

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Бахтина Владимира Константиновича на тему
«Экспериментальное исследование и численное моделирование
взаимодействия интенсивных акустических полей с препятствиями»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.7 – акустика

Актуальность темы диссертации

Нелинейные звуковые волны исследуются и широко применяются в различных областях акустики. Например, медицинский ультразвук используется в терапевтических целях, для которой важно создать мощные звуковые пучки, области фокусировки и т.д. в условиях нелинейного распространения волн. В звуковом диапазоне необходимо описывать звуковые волны, создаваемые летательными аппаратами, особенно в свете создания сверхзвукового гражданского самолета.

Взаимодействие нелинейных волн с препятствиями представляет комбинацию двух непростых задач: задачу о нелинейном распространении звука и задачу дифракции. По-видимому, получение общего решения задачи является делом отдаленного будущего, но сегодня можно получить ответы для некоторых частных случаев теоретическими и экспериментальными методами (как численными, так и лабораторными).

Диссертационная работа Бахтина В.К. посвящена исследованию особенностей взаимодействия интенсивных акустических волн в воде с препятствиями различной геометрии с целью понимания механизмов и результатов этого взаимодействия, а также оценке возможностей применения результатов на практике.

Таким образом, тема диссертации является несомненно актуальной и имеет значение для расширения теоретических представлений в области нелинейной акустики, которые могут найти применение в различных областях современной акустики, имеющих дело с нелинейными явлениями.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертации, в достаточной мере обоснованы. Подробный обзор современного состояния вопроса, приведенный в начале работы, дает ясное обоснование выбора автором целей исследования, которые сформулированы в виде конкретных задач.

Главным достоинством работы является проведение эксперимента. Для его постановки используется современное оборудование, обработка результатов выполняется общепринятыми методами. В работе приведено подробное описание используемой аппаратуры, последовательности проведения работ, получения результатов и их обработки. Необходимо отметить довольно тонкое проведение эксперимента, внимание к деталям и подробное описание всей процедуры исследования. Таким образом, главным обоснованием научных положений выводов и результатов является эксперимент – самый надежный инструмент в физике.

Теоретические результаты работы основываются на классических подходах нелинейной акустики, в частности на базе уравнения Хохлова Заболотцкой-Кузнецова. Для решения задач использованы стандартные аналитические методы математической физики, теории дифракции, дифференциальных уравнений, спектрального анализа.

Все основные положения и результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях, а также обсуждались на семинарах с участием широкого круга специалистов по акустике, в период с 2021 по 2024 гг., что подтверждает достаточную апробацию работы. Публикация результатов работы в Акустическом журнале, ведущем профильном издании в нашей стране, свидетельствует о положительной оценке результатов независимыми экспертами-рецензентами.

Новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Полученные автором научные результаты, положения, выводы и рекомендации обладают научной новизной. Ниже приведен краткий обзор новизны результатов

В первой главе приводятся результаты экспериментального исследования дифракции нелинейной звуковой волны на круглом отверстии. Показано, что узкое, по сравнению с диаметром пучка на основной частоте, отверстие в экране приводит к потере энергии нижней части частотного спектра прошедшего интенсивного пучка, при этом прошедшая волна является набором коротких импульсов. Аналогичный результат получен по результатам численного моделирования, выполненного на основе уравнения Хохлова-Заболоцкой-Кузнецова. Сформулирован критерий сохранения исходного профиля нелинейной волны после прохождения через отверстие.

Во второй главе рассмотрена дифракция нелинейной волны на полуплоскости. Взаимодействие волны и препятствия приводит к возрастающему сдвигу максимума поперечного распределения интенсивности пучка. Кроме этого, при некоторых условиях в пучке возникает второй максимум интенсивности. Аналогичный эффект получен в численном эксперименте.

В третьей главе представлены результаты измерений дифракции акустического пучка на ступенчатом препятствии. Показано, что форма и длительность дифрагированного пучка зависит от соотношения размеров ступенек и длины звуковой волны. В частности, при соотношении этих параметров 1:2 период отраженной волны уменьшается в два раза по сравнению с периодом падающей волны.

Четвертая глава посвящена методу получения амплитудно-частотной характеристики акустического преобразователя в свободном пространстве по измерениям его поля в бассейне с отражающими стенками. Предложен оригинальный метод, суть которого заключается в разложении поля

калибруемого источника на суперпозицию полей эквивалентных источников. Данный метод позволяет скомпенсировать влияние реверберационного поля в испытательном бассейне.

Формулировка положений, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертации, в полной мере отражает их новизну.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в получении результатов, подтверждающих примененные теоретические модели, которые в перспективе будут развиваться с опорой на эксперимент. Дифракция нелинейных волн - сложная и малоизученная область акустики, требующая развития теоретических основ. Наиболее вероятно, что строгая постановка теоретических задач будет сформулирована для простейших препятствий, например, круглого отверстия или полуплоскости. Поэтому имеющиеся в диссертационной работе данные позволяют валидировать теоретические подходы.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты диссертации могут применяться в различных областях нелинейной акустики. В медицинской акустике учет дифракционных эффектов позволит повысить качество ультразвуковых систем, используемых как для диагностики, так и для терапии. Кроме этого, применение препятствий поможет формировать звуковые пучки с необходимыми параметрами. Также результаты работы будут полезны при разработке пассивных средств борьбы с шумом новых сверхзвуковых гражданских самолетов (СГС), в первую очередь экранирующих препятствий, поскольку звуковые волны, излучаемые СГС в некоторых условиях являются нелинейными.

Замечания по диссертации

По результатам рассмотрения работы возник ряд замечаний.

1. На стр. 29 указано, что акустический импеданс экрана коренным образом отличается от акустического импеданса воды. Здесь было бы уместно привести характерные значения акустического импеданса экрана и указать является ли экран жестким или мягким по отношению к воде.
2. На рис. 1.7 и в тексте описания к нему не указана частота, на которой проведено измерение в линейном режиме.
3. Нормировка на максимальные значения звукового давления на двух графиках на рис. 1.8 дает максимальное значение 1 в точке падения волны и в точке за экраном и не позволяет оценить ослабление звука экраном. Глядя на рис. 1.8, можно заключить, что пиковое значение звукового давления в этих точках одинаково. А на рис. 1.9-1.11 четко видно ослабление волны при удалении от экрана.
4. Колебательная скорость является векторной величиной. В формуле (1) колебательная скорость u является скаляром, не указано направление скорости u .
5. В разделе 1.2.5 опущены вычисления распределения давления в плоскости на расстоянии 250 мм от излучателя, преобразование этого распределения фильтром, АЧХ которого приведена пунктиром на рис. 1.15, что было бы полезно.
6. Критерий сохранения пилообразного профиля после прохождения отверстия в экране, приведенный в разделе 1.2.7, сформулирован достаточно общими словами на стр. 44. Здесь требуется более точная математическая формулировка.
7. В последнем абзаце раздела 3.4.3 утверждается, что при некоторой ширине ступенчатого препятствия степенной закон распределения амплитуд гармоник дифрагированной волны не восстанавливается к асимптотике $1/n$. Это требует количественного обоснования: какие отклонения от закона $1/n$ могут считаться значимыми.

8. Общее замечание к проведенному эксперименту. Необходимо было привести оценку влияния или не влияния отраженного стенками бассейна звука на результаты измерений, представленных в главах 1-

3. Оценки показывают, что при длительности импульса 1-4 мкс их пространственная длина не превышает 6 мм, что значительно меньше характерных размеров задачи (расстояние до стенок бассейна от экрана и точек измерения, между экраном и точками измерения и т.д.), поэтому отраженные стенками бассейна волны должны разрешаться во времени. Однако, для убедительности эта ситуация требует тщательного анализа.

Имеющиеся замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы и не снижают ее новизну, степень обоснованности и достоверности научных положений, теоретическую и практическую значимость.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Бахтина Владимира Константиновича является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, содержащей результаты лабораторных и численных экспериментов, которые вносят существенный вклад в понимание механизмов взаимодействия нелинейных звуковых волн с препятствиями и имеют важное практическое значение для ультразвуковых технологий в различных областях акустики. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, результаты опубликованы в необходимом количестве статей.

По актуальности темы, объему исследований, целостности работы, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (редакция от 16.10.2024), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Бахтин Владимир Константинович, заслуживает

присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7 – Акустика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук по специальности 1.3.7 - акустика, научный сотрудник Теоретического отдела АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»

**Канев
Николай Георгиевич**



Эл.почта: nikolay.kanev@mail.ru

Телефон: +7 (915) 231-81-53

13 октября 2025 года

Подпись Канева Николая Георгиевича удостоверяю:

*Заместитель начальника отдела кадров
АО «АКИИ»*  *Е.В. Победникова /
13.10.2025 г.*

Наименование организации:

Акционерное общество «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева»

Адрес организации: 117036, Российская Федерация, Москва, ул. Шверника, д.

4