

УТВЕРЖДАЮ



Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова

профессор А.А. Федянин

«14» октября 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Бахтина Владимира Константиновича
«Экспериментальное исследование и численное моделирование взаимодействия
интенсивных акустических полей с препятствиями», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7 – Акустика

Диссертационная работа Бахтина В.К. посвящена экспериментальному исследованию процессов взаимодействия и трансформации интенсивных акустических пучков на препятствиях различной формы. Данная работа продолжает фундаментальные исследования по нелинейной акустике мощных волн и ограниченных пучков, находящих широкое применение в различных областях науки и наукоемких технологий – от разработки сверхзвуковых пассажирских самолетов до медицинской терапии и хирургии. Понимание процессов трансформации интенсивных пучков поможет как избежать нежелательных эффектов усиления звука и пространственного перераспределения в одних задачах, так и, наоборот, использовать эти процессы для управления временными и пространственными характеристиками пучка в других задачах для повышения эффективности и уменьшения влияния побочных вредных эффектов. Анализ процессов нелинейной дифракции позволит точнее рассчитывать положения максимумов при распространении в неоднородных средах, управлять эффективностью поглощения звука за счет трансформации волновых профилей и спектров. Тема диссертации является, несомненно, актуальной, что подтверждается большим объемом приведенной научной литературы, посвященной рассматриваемым вопросам, и активной деятельностью в области разработки и применения HIFU (high intensity focused ultrasound) в различных областях.

В диссертации разработаны высокоточные экспериментальные методы и созданы экспериментальные установки для исследования трансформации временных профилей, частотных спектров и поперечного пространственного распределения полей интенсивных акустических пучков. Эти методы позволили выявить ряд новых, ранее не наблюдавшихся эффектов, связанных с взаимодействием интенсивных пучков с препятствиями. Необходимо подчеркнуть приоритет, отданный в работе экспериментальным исследованиям, показывающим физическую реализуемость наблюдаемых эффектов и возможность управления трансформацией пучка. В то же время в работе развиты и методы численного

моделирования, подтверждающие полученные в эксперименте результаты и применимые для расчета заданных конфигураций полей и необходимой для этого формы препятствий.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка публикаций автора по теме диссертации и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 120 страниц. В диссертации имеется 86 рисунков, список литературы состоит из 94 наименований.

Во введении освещается современное состояние разрабатываемых задач, обосновывается актуальность темы диссертации, дается краткий обзор научной литературы, формулируется цель и определяется круг решаемых задач, определяется научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационных исследований, приводятся защищаемые положения, а также кратко излагается содержание работы.

В Первой главе диссертации приведены результаты экспериментального исследования и численного моделирования процесса дифракции интенсивного акустического поля на препятствии в виде узкого круглого отверстия в экране. Экспериментально показано, что узкое по сравнению с размерами пучка отверстие играет роль «фильтра верхних частот», в результате чего удается достичь преобразования исходного пилообразного фронта в последовательность «иглообразных» импульсов короткой длительности. Численное моделирование на основе уравнения Хохлова-Заболотской-Кузнецова подтвердило эти результаты.

Вторая глава посвящена исследованию процесса взаимодействия интенсивного акустического пучка с препятствием в виде полуэкрана. Экспериментально было обнаружено два новых эффекта – эффект сдвига главного дифракционного максимума в поперечном направлении в зависимости от интенсивности падающего поля и эффект «расщепления» главного дифракционного максимума в поперечном распределении для высших гармоник. Для численного расчета была разработана модифицированная модель, позволившая качественно подтвердить обнаруженные эффекты.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию процесса взаимодействия интенсивного акустического пучка со ступенчатым препятствием. Рассмотрены ступенчатые препятствия, разделяющие отраженный от препятствия пучок на две равные части и создающие между ними разность хода, величина которой регулируется видом препятствия. Среди наиболее характерных ситуаций рассмотрены препятствия, создающие разность хода в одну длину волны, половину и треть длины волны. В первом случае происходит удлинение исходного импульса на один период. В случае разности хода в полдлины волны происходит уменьшение вдвое характерного периода пилообразной волны. При разности хода в треть длины волны происходит расщепление периода пилообразной волны. Все эти трансформации

профиля сопровождаются и преобразованием спектрального состава, в частности, подавлением нечетных гармоник в спектре.

В четвертой главе экспериментально проверяется возможность восстановления, на основе оригинального алгоритма, амплитудно-частотной характеристики излучателя звука в свободном пространстве по измерениям в бассейне с отражающими стенками в условиях, когда отражением нельзя пренебречь. Для проверки точности рассматриваемого алгоритма приведены оценки по трем другим алгоритмам. Все полученные оценки находятся в достаточно хорошем согласии друг с другом, что подтверждает корректность рассматриваемого алгоритма.

К основным результатам работы следует отнести: разработанные высокоточные экспериментальные методики измерения временных и пространственных характеристик интенсивных акустических пучков; экспериментально обнаруженные эффекты трансформации временных профилей и частотных спектров при дифракции на узком отверстии; эффект смещения в поперечной плоскости дифракционного максимума в зависимости от интенсивности падающего поля при дифракции на полуэкране; эффект расщепления главного дифракционного максимума для высших гармоник; численные методы расчета дифракции интенсивных полей на препятствиях; возможности управления временными профилями и частотными спектрами при взаимодействии со ступенчатыми препятствиями.

Таким образом, работа отличается высокой степенью **научной новизны**. Основные материалы диссертации опубликованы в 14 научных работах, включая 4 статьи из перечня К1-К2 ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, и 10 работ в трудах конференции. Основные результаты работы докладывались на международных конференциях. Автореферат полностью раскрывает содержание диссертации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается их соответствием с известными теоретическими результатами, сравнением с результатами компьютерного моделирования и с результатами обработки экспериментальных данных. Полученные автором диссертации результаты имеют большую теоретическую и практическую значимость, и могут быть использованы при разработке устройств, использующих высокоинтенсивные акустические поля с заданными временными и пространственными характеристиками, для активного управления и повышения эффективности этих устройств.

Диссертация написана четким, понятным языком и хорошо оформлена. Вместе с тем по диссертации имеются следующие замечания:

1. В некоторых разделах на графиках не указаны абсолютные значения давления в волне после прохождения препятствия.
2. Не приведено убедительное подтверждение того, что сглаживание переднего фронта «иглообразной» волны в эксперименте происходит за счет прохождения через непрозрачную область экрана.
3. Излишне лаконично описаны алгоритмы численного расчета, в частности, модифицированная схема для расчета дифракции на полуэкране.
4. Результаты алгоритма восстановления АЧХ источника звука проведены только для излучателя монопольного типа, что не позволяет в полной мере продемонстрировать достоинства рассматриваемого алгоритма.

Отмеченные недостатки не влияют на общую, несомненно, положительную, оценку диссертации.

ВЫВОД

1. Диссертационная работа Бахтина Владимира Константиновича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научные результаты и положения, а также рекомендации по их использованию на практике. По своей актуальности, достоверности и обоснованности результатов, теоретической и практической значимости диссертационная работа соответствует критериям, установленным требованиями пп. 9 – 11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 25.01.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

2. В диссертационной работе содержатся решения актуальных научных задач по экспериментальному и численному исследованию нелинейных волновых явлений при взаимодействии интенсивных акустических пучков с препятствиями различной формы.

3. Соискатель Бахтин Владимир Константинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.7 – Акустика.

Доклад по диссертационной работе заслушан, диссертация и отзыв ведущей организации на диссертацию обсуждены и одобрены на научном семинаре кафедры акустики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, заседание № 11, 08.10.2025 г. Присутствовало 14 сотрудников кафедры, проголосовало «за» - 14 человек, «против» - 0, воздержалось – 0.

Отзыв составил:

Старший научный сотрудник кафедры акустики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, кандидат физико-математических наук по специальности 1.3.7 (01.04.06) – Акустика, Гусев Владимир Андреевич

Ст. науч. сотр., кандидат физико-математических наук



В.А. Гусев

Ученый секретарь кафедры акустики, доцент



Н.И. Одина

Заведующий кафедрой акустики, академик РАН



О.В. Руденко

И.о. декана физического факультета, профессор



В.В. Белокуров

Сведения об организации

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, 119991, ГСП-1, Москва Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, дом 1, стр. 2, Физический Факультет, <https://phys.msu.ru/>, тел.: +7 (495) 939-16-82; +7 (495) 939-31-60, E-mail: info.ff@org.msu.ru