

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д005.017.01
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
Министерства науки и высшего образования РФ
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 10 июня 2021 г. № 4

О присуждении Петрову Павлу Сергеевичу ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование горизонтальной рефракции звука в трехмерных волноводах мелкого моря» по специальности 01.04.06 – «Акустика» принята к защите 11 февраля 2021 г., протокол № 2, диссертационным советом Д005.017.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 690041, г. Владивосток, Балтийская, 43, утвержденным приказом Минобрнауки России № 714/нк от 2 ноября 2012 г.

Соискатель Петров Павел Сергеевич, гражданство РФ, 1985 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Новый метод постановки условий излучения для решения задач распространения линейных волн в неоднородных средах» защитил в 2010 году в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет».

Петров Павел Сергеевич работает в должности заведующего лабораторией геофизической гидродинамики Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации).

Диссертация выполнена в лаборатории геофизической гидродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации).

Официальные оппоненты:

Гузев Михаил Александрович, гражданство РФ, академик РАН, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, директор,

Вировлянский Анатолий Львович, гражданство РФ, доктор физико-математических наук, ФИЦ Институт прикладной физики Российской академии наук, заведующий лабораторией статистических методов в акустике океана,

Переселков Сергей Алексеевич, гражданство РФ, доктор физико-математических наук, ФГБОУ ВПО Воронежский государственный университет, заведующий кафедрой математической физики и информационных технологий,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Кузькиным Венедиктом Михайловичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Научного центра волновых исследований (НЦВИ) ИОФ РАН, Петниковым Валерием Георгиевичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником НЦВИ ИОФ РАН, Луньковым Андреем Александровичем, кандидатом физико-математических наук, заведующим лабораторией гидрофизики НЦВИ ИОФ РАН, утвержденном Гарновым Сергеем

Владимировичем, доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН, указала, что диссертация Петрова Павла Сергеевича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные численные методы решения трехмерных волновых задач в мелководных акваториях, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие информационных технологий в области акустики мелкого моря. Согласно отзыву, диссертация соответствует требованиям п. 24 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.06 – «Акустика».

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 35 работ, из них 35 работ опубликовано в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Все 35 работ опубликованы в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования. В 9 работах вклад соискателя является определяющим и составляет не менее 60% как при выполнении исследований, так и при подготовке текста. В 4 работах, выполненных совместно с коллегами-экспериментаторами, вклад соискателя заключается в теоретическом анализе и математическом моделировании натуральных экспериментов (во всех случаях соискатель участвовал в подготовке публикаций). В остальных работах вклад соискателя составляет от 20% до 50%. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации и автореферате отсутствуют.

К наиболее значимым работам по теме диссертации можно отнести следующие

1. Petrov P. S., Antoine X. Pseudodifferential adiabatic mode parabolic

equations in curvilinear coordinates and their numerical solution // Journal of Computational Physics. — 2020. — P. 109392. (вклад соискателя не менее 60%)

2. Petrov P. S., Sturm F. An explicit analytical solution for sound propagation in a three-dimensional penetrable wedge with small apex angle // The Journal of the Acoustical Society of America. — 2016. — Vol. 139, no. 3. — P. 1343–1352. (вклад соискателя не менее 60%)

3. Petrov P. S., Ehrhardt M. Transparent boundary conditions for iterative high-order parabolic equations // Journal of Computational Physics. — 2016. — Vol. 313. — P. 144–158. (вклад соискателя не менее 60%)

4. Petrov P. S., Petrova T. N. Asymptotic solution for the problem of sound propagation in a sea with an underwater canyon // The Journal of the Acoustical Society of America. — 2014. — Vol. 136, no. 4. — P. EL281–EL287. (вклад соискателя не менее 60%)

5. Petrov P. S., Sergeev S. A., Tolchennikov A. A. Modeling of pulse signals in 3d propagation problems of deep-water acoustics based on the modified Maslov's canonical operator // Russian Journal of Mathematical Physics. — 2018. — Vol. 25, no. 1. — P. 102–112. (вклад соискателя 33%)

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов, все отзывы положительные.

1. Отзыв доктора физико-математических наук Киселева Алексея Прохоровича, ведущего научного сотрудника лаборатории математических проблем геофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского отделения Математического института им. В.А. Стеклова Российской академии наук (ПОМИ РАН) критических замечаний не содержит.

2. Отзыв доктора физико-математических наук Доброхотова Сергея Юрьевича, профессора, заведующего лабораторией Механики природных катастроф Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

(ИПМех РАН) содержит замечание терминологического характера, согласно которому термин «шепчущая галерея» должен использоваться для волн другого типа.

3. Отзыв доктора технических наук Аббасова Ифтихара Балакишиевича, доцента, заведующего кафедрой инженерной графики и компьютерного дизайна Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета содержит следующие замечания.

- В автореферате не указано, по каким критериям осуществляется ограничение числа членов ряда в асимптотических решениях в разделах 2.1, 3.1, 5.1.

- Для описанной в разделе 5.5 численной схемы не приведены данные о ее адекватности и устойчивости к начальным и граничным условиям.

- В Заключение не отмечено, все ли задачи диссертационного исследования, обозначенные во введении, были решены.

- Среди 35 работ соискателя, опубликованных по теме диссертации, имеется всего две личные работы (выполненные без соавторов).

- Некоторые рисунки в тексте автореферата расположены не в тех разделах, где они описываются. В тексте отсутствует ссылка на один из рис. 9.

4. Отзыв доктора физико-математических наук Попова Алексея Владимировича, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН) содержит следующие замечания.

- За исключением последней главы, представленные в диссертации расчеты мало увязаны с конкретными задачами гидроакустики.

- В диссертации было бы уместно упомянуть фундаментальные работы Леонтовича и Фока, на которых основан метод параболического уравнения.

- Аналогичное замечание сделано и относительно пионерских работ Малюжинца, посвященных применению конечно-разностных методов для решения волнового параболического уравнения в задачах гидроакустики.

- В частности, именно Малюжинцу принадлежит идея итеративных параболических уравнений.

- Граничное условие Баскакова-Попова упоминается без цитирования соответствующей работы.

5. Отзыв доктора физико-математических наук Шанина Андрея Владимировича, доцента физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ) критических замечаний не содержит.

6. Отзыв доктора физико-математических наук Серебряного Андрея Нинеловича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, содержит следующие замечания.

- Автор не всегда дает обоснование применимости адиабатического приближения.

- В представленном в диссертации обзоре публикаций по исследованию горизонтальной рефракции звука отсутствуют ссылки на работы Н.Н. Комиссаровой и А.Н. Некрасова.

- В диссертации термин «неоднородности морского дна» используется применительно к неоднородностям рельефа дна.

Во всех перечисленных отзывах отмечено, что диссертация Петрова Павла Сергеевича соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.06 – «Акустика».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации в области акустики океана и математических методов моделирования распространения волн. С.А. Переселков и А.Л. Вировлянский являются одними из

ведущих российских специалистов в области теоретической акустики океана (при этом часть работ С.А. Переселкова посвящена горизонтальной рефракции звука), М.А. Гузев является крупным ученым в области прикладной математики, чьи научные интересы включают моделирование волновых процессов, в том числе в акустике океана. Сотрудники ведущей организации В.М. Кузькин, В.Г. Петников и А.А. Луньков, составившие и подписавшие отзыв на диссертацию, принадлежат к числу ведущих российских специалистов по акустике океана.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Выведено (в соавторстве) новое волновое уравнение для акустического давления, которое адекватно описывает распространение звуковых сигналов при наличии доминирующего вязкого механизма поглощения волновой энергии в донных осадках. Данное "вязкоупругое" волновое уравнение представляет определенный теоретический интерес в плане исследования задач волновой акустики непосредственно в пространственно-временной области.

2. Предложены корректировки и дополнения к известному решению задачи распространения звука в 3D-клиновидном волноводе с проницаемым дном, и разработана вычислительная процедура для нахождения этого решения. Данное решение для трехмерного клина является важным тестовым примером при проверке работы программ численного моделирования, в основу которых положены приближенные методы геометрической акустики и параболического уравнения.

3. Разработана и апробирована методика моделирования распространения импульсных сигналов в мелком море с идеальными границами, основанная на лучевой теории распространения звука и новых асимптотических формулах для расчета временных рядов в регулярных и фокальных точках.

4. На физическом уровне строгости аналитически и численно исследовано распространение звука в модельных волноводах мелкого моря с подводным каньоном, а также с участками дна, имеющими чашеобразную форму. Показано, что в этих случаях в горизонтальной плоскости может возникать модовая структура акустического поля, изучены особенности и условия ее формирования. В частности, установлено, что для волновода мелкого моря с изобатами, имеющими форму дуг концентрических окружностей, при определенных условиях может наблюдаться явление, сходное с распространением волн "шепчущей галереи", известное в архитектурной акустике. Рассмотренные модельные примеры представляют интерес в фундаментальном плане для понимания сути явления горизонтальной рефракции, исследованию которого посвящена диссертационная работа, а также важны с точки зрения тестирования программ численного моделирования.

5. В рамках модовых параболических уравнений получены приближенные аналитические решения задач распространения звука в мелком море, где рельеф дна описывается параметрической квадратичной функцией. Эти и другие известные из научной литературы аналитические решения использованы для качественного и количественного описания структуры звукового поля в клиновидном прибрежном волноводе и волноводе мелкого моря с подводным хребтом. Разработана методика численного моделирования распространения звука в трехмерных волноводах мелкого моря, основанная на получении приближенного уравнения горизонтальной рефракции и его численном решении с помощью псевдодифференциальных и широкоугольных модовых параболических уравнений (в горизонтальной плоскости).

6. Разработан и апробирован новый метод расчета акустических полей в волноводах мелкого моря, основанный на численном решении итеративных параболических уравнений с граничными условиями прозрачности. Данный метод позволяет учитывать наклон границы раздела сред без использования

ступенчатой аппроксимации, которая ранее была широко распространена в научной литературе и приводила к ошибкам описания. Доказана корректность начально-краевых задач для итеративных параболических уравнений, а также безусловная устойчивость разработанной схемы численного решения.

7. На практическом примере с использованием данных экспериментальных измерений в мелком море предложена оценка возможного влияния горизонтальной рефракции низкочастотного звука на протяженных трассах, ориентированных поперек наклона дна, на точность решения прикладных задач акустической дальнометрии. Рассмотрен вклад горизонтальной рефракции в дисперсию импульсных сигналов. Показано, что при определенных условиях на морском шельфе, когда влияние других гидрофизических процессов на распространение звуковых сигналов мало, фактор наличия горизонтальной рефракции звука может приводить к заметным поправкам при определении дальности до объекта.

Теоретическая значимость диссертации состоит в том, что в ней описан ряд новых физических эффектов, представляющих собой частные проявления горизонтальной рефракции звука в мелком море. К числу этих эффектов относятся: формирование шепчущей галереи в окрестности искривленной изобаты в мелком море, изменение характера выпуклости волновых фронтов при распространении звука над гребнем подводного хребта, а также действие горизонтальной рефракции как дополнительного механизма увеличения длительности модальных компонент импульсного сигнала.

Практическая значимость диссертационного исследования состоит в том, что в нем предложены две новые методики расчета звуковых полей в трехмерных волноводах мелкого моря общего вида (с произвольным рельефом дна и полем скорости звука в водном слое). В основе одной из них лежит численное решение широкоугольных и псевдодифференциальных модовых параболических уравнений. Вторая методика основана на обобщении лучевой теории распространения звука во временной области. Эта теория дополнена

асимптотическими выражениями для расчета поля в фокальных точках.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что выполненные в диссертации теоретические построения проводятся с использованием строгих математических методов и подходов, в том числе современных асимптотических методов. Используемые в диссертации приближения убедительным образом обосновываются соискателем, а полученные численные и аналитические решения задач моделирования распространения звука сравниваются с решениями, полученными другими методами во всех случаях, когда такое сравнение возможно. Результаты таких сравнений показывают, что разработанные в диссертации методы и подходы для расчета трехмерных звуковых полей в волноводах мелкого моря с неоднородным рельефом дна обеспечивают высокую точность решения задач в рамках обозначенных соискателем границ применимости этих методов.

Личный вклад соискателя в теоретические результаты диссертационного исследования состоит в разработке и апробации методов расчета звуковых полей, в том числе в выводе основных уравнений и граничных условий, разработке численных методов для их решения, анализе эффективности этих методов и их верификации на конкретных модельных примерах. В ряде случаев соискателем лично получены аналитические решения модельных задач расчета трехмерных акустических полей, после чего на их основе выполнен анализ конкретных физических эффектов, представляющих собой различные проявления горизонтальной рефракции звука в мелком море с неоднородным рельефом дна. В работах, посвященных моделированию натуральных экспериментов, соискателем лично выполнены соответствующие расчеты и основанные на них теоретический анализ и объяснение наблюдаемых в эксперименте эффектов и явлений.

На заседании 10 июня 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Петрову Павлу Сергеевичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.06 – «Акустика».

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 14 человек, из них 12 докторов наук по специальности

рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель заседания

диссертационного совета

 Долгих Григорий Иванович

Ученый секретарь

диссертационного совета

 Костив Анатолий Евгеньевич

