



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

**Заключение диссертационного совета МГУ.013.6  
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук**

Решение диссертационного совета от 23 декабря 2024 года № 22

О присуждении Квашенниковой Анастасии Валерьевне, гражданке Российской Федерации 1996 года рождения, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование генерации волны разностной частоты в трёхмерных ультразвуковых пучках в условиях сильного проявления нелинейности среды» по специальности 1.3.7. «Акустика» принята к защите 15 ноября 2024 года, протокол № 17, диссертационным советом МГУ.013.6.

В 2018 году соискатель Квашенникова Анастасия Валерьевна окончила бакалавриат радиофизического факультета Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского по направлению 03.03.03 «Радиофизика». В 2020 году соискатель Квашенникова Анастасия Валерьевна окончила магистратуру радиофизического факультета Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского по направлению 03.04.03 «Радиофизика», направленность – «Акустика». С 1 октября 2020 года по 30 сентября 2024 года обучалась в очной аспирантуре физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность – «Акустика».

В период обучения в аспирантуре соискатель работала в должности физика кафедры акустики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. С 1 октября 2024 года и по настоящее время соискатель работает в должности физика 1 категории кафедры общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре акустики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук **Юлдашев Петр Викторович**, доцент кафедры общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

доктор физико-математических наук, доцент **Хохлова Вера Александровна**, доцент кафедры акустики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук **Петров Павел Сергеевич**, заведующий лабораторией геофизической гидродинамики Тихоокеанского океанологического института имени В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН),

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник **Козубская Татьяна Константиновна**, главный научный сотрудник отдела 16 Института прикладной математики имени М.В. Келдыша Российской академии наук (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН),

кандидат физико-математических наук, доцент **Савицкий Олег Анатольевич**, ведущий научный сотрудник отдела перспективных разработок гидроакустических систем Акустического института имени академика Н.Н. Андреева (АКИН), —

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются специалистами в области акустики и численных методов описания нелинейно-дифракционных эффектов в волновых полях и имеют публикации по тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, из них 4 по теме диссертации, в том числе 3 научных публикации в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.7. «Акустика». Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии:

A1. **Kvashennikova A.V.**, Yuldashev P.V., Khokhlova V.A., Esipov I.B. *Fully nonlinear three-dimensional modeling of parametric interactions in the field of a dual-frequency acoustic array* // The Journal of the Acoustical Society of America. 2024. Vol. 155. No. 3. P. 1682–1693. **JIF = 2,1 (WoS)**. Общий объем статьи = 1,125 п.л., личный вклад = 0,9 п.л.

A2. **Тюрина А.В. (Квашенникова А.В.)**, Юлдашев П.В., Есипов И.Б., Хохлова В.А. *Генерация акустической волны разностной частоты в дифрагирующем пучке волн накачки в квазилинейном приближении* // Акустический журнал. 2023. Т. 69. № 1. С. 22–131. **IF = 1,846 (РИНЦ)**. Общий объем статьи = 0,8125 п.л., личный вклад = 0,65 п.л.

Переводная версия: **Tyurina A.V. (Kvashennikova A.V.)**, Yuldashev P.V., Esipov I.B., Khokhlova V.A. *Quasilinear approximation for modeling difference-frequency acoustic wave in a diffracting pump-wave beam* // Acoustical Physics. 2023. V. 69. No. 1. P. 30–39. **JIF = 0,9 (WoS)**. Общий объем статьи = 0,8125 п.л., личный вклад = 0,65 п.л.

A3. **Тюрина А.В. (Квашенникова А.В.)**, Юлдашев П.В., Есипов И.Б., Хохлова В.А. *Численная модель спектрального описания генерации ультразвуковой волны разностной частоты при двухчастотном взаимодействии* // Акустический журнал. 2022. Т. 68. № 2. С. 152–161. **IF = 1,846 (РИНЦ)**. Общий объем статьи = 0,8125 п.л., личный вклад = 0,65 п.л.

Переводная версия: **Tyurina A.V. (Kvashennikova A.V.)**, Yuldashev P.V., Esipov I.B., Khokhlova V.A. *Spectral modeling of difference-frequency generation in the case of two-*

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложена новая численная модель, на основе которой исследованы особенности нелинейной генерации и распространения акустической волны разностной частоты в поле параметрического излучателя, получены количественные оценки уровней генерируемого низкочастотного излучения при сохранении задаваемой диаграммы направленности, исследованы параметрические процессы в неоднородных средах и в присутствии границ.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов. Разработанный нелинейный спектральный алгоритм может применяться для расчета трехмерных акустических полей, создаваемых бигармоническими параметрическими излучателями произвольной геометрии, обеспечивающими режимы распространения с образованием ударных фронтов в профиле волны в задачах подводной, медицинской и атмосферной акустики. Развитая численная модель может быть использована на практике для определения оптимальных режимов излучения волн накачки с целью увеличения выходной мощности генерируемого низкочастотного излучения на разностной частоте при сохранении желаемой направленности пучка. Модифицированный для учета распространения волн в неоднородных средах и наличия отражений от границ алгоритм может быть применен для количественно точного описания физических эффектов в условиях реальных экспериментов.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Оптимизация нелинейного спектрального алгоритма для расчета двухчастотных волновых взаимодействий позволяет уменьшить число спектральных компонент, необходимых для корректного описания режимов работы параметрического излучателя в условиях сильного проявления нелинейных эффектов, с нескольких тысяч до десятков при сохранении точности расчета амплитуды давления волны разностной частоты с ошибкой в пределах 2–3%, и делает практически реализуемым решение трехмерных задач.
2. Временное представление на основе удароуправляющей схемы типа Годунова эффективно для описания нелинейной демодуляции высокочастотных импульсов в ударно-волновых режимах, поскольку требует использования 2–3 узлов временной сетки на разрыв против порядка 50 в существующих схемах.
3. Численный алгоритм на основе квазилинейного представления трехмерного уравнения Хохлова-Заболотской-Кузнецова описывает дифрагирующие пучки волн накачки и волны разностной частоты с достаточно высокой направленностью без приближений при задании начальных условий на излучателе, длины взаимодействия волн накачки и геометрии задачи. Приближенные аналитические решения количественно верно опи-

сывают амплитуду давления низкочастотного излучения лишь в ближнем поле излучателя и только на оси пучка.

4. Параметрические процессы в ударноволновых режимах распространения существенно отличаются от квазилинейных: сильное проявление нелинейных эффектов приводит к дополнительному уменьшению амплитуды на оси и уширению диаграммы направленности пучка волны разностной частоты. При этом ударноволновой режим работы параметрического излучателя является наиболее эффективным для генерации низкочастотного излучения, и эффективность перекачки энергии из высокочастотной части спектра в разностную частоту возрастает с увеличением начальной мощности на излучателе без эффекта насыщения. Разработанная трехмерная нелинейно-дифракционная модель позволяет определять оптимальные режимы работы параметрических излучателей с точки зрения увеличения мощности низкочастотного излучения на разностной частоте, но при этом оставаясь в рамках необходимой для конкретных физических задач направленности пучка.
5. Разработанный нелинейный алгоритм позволяет исследовать параметрические процессы генерации низкочастотного излучения, в том числе, в режимах сильного проявления нелинейных эффектов, в средах с пространственными неоднородностями скорости звука, а также при наличии отражений от границ (например, дна и поверхности), которые приводят к большей локализации и дальности распространения низкочастотного излучения.

На заседании 23 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Квашенниковой Анастасии Валерьевне учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **5** докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **22** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» — **14**, «против» — **1**, недействительных бюллетеней — **нет**.

Председатель  
диссертационного совета МГУ.013.6  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Салецкий Александр Михайлович

Учёный секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.6  
доктор физико-математических наук,  
доцент

Косарева Ольга Григорьевна

Дата оформления заключения: 23 декабря 2024 года.