

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.417.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНОБРНАУКИ РОССИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 3 июня 2025 года № 5

О присуждении **ЕФИМОВУ Дмитрию Юрьевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Дифракция звуковых волн на неоднородных упругих телах цилиндрической формы» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 10 марта 2025 года (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.417.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92); приказ о создании диссертационного совета № 422/нк от 12.08.2013 года.

Соискатель Ефимов Дмитрий Юрьевич, 25 марта 1996 года рождения. В 2020 году соискатель с отличием окончил очную магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика». С 01 сентября 2021 года – аспирант очного обучения ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор **ТОЛОКОННИКОВ Лев Алексеевич**, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», кафедра «Прикладная математика и информатика», профессор.

Официальные оппоненты:

ПШЕНИЧНОВ Сергей Геннадиевич – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, НИИ механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, лаборатория динамических испытаний, ведущий научный сотрудник дал положительный отзыв с замечаниями:

1. В задаче, рассмотренной в разделе 2.1, представляется естественным координатную ось Ox изначально направить к оси источника возмущений (угол

«фи» с индексом ноль при этом будет равным нулю) для упрощения математических построений. По-видимому, автор так не поступил для удобства в дальнейшем сравнения решения данной задачи с решениями задач при наличии подстилающей плоскости из последующих разделов. В любом случае следовало бы дать пояснение к произвольному выбору направления оси Ox в разделе 2.1.

2. В 3.1 методом мнимых источников решена задача рассеяния наклонно падающей плоской звуковой волны упругим цилиндром с неоднородным покрытием, находящимся вблизи идеальной поверхности. В 3.2 методом функций Грина исследована дифракция цилиндрической звуковой волны на таком же цилиндре, расположенном вблизи упругой границы. При этом в 3.2 автор указывает, что используемый подход позволяет рассматривать не только упругую границу полупространства, но и идеальные границы, и из решения задачи дифракции цилиндрических волн можно получить решение для случая, когда падающая волна является плоской. Считаю, что было бы полезным в 3.2 получить решение для случая падающей плоской волны, полагая поверхность идеальной, и сравнить результаты, с результатами, полученными в 3.1.

3. При решении обратных задач в разделах 4.1.2 и 4.3.2 следовало бы пояснить, исходя из чего автор аппроксимирует физико-механические параметры неоднородного покрытия цилиндра именно многочленами второй степени, а не какими-либо другими функциями.

4. В 4.1.2 и 4.3.2 автор осуществляет математическое моделирование непрерывно-неоднородных упругих покрытий упругого цилиндра, обеспечивающих наименьшее отражение звука. Результаты, рассчитанные для цилиндров с покрытиями, имеющими оптимальные звукоотражающие свойства, сравниваются с результатами, рассчитанными для упругого цилиндра без покрытия. Однако, автор не сравнил эти результаты с результатами для цилиндра, имеющего однородное упругое покрытие, что было бы интересным.

5. В разделе 5.1.1 сказано, что краевые условия на торцах цилиндра в виде (5.1.7) для соответствующих перемещений, изгибающих моментов и продольных усилий сводятся к краевым условиям в виде (5.1.8) для перемещений и напряжений. Однако, строго говоря, из (5.1.7) условия (5.1.8) не следуют. Наоборот, если выполнены условия (5.1.8), то из этого следует выполнение условий (5.1.7). Поскольку автор строит решение задачи именно с условиями на торцах цилиндра в форме (5.1.8), то про условия (5.1.7) можно было не говорить вообще, или же упомянуть их лишь в связи с тем, что они становятся физически значимыми только когда длина цилиндра существенно превосходит его радиус.

6. В тексте работы помимо опечаток иногда встречается не совсем удачная терминология. Так, например, в главе 5 наряду с термином «цилиндрический слой» употребляется термин «оболочка», который видится не вполне уместным. В той же главе 5 термин «жесткие неподвижные экраны» недостаточно отражает специфику граничных условий на торцах цилиндра конечной длины.

ШИТИКОВА Марина Вячеславовна – доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский

государственный строительный университет», заведующий кафедрой высшей математики дала положительный отзыв с замечаниями:

1. В первой главе приведен достаточно подробный обзор литературы по проблеме дифракции звуковых волн на неоднородных деформируемых твердых телах, включая объекты и методы исследований. Однако отсутствует обзор и классификация функций, используемых для описания свойств неоднородности физико-механических свойств материалов.

2. В пункте 2.1 «Постановка задачи» на странице 26 автор пишет, что «модули упругости материала неоднородного цилиндрического слоя являются дифференцируемыми функциями радиальной координаты, а плотность материала - непрерывной функцией той же координаты». Далее в главах 2-5 при непосредственном проведении численных исследований требовалась конкретизация функций, описывающих неоднородные свойства. При этом ни в одном численном примере выбор того или иного вида неоднородности не был обоснован. Осталось не ясным, какими рассуждениями руководствовался автор при выборе той или иной функции для описания неоднородности параметров.

3. Во всех численных примерах рассматривались алюминиевые цилиндры радиусом 0.8 м. Неясно, чем был вызван выбор только этого материала и радиуса.

4. Список литературы состоит из 220 наименований, из них 179 русскоязычных статей и 41 англоязычных источников, из которых всего 32 статьи принадлежат зарубежным исследователям, что, по мнению оппонента, является явно недостаточным. Диссертанту стоило бы уделить большее внимание изучению работ в области дифракции, опубликованных в ведущих международных изданиях в этой области. Большинство приведенных в списке источников опубликовано до 2000 года и только 5 работ за последние 5 лет, не считая статей руководителя диссертанта и его учеников.

5. Работы [173, 174, 191, 192, 197, 208, 211-213] из списка литературы опубликованы в оригинале в российских журналах на русском языке. Непонятно, зачем диссертант привел их в англоязычной части списка источников.

6. Поскольку диссертация представлена по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», то было бы полезно в Приложении привести не только свидетельства о государственной регистрации разработанных автором программ для ЭВМ, но и дать краткое описание разработанных численных методов и комплексов, использованных при численных исследованиях, поскольку в тексте диссертации эти сведения отсутствуют.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в своем положительном отзыве, подписанном и.о. заведующего кафедрой «Соппротивление материалов, динамика и прочность машин», доктором физико-математических наук, профессором Федотенковым Г.В. и утвержденном проректором по научной работе, доктором технических наук, доцентом Ивановым А.В. указала, что диссертация Ефи-

мова Дмитрия Юрьевича является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит результаты, имеющие важное значение для теории дифракции звуковых волн. Достоинством диссертационной работы является выявление влияния неоднородности материала покрытий цилиндрических тел на рассеяние звука. Отдельный значительный интерес представляют результаты исследований акустических свойств цилиндрических тел, расположенных вблизи ограничивающих поверхностей, а также исследование особенностей рассеяния звука цилиндрическими телами конечной длины. Диссертация отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ефимов Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв содержит следующие замечания:

1. В разделе 2.2 рассеянные акустические поля описываются несобственными интегралами. Однако не указано, как достигалась требуемая точность при вычислении этих интегралов. То же касается несобственных интегралов, используемых в 5.1.3 и 5.2.

2. Не выписано аналитическое решение усеченных бесконечных систем линейных алгебраических уравнений (3.1.14), используемых при получении краевого условия для нахождения решения системы дифференциальных уравнений, что затрудняет оценку результатов.

3. В 2.1, 2.2.2, 4.1, 5.1.2 автор формулирует задачи дифракции цилиндрических акустических волн, излучаемых линейным источником произвольной моды. Однако, все численные результаты приведены только для случаев симметричной цилиндрической волны, когда на поверхности источника возбуждена нулевая мода.

4. В диссертационной работе ничего не сказано о том, являются ли оптимальные решения, полученные при решении обратных задач, единственно возможными.

5. В таблицах 4.1.1 и 4.1.2 приведены характерные значения модулей упругости для трансверсально-изотропных материалов. Если автор использовал значения из справочников, то следовало бы дать соответствующую ссылку. Если автор получал эти значения из каких-либо соображений, то следовало их указать.

6. В разделе 4.1.2 осуществляется моделирование неоднородного анизотропного покрытия с оптимальными звукоотражающими характеристиками. При этом используется алгоритм имитации отжига. На с.101 автор указывает, что генерирует случайную величину в соответствии с многомерным распределением Коши, но не указано каким способом он это осуществил.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, все – по теме диссертации, в том числе: 11 в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, Russian Science Citation Index, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и 5 публикаций в иных изданиях.

Общий объем публикаций составляет 11.9 п.л., из них 7.4 п.л. – личный вклад автора.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. Толоконников Л.А., Ефимов Д.Ю. Дифракция звуковых волн на упругом цилиндре с неоднородным покрытием, расположенном вблизи поверхности упругого полупространства // Прикладная математика и механика, 2021. – Т. 85. Вып. 6. – С. 779-791.
2. Толоконников Л.А., Ефимов Д.Ю. Моделирование неоднородного анизотропного покрытия упругого цилиндра, обеспечивающего наименьшее отражение звука // Чебышевский сборник, 2022. – Т. 23. Вып. 1. – С. 293-311.
3. Толоконников Л.А., Ефимов Д.Ю. Рассеяние звуковых волн упругим цилиндром конечной длины с неоднородным покрытием // Математическое моделирование, 2023. – Т. 35. Вып. 4. – С. 3-23.
4. Толоконников Л.А., Ефимов Д.Ю. Рассеяние упругим цилиндром с неоднородным покрытием звуковых волн, излучаемых произвольно расположенным линейным источником // Математическое моделирование, 2024. – Т. 36. Вып. 1. – С. 71-84.
5. Ефимов Д.Ю. Рассеяние акустических волн неоднородной упругой цилиндрической оболочкой конечной длины в полупространстве // Прикладная математика и механика, 2024. – Т. 88. Вып. 2. – С. 299-312.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов из следующих организаций:

1. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (МГУ, г. Москва).
2. ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» (ЛГТУ, г. Липецк).
3. ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (ТвГУ, г. Тверь).
4. ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (ОГУ им. И.С. Тургенева, г. Орел).
5. ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (СамГТУ, г. Самара).
6. ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого» (ТГПУ им. Л.Н. Толстого, г. Тула).
7. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (ВГУ, г. Воронеж).

Все отзывы положительные, в них отмечаются актуальность, научная новизна, теоретическая значимость работы. В отзывах имеются замечания, связанные, в основном, с ограниченным объемом автореферата, не позволившим достаточно глубоко и подробно осветить все вопросы и сводящиеся к следующим:

1) из текста автореферата неясно как контролировалась точность расчетов при проведении численных исследований (ЛГТУ);

2) в работе используются представления волновых полей в жидкости и упругом теле в виде бесконечных рядов и несобственных интегралов в бесконечных пределах. Из текста автореферата остается неясным, как именно рассчитывались указанные бесконечные суммы и интегралы по бесконечной вещественной прямой (ОГУ им. И.С. Тургенева);

3) не указаны способы и точность вычисления полученных в работе несобственных интегралов (ВГУ).

На замечания соискателем даны исчерпывающие ответы и пояснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в рассматриваемой отрасли науки, наличием значительного количества публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Согласия на оппонирование диссертации от оппонентов и ведущей организации имеются.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель дифракции гармонических звуковых волн на упругих телах с неоднородными упругими покрытиями, граничащих с идеальными жидкостями;

решены новые прямые и обратные задачи дифракции звуковых волн (плоских, цилиндрических и сферических) на упругих цилиндрических телах бесконечной и конечной длины с непрерывно-неоднородными и анизотропными упругими покрытиями, находящихся в свободном пространстве и в присутствии ограничивающих поверхностей;

показана возможность изменения звукоотражающих свойств упругих цилиндрических тел с помощью неоднородных и анизотропных покрытий.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

результаты диссертационной работы представляют собой вклад в теорию дифракции звука на деформируемых телах;

доказано, что построенные математические модели дифракции гармонических звуковых волн на неоднородном упругом теле позволяют выявить существенное влияние неоднородности и анизотропии покрытий упругих цилиндрических тел на рассеянное акустическое поле, а предложенный метод определения

оптимальных параметров неоднородности, обеспечивающих требуемые звукоотражающие свойства тела, позволяет эффективно изменять звукоотражающие характеристики упругих цилиндрических тел;

изучены характерные особенности влияния неоднородности и анизотропии покрытий тел цилиндрической формы, присутствия ограничивающих поверхностей и учета конечной длины цилиндрических тел на рассеяние звука неоднородными упругими цилиндрами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

результаты работы могут быть использованы в гидроакустике для звуковой эхолокации различных объектов; в судовой акустике при изучении акустических характеристик судовых конструкций; в дефектоскопии для разработки методов неразрушающего контроля; в медицине при разработке методов ультразвуковой диагностики; в архитектурной акустике; для проектирования промышленных материалов и конструкций с требуемыми звукоотражающими свойствами;

созданы новые программные продукты для определения оптимальных параметров неоднородности анизотропного покрытия упругого цилиндра в присутствии плоской поверхности, обеспечивающих наименьшее отражение звука, и расчета амплитуды рассеянного поля при дифракции цилиндрической звуковой волны на бесконечном круговом упругом цилиндре с трансверсально-изотропным неоднородным покрытием.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория основана на известных положениях линейной теории упругости и гидродинамики идеальной сжимаемой жидкости;

использованы апробированные аналитические и численные методы, обеспечивающие возможность проведения расчетов на ЭВМ с контролируемой точностью;

установлено количественное и качественное соответствие авторских результатов для частных и предельных случаев с результатами, представленными в независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в построении математической модели дифракции гармонических звуковых волн на неоднородных упругих телах цилиндрической формы, расположенных в идеальной жидкости; в получении аналитических решений новых прямых и обратных задач дифракции; в проведении численных исследований и анализе результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания. Соискатель Ефимов Дмитрий Юрьевич ответил на задаваемые в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 3 июня 2025 года диссертационный совет принял решение: за решение новых актуальных научных задач математического моделирования и численного исследования процесса дифракции звуковых волн неоднородными упругими телами цилиндрической формы, имеющих важное значение в области дифракции звука на деформируемых телах, что соответствует критериям п.п. 9-11, 13-14 Положения о присуждении ученых степеней, присудить ЕФИМОВУ Дмитрию Юрьевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 16, против – нет, недействительный бюллетеней – нет.

**Председатель
диссертационного совета**

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

03 июня 2025 года



[Handwritten signature of Vadim V. Glagolev]
[Handwritten signature of Marina Yu. Sokolova]

**Глаголев
Вадим Вадимович**

**Соколова
Марина Юрьевна**