассмотренный подход позволяет определять температурную зависимость параметра Грюнайзена и соответственно прогнозировать зависимость коэффициента акустического затухания от температуры.

Ключевые слова: скорость акустической волны, коэффициент затухания, параметр Грюнайзена, упругие модули

ЗАТУХАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН И ПАРАМЕТР УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

Ахмеджанов Ф.Р.¹⁾, Мирзаев С.З.¹⁾, Мустафаев Т.Ш.¹⁾, Назаров Ж.Т.²⁾

¹⁾Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан

²⁾Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан

Тел. +998 66 2121998, E-mail: akhmedzhanov.f@gmail.com

В работе исследованы упругие свойства и впервые определен параметр упругой анизотропии, как по действительным, так и по мнимым упругим модулям пьезоэлектрических кристаллов силиката висмута, германата висмута и сульфида диспрозия. Измерения скорости и затухания продольных и поперечных акустических волн проводились ультразвуковым импульсным методом на частотах 10 - 50 МГц и методом Брэгговской дифракции света на частотах 400 - 1600 МГц. Исследованные образцы имели форму параллелепипеда, ориентированные длинной стороной вдоль кристаллографических направлений [100], [110] и [111] с точностью до 1°. Для возбуждения акустических волн использовались кварцевые преобразователи X- и Y- среза.

На основе измеренных значений скорости и затухания акустических волн определены все независимые действительные и мнимые компоненты комплексного тензора упругих постоянных этих кристаллов с учетом справочных данных по диэлектрическим и пьезоэлектрическим коэффициентам. Затем рассчитаны два параметра упругой анизотропии: как по действительным упругим модулям $\Delta c'$, так и по мнимым упругим модулям $\Delta c''$:

$$\Delta c' = c'_{12} + 2c'_{44} - c'_{11} \quad (1)$$

$$\Delta c'' = c''_{12} + 2c''_{44} - c''_{11} \quad (2)$$

Полученные значения параметра анизотропии для исследованных кристаллов оказались примерно равными как по действительным компонентам, так и по мнимым компонентам комплексного тензора упругости. В частности, в кристаллах силиката висмута $\Delta c' = -5.1 \cdot 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$ и $\Delta c'' = -6.2 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$. Показано, что коэффициенты затухания акустических волн, определенные через введенный параметр анизотропии $\Delta c''$, хорошо совпадают с экспериментальными значениями затухания. Такой подход позволит описывать анизотропию скорости распространения и коэффициента затухания акустических волн, в кубических кристаллах любой симметрии используя значения их параметров анизотропии.

Ключевые слова: скорость и затухание акустической волны, упругие модули, параметр упругой анизотропии, пьезоэлектрические кристаллы, анизотропия.

КАВИТАЦИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

¹Жарко Н.А., ¹Минчук В.С., ²Николаев А.Л., ³Сербин В.В., ¹Дежкунов Н.В.

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

ул. П. Бровки 6, 220013, Минск, Беларусь

²МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва; ³ООО «КЕРАМИД», Москва

Тел.: (37517) 293-86-35, E-mail: kavax@bsuir.by

В настоящее время ультразвук широко применяется для интенсификации физико-химических процессов в жидкостях. При этом ключевую роль как правило играет кавитация – явление образования, пульсаций и захлопывания микропузырьков газа в жидкости под действием переменного давления.

Растворенные газы могут влиять на активность кавитации различным образом. Наличие в жидкости газа с более высокой растворимостью снижает порог кавитации и повышает концентрацию пузырьков в кавитационной области, что должно приводить к повышению активности кавитации. Однако при слишком большой концентрации пузырьков вследствие ряда факторов активность кавитации может снижаться.

В данной работе исследовалась эволюция характеристик кавитационной области при дегазации растворов углекислого газа. Эксперименты проводились в ультразвуковом поле элементарной звукохимической ячейки, представляющей собой термостатированный цилиндрический стакан из нержавеющей стали, дно которого является излучающей поверхностью. Для генерирования ультразвука использовался пьезокерамический излучатель с резонансной частотой 34,6 кГц. Активность кавитации оценивалась двумя способами: по интенсивности звуколюминесценции (ЗЛ) и с использованием кавитометра ИСА-3М – по интенсивности высокочастотной части спектра кавитационного шума (КШ). В ряде режимов оценивалась также скорость эрозии и записывались спектры кавитационного шума.

Установлено, что в пересыщенном растворе углекислого газа активность кавитации близка к нулевой, а именно: не регистрируется ни одно из упомянутых выше кавитационных явлений. По мере дегазации активность кавитации, измеренная с использованием кавитометра, растет, стремясь в пределе к уровню активности в дистиллированной воде.

Наблюдаются квазипериодические скачки выходного сигнала гидрофона, что связано, вероятно, с образованием кластеров кавитационных полостей или больших пузырей, которые периодически всплывают на поверхность жидкости.

Исходя из анализа спектров кавитационного шума сделан вывод, что на первой стадии дегазации при пульсациях пузырьков не генерируется интенсивных ударных волн и кавитация в этом режиме не может оказывать интенсивного разрушающего воздействия на твердые поверхности и биологические ткани и клетки. На второй стадии ситуация изменяется и концентрация интенсивно захлопывающихся пузырьков существенно увеличивается.

Ключевые слова: кавитация в растворах

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (ФА) - 15.10.2019 с 16.20 до 18.00

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРИАД КАПИЛЯРНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НА НЕЕ РАДИАЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Крутянский^{1,3} Л.М., Преображенский^{1,3} В.Л., Макалкин^{1,3} Д.И., Брысев^{1,3} А.П., Pernod^{2,3} Р.

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова 38

²Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, ISEN, Univ. Valenciennes, UMR 8520 - IEMN, F-59000 Lille, France

³Международная Ассоциированная Лаборатория критических и сверхкритических явлений в функциональной электронике, акустике и флюидике (LICS)

Тел./Факс: +7 499 5038757; e-mail: dmitrymakalkin@yandex.ru, leonid.krut@gmail.com

Взаимодействие ультразвука с возмущениями поверхности жидкости представляют интерес как с точки зрения фундаментальной физики волн, так и с точки зрения возможных приложений в интенсивно развивающейся в настоящее время микро-акусто-флюидике, а так же при лабораторном моделировании мегамасштабных волновых процессов в океане. В настоящей работе представлены первые результаты экспериментальной реализации и изучения нелинейного параметрического взаимодействия ультразвука и гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) на свободной поверхности жидкости. Специфической особенностью физического механизма связи волн в данном случае является зависимость сил радиационного давления излучения плоской ультразвуковой волны от формы поверхности, на которую они действуют. Выполненные эксперименты подтверждают существование предсказанной ранее в работе V. Preobrazhensky, V. Aleshin, P. Pernod, Physics of Wave Phenomena, 2018, v.26, p.234 индуцированной радиационным давлением ультразвука нелинейной параметрической связи триад ГКВ. В экспериментах моды стоячих ГКВ возбуждались с помощью узкого ультразвукового пучка с несущей частотой 1.030 МГц и параметрически связанной с ним плоской ультразвуковой волной с несущей частотой 1.035 МГц. При этом амплитуда пучка модулировалась на резонансных частотах обертонов ГКВ $f_2=5.265$ Гц и $f_4=7.873$ Гц, а амплитуда плоской волны модулировалась на частоте $f_p=2.657$ Гц с тем, чтобы удовлетворять условию нелинейного параметрического резонанса $f_p = 2f_2 - f_4$. Сопоставление результатов измерений амплитуд параметрически взаимодействующих

ших триад ГКВ с критическим условием для реализации эффекта взрывной неустойчивости показали, что в проведенных экспериментах имел место подпороговый режим параметрического взаимодействия, инкремент которого примерно в четыре раза меньше критического значения, при достижении которого в системе наступает взрывная неустойчивость. В связи с этим обсуждаются возможные пути выполнения условий взрывной неустойчивости в данной системе.

Работа поддержана CNRS, а также грантом РФФИ 18-52-16001 НЦНИ_а.

Ключевые слова: параметрическая связь волновых триад, гравитационно-капиллярные волны, ультразвуковая накачка

Секция ОА – Оптоакустика и акустооптика

Волошинов Виталий Борисович, руководитель
МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет,
Кафедра физики колебаний, Москва; E-mail: volosh@phys.msu.ru

17.10.2019 - с 14.00 до 16.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

МНОГОКРАТНОЕ ОТРАЖЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Поликарпова Н.В., Волошинов В.Б.

*Физический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва
Тел.: 495 9394404; Факс: 495 9328820; E-mail: polikarp@phys.msu.ru*

В докладе приводятся результаты исследования закономерностей распространения и многократного отражения объёмных акустических волн в кристалле двуокиси теллура. Данный кристалл был выбран для анализа из-за чрезвычайно большой упругой анизотропии и исключительно высокого коэффициента акустооптического качества материала. Исследование распространения волн проводилось методом зондирования акустического столба лазерным лучом, а также методом акустооптической визуализации акустических пучков. В частности, подробно исследовано явление многократного отражения волн от двух свободных граней кристалла. Для этого из кристалла парателлурида была изготовлена призма сложной конфигурации с двумя параллельными и двумя взаимно наклоненными гранями. С помощью пьезоэлектрического преобразователя из X-среза кристалла ниобата лития в призме возбуждалась квазисдвиговая акустическая волна, которая распространялась с углом акустического сноса 74° между фазовой и групповой скоростью ультразвука. Данная акустическая волна падала на одну из наклонных граней призмы и затем отражалась от этой грани, при этом в кристалле наблюдались сразу две отраженные акустические волны. Эти волны после первого отражения падали на две другие свободные грани призмы, после чего происходило повторное отражение волн. При проведении экспериментов в результате многократных отражений в призме наблюдались не менее пяти отраженных волн. Эти волны распространялись в кристалле в плоскости (001) в различных направлениях. Для этих волн в результате расчетов были определены их основные акустические параметры. В эксперименте особое внимание уделялось и тщательному измерению направления распространения акустических волн. Также оценивались величины фазовых скоростей и углов акустического сноса. Наконец, в непосредственно определялись и величины коэффициентов отражения и коэффициентов затухания ультразвука. Все указанные параметры были определены методами акустооптики на частоте ультразвука 87 МГц и при длине волны света 532 нм.

На основе проведенных исследований была предложена новая модификация квазиколлинеарного перестраиваемого акустооптического фильтра на кристалле парателлурида. По сравнению с известными акустооптическими квазиколлинеарными устройствами предлагаемый акустооптический прибор является многоканальным, допускающим работу с несколькими световыми пучками одновременно.

Ключевые слова: акустические волны, многократное отражение, парателлурид, акустооптический фильтр

АКУСТООПТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В КУБИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ KRS-5 С РЕГУЛИРУЕМОЙ ОПТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Хоркин В.С., Волошинов В.Б.

*Физический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова
Тел.: 495 9394404; Факс: 495 9328820; E-mail: vld_510@mail.ru*

В последние годы возрос интерес к разработке акустооптических устройств, функционирующих в среднем и дальнем диапазоне спектра электромагнитных волн. Сложности с разработкой подобных устройств, в первую очередь, обусловлены отсутствием эффективных акустооптических материалов, прозрачных для электромагнитного излучения с длинами волн свыше 5 микрон. Монокристаллы KRS-5 являются твердыми растворами солей таллия, содержащими соединения таллия и брома (TlBr), а также таллия и йода (TlI). Данный кристалл рассматривается в качестве перспективного материала для соответствующих применений в акустооптических модуляторах и дефлекторах. Известно, что кристаллы KRS-5 принадлежат к классу *m3m* кубических материалов, следовательно,

являются оптически изотропными. Поэтому в кристаллах KRS-5 принципиально невозможно реализовать анизотропные варианты акустооптического взаимодействия, которые наиболее успешно применяются для управления световыми потоками в современных дефлекторах и перестраиваемых акустооптических фильтрах.

Для того, чтобы расширить возможности использования кристалла KRS-5 в акустооптике, предлагается в данном материале создавать искусственную оптическую анизотропию. Для этого к кристаллу было приложено внешнее статическое давление, величина которого могла регулироваться. Абсолютное значение величины наведенного двулучепреломления, достигнутое при экспериментальном исследовании, изменялось от нуля до величины $\Delta n = 5 \cdot 10^{-4}$.

Целью проведенного исследования был анализ акустических, оптических и акустооптических характеристик кристалла KRS-5. В эксперименте наблюдались картины Шефера-Бергмана, позволившие определить значения фазовых скоростей акустических волн в плоскости (001) материала. Также были измерены зависимости брэгговских углов падения света на ультразвук в изотропном кристалле, т.е. в отсутствие статического давления, а также в случае индуцированного двулучепреломления, полученного при приложении к кристаллу статического давления. Акустооптическое исследование проводилось на продольных и сдвиговых акустических волнах при освещении материала монохроматическим оптическим излучением на длинах волн видимого и ближнего инфракрасного диапазонов: $\lambda = 0.63 - 3.39$ мкм. Исходя из полученных данных, была проведена оценка величины дисперсии акустооптических параметров материала.

На основе проведенных исследований была предложена конфигурация акустооптического дефлектора на основе кристалла KRS-5 с приложенным внешним статическим давлением. Данная конфигурация позволяет подстраивать параметры акустооптической ячейки, регулируя величину статического давления, но не меняя срез кристалла.

Ключевые слова: таллий, KRS-5, кубический кристалл, наведенная оптическая анизотропия, акустооптический дефлектор

ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МАТЕРИАЛАХ С МАГНИТОСТРИКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Сарнацкий В.М., Судьенков Ю.В., Шилин В.Д.

Санкт-Петербургский гос. университет, Россия, 199034, Санкт – Петербург, Университетская наб. 7/9

Тел.: 9117026683; эл. почта: vmsarnatsky@yandex.ru

Выявлены особенности в полевой зависимости акустического отклика (амплитуды ультразвуковых колебаний и спектра) при лазерном возбуждении магнитоотрицательных образцов поликристаллического никеля, монокристаллических пленок железиттриевого граната и пластин монокристаллов марганец-цинковой шпинели. Исследования проводились при комнатной температуре в внешнем магнитном поле 0 - 2000 эрстед с различной ориентацией относительно направления вектора напряженности переменного магнитного поля в световой волне с применением лазерного излучения длительностью 1 нс с длиной волны 0,53 мкм и 1,06 мкм. Обсуждаются механизмы обнаруженных эффектов.

Ключевые слова: оптоакустика, магнитоотрицательность, ультразвук, магнитное поле

СЕКЦИОНИРОВАННЫЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

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

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Тел.: 906 0750295; E-mail: balakshy@phys.msu.ru

В настоящее время секционированные пьезопреобразователи широко применяются в прикладной акустооптике. Их достоинством является то, что все секции преобразователя оказываются включенными последовательно, что значительно облегчает задачу согласования преобразователя с генератором электрических колебаний на высоких частотах. Как еще одно достоинство рассматривается возможность управлять каждым излучателем ультразвука по отдельности [1-3]. Наиболее простыми вариантами акустооптических (АО) устройств с секционированными преобразователями являются ячейки с одинаковыми секциями, возбуждаемыми синфазно ($\Delta\phi = 0$) или антифазно ($\Delta\phi = \pi$). В последнем случае диаграмма направленности преобразователя содержит два основных максимума, расположенных симметрично относительно нормали к плоскости преобразователя под углами $\Psi = \pm \lambda/2d = \pm V/2df$, где d – период структуры преобразователя, λ – длина акустической волны, V и f – ее скорость и частота. При изменении частоты ультразвука эти максимумы сканируют по углу, что позволяет расширить частотный диапазон АО взаимодействия при изотропной дифракции света.

В случае анизотропной дифракции ситуация существенно усложняется из-за сложного характера частотной зависимости углов Брэгга. Каждая из кривых брэгговских углов расщепляется на две, отстоящие от исходной на расстояние, определяемое периодом d и частотой ультразвука f .

Установленные в работе особенности анизотропного АО взаимодействия в пространственно периодическом акустическом поле, создаваемом фазированной решеткой пьезопреобразователей с антифазным возбуждением соседних секций, открывают перспективы для разработки АО приборов нового типа для управления неполяризованным оптическим излучением, в частности, модуляторов и дефлекторов световых пучков. Расчет таких устройств выполнен для АО кристаллов парателлурита (TeO_2) и ниобата лития (LiNbO_3).

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 17-07-00369.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. *Физические основы акустооптики*. – М.: Радио и связь, 1985.

2. Coquin G.A., Griffin J.P., Anderson L.K. Wide-band acoustooptic deflectors using acoustic beam steering. // *IEEE Trans. Son. Ultrason.*, 1970, v. SU-17, № 1, pp. 34-40.
3. Антонов С.Н., Вайнер А.В., Проклов В.В., Резвов Ю.Г. Расширение углового диапазона сканирования акустооптического дефлектора с двухэлементным фазированным пьезопреобразователем. // *ЖТФ*, 2013, т. 83, № 9, с. 108-113.

АКУСТИЧЕСКИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ БРОМИДА РТУТИ

Пороховниченко Д.Л.¹⁾, Рю Чж.²⁾, Зинкин Д.Г.¹⁾, Волошинов В.Б.¹⁾

¹⁾Физический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

²⁾GREEN OPTICS COMPANY, Республика Корея

Тел.: 495 9394404; Факс: 495 9328820; E-mail: volosh@phys.msu.ru

Известно, что кристаллические соединения на основе ртути и теллура находят широкое применение в акустооптике для управления характеристиками электромагнитного излучения в видимом, а также инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра. Такие кристаллы, как теллур (Te), парателлуриит (TeO₂), каломель (Hg₂Cl₂), бромид ртути (Hg₂Br₂) и др., характеризуются исключительно высокими значениями коэффициента акустооптического качества, что значительно снижает требования к уровню управляющей электрической мощности в акустооптических приборах на основе ртути и теллура. Поэтому исследование физических свойств указанных кристаллов является актуальной проблемой. Задачей настоящей работы явился анализ акустооптических характеристик кристалла бромида ртути в режиме широкоапертурной дифракции света на ультразвуке.

В работе приводятся результаты расчетов фазовых скоростей акустических волн в плоскостях (010) и (1-10) кристалла. Расчет показал, что фазовая скорость медленных сдвиговых акустических волн сильно меняется в зависимости от направления распространения звука и может достигать весьма низкого значения $V = 282$ м/с. Для плоскостей (010) и (1-10) кристалла бромида ртути были рассчитаны зависимости угла Брэгга θ от акустической частоты f при распространения ультразвука под различными углами α относительно кристаллографических осей. Анализ проведен для длин волн оптического излучения в видимом световом диапазоне $\lambda = 633$ нм, а также и в инфракрасном диапазоне $\lambda = 10.6$ мкм. В результате проведенных расчетов были определены оптимальные углы падения света, а также значения акустических частот, соответствующих режимам широкоапертурной дифракции света в бромиде ртути.

Экспериментальное исследование проводится на кристалле бромида ртути, выращенного в компании “Green Optics”. Скорости акустических волн в кристалле оценивались из диаграмм Шефера-Бергмана. При измерениях использовалось излучение лазера на длинах волн $\lambda = 532$ нм и $\lambda = 633$ нм. Данные эксперимента сравнивались с результатами расчетов.

Проведенное исследование позволяет определить основные параметры новых акустооптических дефлекторов и фильтров видимого и инфракрасного диапазонов электромагнитного спектра, которые в ближайшее время планируется создать на основе кристаллов бромида ртути.

Ключевые слова: акустооптика, бромид ртути, угол Брэгга, дефлектор, модулятор

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ КРАМЕРСА-КРОНИГА ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ И ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Соколовская Ю.Г.¹⁾, Подымова Н.Б.¹⁾, Карабутов А.А.^{2,3)}

¹⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва;

²⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, Международный учебно-научный лазерный центр, Москва;

³⁾ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва.

Тел.: (495 9395309); Факс: (495 9393113); E-mail: yu.sokolovskaya@mail.ru

Известно, что частотные зависимости коэффициента затухания и фазовой скорости акустических волн связаны между собой дисперсионными соотношениями Крамерса-Кронига, являющимися следствием фундаментального принципа причинности. Приближенные локальные соотношения для ограниченной частотной полосы могут быть получены из общих нелокальных соотношений при условии отсутствия резких скачков и резонансов затухания и дисперсии фазовой скорости акустических волн в исследуемой полосе частот. Затухание акустических волн в среде может быть вызвано поглощением, рассеянием или совокупностью этих механизмов. При этом дисперсионные соотношения должны выполняться вне зависимости от особенностей конкретного физического механизма, приводящего к затуханию и дисперсии акустических волн в среде. Целью настоящей работы является экспериментальная проверка выполнения соотношений Крамерса-Кронига в материале, в котором реализуется сразу два механизма потерь энергии акустической волны – рассеяние и поглощение. В качестве такого материала были выбраны углепластики – композиты на основе полимерной матрицы и углеродных волокон. Для измерения коэффициента затухания и фазовой скорости продольных акустических волн в исследуемых образцах использовался метод широкополосной лазерной оптико-акустической спектроскопии. Данный метод дает возможность создавать короткие и мощные широкополосные зондирующие акустические импульсы, что позволяет получать частотные зависимости коэффициента затухания и фазовой скорости в диапазоне от единиц до десятков мегагерц для сильно поглощающих и рассеивающих ультразвук гетерогенных материалов. Получены зависимости коэффициента затухания и фазовой скорости от частоты в спектральном диапазоне 1–10 МГц для образцов полимерной матрицы и углепластиков с различным значением пористости. Показано, что соотношения Крамерса-Кронига между затуха-

нием и фазовой скоростью продольных ультразвуковых волн будут выполняться для всех исследованных образцов независимо от конкретного механизма уменьшения энергии исходной акустической волны при ее распространении в материале.

Ключевые слова: широкополосная акустическая спектроскопия, лазерный оптико-акустический метод, продольные акустические волны, фазовая скорость

Секция АА – Атмосферная акустика

Куликов Сергей Николаевич - руководитель
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017 Москва, Пыжевский, 3; E-mail: snik1953@gmail.com

17.10.2019 - с 16.20 до 18.30

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

АТМОСФЕРНАЯ АКУСТИКА – ИТОГИ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

Красненко Н.П.

¹⁾ *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск;*

²⁾ *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск.*

Тел.: (8-3822 492418); Факс: (8-3822 491950); E-mail: krasnenko@imces.ru

В докладе рассматривается состояние дел по проблемам атмосферной акустики и пути дальнейшего развития этого направления. Это касается в первую очередь авторских интересов, разработок и исследований, связанных с созданием и использованием акустических систем: мощных излучающих систем звукового вещания и акустического воздействия, узконаправленных приемных микрофонов, приземного распространения звука, ультразвуковых метеорологических измерений, акустического зондирования атмосферы. Приводятся как отечественные результаты разработок и исследований, так и зарубежные.

Ключевые слова: атмосферная акустика

РАЗРАБОТКА И ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РФ АВТОНОМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

Иванов В.Н., Русаков Ю.С.

ФГБУ "НПО "Тайфун", г. Обнинск

Тел.: (903 8146828); E-mail: yurusakov@mail.ru

Описаны новые комплексы инфразвукового мониторинга атмосферы (КИЗ), автономно работающие на протяжении последних трёх лет в 7 пунктах РФ. Практически все элементы КИЗ (микробарометры и устройства их калибровки, инфразвуковая станция и программное обеспечение её работы) созданы на основе оригинальных технических решений с учётом мирового опыта разработки подобных систем, прежде всего, инфразвукового компонента международной системы мониторинга (МСМ) малых ядерных взрывов. На основе опыта эксплуатации КИЗ доказана практическая эффективность подавляющего большинства этих решений. Главная особенность комплекса - его геофизическая нацеленность, обусловившая создание максимально чувствительного с широким частотным диапазоном оборудования для охвата всего спектра возможных геофизических проявлений инфразвука. Показано, что основными достоинствами комплекса, наряду с его хорошими метрологическими характеристиками, являются: сравнительно низкая стоимость, минимальные эксплуатационные затраты, надёжность круглосуточной работы во всём диапазоне погодных условий, низкая требовательность к территориальным и энергетическим ресурсам. Инфразвуковой комплекс адаптирован к условиям эксплуатации на территории типовой метеостанции РФ.

Ключевые слова: микробарометр, инфразвуковая станция, геофизический мониторинг

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНО-КОГЕРЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

Русаков Ю.С.

ФГБУ "НПО "Тайфун", г. Обнинск.

Тел.: (903 8146828); E-mail: yurusakov@mail.ru

Описывается новый метод обработки данных, поступающих от разнесённой на местности группы датчиков, для автоматического выделения и оценки параметров акустических, в частности, инфразвуковых волн в пункте наблюдения. Суть метода заключается в параллельной узкополосной когерентной обработке коротких выборок данных по всему спектру частот и от каждого треугольного полигона, сформированного на основе инфразвуковой группы, и пороговом выделении полезных сигналов на фоне шумов. В результате создаётся значительный ансамбль условно независимых индивидуальных оценок параметров плоской инфразвуковой волны, каждая из которых рассчитывается для полезных сигналов с помощью известного способа фазовой триангуляции. Завершающая статистическая обработка ансамбля оценок повышает надёжность и точность акустического мониторинга при малых отношениях сигнал/шум. Обосновываются такие качества метода как его универсальность, гибкость, масштабируемость и физическая содержательность. Метод реализован в виде компьютерной программы реального времени, автоматически формирующей каждые 10 минут текстовую и графическую версии бюллетеней инфразвуковых событий (ИС) для каждого пункта наблюдения. Показано, что в ряде случаев графическая версия бюллетеня ИС позволяет оперативно идентифицировать тип ИС по его характерным признакам. Рассмотрены примеры при-

менения метода для созданной в Росгидромете сети геофизических станций, когда регистрировались и пеленговались инфразвуковые волны от серии взрывов на арсеналах Украины, падения метеороидов, землетрясений, грозовой и техногенной активности, микробаром и т.п.

Ключевые слова: обработка инфразвуковых данных, акустический пеленг и мониторинг

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРОИДА

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

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН 119017 Москва, Пыжевский, 3
E-mail: snik1953@gmail.com*

Рассматривается распространение на большие расстояния инфразвукового сигнала, излучённого при падении Челябинского метеороида. Приводятся результаты моделирования распространения инфразвука в приземном звуковом канале волновым методом псевдодифференциального параболического уравнения. Проводится сравнение частотной дисперсии в диапазоне 0.3–0.8 Гц, наблюдаемой в экспериментальном сигнале, зарегистрированном на расстоянии около 543 км на станции IS31 (Актюбинск) Международной системы инфразвукового мониторинга, с дисперсией в расчётном сигнале. Оценивается влияние на интенсивность инфразвукового сигнала выраженной направленности излучения. Делается вывод о необходимости учёта направленности излучения метеороида при оценках мощности источника инфразвука. Работа выполнена при поддержке РФФИ 18-05-00576.

Ключевые слова: инфразвуковые сигналы, Челябинский метеороид, частотная дисперсия, направленность излучения

НАБЛЮДЕНИЕ МИКРОБАРОМ НА СТАНЦИЯХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА

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

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва
E-mail: snik1953@gmail.com*

В работе рассмотрены некоторые особенности работы станций Международной системы инфразвукового мониторинга. На примере наблюдения микробаром проведено сравнение определения направления распространения сигналов по временным задержкам прихода сигналов на приёмники и с помощью формирования диаграммы направленности. Приводятся результаты измерения азимутов на источник микробаром и их фазовых скоростей в течение нескольких суток по данным трёх станций Международной системы инфразвукового мониторинга IS26, IS37 и IS43. Для интервала наблюдений определена область в Атлантическом океане – источнике микробаром и оценено изменение интенсивности и спектра микробаром за период наблюдения. Работа выполнена при поддержке РФФИ 18-05-00576.

Ключевые слова: микробаромы, Международная система инфразвукового мониторинга, измерение азимутов, диаграммы направленности

РАСSEЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА НА АНИЗОТРОПНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ УСТОЙЧИВО-СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

И. Чунчuzов¹⁾, В. Перепелкин¹⁾, С. Куличков¹⁾, О. Попов¹⁾, А. Варданян²⁾, Г. Айвазян²⁾

¹⁾ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 119017 Москва, Пыжевский 3, Россия*

²⁾ *Инновационный технический центр Барва, Талин, Армения
Тел. +7 985 -7726732 E-mail: igor.chunchuzov@gmail.com*

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния мелкомасштабной слоистой структуры устойчиво-стратифицированного атмосферного пограничного слоя (УАПС) на флуктуации параметров акустических импульсов, генерируемых с определенным периодом (30сек-1 мин) искусственным детонационным генератором, созданным в Армении для целей предотвращения выпадения града. По формам и временам пробега зарегистрированных приходов акустических импульсов восстановлены мгновенные вертикальные профили флуктуаций скорости ветра в тонких атмосферных слоях УАПС, расположенных на разных высотах (до 700 м) над землей и на разных расстояниях от источника (до 2,75 км). Показано, что механизм рассеяния импульсных сигналов в УАПС аналогичен механизму рассеяния сигналов от наземных взрывов на слоистых неоднородностях скорости ветра и температуры в стратосфере, мезосфере и нижней термосфере. Роль параметра подобия здесь играет безразмерная толщина рассеивающих неоднородных слоев, которая представляет собой вертикальный масштаб слоя, умноженный на относительный перепад эффективной скорости звука в слое и нормированный на вертикальную длину волны. Изучено влияние таких неоднородностей на временные флуктуации азимута и времени прихода сигналов. Дана оценка ошибки локализации импульсных источников. Работа выполнена при поддержке РФФИ N 18-55-05002.

Ключевые слова: устойчивая стратификация, атмосферный пограничный слой, тонкая слоистая структура, рассеяние, детонационный генератор

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА
ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ**

М.А.Локощенко^{1,2}, А.Ю.Богданович¹, Н.Ф.Еланский²

¹*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Россия, 119991, Москва, Ленгоры, МГУ*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова. Россия, Москва, Пыжевский пер., 3.*

Тел.: (495) 939-4284; Факс: (495) 939-2479; Электронный адрес: loko@geogr.msu.ru

В Метеорологической обсерватории МГУ проводится акустическое зондирование атмосферы содарами «ЭХО-1» (с 1988 г.) и «MODOS» (с 2004 г.). Здесь же, в 80-90 м от обоих содаров, в 2002–2014 гг. работала совместная экологическая станция ИФА и МГУ с ежеминутными измерениями приземного содержания газовых примесей. Ныне они измеряются здесь только на посту сети Мосэкомониторинг. Накопленные данные позволяют подробно исследовать влияние стратификации (в аспекте наличия задерживающих слоёв приподнятых инверсий) на приземное содержание озона и двуокиси азота. Отдельно рассмотрены два вида приподнятых инверсий, турбулентные структуры которых хорошо прослеживаются на содарной записи (высотно-временной развёртке эхосигнала): утренние инерционные инверсии (остатки приземных ночных) и долгоживущие инверсии оседания. На примере данных лета 2016 г. получено, что утренние инверсии отмечаются более чем в половине всех дней (в 51 из 92) и существуют в среднем 3 ч; в отдельных случаях – более 6 ч. Общая продолжительность утренних инверсий составила с июня по август 153 ч из 329 ч с любыми приподнятыми инверсиями, т.е. почти половину времени в общей их выборке. С моментом разрушения утренней инверсии связан резкий рост первой производной, т.е. ускорение роста O_3 , и скачкообразное уменьшение уровней NO_2 . Оба эффекта отражают усиление вертикального турбулентного обмена. Напротив, в условиях долгоживущих приподнятых инверсий не выявлено достоверных изменений в приземном содержании обеих этих примесей (исследовано 40 случаев инверсий продолжительностью ≥ 20 ч). Таким образом, само по себе существование инверсии, взятое в отрыве от других факторов (скорости ветра, растворения в осадках и др.) не приводит ни к устойчивому накоплению NO_2 , ни к устойчивому уменьшению O_3 вследствие его поглощения поверхностью. Следует также учесть ослабление влияния инверсии на больших высотах или при очень малой её мощности. Сверхдолгие приподнятые инверсии обычно наблюдаются в Москве с ноября по февраль и существуют в нижнем 800-метровом слое до пяти дней подряд. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16–17–10275. Авторы благодарят Е.А.Лезину за любезно предоставленные данные ГУП «Мосэкомониторинг».

Ключевые слова: содары, стратификация, приподнятые инверсии, атмосферные примеси

Секция БИО – Биоакустика и медицинские приложения акустических методов

Бибиков Николай Григорьевич, руководитель
АО «Акустический институт им.акад.Н.Н. Андреева»
117036, Москва, ул. Шверника, д.4; E-mail: nbibikov1@yandex.ru

17.10.2019 - с 14.00 до 18.30; 18.10.2019 - с 09.00 до 13.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В НЕИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКА ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Хохлова В.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва
Тел. (495 9392952); E-mail: vera@acs366.phys.msu.ru*

Фокусированный ультразвук высокой интенсивности (в англоязычной литературе – high intensity focused ultrasound, HIFU) на сегодняшний день уже успешно используется в клинической практике для воздействия на биологические ткани с целью безоперационного разрушения новообразований в различных органах и проведения нейрохирургических операций в глубоких структурах мозга человека.

Хотя в современных HIFU системах основным механизмом воздействия на ткань является ее нагрев в режиме фокусировки гармонических волн, растет интерес к использованию импульсных режимов воздействия с большой пиковой амплитудой, когда в профиле волны в фокусе образуются высокоамплитудные ударные фронты. Такие режимы позволяют существенно расширить круг вызываемых ультразвуком биоэффектов. Быстро развиваются новые приложения, такие как разрушение тромбов и объемных гематом, усиление выделения специфических биомаркеров для проведения неинвазивной онкодиагностики, адресная доставка лекарств, лечение абсцесса, комбинированная иммунотерапия.

В докладе представлены результаты недавних исследований в данной области, направленные на развитие технологии механического разрушения ткани на субклеточные составляющие (гистотрипсия), усиление адресной доставки лекарств без искусственного введения контрастных агентов, а также повышение эффективности и безопасности теплового воздействия. Приводится обзор современных клинических приложений в урологии, кардиологии, гастроэнтерологии, биоинженерии и иммунологии, в которых ведутся исследования по использованию ударно-волновых режимов облучения. Рассматриваются новые экспериментальные и численные методы характеристики ударно-волновых полей HIFU-установок и планирования облучения в определенных клинических условиях; приводятся примеры излучателей, позволяющих достичь необходимых амплитуд ударного фронта в фокусе; обсуждаются физические механизмы механического и теплового воздействия на ткань, кавитационные эффекты в ткани при ее облучении ультразвуком с ударными фронтами, влияние акустических свойств ткани на нелинейную фокусировку и параметры поля *in situ*; особенности акустической и МРТ визуализации области воздействия, особенности морфологических и ультраструктурных изменений ткани, вносимых ультразвуком.

Представленные результаты используются в научных центрах, компаниях и медицинских лабораториях в России и за рубежом для развития новых технологий и клинических приложений неинвазивной ультразвуковой хирургии.

Ключевые слова: медицинская акустика, неинвазивная ультразвуковая хирургия, фокусированный ультразвук, нелинейные эффекты, ударный фронт

РАЗРАБОТКА МАКСИМАЛЬНО ПЛОТНОЙ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ РЕЖИМОВ ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Росницкий П.Б.¹⁾, Сапожников О.А.¹⁾, Юлдашев П.В.¹⁾, Гаврилов Л.Р.²⁾, Хохлова В.А.¹⁾

¹⁾Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва

²⁾АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Москва

Тел. (495 9392952); E-mail: pavrosni@yandex.ru

Многоэлементные фазированные решетки получили широкое применение в хирургии для создания объемных разрушений в глубоких структурах головного мозга с использованием мощного сфокусированного ультразвука. При непрерывном облучении гармоническими волнами, такой способ может привести к побочным эффектам перегрева костей черепа и тканей, находящихся на пути пучка. Альтернативой может служить метод гистотрипсии с кипением (ГК), в котором облучение ведется миллисекундными нелинейными импульсами с амплитудой разрыва в фокусе >60 МПа, следующими с коэффициентом заполнения <1%. Метод ГК позволяет механически разрушить ткань практически без тепловых эффектов. Однако существующие полусферические клинические решетки не позволяют реализовать ГК, поскольку при такой геометрии нелинейные эффекты выражены слабо.

Целью работы было создание математической модели решетки, способной реализовать ГК внутри мозга с учетом существующих на сегодняшний день технологических ограничений на максимальную интенсивность на элементах решетки (40 Вт/см²).

Предложена модель 256-элементной решетки с рабочей частотой 1 МГц в форме сферического сегмента с апертурой и радиусом кривизны равными 20 см. При разбиении решетки на элементы использован новый метод максимально плотного заполнения ее поверхности хаотически расположенными многоугольниками одинаковой площади. Для расчета поля разработан численный алгоритм, основанный на комбинации трех различных моделей: аналитического метода вычисления интеграла Рэлея в согласующей жидкости вне головы, линейного волнового уравнения в модели Кельвина-Фойгта для учета сдвиговых волн в неоднородном по толщине черепе и нелинейного уравнения Вестервелта в однородных поглощающих тканях мозга. На основе предложенных моделей разработан алгоритм компенсации аберраций, вызванных наличием черепа. Модель акустических свойств головы получена путем сегментации изображений МРТ.

В работе показано, что предложенная решетка в случае компенсации аберраций позволяет избавиться от искажения пучка и обеспечить нелинейный режим облучения в фокусе с амплитудой разрыва >60 МПа. При этом интенсивность на элементах решетки не превышает технологический максимум (40 Вт/см²), а значит предложенная решетка применима для реализации ГК. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-02-00035/19, стипендии фонда развития теоретической физики «Базис» и стипендии Президента РФ СП-2644.2018.4.

Ключевые слова: медицинская акустика, ультразвуковая хирургия, головной мозг, многоэлементные решетки, ударный фронт

HFU BEAM: ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС С ГРАФИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СФОКУСИРОВАННЫХ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКОВ В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДЕ

Юлдашев П.В.¹⁾, Карзова М.М.¹⁾, Мездрихин И.С.¹⁾, Росницкий П.Б.¹⁾, Сапожников О.А.¹⁾, Хохлова В.А.¹⁾

¹⁾Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва
Тел. (495 9392952); E-mail: petr@acs366.phys.msu.ru

Для реализации неинвазивного хирургического воздействия ультразвукового пучка на различные органы применяются излучатели различной геометрической формы, размера и мощности. Фокусировка пучка при этом обычно обеспечивается выбором поверхности излучателя в виде сегмента сферической поверхности заданного радиуса кривизны. К таким излучателям относятся, например, одноэлементные преобразователи, многоэлементные кольцевые решетки или рандомизированные решетки с элементами различной геометрической формы. Во многих случаях поле таких многоэлементных излучателей при фокусировке в центр кривизны может быть с высокой точностью аппроксимировано полем одноэлементного сферического излучателя. Для планирования воздействия сфокусированного ультразвука на организм и обеспечения безопасности и эффективности такого воздействия общей задачей является определение параметров ультразвукового поля различной мощности при распространении как в воде, так и в ткани. Для решения этой задачи часто применяется численное моделирование ультразвуковых пучков на основе уравнений нелинейной акустики.

Целью работы было создание программы с графическим интерфейсом, предназначенной для моделирования нелинейных полей, создаваемых осесимметричными ультразвуковыми излучателями на основе параболического уравнения (ХЗК) и широкоугольного параболического уравнения (ШПУ) при фокусировке поля в плоскостой среде.

Графический интерфейс программы выполнен в среде MATLAB. В качестве модели излучателя используется многоэлементный преобразователь в виде сферического сегмента с кольцевыми элементами равной площади и заданным зазором между ними. Кроме геометрических параметров пользователем задаются частота и полная акустическая мощность излучателя. Также возможна фазировка элементов для электронного смещения фокуса вдоль оси пучка. В качестве модели среды распространения задается набор из плоскопараллельных слоев, ориентированных перпендикулярно оси излучателя. Для каждого слоя задаются скорость звука, плотность, коэффициент нелинейности, а также параметры термовязкого и степенного закона поглощения, характерного для биологических тканей. Уравнения ХЗК и ШПУ решаются численно с использованием метода расщепления по физическим факторам и различных конечно-разностных схем для операторов дифракции, нелинейности и поглощения. В программе обеспечивается вывод и просмотр результатов моделирования, таких как пространственные распределения положительного и отрицательного пиковых давлений, интенсивности, мощности тепловых источников, амплитуд гармоник, а также профилей давления.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-12-00974.

Ключевые слова: уравнение ХЗК, широкоугольное параболическое уравнение, ультразвуковая хирургия

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ДВУМЕРНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕШЁТКИ МЕТОДОМ НЕСТАЦИОНАРНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ

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

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва
Тел. +74959392952; E-mail: sergey@acs366.phys.msu.ru

Во многих областях применения ультразвука (УЗ) важное значение имеет точное знание пространственно-временной структуры акустического поля, в частности, в медицинской ультразвуковой томографии и терапии. Акустическая голография – это метод записи реальной трехмерной структуры поля путем измерения амплитуды и фазы акустического давления на двумерной поверхности, являющейся голограммой. Акустическая голография позволяет количественно определить характер колебаний поверхности УЗ преобразователя путём расчёта распределений амплитуды и фазы колебательной скорости на поверхности преобразователя из измеренной голограммы.

Метод основан на численном решении обратной задачи излучения с граничным условием, заданным на поверхности голограммы. В случае гармонического сигнала это может быть сделано с использованием интеграла Рэлея или метода углового спектра. Метод акустической голографии был успешно применен для характеристики плоских, фокусированных и цилиндрических или сферических преобразователей мегагерцового диапазона частот в жидкости. Метод может быть естественным образом расширен с гармонических на импульсные (нестационарные) поля. В настоящей работе нестационарная голография используется для определения характера колебаний двумерной фазированной диагностической антенной решетки (Медэлком, Вильнюс, Литва). Исследуемый датчик состоит из 20x20 квадратных пьезоэлементов размером 1.45x1.45 мм с зазором 50 мкм. Из 400 только 384 элемента являются активными; они разделены на три группы по 128 элементов, каждая из которых управляется через стандартный ZIF Canon разъем. При проведении измерений фазированный преобразователь подключался к системе Verasonics и возбуждался коротким импульсом, состоящим из 2 периодов частоты 2 МГц. Все активные элементы синфазно излучали сигнал в резервуар с дегазированной водой. Голограмма в виде профилей импульса в окне длительностью 100 мкс на расстоянии 25 мм от источника измерялась гидрофоном SEA Lipstick HGL-0150, последовательно перемещавшимся по узлам квадратной сетки размером 40x40 мм с шагом 0.5 мм с помощью компьютерно-управляемой системы позиционирования Precision Acoustics UMS-3. Рассчитанное из измеренной голограммы поле на поверхности двумерной УЗ решетки в широком частотном диапазоне демонстрирует высокое разрешение и позволяет обнаружить дефекты и неактивные элементы. Работа поддержана грантами NIH R01EB025187, РФФИ 17-02-00261 и РФФИ 18-02-00991.

Ключевые слова: акустическая голография, двумерная УЗ решетка, характеристика излучателей

СБОРКА КОЛЬЦЕОБРАЗНОГО КОНСТРУКТА ИЗ ТКАНЕВЫХ СФЕРОИДОВ В МАГНИТНОАКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

**Крохмаль А.А.^{1,2)}, Сапожников О.А.¹⁾, Кудан Е.В.²⁾, Цысарь С.А.¹⁾, Незурина Е.К.,
Хесуани Ю.Д.²⁾, Парфенов В.А.²⁾**

¹⁾Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва

²⁾Лаборатория биотехнологических исследований «3D bioprinting solutions», Москва

Тел. (495) 9392952; E-mail: doro1212@yandex.ru

Нехватка донорских органов является важной проблемой в современной медицине. Перспективным решением является изготовление тканей и органов человека с использованием трехмерной биопечати. В большинстве существующих методов биотехнологии используются каркасы, изготовленные из биоматериалов или наноматериалов. Недавно был предложен инновационный метод биофабрикации, в котором трехмерные тканевые конструкции были изготовлены методом магнитной левитации без различных каркасов в нетоксичной парамагнитной жидкости. В качестве строительных блоков при конструировании тканевых конструкций используются тканевые сфероиды - плотно упакованные сферические агрегаты живых клеток диаметром 0,2 мм. Собранные вместе в магнитную ловушку, тканевые сфероиды контактируют друг с другом и, таким образом, сливаются, образуя трехмерную тканевую конструкцию. Однако магнитная левитация позволяет изготавливать структуры простой формы, тогда как реальные органы содержат полые внутри кровеносные сосуды. Следовательно, желательно формировать тканевые конструкции с некоторыми внутренними каналами. В качестве первого шага в решении этой проблемы в данной работе представлен метод магнитоакустической биофабрикации. Чтобы создать правильную ловушку, мы объединили магнитные и акустические поля. Магнитная система состояла из двух противоположно ориентированных магнитов с пустым пространством между ними. В это пространство был помещен цилиндрический ультразвуковой преобразователь, а внутри пьезокерамического цилиндра был помещен пластиковый контейнер с тканевыми сфероидами.

Конструкция была сформирована в области, где гравитация была компенсирована магнитными силами в вертикальном направлении, и из-за магнитного градиента в горизонтальной плоскости сфероиды ткани перемещались навстречу друг другу, поднимаясь над дном контейнера. Пьезоэлектрический преобразователь создавал стоячие цилиндрические ультразвуковые волны. Акустическая радиационная сила действовала от пучности к узлу, вызывая образование кольца из тканевых сфероидов. Удержание сфероидов в такой ловушке в течение 18–20 часов привело к их слиянию в сплошную живую ткань в форме кольца. Изменение частоты и амплитуды ультразвуковой волны позволило регулировать размер и ширину результирующего тканевого кольца.

Работа выполнена при поддержке РФФИ 18-29-11076 и стипендии Фонда развития теоретической физики «Базис».

Ключевые слова: акустическая радиационная сила, акустическая левитация, магнитная левитация, тканевые сфероиды

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ МЕТОДОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ.

Николаев А.Л., Мазина С.Е., Гопин А.В., Саранцев А.В., Кирюхин О.В., Петров В.Г.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва

Тел.: (495) 939-32-07, E-mail: nicmsu@gmail.com

Основным направлением в медицине в последнее время является создание и развитие схем комбинированной терапии. Этот подход особенно популярен в терапии онкологических заболеваний. При этом схемы терапии включают различные физические воздействия, в частности ультразвук и ионизирующее излучение.

В сонодинамической терапии используется ультразвук средней интенсивности (до 5 Вт/см²) в сочетании с соносенсибилизаторами – веществами, локально усиливающими действие ультразвука. Сонодинамическая терапия постепенно входит в медицинскую практику, гамма-терапия давно и успешно применяется в лечении злокачественных опухолей.

Таким образом, оба метода по отдельности широко применяются в медицине. Однако, в настоящее время физико-химическая и биофизическая база их комбинированного применения отсутствует. Не существует и подходов к разработке методологии исследования их сочетанного действия. Вместе с тем, результатом применения комбинации ультразвука с ионизирующим излучением, кроме аддитивного эффекта может явиться и супераддитивный. Такое предположение основывается на отличии факторов, разрушающих опухоль при радиационном и ультразвуковом воздействии.

Целью работы являлось исследование эффектов комбинированного действия ультразвука и гамма излучения на объекты разного уровня структурной сложности (молекула, биомолекула, клетка). Для исследования были выбраны: октанатриевая соль окта-4,5-карбокситаллоцианина кобальта III (терафтал), фермент – щелочная фосфатаза и бактерии *Lactobacillus casei*

В работе использовали ультразвук с частотой 0,88 МГц, интенсивностью 2 Вт/см² и гамма излучение (¹³⁷Cs,) с мощностью дозы 2,3 Гр/мин.

В результате исследования выявлено наличие супераддитивного эффекта изменения структурно зависимых параметров у фермента щелочной фосфатазы и бактерий *Lactobacillus casei*. Установлено, что величина эффекта зависит от структурной сложности объекта, порядка воздействия, величин поглощённых доз и наличия сенсибилизатора. Показано, что для клеток значимым параметром, определяющим их устойчивость к комбинированному воздействию, является размер.

Полученные результаты указывают на перспективность развития исследований комбинированного действия ультразвука и ионизирующего излучения для решения ряда задач медицины.

ФИЗИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛАСТОГРАФИИ СДВИГОВОЙ ВОЛНОЙ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Демин И.Ю.¹⁾, Лисин А.А.¹⁾, Спивак А.Е.¹⁾, Иванова А.В.¹⁾, Рыхтик П.И.²⁾, Сафонов Д.В.³⁾

¹⁾ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород;

²⁾ Приволжский окружной медицинский центр ФМБА России, г. Нижний Новгород;

³⁾ Приволжский исследовательский медицинский университет, г. Нижний Новгород.

Тел.: (831)4656305; E-mail: demin@rf.unn.ru

В докладе представлены результаты физического и численного моделирования распространения сдвиговых волн в мягких биологических тканях (метод эластографии сдвиговой волной). Физическое моделирование выполнено на акустической системе Verasonics с открытой архитектурой. В качестве фантомов были использованы калиброванные фантомы CIRS MODEL 049A ELASTICITY QA PHANTOM, фантомы молочной железы Blue Phantom, а также фантом, имитирующий скелетную мышцу (состоит из желатиновой основы и замороженных в нее упругих струн).

Для проведения численного моделирования распространения сдвиговых волн в мягких биологических тканях был использован программный пакет toolbox k-Wave для среды программирования MATLAB. Этот пакет дает возможность моделировать среду распространения через такие параметры, как плотность и скорость звука в данной среде. Совокупность этих факторов позволяет моделировать 2D и 3D пространства, при этом сохраняя высокую скорость вычислений. Для того, чтобы более наглядно визуализировать полученные результаты, было использовано программное обеспечение Autodesk Maya. Autodesk Maya – пакет для работы с 3d графикой и анимацией. Результаты численного моделирования были сопоставлены с результатами физического моделирования (на акустической системе Verasonics) распространения сдвиговых волн в фантомах CIRS.

Параллельно калиброванные фантомы CIRS и Blue Phantom были использованы и для измерений на ультразвуковых системах экспертного класса. Исследования были выполнены на ультразвуковом сканере Acuson S2000 (Siemens, Германия) с методикой точечной эластографии сдвиговой волной (pSWE) и на сканере Aixplorer (SuperSonic Imagine S.A., Aixen-Provence, Франция) с методикой двухмерной эластографии сдвиговой волной (2dSWE). Было показано, что тестируемые коммерческие сканеры и акустическая система Verasonics обладают сопоставимой высокой точностью точечной эластометрии сдвиговой волной при измерении модуля Юнга и скорости сдвиговой волны исследуемых фантомов. Исследованные датчики и сканеры больше ориентированы на измерение объектов с малыми значениями модуля Юнга, где наблюдается наибольшая точность измерений. Были разработаны формулы пересчета модулей Юнга и скорости сдвиговых волн, полученных на различных сканерах, что позволит проводить корректное сравнение данных различных режимов эластографии сдвиговой волной.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 18-42-520056.

Ключевые слова: сдвиговая эластография, фантомы, Verasonics, численное моделирование

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ПАССИВНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

¹Ерофеев А.В., ¹Аносов А.А., ²Мансфельд А.Д., ³Шаракшанэ А.А., ³Щербаков М.И.

¹Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, г.Москва

²ИПФ РАН, г.Нижегород; ³ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, г.Москва

E-mail: astroragat@gmail.com

Цель исследования. Измерение температуры внутренних органов в норме и при воздействии на организм человека активных физических и химических средств.

Материалы и методы. Тепловое акустическое излучение измерялось многоканальным акустотермографом с пороговой чувствительностью 0,2 К при времени интегрирования 10 с. Для измерения поверхностной температуры использовался портативный компьютерный термограф с чувствительностью 0,05 К.

Результаты исследования. 1. Измерения теплового акустического излучения правого подреберья проводились до и после приема испытуемым сахара. Одновременно проводились измерения концентрации глюкозы в крови. В течение часа содержание глюкозы выросло от 4 до 8 ммоль/л, после чего начало снижаться. С задержкой в полчаса после увеличения концентрации глюкозы измеряемая акустостоярковая температура увеличилась на 2,5°C. 2. Измерения теплового акустического излучения верхней трети левого предплечья проводилось до и после втирания в кожу разогревающих мазей (Капсикам, Феналгон); одновременно измерялась поверхностная температура портативным компьютерным термографом ИРТИС-2000 (ООО "Ир蒂斯", Москва, Россия) с чувствительностью к перепаду температур (на уровне 30°C) 0,05 К. В первые 5-10 минут зарегистрировано уменьшение акустостоярковой температуры на 3-6°C. После этого значения акустостоярковой температуры возвращались на уровень, который был до нанесения мази. Тепловые эффекты были рассчитаны по уравнению теплопроводности с кровотоком с изменением такого параметра, как температуры притекающей крови. Рассчитанная с использованием уравнения теплопроводности временная зависимость акустостоярковой температуры согласуется с экспериментальными данными.

Заключение. Экспериментально было показано, что пассивную акустическую термометрию можно использовать для измерения температуры внутренних органов тела человека.

Ключевые слова: тепловое акустическое излучение, акустостоярковая температура, температура печени, температура тканей конечностей, уравнение теплопроводности с учетом кровотока

АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОСОСУДОВ

Клочков Б.Н.

Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород

Тел.: 910 3979598; Факс: 831 4363792; E-mail: boris51122@gmail.com

Представлен волновой подход к проблеме динамической биомеханики сосудов с протекающей по ним биожидкостью. Рассмотренная распределенная модель крупного упругого сосуда, учитывающая как осесимметричные, так и неосесимметричные деформации, наличие продольного натяжения стенки сосуда, позволяет получить дисперсионные характеристики, выражение для частоты колебаний. Получено выражение для критической скорости потока U_{cr} , выше которой становится неустойчивой та или иная угловая мода сосуда. Также получена критическая скорость потока $U_{cr0} < U_{cr}$, при которой появляются статические моды структурирования сосуда. Кроме этого проведено обобщение формулы для скорости пульса. Проведенные для крупных кровеносных сосудов оценки показывают возможность возникновения в них как статического и квазистатического режима, так и режима колебаний. Критические скорости могут достигаться для вен в обычных условиях, а для артерий – при функциональных или диагностических сдавливаниях, при патологии, в частности, характеризующейся значительно большей, чем в обычных условиях, скоростью течения крови, либо меньшей упругостью сосуда. В нормальных условиях скорость крови в крупных артериях может достигать 1,5–2,9 м/с. Максимальная скорость крови в крупных венах может составлять 0,5 м/с. Известен достаточно широкий диапазон частот колебаний в системе сосуд-жидкость 25–500 Гц. Анализ значений модуля упругости E показывает, что существует их значительный разброс $E \cong 10^2 - 1,2 \times 10^6$ Н/м². Характерные значения радиуса R_0 для рассматриваемых сосудов лежат в пределах $(0,1 - 1,2) \times 10^{-2}$ м. Критические скорости существенно падают с уменьшением относительной толщины сосуда q , минимальные значения составляют $q \cong 0,02 - 0,04$, хотя q может быть и существенно большим (0,2). Измеренная скорость распространения пульсовой волны составляет 4–14 м/с для крупных артериальных сосудов и 1–2 м/с для крупных венозных сосудов. Сделанные оценки при помощи полученных формул и выражений показывают правдоподобность результатов для венозных и артериальных сосудов в норме и при ряде патологий. Живые ткани характеризуются механохимическими параметрами, которые могут значительно меняться функционально или, тем более, квазипатологически, тем самым могут реализовываться различные динамические и статические режимы. Заметим, что в живом организме может происходить прорастание ткани (прорастающие деформации), и этот более медленный процесс может взаимодействовать с динамикой системы сосуд-жидкость, «закреплять» статическую извитость. Когда сосуды прямые и чистые, то это хорошо с точки зрения кровоснабжения, а любой изгиб, гофрированность сосуда может привести к дальнейшим нарушениям гидродинамики и прочим патологическим процессам.

Ключевые слова: упругий биососуд, течение биожидкости, характерные критические скорости, неустойчивость, дисперсионные характеристики, структуры, пульс

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА ВЯЗКОУПРУГОЙ СРЕДЫ

Богдан О.П., Муравьева О.В., Волков В.В., Подсизерцева М.А.

ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет имени М.Т.Калашиникова

Тел.: (3412)77-50-55 доб. 1132; E-mail: pmkk@istu.ru

Задачи измерений акустических характеристик (скорость распространения, акустический импеданс, коэффициент затухания) вязкоупругих сред актуальны в ряде медицинских приложений - при разработке фантомов биологических сред, для медицинской диагностики в качестве диагностических признаков, при создании новых материалов для медицинских изделий, и позволяют оценить их свойства за счет наличия функциональной связи с указанными характеристиками. В работе приведены результаты сравнительного анализа резонансной и волноводной методик измерения акустического импеданса вязкоупругих сред. Резонансная методика оценки импеданса вязкоупругой среды основана на измерении параметров амплитудно-частотных характеристик пьезопластины, последовательно нагруженной на воздух, среду с известным акустическим импедансом (эталонную среду) и исследуемую среду, и пересчете в акустический импеданс с использованием метода электромеханических аналогий (патент на изобретение № 2017125620). Представлены техническая реализация методики, обоснованы требования к размерам и геометрии пьезопластин, выбору рабочих частот и эталонных сред.

В основе волноводной методики лежит измерение коэффициентов затухания стержневой волны, возбуждаемой с использованием электромагнитно-акустического преобразователя в тонком стальном стержне (игле), нагруженном на воздух и исследуемую среду. В работе представлены техническая реализация волноводной методики, обоснованы требования к выбору диаметра и материала волновода, рабочих частот и эталонных сред.

Методики были использованы для оценки акустических импедансов модельных вязкоупругих жидкостей, представленных набором водных растворов глицерина в различных пропорциях (1:1, 2:1, 1:2, 1:0) с известными акустическими свойствами, а также для растворов неизвестной пропорции по построенным калибровочным графикам.

Сравнительный анализ обеих методик показал, что чувствительность резонансной методики составила 0,7 м/(Па·с), волноводной методики - 2,0 м/(Па·с), при этом для резонансной методики чувствительность представляется достаточно равномерной во всем диапазоне измеренных значений акустических импедансов, тогда как чувствительность для резонансной методики имеет нелинейный характер, близкий к логарифмической зависимости, что обусловлено экспоненциальным затуханием стержневой волны. Разработанные методики достаточно просты в реализации и могут быть воспроизведены с помощью несложного лабораторного оборудования, и обладают достаточно высокой точностью.

Ключевые слова: акустический импеданс, вязкоупругая среда, эквивалентная электрическая схема, стержневая волна, коэффициент затухания

АНАЛИЗ ФОНОКАРДИОГРАММ С ЦЕЛЬЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ПУЛЬМОНАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ВТОРОГО СЕРДЕЧНОГО ТОНА

Лесик М.В.¹⁾, Грамович В.В.²⁾, Выборов О.Н.²⁾, Андреев В.Г.¹⁾

¹⁾ *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва;*

²⁾ *ФГБУ "НМИЦ кардиологии" Минздрава России, Москва;*

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

В работе проанализированы фонокардиограммы (ФКГ) пациентов с легочной гипертензией, записанные врачами НМИЦ кардиологии. Запись ФКГ производилась в семи различных точках, три из которых являлись оптимальными для выслушивания легочного клапана (второе, третье и четвертое межреберье слева от грудины). Основное внимание уделялось звуку второго тона сердца, состоящему из аортальной и пульмональной компонент, которые образуются при захлопывании соответствующих клапанов. Увеличенная временная задержка между компонентами является одним из диагностических признаков легочной гипертензии. Целью работы было построение алгоритма автоматического выделения компонент звука второго тона сердца, определение длительности задержки между ними, анализ амплитудно-частотного спектра компонент и построение корреляционной зависимости указанных параметров с уровнем давления в легочной артерии (ЛА). Поиск и выделение сигнала второго тона проводилось автоматически в интервале 200 мс, положение которого синхронизовано с Т-зубцом на электрокардиограмме (ЭКГ), запись которой осуществлялось одновременно с ФКГ. Выделение высокочастотных составляющих в спектре измеренных сигналов второго тона производилось с использованием цифровых фильтров высоких частот с частотами среза в диапазоне от 30 до 70 Гц. Для устранения высокочастотных шумов использовался НЧ фильтр с частотой среза 500 Гц. Компоненты второго тона представляют собой нестационарные сигналы, частота которых со временем уменьшается. Для анализа и выделения аортальной и пульмональной компонент из отфильтрованного сигнала второго тона применялось преобразование Вигнера-Вилла. Анализ ФКГ проведен для 30 пациентов кардиоцентра: 24 – с легочной гипертензией (ЛГ), 6 – с нормальным давлением в ЛА. Запись ФКГ проводилась при задержке дыхания на выдохе, при этом каждая ФКГ содержала от 5 до 8 циклов работы сердца. Показано, что наличие ЛГ сопровождается выраженным расщеплением сигнала второго тона и появлением высокочастотных (100 - 120 Гц) составляющих в спектре пульмональной компоненты. Полученные результаты могут стать основой для реализации метода неинвазивной диагностики легочной гипертензии.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-02-00736.

Ключевые слова: легочная гипертензия, фонокардиограмма, преобразование Вигнера-Вилла, второй сердечный тон

**РОЛЬ ПОСТСПАЙКОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОЗБУДИМОСТИ
В ФОРМИРОВАНИИ РЕАКЦИИ НЕЙРОНОВ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ**

Бибиков Н.Г.

*АО «Акустический институт имени акад. Н.Н.Андреева», Москва
Тел.: (9163933263); Факс: (499) (126-84-11); E-mail: nbibikov1@yandex.ru*

Нейроны слуховой системы кодируют параметры поступающего звука временным узором последовательно-распространяющихся по выходному аксону потенциалов действия (спайков). Вероятность генерации нейроном спайка в каждый конкретный момент времени определяется не только значением мембранного потенциала в точке возникновения потенциала действия, но также и состоянием ионных каналов, резко изменяющих свою активность после генерации нейронов очередного спайка. Последний эффект обычно феноменологически моделируется как абсолютная и относительная рефрактерность в рамках процесса восстановления, при котором каждый спайк стирает информацию о предшествующих изменениях возбудимости. Однако эти положения могут оказываться несправедливыми. Для экспериментального изучения влияния постспайковых изменений возбудимости на кодирование временных особенностей звука мы использовали методику условной вероятности, сравнивая ответы в случае существования или отсутствия предшествующих спайков. Данный прием реализовывался различными методическими приемами. В частности, использовалось сравнение постстимульной гистограммы с функцией ожидаемой плотности импульсации, а также сопоставление реакции на второй из пары стимулов при условии наличия или отсутствия спайка в ответ на первый стимул. Эти приемы позволили продемонстрировать, что длительность постспайковых изменений различна в разных клетках и может достигать десятков миллисекунд, включая не только тормозные, но и возбуждающие компоненты. Наиболее подробно удалось оценить эти изменения, используя стимуляцию тональными сигналами с повторяющимися участками низкочастотной шумовой модуляции. После соответствующей нормировки производилось сопоставление обычной автокорреляционной функции, полученной по всей длительности реализации, с функцией корреляции ответов на различные участки сигнала, имеющие идентичную огибающую. Поскольку в последнем случае постспайковые влияния отсутствуют, сопоставление этих функций позволило непосредственно проследить их динамику. При этом выяснилось, что во многих случаях непосредственно после участка рефрактерности наблюдается фасилитация ответа, которая может приводить к появлению пачковой активности. В тоже время суммация рефрактерности от ряда спайков может приводить к повышению чувствительности клетки к малым изменениям интенсивности звука в процессе адаптации.

Ключевые слова: слуховая система, кодирование, рефрактерность, адаптация

**РАСПОЗНАВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИМПУЛЬСОВ И ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
В АНСАМБЛЕ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

Римская-Корсакова Л.К.

*АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», Москва
Тел.: +7(916) 6552119; Факс: +7(499) 1268411; E-mail: lkrk@mail.ru*

Известно, что распознавание интенсивности тональных импульсов средней интенсивности, предъявляемых либо в тишине, либо в условиях временной маскировки хуже, чем распознавание тех же импульсов с низкой или высокой интенсивностью. До настоящего времени исследователи рассматривали и объясняли эффекты распознавания импульсов в тишине и при маскировке по-разному. В данной работе предложена обобщенная гипотеза о распознавании тональных импульсов, предъявляемых в разных условиях. Гипотеза учитывала периферическое кодирование высокочастотных звуков ансамблем периферических волокон. В модельном эксперименте изучали свойства двух комплементарных распределений спайковой активности ансамбля волокон: распределение появления спайков во времени и распределением межспайковых интервалов. На вход модели подавали одиночный импульс или звуковой комплекс, содержащий тестовый импульс, предъявляемый до или после и помехового импульса. Распределения имели разные интервалы корреляции, поэтому плотности пиков несли в себе разную информацию о импульсе или звуковом комплексе. Мы также предположили, что пики разных распределений могли быть нейронными основными для различных субъективных характеристик тестового импульса и объединенного звука. Мы также моделировали задачу распознавания интенсивности. Для этого рассчитывали индексы чувствительности d' (Green, Swert, 1966) для каждого из пиков разных распределений. Показано, что изменение амплитуды либо тестового импульса, либо импульсной помехи приводило к изменению весов различных субъективных качеств (пиков распределений) и их чувствительностей к приращению амплитуд. Причиной ухудшения распознавания интенсивности, полагаем, могло стать выявленное нами несоответствие весов и чувствительностей разных субъективных качеств. В случае предъявления тональных импульсов со средней интенсивностью такое несоответствие было весьма значительным. Сопоставлены свойства кодирования и особенности распознавания амплитуд тонов, тональных импульсов и щелчков. Результаты исследования затрагивают фундаментальные и прикладные вопросы кодирования интенсивности коротких высокочастотных звуков в слуховой системе.

Ключевые слова: слух, модель волокна слухового нерва, кодирование коротких высокочастотных звуков, распределения активности ансамбля периферических волокон

**МЕТОД ОЦЕНКИ ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СЛУХА
ПРИ СЕНСОНЕВРАЛЬНОЙ ТУГОУХОСТИ 2-3 СТЕПЕНИ**

Андреева¹ И.Г., Клишова² Е.А., Гвоздева¹ А.П., Голованова² Л.Е.

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Городской гериатрический медико-социальный центр», Санкт-Петербург.

Тел.: 812 5523256; Факс: 812 5527901; E-mail: ig-andreeva@mail.ru

При пресбиакузисе наряду с повышением порогов слуха на высоких частотах изменяется кодирование надпороговых сигналов, в результате может нарушаться не только работа высокочастотного бинаурального механизма пространственного слуха, но и моноурального механизма оценки изменений громкости. Таким образом, оба механизма, используемые слуховой системой для оценки расстояния до источника звука при пресбиакузисе, должны функционировать иначе, чем в норме. В работе описан метод оценки временных характеристик пространственного слуха и представлены результаты его применения на примере группы из 25 пациентов в возрасте 63-83 лет с сенсоневральной тугоухостью (потеря слуха 41-62 дБ). Исследование было проведено методом постоянных рядов с применением моделирования движения звуковых источников в условиях помещения с малым временем реверберации. Для реализации методики была выполнена оценка акустических характеристик помещения и проведена их коррекция. С применением пары динамиков создавали приближающиеся и удаляющиеся звуковые образы разной длительности в диапазоне частот 0.2 – 8 КГц. Исследование выполняли в два этапа: предварительный и основной. На предварительном этапе пациенту разъясняли задачу и оценивали его способность определять направление движения длительных звуковых сигналов (приближение или удаление). В случае успешного выполнения задания на втором этапе оценивали временные показатели слухового восприятия. Пациентов разделили на две группы. В анамнезе у первой группы отсутствовали острые нарушения мозгового кровообращения, черепно-мозговые травмы и острый инфаркт миокарда, пороги по длительности составили 300-800 мс, тогда как в норме порог был равен 150 мс. У пациентов второй группы в анамнезе было выявлено одно из вышеперечисленных заболеваний. В этой группе пороги оказались существенно больше по величине или не могли быть измерены. Таким образом, пациентам с сенсоневральной тугоухостью требовалось больше времени для правильной оценки направления движения звуковых образов, чем испытуемым с нормальным слухом. Нарушения восприятия могли быть обусловлены суммарным эффектом изменения надпорогового кодирования звуковых сигналов и снижения порогов слуха, которое приводит к выключению высокочастотного бинаурального механизма. Для второй группы значительное снижение способности оценивать направление движения могло быть обусловлено вовлечением в патологический процесс центральных отделов слуховой системы.

Ключевые слова: сенсоневральная тугоухость, пространственный слух, слуховое восприятие движения, оценка расстояния

**КОРРЕЛЯЦИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ И ЧАСТОТНОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛУХА
У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ КОХЛЕАРНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ**

Гойхбург М.В.¹, Бахшиян В.В.^{1,2}, А. Важыбок³, Б. Вилигес³, Т. Юргенс⁴, Таварткиладзе Г.А.^{1,2}

¹ ФГБУ «Российский научно-клинический центр аудиологии и слухопротезирования» ФМБА России, Москва,

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения России, Москва, ³ Отделение медицинской физики и передовых технологий в аудиологии университета Карла фон Оссецки, Ольденбург, Германия; ⁴ Институт Акустики, Университет прикладных наук, Любек, Германия.

Тел. 84997496105, 89057820795; Факс: 84997496105

E-mail: mgoykhhburg@mail.ru, gtavartkiladze@audiology.ru

Одной из наиболее частых жалоб пациентов с двусторонней сенсоневральной глухотой после кохлеарной имплантации (КИ) является ухудшение разборчивости речи в шумной обстановке. При проведении исследований за рубежом была доказана корреляция между разборчивостью речи и спектральной разрешающей способностью слуха (ЧРС) у нормально слышащих испытуемых.

Цель исследования: определить корреляцию разборчивости речи в шуме у пользователей КИ с ЧРС слуха.

Материалы и методы исследования: для оценки разборчивости речи в шуме использовался международный Ольденбургский фразовый тест RUMatrix, для определения ЧРС слуха - спектрально-временной модулированный гребенчатый тест SMRT (spectral-temporally modulated ripple test). В контрольную группу включено 15 испытуемых без нарушений слуха, которые были исследованы в оригинальной версии тестов и с использованием вокодера. Для имитации электрического слуха были использованы параметры стимуляции на основании стратегии кодирования речевой информации ACE, в качестве моделей исследования были использованы 3 пространственных конфигурации распространения электрического возбуждения в улитке: 1 мм, 3,6 мм и 7 мм.

В исследование включено 22 пациента после КИ, использующих системы производства фирмы «Cochlear», с опытом использования системы КИ более 3х лет.

Результаты: проведенное исследование в контрольной группе выявило высокую корреляцию результатов теста-ретеста (основного тестирования и контрольного) RUMatrix, $R^2=0,79$; результатов SMRT-теста, $R^2=0,85$; SMRT-теста и RUMatrix, $R^2=0,78$ для линейной регрессии и $R^2=0,83$ после выполнения полиномиального распределения.

Расширение пространственного распространения электрического возбуждения приводит к увеличению соотношения сигнал/шум при проведении RUMatrix-теста и снижению SMRT баллов. Группа пациентов после КИ состояла из пре- и постлингвально оглохших пациентов. В группе постлингвально оглохших пациентов была выявлена корреляция между разборчивостью речи в шуме и ЧПС слуха ($R^2=0.55$), в прелингвальной группе данная корреляция не выявлена ($R^2=0.03$). В группе прелингвально оглохших пациентов была выявлена зависимость между разборчивостью речи в шуме и периодом глухоты ($R^2=0.31$). В группе постлингвально оглохших испытуемых было выявлено что расширение распространения электрического возбуждения в улитке ведет к ухудшению показателей SMRT-теста.

Выводы: расширение распространения электрического возбуждения ведет к ухудшению результатов слухоречевой реабилитации пациентов после КИ. SMRT-тест коррелирует с данными речевой аудиометрии, что позволяет его использование для оценки результатов реабилитации пациентов вне зависимости от уровня речевого развития.

Ключевые слова: кохлеарная имплантация, частотная разрешающая способность слуха, международный Ольденбургский фразовый тест RUMatrix, спектрально-временной модулированный гребенчатый тест SMRT

ГРУППИРОВАНИЕ И РАЗДЕЛЕНИЕ ЗВУКОВЫХ СОБЫТИЙ В РЕАКЦИЯХ НЕЙРОНОВ СЛУХОВОЙ КОРЫ МЫШИ НА МОДЕЛИ КОНСПЕЦИФИЧЕСКИХ ВОКАЛИЗАЦИЙ

Егорова М.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, лаборатория Сравнительной физиологии сенсорных систем, Санкт-Петербург, Россия

Тел.: (812 5523256); Факс: (812 5523012); E-mail: ema6913@yandex.ru

Речь человека и коммуникационные сигналы животных структурированы во времени и образованы сериями звуковых компонентов, воспринимаемых как единое слуховое событие. Известно, что временной контекст сигналов (группирование и разделение последовательных звуковых компонентов) способствует их пониманию и запуску специфических поведенческих ответов (Bregman, 1990; Gaub, Ehret, 2005). В качестве одного из нейрофизиологических механизмов группирования и разделения звуковых компонентов, определяющих перцептуальную границу слуховых событий, предлагается нейрональная адаптация.

В представленной работе мы тестировали гипотезу об участии нейрональной адаптации в обработке последовательностей коммуникационного сигнала мышшей – крика дискомфорта мышат. В естественных условиях мышата излучают крик дискомфорта в виде серий из 2-х – 5-ти сигналов, при этом мышши-матери воспринимают естественный крик и его модели, как значимые, если он следует сериями, как минимум, из четырех сигналов, разделенных интервалами 100 – 400 мс (Gaub, Ehret, 2005).

Для обоснования гипотезы мы исследовали временную динамику постстимульной адаптации одиночных нейронов первичной слуховой коры мозга домовой мыши (*Mus musculus*), т.е. зависимость степени проявления адаптации от межстимульного интервала в последовательности звуков. Ответы нейронов регистрировали в условиях общей анестезии при предъявлении серий из четырех 100-мс тональных сигналов, частота которых соответствовала характеристической частоте нейрона, а уровень составлял 40 дБ над порогом его ответа. Интервал между тональными составляющими одной серии был одинаков, а в разных сериях варьировал от 0 до 1000 мс.

Анализ полученных результатов продемонстрировал эффект адаптации в ответах всех исследованных нейронов первичной слуховой коры, выразившийся в отсутствии или значительном снижении активности, вызванной следующими за 1-м компонентами серии звуков, при межстимульных интервалах 0 – 500 мс. Таким образом, временной диапазон проявления адаптации к серии сигналов на уровне популяции нейронов первичной слуховой коры мыши соответствует временному диапазону интервалов серии криков дискомфорта мышат, важному для запуска оптимального материнского поведения.

1. Bregman A.S. Auditory scene analysis. 1990. The MIT Press, Cambridge, MA.

2. Gaub S., Ehret G. J. Comp. Physiol. 2005. V. 191. P. 1131-1135.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-015-00188).

Ключевые слова: домовая мышь, первичная слуховая кора, нейроны, постстимульная адаптация, группирование и разделение слуховых событий

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОНОВ СЛУХОВОГО ЦЕНТРА СРЕДНЕГО МОЗГА МЫШИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАТТЕРНАМИ ОТВЕТА ПРИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Акимов А.Г., Егорова М.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, лаборатория Сравнительной физиологии сенсорных систем, Санкт-Петербург, Россия
Тел.: (812 5523256); Факс: (812 5523012); E-mail: agakimov@yandex.ru

Нейроны центрального ядра заднего холма среднего мозга домовой мыши по паттернам ответов могут быть отнесены к двум принципиально различным типам. Первый отличается тоническими характеристиками активности, т.е. импульсный ответ нейрона продолжается в течение всего действия акустического сигнала. Среди ответов нейронов центрального ядра преобладание тонической активности показано для тонических, фазно-тонических, паузных и позднелатентных разрядов (Ehret, 1997). Второй тип нейронов отличается фазными характеристиками активности, при которых ответ нейрона значительно короче длительности сигнала. Такие нейроны имеют фазный

или пачечный разряд. Различия в характеристиках импульсной активности нейронов позволяют предполагать их функциональную специализацию в частотно-временной обработке звуков.

В представленной работе исследовали специализацию нейронов с различными паттернами ответов к обработке моделей коммуникационного сигнала мышей - крика дискомфорта мышат. Крик состоит из трех основных гармоник, сосредоточенных в области 5, 10 и 15 кГц, мышата излучают его в виде серий из 2-х – 5-ти сигналов (Егорова, Акимов, 2010; Gaub, Ehret, 2005).

В экспериментах внеклеточно регистрировали ответы одиночных нейронов центрального ядра, вызванные моделями крика дискомфорта мышат и сериями моделей, состоящих из 4-х компонентов, следующих с разными межстимульными интервалами (0-1000 мс).

У трети нейронов показано спектральное облегчение ответов на различные двух- и трехтоновые комбинации частотных составляющих крика. Более чем 80% таких комбинационно-чувствительных нейронов имели тонические характеристики активности, т.е. тонические, фазно-тонические, паузные и позднелатентные разряды.

Исследование ответов нейронов на серии моделей крика дискомфорта показало, что при коротких межстимульных интервалах (0–50 мс) ответы на 2-ой - 4-ый сигналы в серии полностью подавлялись или значительно уменьшались у двух третей исследованных нейронов, т.е. проявлялась адаптация к сериям звуков. Такие нейроны имели фазные или пачечные разряды. Увеличение межстимульного интервала приводило к постепенному восстановлению ответа на следующие за первым сигналы. При этом временной диапазон проявления адаптации соответствовал временному диапазону интервалов 100-400 мс в серии криков дискомфорта мышат, важному для запуска материнского поведения (Gaub, Ehret, 2005). У трети нейронов адаптация не проявлялась. Для них был характерен тонический тип разряда.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-015-00188).

Ключевые слова: слух, средний мозг, частотно-временная обработка звуков, слуховая адаптация, паттерны ответов нейронов

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЛАТЕНТНЫХ ПЕРИОДОВ ОТВЕТОВ В РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЯХ НЕЙРОНОВ ЗАДНИХ ХОЛМОВ СРЕДНЕГО МОЗГА И СЛУХОВОЙ КОРЫ МЫШИ

Хорунжий Г.Д., Егорова М.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, г. Санкт-Петербург
Тел.: +78125523256; E-mail: khorunzhii.gd@gmail.com*

Изучение частотного и временного механизмов анализа звука нейронами слуховых центров мозга млекопитающих остается актуальной задачей физиологии слуха. На сегодняшний день лишь в малом количестве работ сделана попытка сопоставить характеристики активности одиночных нейронов слуховых центров ствола мозга и слуховой коры (Ter-Mikaelian et al., 2007; Bajo, King, 2013). Настоящее исследование посвящено оценке вариабельности латентных периодов ответов в частотных рецептивных полях нейронов центрального ядра задних холмов среднего мозга и первичной слуховой коры наркотизированных домашних мышей. Латентный период ответа каждого нейрона на сигнал характеристической частоты (ХЧ) уровнем 30 дБ над порогом ответа сравнивали с минимальным и максимальным значениями латентностей во всем возбуждающем рецептивном поле этого нейрона. Нейроны центрального ядра, принадлежавшие к трем описанным ранее функциональным группам (первично-подобные, тормозно-зависимые и V-образные, Вартанян и др., 2000; Egorova et al., 2001), различались по вариабельности латентностей в зависимости от частоты и интенсивности сигнала. V-образные нейроны отличались наименьшими величинами изменения латентных периодов ответов в рецептивных полях (в среднем 9 ± 3.1 мс). Диапазон варьирования латентностей в области возбуждающего ответа первично-подобных и тормозно-зависимых нейронов оказался значительно шире и составлял в среднем 16 ± 4.4 мс и 18 ± 8 мс, соответственно. По всей популяции нейронов центрального ядра уменьшение или увеличение латентных периодов ответов относительно измеренных при действии стимула ХЧ не превышало 45 мс. Разброс латентностей в рецептивных полях нейронов первичной слуховой коры был существенно больше, чем аналогичный показатель у нейронов центрального ядра, и достигал 60 – 80 мс. При этом две трети нейронов полей первичного и переднего слуховых полей коры имели V-образные рецептивные поля и фазные характеристики активности.

Полученные данные подтвердили существование фундаментальных различий между нейронами слухового центра среднего мозга и слуховой коры по временным свойствам их активности, видимо, отражающих особенности процессов обработки звуковых сигналов на этих уровнях слуховой системы.

Ключевые слова: слуховая система, одиночные нейроны, латентные периоды ответов

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ВОКАЛИЗАЦИИ В РЕПЕРТУАРЕ САМОК ДОМОВОЙ МЫШИ (MUS MUSCULUS)

Лупанова А.С., Егорова М.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, лаборатория Сравнительной физиологии сенсорных систем, Санкт-Петербург, Россия.
Тел.: (950)009 0703; E-mail: aslupanova@gmail.com*

Одна из особенностей акустической коммуникации домашних мышей - это наличие в их репертуаре высокочастотных вокализаций. Целью настоящей работы стало исследование акустических характеристик ультразвуковых вокализаций самок домашней мыши (*Mus musculus*), излучаемых в принципиально разных поведенческих ситуациях: при контакте двух взрослых особей и при поиске потерявшихся детенышей. Всего было зарегистрировано более 1000 сигналов у восьми самок домашней мыши.

Регистрацию вокализаций производили при помощи 6.5 мм конденсаторного микрофона 4135, предусилителя 2633, измерительного усилителя 2606 фирмы Brüel & Kjær на звуковую карту (Roland UA-55 Quad-Capture) с частотой дискретизации 192 кГц. Видеорегистрация акустического поведения мышей осуществлялась с помощью веб-камеры (Logitech Pro9000, разрешение 1600×1200, 30 кадров в секунду) на персональный компьютер. Анализ акустической структуры вокализаций был произведен с помощью программы Avisoft SASLab Pro 5.2.07 в полуавтоматическом режиме.

Спектрально-временной анализ вокализаций показал сходство акустической структуры ультразвуковых криков, сопровождающих оба типа поведения. Среди сходных характеристик - локализация частоты основного тона в области 70 кГц, средняя длительность крика около 40 мс, отсутствие разрывов в спектре и шумовых компонентов. Можно предположить, что ультразвуковые крики самок, излучаемые при поиске потерявшихся детенышей, адресованы не самому потомству, а скорее другим взрослым особям и служат призывом к поиску потерявшихся мышат.

Ключевые слова: домовая мышь, акустическое поведение, ультразвуковые вокализации

АНАЛИЗ ГАРМОНИК СВИСТЯЩИХ ЗВУКОВ В ШУМАХ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА ЧЕЛОВЕКА

Сафронова М.А., Ширяев А.Д., Коренбаум В.И.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО Российской академии наук, Владивосток.

Тел.: (423 2375698); Факс: (423 2312573); E-mail: (Safronova@poi.dvo.ru)

Свистящие звуки (свисты) форсированного выдоха (СФВ) потенциально применимы для диагностики бронхиальной обструкции, однако механизмы формирования СФВ, а также локализация их источников по уровням бронхиального дерева человека до сих пор исчерпывающе не выяснены.

Целью работы является исследование спектральных гармоник СФВ.

На выборке здоровых волонтеров (n=9) и больных респираторными заболеваниями (n=10) проведен анализ состава и соотношения спектральных гармоник среднечастотных (СЧ СФВ) 400-600 Гц и высокочастотных (ранние и поздние ВЧ СФВ) >600 Гц СФВ.

Проведена оценка частоты встречаемости гармоник над трахеей. Найдено, что максимальное число гармоник СЧ СФВ у больных достигает семи, а у здоровых только пяти. У больных преобладают гармоники СЧ СФВ. Ранние ВЧ СФВ представлены преимущественно второй гармоникой, а гармоники поздних ВЧ СФВ наблюдаются в единичных случаях. У здоровых, напротив, примерно равное число гармоник по всем видам свистов. Проведен анализ значений среднеквадратических мощностей гармоник СФВ над трахеей. Показано, что у здоровых происходит уменьшение этой величины по всем СФВ с ростом номера гармоники, тогда как у больных данная тенденция наблюдается устойчиво только для ВЧ СФВ.

На основе оценки частоты встречаемости гармоник СФВ по поверхности грудной клетки для каждого человека был проведен анализ их распределения по отделам легких. Обнаружено сходство основных частот СФВ для каждого обследуемого по поверхности грудной клетки. При этом наибольшее число гармоник наблюдается над проекциями центральных отделов бронхиального дерева для всех видов свистов, как у здоровых, так и у больных.

Последняя находка свидетельствует в пользу того, что гармоники возникают вследствие нелинейности, причем не из-за нелинейности среды, а нелинейности в источнике. Сам источник расположен в трахее или крупных бронхах. В этом случае гармоники должны затухать при распространении вдали от источника, что и наблюдается в эксперименте.

Выяснение вопроса, могут ли выявленные эффекты дать что-либо для уточнения механизмов формирования СФВ, требует дальнейшего исследования.

Исследование выполнено при поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук (проект № 0271-2019-0010).

УДЕЛЬНЫЕ ПОЛОСОВЫЕ ЭНЕРГИИ ШУМОВ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА В ОЦЕНКЕ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ

Кабанцова О.И., Почекутова И.А., Малаева В.В., Костив А.Е., Коренбаум В.И.

ТОИ ДВО РАН, Владивосток;

Тел.: (+79146594574); Факс: (+4232312573); E-mail: kabantsova.oi@poi.dvo.ru

Форсированный выдох (ФВ) – манёвр, позволяющий выявлять даже незначительные отклонения вентиляционной функции легких. Авторами ранее разработана перспективная в диагностических целях система акустических параметров ФВ, которая включает в себя 200-Гц полосовые энергии шумов ФВ, регистрируемые в диапазоне 200-2000 Гц над трахеей, в том числе и удельные полосовые энергии, нормированные на суммарную энергию шумов в полосе 200-2000 Гц.

Целью данной работы является исследование возможностей использования удельных полосовых энергий трахеальных шумов ФВ в качестве параметра для оценки реакции человека на функциональные пробы.

В качестве функциональных воздействий рассматриваются физические – постуральное моделирование невесомости (n=11), погружение под воду в водолазном снаряжении замкнутого цикла (n=25), и медикаментозные – ингаляция бронхорасширяющего препарата (n=32).

Шумы ФВ регистрировались над трахеей при помощи электретного микрофона со стетоскопической насадкой до и после функциональных проб. Далее определялись полосовые энергии в 200-Гц полосах частот, нормированные на суммарную энергию шумов в полосе 200-2000 Гц ($AR_{200-400}$, $AR_{400-600}$, ..., $AR_{1800-2000}$). Статистическая зна-

чимость различий между значениями параметров до и после пробы оценивалась с помощью непараметрического статистического теста Вилкоксона.

Результаты статистического анализа показали, что при постуральном моделировании невесомости у испытуемых на третьи сутки эксперимента наблюдается значимое ($p < 0.05$) снижение среднечастотного параметра $AR_{800-1000}$ и повышение высокочастотных параметров $AR_{1400-1600}$ и $AR_{1600-1800}$. При ингаляции бронхорасширяющего препарата также наблюдается существенное повышение параметра $AR_{1600-1800}$, в то время как при погружении под воду в водолазном снаряжении замкнутого цикла наблюдается значимое снижение параметра $AR_{1400-1600}$.

В качестве обоснования полученных результатов предложена акустическая модель, основанная на оценке влияния сужения просвета крупных и мелких дыхательных путей бронхиального дерева на линейную скорость воздушного потока и интенсивность шумов.

Таким образом, удельные полосовые энергии шумов ФВ средне и высокочастотного диапазонов оказались чувствительны к рассмотренным типам физических и медикаментозных воздействий. При воздействии различных типов функциональных проб наблюдаются разнородные изменения этих акустических параметров, что сулит определенные диагностические перспективы.

Исследование выполнено при поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук (проект № 0271-2019-0010).

Ключевые слова: форсированный выдох, акустика, шумы дыхания, обработка сигналов

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭХОЛОКАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЕЛЬФИНОВ

Иванов М.П.¹⁾, Бибииков Н.Г.²⁾, Данилов Н.А.³⁾, Соколов П.А.³⁾, Романов Б.В.⁴⁾,
Красницкий Б.Ю.⁴⁾, Стефанов В.Е.¹⁾

¹⁾ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;

²⁾ Акционерное общество Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева, Москва;

³⁾ ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт прикладных проблем», Санкт-Петербург;

⁴⁾ ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского РАН», Крым.

E-mail: 20mivanov@mail.ru

Передача информации посредством гидроакустических сигналов является весьма актуальной задачей. При использовании узкополосных систем гидроакустической связи возникает проблема безопасности, поскольку не обеспечивается секретность, конфиденциальность и скрытность при приеме/передаче информации и довольно легко осуществить подмену источника (низкая имитостойкость). Сверхширокополосное излучение, использующее биоподобные сигналы, создает условия высокой защиты канала приема/передачи, что является новым средством обеспечения скрытности. Наиболее удачными объектами для их имитации в подобных системах являются звуки дельфинов в открытом море и раков-щелкунов в шельфовой зоне. Анализ сигналов дельфинов при решении задачи поиска на больших дистанциях и работы дельфина во время провокации коммуникационного поведения показывает, что дельфины используют похожие пакеты ультракоротких импульсов. Представляется желательным создать алгоритм обработки последовательности пакетов, записанных в различных условиях лабораторного эксперимента, найти сходство, различия и закономерности использования дельфином пакетов импульсов. С помощью разработанного алгоритма обработки звуковых файлов нами выделены характерные последовательности сигналов, которые однозначно связаны с условиями лабораторного опыта. Это позволило найти закономерности и различия в пакетах сигналов, используемых дельфином в задачах поиска и коммуникации. Интервал между пакетами импульсов зависит от дальности до объекта поиска и, как правило, больше, чем время, необходимое для их анализа идеальному наблюдателю. В режиме вербального взаимодействия дельфины также используют пакеты ультракоротких импульсов. Пакеты коммуникационных сигналов изменяются по длительности (от 120 мс до 460 мс) и количеству (от 25 до 100 импульсов). Интервал между пакетами меняется по длительности, и соизмерим с длительностью излучаемых пакетов. Пакеты вербального взаимодействия, как правило, являются составными сигналами, в которых пакеты ультракоротких импульсов смешаны с длинными частотно модулированными импульсами. В условиях шельфа скрытную передачу гидроакустической информации, с использованием биоподобных сигналов, можно также создать на основе имитации коротких, широкополосных (больше 100 кГц) звуков раков-щелкунов, которые к настоящему времени становятся весьма обычными не только в тропических и субтропических акваториях, но и в умеренных европейских и дальневосточных водах.

Ключевые слова: биоподобные сигналы, скрытность, пакеты эхолокационных и коммуникационных сигналов

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (БИО) 15.10.2019 - с 16.20 до 18.00

СПОНТАННЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ АКУСТОМИОГРАФИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ - НОВЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ, НЕСУЩИЕ ИНФОРМАЦИЮ О ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЧЕЛОВЕКА

В.И. Миргородский, В.В. Герасимов, С.В. Пешин, И.А. Сударев, Р.А. Чибрев

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской Академии Наук (ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН)

E-mail: vim288@ms.ire.rssi.ru и vad_geras@mail.ru

Целью работы было проведение статистического анализа результатов экспериментов, выполненных ранее авторами по регистрации спонтанных периодических акустوميографических сигналов, получаемых от отведений,

расположенных на висках испытуемых. Для выполнения работы использовались стандартные методы статистической обработки. В результате было показано, что в среднем по всей группе испытуемых из 19 человек и по всем (количеством более 100) экспериментам спонтанные периодические акустомиографические сигналы наблюдались в течение 12% от времени экспериментов. Показано, что для разных испытуемых статистически значимая относительная длительность спонтанных акустомиографических сигналов может существенно различаться: от 0.5% до более чем 90%. Приведенные результаты указывают, во-первых, на возможную связь спонтанных периодических акустомиографических сигналов с высшей нервной деятельностью и, во-вторых, на то, что различия длительностей проявления спонтанных периодических акустомиографических сигналов для разных испытуемых могут представлять диагностическую ценность.

Ключевые слова: спонтанная акустическая эмиссия, акустомиографические сигналы

Секция АММ – Акустические метаматериалы

Бобровницкий Юрий Иванович, руководитель
Институт машиноведения РАН им. А.А. Благодирова,
119334, Москва, ул. Бардина, д.4; E-mail: yuri@imash.ac.ru

Миронов Михаил Арсеньевич, руководитель
Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»
117036 Москва, ул. Шверника, д. 4; E-mail: miroнов_ma@mail.ru

17.10.2019 - с 09.00 до 13.00

ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС ВИБРАЦИОННОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

Миронов М.А.

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»; 117036 Москва, ул. Шверника, д. 4;
Тел.: (9067595040); Факс: +7(499) 126-84-11; E-mail: miroнов_ma@mail.ru

Предлагается дискретная структура, реализующая приближенно эффект ВЧД для изгибных волн. Это стержень/пластина с канавками, глубина которых постепенно увеличивается. Изгибная жесткость такой конструкции постепенно уменьшается, при этом погонная масса остается постоянной. Найдены зависимости изменения параметров, при которых структура ведет себя аналогично вибрационной черной дыре, а соответствующее уравнение имеет точное аналитическое решение.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ И РОТАЦИОННЫХ ВОЛН В ТРЕХМЕРНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ИЗ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

Ерофеев В.И., Павлов И.С.

Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФИЦ Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия
Тел. (831) 432-2143; E-mail: ispavlov@mail.ru

Создание перспективных конструкционных материалов с необычными свойствами является весьма актуальной

научной задачей XXI века. Свойства таких материалов определяются их структурой на микро- и наномасштабах. Проводить их исследования целесообразно с помощью акустических волн, которые, в отличие от электромагнитных волн и рентгеновского излучения, могут распространяться в толще среды, куда последние не проникают. Акустические волны являются собственными колебаниями материала и несут информацию о его геометрической структуре и физических свойствах, правда, в зашифрованном виде. Для расшифровки этой информации возникает необходимость разработки структурных моделей, которые, в отличие от феноменологических, позволяют установить взаимосвязь между макропараметрами среды и параметрами ее микроструктуры.

Разработана трехмерная математическая модель кристаллической среды, представляющей собой кубическую решетку из сферических частиц, обладающих тремя трансляционными и тремя ротационными степенями свободы. Частицами такой среды могут быть, например, фуллерены. Считается, что каждая частица взаимодействует с 20 ближайшими соседями по решетке. Это взаимодействие моделируется системой упругих пружин и описывается квадратичным потенциалом. Выведены линейные уравнения в частных производных, описывающие распространение и взаимодействие волн различных типов в данной кристаллической среде. Найдены и проанализированы соотношения между скоростями акустических волн и параметрами микроструктуры (размер частиц, жесткости пружин) такой среды. Показано, как по измерению скоростей акустических волн, распространяющихся вдоль разных кристаллографических направлений, определить упругие модули материала.

Прозрачность связи микроструктуры с “феноменологией”, заложенная в такой модели, открывает большие возможности для решения задач параметрической идентификации и целенаправленного проектирования материала с заданными физико-механическими свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 19-08-00965-а, 18-29-10073-мк).

Ключевые слова: акустические волны, кристаллическая среда, параметры микроструктуры

СУСПЕНЗИИ НАНОЧАСТИЦ ПВДФ: РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВАДамдинов Б.Б.^{1,2,3}, ⁴Балошин Ю.А., ²Демин А.С.¹⁾ Сибирский федеральный университет, Красноярск,²⁾ Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, Улан-Удэ³⁾ Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ⁴⁾ Ун-т ИТМО, г. Санкт-Петербург, Кадетская линия д.3Б

Тел.: (+79021612762); E-mail: dababa@mail.ru

Основное внимание в работе было уделено экспериментальному исследованию полимерных наносуспензий по двум направлениям: электродинамическому и гидродинамическому. Предполагая, что суспензии способны к перестройке своей структуры при воздействии на них внешних электромагнитных и акустических полей. Предпочтение этому направлению было отдано в силу того, что на сегодняшний день описание взаимодействия сегнетоэлектрических частиц с окружающими её молекулами ПВДФ может быть успешным при наличии экспериментальных данных об электродинамических, гидростатических и гидродинамических параметрах полимерных суспензий. Исследования были направлены на экспериментальный анализ растворов и суспензий сегнетоэлектрических материалов электромагнитными и акустическими методами. Диэлектрическая проницаемость измерена методом с использованием активной методики ближнего поля, основанной на измерении импеданса границы воздух-жидкость и обработки этих измерений с помощью векторного анализатора. Этим методом можно исследовать кроме чистой воды различные суспензии, эмульсии, коллоидные растворы. Исследован комплексный модуль сдвига наносуспензий с помощью акустического резонансного и реометрического методов. В первом случае исследуемый объект помещается между пьезокварцевым кристаллом, колеблющимся на основной резонансной частоте и твердой накладкой. Компоненты комплексного модуля сдвига жидкости определяются по изменению акустических свойств пьезокристалла. Во втором случае исследуемый объект помещается между двумя круглыми пластинами, одна из которых совершает круговые смещения различной частоты и амплитуды. По измеренным зависимостям смещения от сдвигового напряжения рассчитываются действительный и мнимый модули сдвига. Исследования показали, что суспензии проявляют неньютоновское поведение, т.е. обладают вязкоупругими свойствами. Показано также, что измеренные значения действительного и мнимого модулей сдвига зависят от размеров и концентрации наночастиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант 18-02-00523.

Ключевые слова: суспензии ПВДФ, вязкость, упругость, диэлектрическая проницаемость, электромагнитные и акустические методы

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В СУСПЕНЗИИ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ЧАСТИЦДиденкулов И.Н.^{1,2)}, Сагачева А.А.^{2,1)}¹⁾ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;²⁾ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород;

Тел.: (831 4164782); Факс: (831 4365976); E-mail: diniar@mail.ru

Большинство природных жидкостей являются суспензиями. Частицы суспензии могут отличаться по плотности и сжимаемости от материнской среды и влияют на скорость и затухание звука. Считается, что в суспензиях частиц, которые имеют нейтральную плавучесть, то есть средняя плотность и сжимаемость которых не отличается от параметров окружающей жидкости, рассеяния звука на препятствии не происходит. Однако, в случае, если центр масс частицы смещен, то есть не совпадает с точкой приложения силы Архимеда, то такая частица в акустическом поле совершает вращательные колебания. Вращательные колебания сопровождаются вязким трением и приводят к потере энергии акустической волны. Смещение центра масс частицы может быть вызвано неравномерным распределением плотности тела или точечным довеском массы на его поверхности, который в общем случае может быть как положительным, так и отрицательным (полость). Ранее этот эффект рассматривался для частиц сферической формы. В данной работе рассматриваются частицы стержнеподобной и дискообразной формы, характерные для многих сред, и анализируется распространение звука в суспензии таких частиц. Найдено решение задачи о вращательно-колебательных движениях стержнеподобных и дискообразных частиц со смещенным центром масс в поле акустической волны. Получены формулы, описывающие потери энергии акустической волны в суспензии взвешенных частиц. Произведены оценки величины дополнительного затухания звуковой волны за счет вязких потерь при угловых колебаниях частиц, которые демонстрируют, что данный механизм может приводить к заметному затуханию на высоких частотах. Дальнейшее изучение рассмотренного эффекта может оказаться полезным при интерпретации экспериментальных данных о распространении звука в различных суспензиях, которые встречаются как в природных средах, содержащих взвешенные минеральные частицы и разнообразные микроорганизмы, так и в технологических процессах.

Ключевые слова: суспензия, частицы, вращательные колебания, вязкость, затухание звука

НАХОЖДЕНИЕ ПОЛНОГО БЕСКОНЕЧНОГО СПЕКТРА ВОЛНОВЫХ ЧИСЕЛ ИЗОТРОПНО-СЛОИСТЫХ ПЛАСТИН В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

Захаров Д.Д.¹⁾

¹⁾ *Российский университет транспорта (МИИТ), Москва
Тел.: 8 (495) 684 28 42; E-mail: dd_zakh@mail.ru*

Исследуется бесконечный спектр волновых чисел слоистых пластин с однородными граничными условиями на лицевых поверхностях, т.е. свободных от напряжений, жестко защемленных, или поверхностях, где в одних направлениях заданы нулевые напряжения, а в остальных – нулевые перемещения. Материалы слоев предполагаются изотропными линейно-упругими. Рассмотрены гармонические волны с P- и SV- поляризацией. Известно, что при всякой частоте может существовать лишь конечное количество вещественных и чисто мнимых волновых чисел, но счетное множество комплексных. Несмотря на значительный прогресс и наличие эффективных алгоритмов расчета конечной части спектра, задача нахождения всего счетного множества комплексных волновых чисел остается наименее изученной. Однако, информация о полном спектре необходима для анализа пограничных слоев, построения неотражающих граничных условий в волноводах, анализа разложения волнового поля в ряд по собственным волнам вблизи неоднородностей и концентраторов напряжений и т.д., что и мотивировало данную работу. С этой целью предложены удобные передаточные матрицы, найдены их обращения в замкнутом виде и для «матриц-пропагаторов» выведены асимптотики при больших по модулю значениях волновых чисел. Получены в явном виде дисперсионные уравнения и их асимптотическое представление при больших волновых числах или малых частотах. Предложен алгоритм вывода асимптотик волновых чисел в статике и в длинноволновом приближении, оценена погрешность асимптотик. Показано, что имеются критические значения геометрических параметров, при которых изменяется тип асимптотик. Предложен итерационный алгоритм расчета точных комплексных дисперсионных кривых. Рассмотрен пример расчета спектра волновых чисел для симметричных и антисимметричных волн Лэмба в трехслойной пластине. Показано, что для счетного множества комплексных волновых чисел, статическая и длинноволновая асимптотики тем точнее, чем выше номер дисперсионной кривой, так что бесконечная часть спектра может быть описана простыми формулами. Рассмотрены различные значения геометрических параметров. Приведены результаты расчетов, показана хорошая сходимость и высокая точность разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: слоистые пластины, комплексные волновые числа, бесконечный спектр

АКУСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Томилина Т.М.

*ИМАШ РАН, Москва
Тел.: (499)1358070; E-mail: lsa56@mail.ru*

Наблюдающийся в настоящее время в мировой науке всплеск экспериментальных работ по акустическим и вибрационным метаматериалам, имеющим сложную внутреннюю структуру, обеспечивающую их «сверх» волновые свойства, связан с получением ряда фундаментальных результатов в этой области и появлением возможности изготовления образцов таких материалов-конструкций на базе новых аддитивных технологий. В данной работе представлены теоретические и экспериментальные результаты, полученные в ИМАШ РАН, по созданию высокоэффективных средств поглощения акустической и вибрационной энергии, которые показали принципиальную возможность решения этой задачи на базе метаматериалов. Обсуждаются принципы моделирования метаматериалов и влияние технологии изготовления на акустические свойства натуральных образцов.

Ключевые слова: акустические метаматериалы, импедансная модель, 3D печать

ЧИСЛЕННЫЙ РАССЧЕТ ПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА

Асфандияров Ш.А.

*Институт машиноведения РАН, Москва, Россия;
E-mail: asfandiyarov@imash.ac.ru*

В работе рассматривается способ построения теоретической модели, описывающей акустические метаматериалы (АММ или резонансные звукопоглотители) на основе резонаторов Гельмгольца. Составление теоретической модели необходимо для анализа экспериментальных результатов измерения коэффициента поглощения АММ в трубе Кундта и экспериментальной установке, реализующей тангенциальное падение волны на поглотители. Исследуются поглотители эффективные в низком диапазоне частот (50-500 Гц). Поскольку длина волны много больше характерных размеров резонаторов, поглотитель можно описать интегральной характеристикой – эффективным импедансом Z , который равен отношению акустического давления падающей волны p к средней по поверхности поглотителя колебательной скорости v .

Приводятся результаты численного моделирования акустических метаматериалов методом конечных элементов (МКЭ) в программном обеспечении COMSOL Multiphysics. В основе численной модели лежат уравнения гидродинамики для вязких сред, а также учитываются эффекты потери энергии на стенках метаматериала за счет трения и теплопроводности

Ключевые слова: акустические метаматериалы, резонансные звукопоглотители, конечноэлементный расчет

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ-ПРОТОТИПОВ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ИХ АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Сотов А.В.^{1,2}, Вдовин Р.А.², Томилина Т.М.¹.

¹Институт машиноведения РАН им.А.А. Благоднарова, Москва, Россия;

²Самарский университет им.С.П.Королева

E-mail: sotovanton@yandex.ru

Аддитивные технологии, которые воспроизводят различные объекты по их компьютерным 3D моделям, развиваются в основном как альтернатива традиционным методам изготовления промышленных изделий для повышения их эффективности. Однако интерес представляет возможность их использования для создания принципиально новых материалов и сред с необычными волновыми свойствами, в том числе акустическими – так называемых метаматериалов. Особенность состоит в том, что и метаматериалы, и аддитивные технологии мало изучены, связать характеристики метаматериалов с параметрами технологического процесса, чтобы можно было прогнозировать свойства готового изделия, трудная задача. В данной работе представлены результаты исследований образцов-панелей (200x200x50мм) со сложной внутренней структурой, обладающих повышенными звукопоглощающими свойствами в частотном диапазоне 200-600Гц. Образцы изготавливались по технологии 3D печати (Polyjet и SLM) из фотополимера и металла на оборудовании Самарского университета. Исследуется влияние технологического процесса на акустические свойства образцов. Показано, что для получения образцов без искажения формы необходимы специально разработанные методики изготовления образцов-панелей и методики экспериментального исследования их звукопоглощающих свойств. Исследуется влияние шероховатости внутренних поверхностей образцов на их акустические свойства. Получено увеличение эффективности поглощения акустической энергии до 10 раз по сравнению с традиционным поглотителем звука в заданном диапазоне частот.

Ключевые слова: акустические метаматериалы

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Сафин А.И.¹, Афанасьев К.М.¹, Бахтин Б.Н.², Томилина Т.М.²

¹Самарский университет им. С.П. Королева, Самара, Россия;

²Институт машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН, Москва, Россия

E-mail: artursafin1988@gmail.com

В работе исследуются звукопоглощающие свойства акустических метаматериалов на двух стандартных экспериментальных установках фирмы Брюль и Кьер: импедансная труба диаметром 35мм для частотного диапазона 500-2000Гц и труба Кундта диаметром 96мм для частотного диапазона 200-1000Гц. Тестовые образцы представляют собой ячеистую структуру резонансного типа с внутренними конструктивными элементами в виде полостей и каналов с перфорированными перегородками. Конструктивные параметры образцов выбираются в соответствии с теоретической моделью по условию получения максимальной эффективности звукопоглощения в заданном диапазоне частот. Результаты исследования показали, что эффективность звукопоглощения в определенном диапазоне частот может быть на порядок выше, чем у образцов из типовых ЗП-материалов.

Ключевые слова: акустические метаматериалы, звукопоглотители, аддитивные технологии

КАК РАССЧИТАТЬ ЭНЕРГИЮ СРЕДЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ СЖИМАЕМОСТЬЮ

Бобровницкий Ю.И.

Институт машиноведения РАН, г. Москва

Тел: 8499 135 8070; E-mail: yuri@imash.ac.ru

Известно, что некоторые акустические метаматериалы (АММ) и среды имеют отрицательные эффективные инерционно-упругие параметры. Для них классические формулы, по которым вычисляются кинетическая и потенциальная энергии, не верны, так как механическая энергия всегда положительна. Ранее автором была выведена обобщенная формула для вычисления энергии дискретных моделей АММ. В предлагаемом докладе показано, что при стремлении дискретной АММ к непрерывной среде обобщенная формула переходит в акустический вариант известной электродинамической формулы Бриллюэна-Ландау. Обсуждаются некоторые физические следствия этого результата.

Ключевые слова: отрицательные акустические метаматериалы и среды, энергетические соотношения

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

18.10.2019 - с 09.00 до 13.00

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

АКУСТИКА КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА «ЗАРЯДЬЕ» В МОСКВЕ

Лившиц А.Я.¹⁾, Пономарев А.М.²⁾, Канев Н.Г.¹⁾
¹⁾ООО «Акустические материалы», Москва; ²⁾ТПО Резерв, Москва
E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

В 2018 году в Москве был открыт новый концертный комплекс «Зарядье», построенный на территории одноименного парка. В состав комплекса входит два концертных зала: Большой на 1600 мест и Малый на 400 мест. Основное назначение залов – проведение концертов классической и современной музыки, при этом современная механизация залов позволит проведение самых различных по формату мероприятий. В настоящей работе приводится описание акустики Большого зала: характеристики объемно-планировочного решения и результаты акустического обследования зала, проведенного в феврале 2019 года в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Основной акустический параметр зала – время реверберации – имеет значение 2.8 с на частотах 500-1000 Гц в зале без зрителей. На частотах 125-250 Гц время реверберации также близко к 2.8 с, поэтому значение параметра BR (bass ratio) составляет примерно 1. Приведены измеренные импульсные отклики, по которым определено запаздывание первого отражения относительно прямого звука, часто обозначаемое ITDG, которое составило 31 мс. Также представлены результаты измерений индекса музыкальной ясности C80, индекса передачи речи STI, акустической поддержки сцены ST, спада громкости звука при удалении от источника. Выполнен прогноз времени реверберации для заполненного зала, которое составляет около 2 с на частотах 500-1000 Гц. Проведено сопоставление акустических параметров Большого зала с классическими концертными залами, имеющими высокую акустическую репутацию, а также с современными концертными залами.

АКУСТИКА И НОВЫЙ ОРГАН РЕКОНСТРУИРОВАННОГО КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА МУРМАНСКОЙ ФИЛАРМОНИИ

Кравчун П.Н.

МГУ имени М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра акустики, Москва
Тел.: +7-916-382-80-62; E-mail: gedackt@mail.ru

Рассматривается новое акустическое решение Концертного зала Мурманской филармонии, реализованное при его капитальной реконструкции в 2015-2016 гг., а также особенности нового концертного органа, установленного в зале (проект был приурочен к 100-летию Мурманска, отмечавшегося в конце 2016 года). Первоначально зал представлял собой традиционный для начала 1970-х годов зал заседаний городского Дома политпросвещения. В процессе реконструкции зала и реализации его нового акустического решения были полностью изменены интерьер зала и отчасти его архитектурно-планировочное решение (ликвидирован балкон, наклон пола партера существенно увеличен, что улучшило зрительное восприятие сцены по всей ее глубине, изменены контуры стен и потолка с целью обеспечения требуемой интенсивности и временной структуры отражений звука, установлены новые, специально спроектированные кресла и др.). Объем зала – 3300 куб. м, число слушателей – 560, удельный объем на слушателя – 5,9 куб. м на слушателя. Учитывая многофункциональность зала в рамках его филармонического назначения (камерная, эстрадная, народная, симфоническая, хоровая, органная музыка, а также речевые программы), акустика зала реализована как компромиссная (время реверберации на средних частотах в заполненном зале – около 1,65 с). В реконструированном зале установлен первый в российском Заполярье новый концертный орган. Инструмент, построенный немецкой органостроительной фирмой “Glatter-Götz Orgelbau”, разделен на 2 части, установленные по бокам сцены. Инструмент имеет 3 мануала, педаль, 40 регистров. Разделение органа на 2 удаленные друг от друга части потребовало применения специальных акустических мероприятий, в результате чего удалось практически преодолеть акустические последствия пространственной «разобщенности» частей инструмента. Интонировка органа была выполнена поэтапно в 2016-2018 гг. Отзывы исполнителей и слушателей об акустике реконструированного зала и звучании органа в нем вполне благоприятны. Автор считает своим долгом особо отметить, что в разработке акустического решения зала на ее начальном этапе принял участие М.Ю.Ланэ (1950–2015).

АКУСТИКА ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ БОЛЬШОЙ ВМЕСТИМОСТИ

Канев Н.Г.^{1,2,3)}

¹⁾АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Москва; ²⁾МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва;

³⁾ООО «Акустические материалы», Москва.

Тел.: 915 2318453; E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

Рассмотрены проблемы акустики помещений большого объема с массовым пребыванием людей. Для некоторых типов таких помещений существуют нормативные требования по времени реверберации и предельно-

допустимому уровню шума, но для большинства помещений отсутствуют даже рекомендации по оптимальным акустическим параметрам. В отсутствие звукопоглощающей отделки помещения являются акустически дискомфортными из-за избыточной гулкости, повышенного уровня шума и низкой разборчивости объявлений, транслируемых через систему оповещения. В последнем случае негативная акустика влияет не только на комфорт, но и на безопасность посетителей. В настоящей работе приводятся результаты исследования акустики общественных зон крупных торговых центров, а также примеры мероприятий по коррекции их акустики. Основным источником шума являются сами посетители: при максимальном заполнении уровень шума в общественных зонах составляет 70-75 дБА, что значительно превышает уровень шума от других источников. Время реверберации помещений без специальной акустической отделки достигает 5-6 с, после акустической коррекции оно снижается до 2 с. Приводятся результаты измерений коэффициента звукопоглощения, усредненного по внутренней поверхности помещения, для типовых ограждающих конструкций без акустической отделки.

Ключевые слова: акустика помещений, акустический комфорт, время реверберации

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИКИ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ФУТБОЛЬНЫХ СТАДИОНОВ FIFA

Перетокин А.В.¹⁾, Лившиц А.Я.¹⁾, Орлов А.В.²⁾, Ширгина Н.В.¹⁾

¹⁾ООО «Акустические материалы», г. Москва. ²⁾ООО «Проектный институт «Арена», г. Москва
Тел.: +79689659219; E-mail: anton.peretokin@acoustic.ru

Чемпионат Мира по футболу 2018 г. проведен в России на 12 стадионах в 11 городах: в Волгограде, Екатеринбурге, Казани, Калининграде, Москве, Нижнем Новгороде, Ростове-на-Дону, Самаре, Санкт-Петербурге, Саранске и Сочи. Некоторые стадионы были построены, другие реконструированы и адаптированы под чемпионат Мира. На стадионах FIFA нормируются значения разборчивости речи, времени реверберации и пр. значения акустических параметров. После проведения чемпионата Мира по футболу стадионы будут использоваться для проведения футбольных матчей и коммерческих мероприятий: концертов и шоу с применением системы звукоусиления. Для проведения концертов акустические характеристики стадионов должны быть высокими.

Выполнено акустическое обследование стадионов, измерены акустические параметры при пустых трибунах. На основании компьютерного моделирования сделан пересчет акустических параметров на заполненные трибуны. Сопоставлены измеренные значения акустических параметров с акустическими требованиями FIFA. Сравнены и проанализированы акустические параметры, измеренные на всех стадионах. Рассмотрены положительные и отрицательные характеристики стадионов. Определены параметры и составлены рекомендации для улучшения акустики при проектировании новых стадионов.

Ключевые слова: акустика помещений, время реверберации, индекс речевой разборчивости

ОСОБЕННОСТИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ НЕСКОЛЬКИХ СТАРЫХ КАТОЛИЧЕСКИХ ЦЕРКВЕЙ СИБИРИ. ЧАСТЬ I

Шевцов С.Е.¹⁾²⁾, Соменков Е.А.³⁾.

¹⁾ООО «ТАМ», город Москва;

²⁾Российский институт театрального искусства - ГИТИС, город Москва;

³⁾Колледж русской культуры им. А.С.Знаменского, город Сургут.

Тел.: (+79251244502); Факс: (8(495)5080441); E-mail: (s_shevtsov@mail.ru)

В работе представлены результаты акустических измерений (в виде объективных параметров по стандарту ISO3382), проведенных в старейших католических церквях Сибири. Это храм Пресвятой Троицы в г.Тобольске, храм Покрова Пресвятой Богородицы Царицы Святого Розария в г.Томск, церковь Святого Праведного Иосифа в г. Тюмень. Анализ параметров охарактеризовал влияние архитектурных пропорций и свойств материалов на звуковое поле. Представлены сравнительные данные этих помещений, в том числе одной современной церкви, которые достаточно наглядно характеризуют особенности этого влияния. В частности, наличие деревянной кровли оказалось решающим фактором, воздействующим на амплитудно-частотную характеристику времени реверберации в низкочастотной области.

Ключевые слова: акустические измерения звукового поля помещений

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЧ-РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ИЗБЫТОЧНОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ В МОЛЕЛЬНЫХ ЗАЛАХ МЕЧЕТЕЙ

Алешкин В.М.¹⁾, Щиржецкий Х.А.¹⁾, Субботкин А.О.^{1,2)}

¹⁾ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва

²⁾ФГБУН «Институт общей физики им. А.М.Прохорова Российской Академии Наук»

В статье анализируется возможность снижения времени реверберации за счет применения объемных звукопоглотителей резонансного типа (голосников) на основе опыта использования таких конструкций в православных храмах России. Также приводятся результаты теоретических расчетов применения НЧ-резонаторов для Московской соборной мечети (на основе натурных измерений). С учетом большого воздушного объема и сакральности интерьеров культовых сооружений, подобные решения могут оказаться полезными для управления реверберацией в молебных залах.

Ключевые слова: архитектурная акустика, акустика мечетей, реверберация, резонансные звукопоглотители

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ АКУСТИКИ МАЛЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ СОВРЕМЕННЫМИ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Щиржецкий Х.А., Сухов В.Н.

НИИ Строительной физики РААСН, Москва
Тел.: +7-916-781-85-10; E-mail: a021069@yandex.ru

В работе представлен новый метод акустического проектирования малых музыкальных помещений, сочетающий принципы волновой, статистической и геометрической акустики. На ряде практических примеров показана эффективность применения нового метода, при помощи использования средств современной строительной индустрии.

Ключевые слова: акустика, малые музыкальные помещения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПОМЕЩЕНИЯ

Гнутик А.П., Черезов М.И.

ГК «ТехноСонус», Москва
Тел.: +7(903) 5351862; Факс: +7 495 787 5610 (632); andrei_gnutik@mail.ru

Учёт резонансных свойств малых помещений, ориентированных на восприятие музыки, имеет важное значение для проектирования, но часто игнорируется. Это происходит отчасти потому, что до настоящего времени не было выявлено четкой взаимосвязи между размерами помещения и прогнозом его акустического качества, а также поскольку такой учёт пока не регламентируется нормативными документами. В статье с этой целью рассматривается модель влияния формы помещения различного объёма на параметры распределения низкочастотных мод, применительно к проектированию малых музыкальных помещений прямоугольного сечения. Излагается критика предыдущих подходов и предлагается введение критериев акустического качества по выбору размеров помещения в том числе с точки зрения параметров распределения низкочастотных мод. На основе новых критериев понятие акустических размеров обретает целесообразность и конкретный физический смысл. Описывается инженерный метод подбора акустических размеров помещения в виде компьютерного алгоритма ALIM, написанного на языке программирования C#.

Ключевые слова: архитектурная акустика, строительная акустика, низкочастотные моды, акустическое проектирование, акустика музыкальных помещений.

ОБ ОТРАЖЕНИИ ЗВУКА ОТ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В АКУСТИКЕ ПОМЕЩЕНИЙ

Сумбатян М.А., Боев Н.В.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону;
Тел.: +7(928 1397067); E-mail: sumbatma@mail.ru

Современный расчет акустических параметров помещений основан на вычислении импульсного отклика помещения в различных октавных частотных полосах. С этой целью используется метод трассировки лучей (МТЛ), в другой формулировке – метод лучевых траекторий (МЛТ), как один из надежных методов наряду с другими известными методами.

Основное внимание в работе уделяется подходу, основанному на замене в расчетных схемах граничных поверхностей искривленных отражателей набором плоских отражателей. Вопрос о точности такого приближения криволинейных отражателей набором плоских граней в настоящее время носит характер горячих дискуссий, в которых до сих пор отсутствовали определенные выводы, основанные на строгой теории. Настоящая работа предлагает новый метод решения данной актуальной проблемы, ставящий точку в данной дискуссии. В результате удается доказать, что данное приближение является корректным, однако для достижения высокой точности необходимо брать слишком большое число плоских граней, что на практике реализовать довольно сложно. На примерах цилиндрических и сферических отражателей проведено сравнение явных выражений давления в однократно и двукратно отраженных волнах геометрической теории дифракции (ГТД) с МЛТ.

Для исследования задачи развит метод, основанный на оценке модифицированных дифракционных интегралов Кирхгофа методом многомерной стационарной фазы. На основе разработанного метода получены в замкнутом виде главный член асимптотики давления в дифрагированном поле. Полученное явное выражение для давления в отраженной волне соответствует геометрической теории дифракции акустических волн и выражается через определитель матрицы Гессе ленточной структуры с шириной ленты, равной семи.

Далее явные формулы сравниваются с МЛТ для тестирования его точности, с помощью разработанного алгоритма трассировки лучей. Сначала алгоритм настраивается на плоских отражателях, где его точность хорошо обоснована. Настройка производится для случаев однократного и двукратного отражения. Далее алгоритм запускается на примере гипотетического помещения со всеми заглушенными стенами, потолком и полом, кроме одной боковой стены, имеющей форму вогнутого полуцилиндра с вертикальной образующей. Далее сравнение с явными формулами производится для помещения со всеми заглушенными отражающими поверхностями, кроме полусферического куполообразного потолка, - также для случаев одного и двух отражений.

Основной результат расчетов состоит в том, что для адекватной аппроксимации искривленных поверхностей набором плоских граней с ростом числа отражений лучей необходимо брать всё большее число плоских граней. Поскольку реальный расчет акустики помещений с помощью МЛТ требует учета до нескольких сотен отражений, то указанную аппроксимацию плоскими гранями практически невозможно осуществить в реальных условиях.

Ключевые слова: криволинейная отражающая поверхность; приближение плоскими отражателями

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕИВАТЕЛЕЙ ЗВУКА РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Лаврова¹⁾ М.А., Канев^{1),2)} Н.Г.

¹⁾Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

²⁾АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», г. Москва

Тел.: 8-985-334-23-79; E-mail: marinalavro@mail.ru

Представлены результаты исследования звукорассеивающих свойств трех видов рассеивателей, имеющих пирамидальную, кубическую и полусферическую формы. Проведены сравнительные измерения рассеивающих элементов, а также влияние их концентрации, т.е. количества элементов на единицу площади, на эффективность рассеяния. Для ее характеристики введены два параметра: коэффициент рассеяния поверхности и безразмерное сечение рассеяния одного элемента.

В масштабном эксперименте используется модель помещения, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда с размерами 0,7х0,4х0,4 м, две непараллельные стенки которого покрыты звукопоглощающим материалом. Третья стенка размером 0,4х0,4 м, перпендикулярная поглощающим стенкам, является тестовой, на ней располагаются испытуемые элементы. В таком помещении звуковое поле анизотропно: поток звуковой энергии перпендикулярен тестовой стенке, т.е. измерение рассеивающих свойств производится для нормального падения звуковых волн. Характерный размер рассеивающих элементов составляет около 3см, измерения выполняются на частотах 4 кГц и 8 кГц. Для определения коэффициентов рассеяния тестовой стенки измеряется кривая затухания звука, которая аппроксимируется известной теоретической зависимостью. Измеренный коэффициент рассеяния позволяет определить эквивалентную площадь рассеяния, а также сечение рассеяния отдельного элемента.

Получены зависимости звукорассеивающих свойств для трех форм рассеивателей при различной их концентрации: от 2 до 121 элементов на тестовой поверхности. Во всех случаях элементы распределены равномерно по поверхности. Установлено, что при малой концентрации (2-20 рассеивателей на тестовой стенке) наиболее эффективны кубические рассеиватели, а наименее эффективны – пирамидальные. С ростом концентрации элементов сечение рассеяния пирамидальных элементов увеличивается, а сечение рассеяния кубических и полусферических элементов достигает некоторого предельного значения.

Полученные результаты полезны для практических случаев, когда требуется обеспечить эффективное рассеяние звуковых волн, направленных нормально к поверхности. Форма, размеры и расположение рассеивателей на поверхностях помещений могут быть оптимизированы для достижения максимального рассеяния звука.

Ключевые слова: коэффициент рассеяния звука, акустические рассеиватели, недиффузное звуковое поле, сечение рассеяния

РАСЧЕТ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗА СЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ФОНДА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

Субботкин А.О.¹⁾, Щиржецкий Х.А.²⁾, Алешкин В.М.²⁾

¹⁾ ФГБУН институт общей физики им А.М. Прохорова Российской академии наук;

²⁾ ФГБУ научно-исследовательский институт строительной физики РААСН

Тел.: +7 (916) 093 92 51; E-mail: subov-an@yandex.ru

В работе представлен метод расчета снижения шума в помещениях за счет внесения дополнительного фонда звукопоглощения.

В реверберационной камере НИИСФ РААСН была проведена серия акустических измерений снижения уровня звукового давления за счет внесения известного дополнительного фонда звукопоглощения. Полученные экспериментальные данные с высокой точностью коррелируют с результатами расчетов по разработанному методу. Проведенные исследования показывают возможность применения метода в ходе акустического проектирования разных типов помещений для контроля и оценки шумового режима.

Ключевые слова: акустические измерения, архитектурная акустика, защита от шума

АРХИТЕКТУРНЫЕ КОНЦЕПТЫ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Колмаков А.В.

УрГАХУ, г. Екатеринбург.

Тел.: (+79022650431); E-mail: (kolmakov_av@mail.ru)

В статье освещаются концепции шумозащитных мероприятий, выполненных на уровне градостроительных объемно-планировочных решений. Представлены примеры архитектурного оформления концептов.

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

18.10.2019 - с 09.00 до 13.00

АКУСТИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В ЖИДКОСТЯХ С ПОМОЩЬЮ МАТРИЦЫ ИЗ СТЕРЖНЕВЫХ ВОЛНОВОДОВ

Петросян С.А.¹⁾, Цысарь С.А.¹⁾, Свет В.Д.²⁾, Сапожников О.А.¹⁾

¹⁾Московский Государственный Университет имени М.В. Ломаносова, физический факультет, Москва

²⁾Акустический институт имени акад. Н.Н. Андреева, Москва

Тел. 89856371167; E-mail: sa.petrosjan@physics.msu.ru

Визуализация объектов в оптически непрозрачных или агрессивных жидкостях является сложной задачей, в которой возможно применение ультразвуковых (УЗ) методов. На данный момент существует несколько акустических методов визуализации в таких жидкостях. Главной проблемой при этом является защита пьезопреобразователя от воздействия агрессивной среды, что затрудняет использование традиционных систем ультразвуковой визуализации. В настоящей работе предлагается метод обнаружения и визуализации объектов с использованием сканирующей эхо-импульсной системы, акустические сигналы в которой подаются и принимаются через волноводы в виде стальных стержней. Излучение импульса в жидкость осуществляется через стержневой волновод, один конец которого находится в среде с безопасными для работы условиями. На этом конце располагается источник УЗ сигнала. Другой конец погружается в агрессивную жидкость и подводится к участку визуализации для его зондирования. Для регистрации ультразвукового эхо-сигнала, отраженного от объекта исследования, используется многоканальная волноводная система в виде пучка из металлических стержней, один торец которого находится вблизи объекта визуализации, обеспечивая широкий угол обзора и высокое разрешение. Стержни являются достаточно длинными, так что второй торец указанного пучка находится вне агрессивной жидкости, где уже можно принимать сигналы традиционными методами. При использовании стержней с диаметром, меньшим длины волны, каждый из стержней-волноводов проводит только три типа волн, соответствующих квазипродольной, изгибной и крутильной модам. Квазипродольная мода характеризуется гораздо большей групповой скоростью по сравнению с остальными, поэтому для достаточно короткого зондирующего импульса и длинного волновода быстрая импульсная волна разделяется во времени от отстающих от неё остальных мод.

Метод обработки сигнала основан на голографическом подходе, который обеспечивает полную пространственно-временную реконструкцию падающего акустического поля, принимаемого волноводной системой. В данной работе результаты численного моделирования, выполненного в среде COMSOL, сравнивались с экспериментальными изображениями рассеивателей, погруженных в воду. Акустический многоканальный волновод состоял из 1024 стержней из нержавеющей стали диаметром 1 мм, в поперечном сечении образующих матрицу 32×32 элемента. Экспериментальные изображения объектов миллиметровых размеров в воде продемонстрировали работоспособность предлагаемой системы для использования в непрозрачных или агрессивных жидкостях. Работа поддержана грантом РФФИ 17-72-10284.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, акустические волноводы, ультразвуковая визуализация, волноводная матрица

НАБЛЮДЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО СФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА МЕГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ГИПСОВЫЙ ФАНТОМ ПОЧЕЧНОГО КАМНЯ

Брысев А.П., Клопотов Р.В., Макалкин Д.И.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова 38

Международная Ассоциированная Лаборатория критических и сверхкритических явлений в функциональной электронике, акустике и флюидике (LICS)

Тел/Факс: +7 499 5038757; e-mail: brysev@ya.ru

В работе представлены результаты наблюдений деструктивного воздействия мощных сфокусированных ультразвуковых импульсов на гипсовые фантомы почечных камней. Описывается экспериментальная установка, позволяющая при несущей частоте ультразвуковых импульсов 1.8 МГц получать в воде экстремально большие значения пиковых перепадов акустического давления в фокусе, достигающие до 50 МПа. С этой целью в качестве оконечного в тракте возбуждения излучающей пьезопластины использовался усилитель OM3500HF фирмы OM-POWER с выходной мощностью 3.5 кВт. Параметры поля сфокусированного ультразвукового пучка измерялись широкополосным (до 30 МГц) звукопрозрачным мембранным PVDF-гидрофоном GEC Marconi с диаметром пьезоактивной зоны 0.5 мм. Гидрофон перемещался с помощью позиционирующей системы Velmex Bislid, управляемой с помощью компьютерной программы, написанной в среде LabView. Приводятся результаты измерений

основных акустических параметров гипсовых образцов, которые были подготовлены для проведения экспериментов из сухой смеси фирмы "БОЛАРС". Обращается внимание на качественное отличие характера деструкции гипсовых фантомов импульсами сфокусированных ультразвуковых пучков с несущей частотой до 1 МГц и более 1 МГц. Во втором случае, как показывают визуальные наблюдения, фото и видеорегистрация, разрушения образца, как целого, не происходит, а имеет место хорошо локализованная деструкция его поверхности. Последняя обусловлена ультразвуковой абляцией в жидкой среде твердотельного образца с образованием углубления, которое при достаточно длительном воздействии может преобразоваться в отверстие. Обсуждается такая важная особенность ультразвуковой абляции, впервые обнаруженная в ходе данных экспериментов, как образование наночастиц. На основе измерений распределения числа абляционных частиц по размерам и массам, выполненным на лазерном анализаторе частиц Shimadzu SALD-7500, установлено, что в результате ультразвуковой абляции среди прочих образуются частицы нанометровых размеров. Подавляющее число таких частиц имеет размеры, значения которых находятся в интервале от 20 до 60 нм с максимумом при 35 нм.

Ключевые слова: ультразвук мегагерцового диапазона, ультразвуковая абляция, наночастицы

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛНОВОДОВ-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ГАЗОВЫХ СРЕД С РАЗЛИЧНЫМИ РАБОЧИМИ ЧАСТОТАМИ

Новик А.А.¹⁾, Вьюгинова А.А.²⁾

¹⁾ ООО «ИНЛАБ - Ультразвук», Санкт-Петербург

²⁾ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

Тел.: (812) 329-49-61; Факс: (812) 329-49-62; E-mail: alenanovik@rambler.ru

С использованием энергии ультразвука можно осуществлять целый ряд технологических процессов, происходящих в газообразной среде. Наиболее востребованными среди известных технологий являются коагуляция, сушка, гашение пены. При этом необходимость излучения ультразвуковых колебаний в воздух сопряжена с дополнительными сложностями, связанными с тем, что газовые среды имеют низкий акустический импеданс и высокий коэффициент поглощения ультразвука. Для решения задачи излучения мощных ультразвуковых колебаний в газовую среду применяются специализированные волноводы-излучатели в виде диска переменной толщины. Использование таких конструкций обеспечивает эффективный режим излучения и позволяет реализовывать указанные ультразвуковые технологии. До настоящего момента рассматривались такие волноводы-излучатели с рабочими частотами близкими к 20 кГц. В данной работе рассматриваются волноводы-излучатели в виде дисков переменной толщины, колеблющиеся в изгибной моде, с рабочими частотами 22 и 44 кГц, анализируются частотные свойства и параметры таких колебательных систем, исследуются и оптимизируются моды колебаний.

Ключевые слова: ультразвук, волновод, излучатель, изгибная мода, диск

РЕЗЬБОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ДВУХСТЕРЖНЕВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Неверов А.Н.

Московский государственный автомобильно-дорожный технический университет (МАДИ), Москва

Тел.: 8(910)4612556; E-mail: neverov_an@mail.ru

Проведено экспериментальное исследование нелинейных свойств составных стержневых колебательных систем с резьбовым соединением элементов на низких ультразвуковых частотах в режиме стоячей волны. При резьбовом стягивании контактирующие поверхности испытывают не только и даже не столько нормальные, но и – главным образом – тангенциальные механические напряжения. Поэтому на неровности поверхностей действуют перерезывающие силы, которые повышают продольную податливость контакта. Кроме того, при затягивании неровности поверхностей могут не только деформироваться, но и разрушаться, что приводит к искажению формы опорной кривой профиля контакта. Исследуемая колебательная система представляла собой два идентичных пакетных пьезопреобразователя, один из которых использовался как источник продольных упругих колебаний, а другой – в качестве их приемника. Для сравнения исследовалась колебательная система той же геометрии, что и исследуемая, но без сечения разъема, остов которой вытачивался из одного прутка металла. Приводится расчет ультразвуковой колебательной системы. Наряду с сигналом основной частоты наблюдались сигналы второй и третьей гармоник. Амплитуды гармоник зависели от величины усилия стягивания, амплитуды и частоты возбуждающего сигнала. При возбуждении преобразователя – источника простым гармоническим сигналом акустический контакт на границе преобразователей вследствие своей нелинейности генерирует сигналы высших гармоник. Если частота гармоник оказывается близкой к одной из собственных частот системы, эта гармоника попадает в резонанс, ее амплитуда должна быть достаточно велика. Отмечается, что следованная контактная акустическая нелинейность на границе твердых поверхностей значительно больше нелинейности, связанной с ангармонизмом межмолекулярных сил. Поэтому она весьма перспективна для различных практических применений, в частности, для управления собственными частотами составной колебательной системы и амплитудой их колебаний при резонансе, а также для контроля качества акустического контакта в ультразвуковых технологических и контрольных устройствах. Обсуждаются полученные результаты.

Ключевые слова: колебательная система, резьбовое соединение, гармоника, амплитуда

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА В ЗАДАЧЕ ИНДИКАЦИИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА

Иляхинский А.В., Родюшкин В.М.

ИПМ РАН, Нижний Новгород

Тел.: (910 380 3438); E-mail: (vlkn2005@yandex.ru)

В ультразвуковых методах исследования материалов необходимая информация добывается путем измерения какого-либо параметра, отражающего результат взаимодействия акустических волн с исследуемой структурой материала и последующей обработкой полученных данных. Многие ультразвуковые измерительные системы ориентированы на временной анализ ультразвукового сигнала и чаще всего базируются на данных измерения скорости волн. Возможным путем совершенствования процедуры выделения информации из зондирующего сигнала для задач ультразвуковой дефектоскопии материалов и объектов со сложной неоднородной структурой может стать использование зондирующих импульсов, в которых наиболее явно изменялись форма и спектр ультразвукового сигнала в процессе его распространения. В задаче индикации поврежденности искажение зондирующего сигнала следует сделать «полезными» для оценки структурных особенностей исследуемой среды.

С целью решения поставленной задачи была предложена нестандартная схема измерительного тракта, где возбуждение зондирующей волны проводилось излучателем с резонансной частотой 2 МГц, а регистрация зондирующего сигнала проводилось приемником с резонансной частотой 5 МГц. Измерения проводилось на образцах из металла марки Ст10 с внесенной путем пластического деформирования поврежденностью. Изучение изменения формы зондирующей упругой волны в исследуемых образцах проводили методом спектрального анализа; методом нелинейной акустики путем оценки отношения величины амплитуд первой и второй гармоник и методом установления информационной структуры: параметра самоорганизации зондирующего импульса путем обращения наблюдаемого сигнала изменения амплитуды во времени в распределение по амплитуде и анализе на основе этого обращения параметров априори выбранной статистической модели распределения Дирихле. В экспериментах по ультразвуковому зондированию среды со сложной неоднородной структурой показано, что статистический метод выделения информации из зондирующего сигнала эффективен в задаче контроля за поврежденностью металла, что позволяет рекомендовать его при конструировании ультразвуковых измерительных систем, а в качестве структурно чувствительного признака использовать степень самоорганизации формы зондирующего импульса.

Работа выполнена по теме государственного задания ИПФ РАН на проведение фундаментальных научных исследований на 2013-2020 гг. № 0035-2014-0402 (№ госрегистрации 01201458047) и частично в рамках проекта №18-08-00715А и № 19-08-00965 Российского фонда фундаментальных исследований.

Ключевые слова: зондирующий импульс, пластическая деформация, параметр самоорганизации, распределение Дирихле

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ФОНТАНА В ЖИДКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ

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

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»

117036 Москва, ул. Шверника, д. 4;

Тел.: (499)723-6321; Факс: (499)126-8411; E-mail: ikonopatskaya@gmail.com

В докладе представлено экспериментальное исследование акустического фонтана, индуцированного с помощью сферического фокусирующего излучателя, в жидкой слоистой среде - слой нефти на поверхности воды. Установлено наличие порогового значения толщины приповерхностного слоя, при которой сформировавшаяся струя фонтана становится однородной по составу со 100% содержанием нефти. Получены зависимости процентного соотношения фракций в зависимости от толщины приповерхностного слоя и от величины акустической мощности.

ЭФФЕКТ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРА «ЮНИСИЛ» В ПОЛЕ ИНТЕНСИВНОГО УЛЬТРАЗВУКА

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

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»

117036 Москва, ул. Шверника, д. 4;

Тел.: (499)723-6321; Факс: (499)126-8411; E-mail: ikonopatskaya@gmail.com

При исследовании воздействия фокусированного ультразвука высокой интенсивности на полимерные композиции типа "Юнисил" визуально наблюдалось изменение внутренней структуры полимера, сопровождавшееся свечением, постепенно переходящим во внутреннее горение. При дальнейшем воздействии происходил механический пробой толщи образца. При определенных условиях внутреннее горение превращалось во внешнее и наблюдалось в виде факела.

Научное издание

Программа и аннотации докладов XXXII сессии Российского акустического общества

Подписано к печати 20.09.2019. Формат 62x94 1/8. Бумага офсет № 1, 80 г/м
Уч.-изд. л. 18,0 п.л. Тираж 250 экз.

ООО Издательство ГЕОС. 125315, Москва, 1-й Амбулаторный пр., 7/3-114.
Тел./факс: (495) 959-35-16. www.geos-books.ru