

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Николаева Дмитрия Александровича «Импульсная акустическая голография как метод измерения параметров сред и характеристики ультразвуковых источников и приёмников», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 — Акустика

Диссертационная работа Д.А. Николаева посвящена одной из наиболее актуальных проблем современной акустики – развитию методов импульсной акустической голографии как эффективного инструмента решения широкого спектра обратных задач, связанных с определением параметров среды распространения и восстановлением характеристик источников и приемников. Решение этой проблемы имеет важное научное и практическое значение. С одной стороны, оно позволит ответить на вопрос - какое поле создаст тот или иной проектируемый излучатель с заданной сложной геометрией поверхности, расположенный в заданной точке пространства и имеющий заданную ориентацию. С другой стороны, решение проблемы позволит проанализировать - как нужно изменить геометрию и расположение проектируемого излучателя, чтобы формируемое им поле приобрело желаемую структуру. Акустическая голография начала бурное развитие с 80-х годов прошлого века с работ Эрла Г. Уильямса (Earl G. Williams). К настоящему моменту имеется большое количество теоретических и экспериментальных исследований в этом направлении. Среди этих работ достойное место занимают результаты исследований методов нестационарной акустической голографии, выполненных научно-исследовательским коллективом, который возглавляет проф. О.А. Сапожников. Представителями данного научного коллектива являются и соискатель Д.А. Николаев, и его научный руководитель С.А. Цысарь. Диссертационная работа Д.А. Николаева является важным логическим продолжением исследований, выполненных данным коллективом ученых. Д.А. Николаевым получен ряд новых, научно и практически значимых результатов. В диссертационной работе Д.А. Николаева на основе импульсной акустической голографии проведен анализ восстановления характеристик акустических преобразователей. Предложены, теоретически обоснованы и экспериментально апробированы новые способы для измерения величины углов перекося осей системы, акустических характеристик исследуемых материалов и голограммы акустического поля. Исследованы

факторы, влияющие на точность гидрофонов. Полученные в работе научные результаты позволяют значительно повысить точность и эффективность существующих методов акустической голографии. Важно отметить, что весь спектр разработанных соискателем новых способов измерений обосновывается не только теоретически, но и верифицируются экспериментально. Благодаря этому диссертация представляет собой завершенное многогранное исследование, гармонически сочетающее теорию и эксперимент.

Содержание диссертационной работы представлено во введении и трех главах основного текста. Работа завершается формулировкой основных результатов и выводов. Объем диссертации составляет 137 страниц и включает в себя 52 рисунка и 2 таблицы. Список литературы содержит 113 источников.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, представлены положения, выносимые на защиту, обоснована научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приводится литературный обзор существующих методов измерения ультразвуковых полей, калибровки гидрофонов, измерения акустических характеристик материалов, и связанные с ними ошибки.

В **первой главе** разработана экспериментальная схема для прецизионного измерения нестационарной акустической голограммы излучателя. Теоретически и экспериментально обосновано применение импульсной акустической голографии для восстановления характеристик ультразвуковых преобразователей как одноэлементных, так и многоэлементных. Метод импульсной акустической голографии применен для измерения распределений колебательной скорости на поверхности многоэлементного ультразвукового преобразователя в широкой полосе частот, на основе чего были выявлены неработающие элементы и области с плохим акустическим согласованием. Разработаны метод пространственной коррекции акустической голограммы за счет ее поворота и смещения, а также метод измерения и компенсации углов, определяющих взаимную ориентацию осей системы позиционирования, на основе импульсной акустической голографии. Проведена экспериментальная проверка данных методов.

Во **второй главе** предложен метод широкополосной калибровки гидрофонов на основе комбинации измерения импульсной акустической голограммы волнового пучка и измерении частотной зависимости акустической радиационной силы, действующей на поглотитель большого диаметра. Исследованы факторы, оказывающие влияние на точность измерений,

такие как направленность гидрофона, отражения акустического пучка от поглотителя, расстояние между поглотителем и излучателем, время измерения. Проведено измерение чувствительности гидрофонов двух различных типов: игольчатого и капсульного. Дополнительно проведена полная процедура восстановления характеристик одноэлементного преобразователя на основе измеренной с помощью двух гидрофонов с известной чувствительностью импульсной голограммы с учетом направленности гидрофонов и влияющих на достоверность измерений факторов, описанных в первой главе.

В **третьей главе** в рамках известного метода введения образца предлагается новый подход для измерения акустических параметров сред (скорости звука и поглощения), основанный на использовании метода импульсной акустической голографии. Это позволяет экспериментально записать полную информацию о структуре волнового пучка и использовать ее для нахождения параметров плоских волн, из которых этот пучок состоит. Таким образом косвенно реализуется режим зондирования исследуемого образца плоской волной, при этом ограниченный в поперечном направлении образец переходит в бесконечно широкий слой из того же материала. В итоге реальная задача сводится без использования приближений к точно решаемой задаче о прохождении плоской волны через плоскопараллельный слой исследуемой среды. Представлены результаты измерения акустических характеристик силиконового материала с использованием трех широкоапертурных образцов различной толщины и образца небольшого объема. Показано, что данный подход может быть эффективно применен для измерения характеристик материалов с помощью образцов небольшого объема, если использовать для зондирования образца фокусирующий преобразователь.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

По работе имеются следующие замечания.

1. Ранее было отмечено, диссертационная работа соискателя является значимым логическим продолжением исследований по нестационарной акустической голографии, выполняемых коллективом ученых, под руководством О.А. Сапожникова. В связи с этим соискателю важно было бы в автореферате и в введении диссертации четко определить место своих результатов по отношению к результатам исследований, полученных его предшественниками: А.В. Морозов, М.А. Смагин, С.А. Цысарь. Все эти работы тесно связаны как по направлению исследования, так и по используемым подходам. К сожалению, хотя ссылки на работы коллег соискателя присутствуют в диссертации, но четкого разграничения

научных результатов не проводится. В результате читателю требуется самому проанализировать научные исследования всего научного коллектива, чтобы понять, что результаты соискателя являются новыми и значимыми как в теоретическом плане, так и в экспериментальном.

2. Сигналы, используемые соискателем в экспериментальных исследованиях, регистрируются при достаточно высоком отношении сигнал/ помеха. Поэтому соискатель в своей диссертационной работе не уделил внимания анализу шумовой помехи. Однако, несомненный научный интерес представляет анализ голографической структуры распределенной шумовой помехи и ее влияние на эффективность предложенных соискателем.

3. Использование термина “характеризация источника” в названии диссертационной работы представляется не совсем удачным. Более традиционной и понятной по мнению оппонента является фраза “измерение/восстановление характеристик источника”. Однако следует отметить, что термин “характеризация источника” является общепринятым для работ коллектива под рук. О.А. Сапожникова.

Однако, отмеченные недостатки больше относятся к форме представления диссертационного материала, не затрагивают его суть и не снижают общее положительное впечатление от работы Д.А. Николаева.

Оценивая рецензируемую диссертацию в целом, следует отметить, что диссертационная работа Д.А. Николаева., представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 – Акустика представляет собой законченное теоретико-экспериментальное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне, обладающее актуальностью, научной новизной, теоретической и практической значимостью. Основные материалы работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и обсуждены на широко известных конференциях и семинарах. Достоверность результатов определяется соответствием теоретических результатов с данными и проведенных экспериментов, а также применением классических методов математической физики.

Автореферат диссертации и публикации автора достаточно полно отражают содержание и результаты выполненной работы.

Диссертация «Импульсная акустическая голография как метод измерения параметров сред и характеристики ультразвуковых источников и приёмников» по уровню полученных результатов, научной новизне и практической значимости является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует паспорту специальности 01.04.06 — «Акустика» и всем требованиям к кандидатским диссертациям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09. 2013 г., редакция от 11.09.2021 № 1539, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а её автор, Николаев Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 — «Акустика».

Официальный оппонент:

доктор физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой математической физики и информационных технологий физического факультета Воронежского государственного университета

Пересёлков Сергей Алексеевич

Контактные данные:

Телефон: +7 (473) 220-87-48

e-mail: pereselkov@phys.vsu.ru

Адрес места работы:

394006, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1

Подпись _____

Дата 17.12.21

Подпись д.ф.-м.н. С.А. Пересёлкова заверяю:

Проректор по науке, инновациям
и цифровизации ФГБОУ ВО «ВГУ»

О.А. Козадеров