

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Ткаченко Сергея Александровича
«Голографический метод обнаружения и локализации малошумных подводных
источников звука», представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности 1.3.7 – акустика**

Целью диссертационной работы Ткаченко С.А. является разработка физико-математических основ голографической обработки высокочастотных гидроакустических сигналов с применением одиночных векторно-скалярных приемников и линейных антенн. Основой для такой обработки является двумерное преобразование Фурье частотно-временной интерференционной структуры шумового поля (интерферограммы), формируемой широкополосным источником в океаническом волноводе. Ранее такой подход применялся для низкочастотных диапазонов с применением одиночных приемников. В работе соискателя голографическая обработка широкополосных сигналов обобщается на высокочастотный диапазон с применением линейных антенн. Полученные результаты значительно расширяют область применения голографических методов решения задач обнаружения и локализации широкополосных источников в мелководных акваториях.

Актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью развития новых методов обработки гидроакустической информации, обеспечивающих высокую помехоустойчивость в широком диапазоне частот с применением как одиночных приемников, так и антенн. Особую актуальность в настоящее время приобретает решение задач обнаружения и локализации малогабаритных автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), использующихся для выполнения разномасштабных задач, связанных, например, с мониторингом морских акваторий, поиском и обследованием подводных объектов, наблюдением за морскими млекопитающими. Развитие методов голографической обработки является бесспорно актуальным направлением исследований, позволяющим расширить функциональные возможности пассивной гидролокации, а также создать новые направления обработки широкополосных сигналов, предназначенных для решения широкого класса задач.

Диссертация С.А. Ткаченко состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Список литературы состоит из 112 наименований, включая 14 публикаций автора по теме диссертации. По теме диссертации С.А. Ткаченко имеет 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение. Общий объем диссертации составляет 106 страниц, 66 рисунков, 2 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертации, выносимые на защиту научные положения, показана новизна и практическая

значимость полученных результатов, приведен список публикаций.

В первой главе приведен сравнительный анализ различных методов обработки гидроакустических сигналов. Особое внимание уделяется методам пространственной обработки, согласованным со средой распространения сигнала (в англоязычной литературе – *matched field processing*), которые имеют длительную историю. Другое, сравнительно новое направление основано на голографической обработке сигналов широкополосного источника. Автором выделяются два основных фактора, ограничивающих эффективность метода согласованного поля для локализации источника. Первый – отсутствие априорных знаний о среде распространения, позволяющих построить адекватные математические модели гидроакустических сигналов. Второй – малый уровень принимаемого гидроакустического сигнала по сравнению с уровнем фоновой акустической помехи акватории и других локализованных помех. Именно такая ситуация и представляет практический интерес. Большинство известных алгоритмов теряют свою эффективность в таких условиях. Дополнительные трудности связаны с использованием протяженных антенн, со сложностью моделирования звуковых полей при реалистичном описании среды распространения, и математическими проблемами при решении многомерной обратной задачи восстановления координат источника. Преодоление отмеченных трудностей возможно голографическим методом обнаружения и локализации источника, развитию которых посвящена диссертация С.А. Ткаченко. В настоящее время для таких методов получены соотношения, позволяющие в явном виде установить простую и понятную связь между измеряемыми характеристиками голограмм и очищенных от помехи интерферограмм с параметрами шумового источника.

Вторая глава посвящена результатам спектрального анализа шумовых сигналов, создаваемых движущимся малогабаритным АНПА в мелководной акватории. Представлены спектры шумоизлучения малогабаритного АНПА в частотном диапазоне от 50 до 1000 Гц, зарегистрированные на расстоянии 200 м в мелководной акватории Тихоокеанского побережья. Спектральные уровни звукового давления получены при различных режимах (включенные и выключенные движители) и скоростях движения аппарата. Измеренные характеристики источника позволили получать реалистичные оценки дальности обнаружения используемого аппарата в рассматриваемом диапазоне частот. Выполнена оценка максимального расстояния обнаружения одиночным приемником для диапазона частот 900–950 Гц при скорости движения малогабаритного АНПА 2 м/с. При этом использовались результаты численного моделирования звукового поля в гидроакустическом волноводе и экспериментальные спектральные характеристики АНПА и фоновой помехи. Оценено отношение сигнал/помеха (с/п) на выходе голографической обработки поля шумового источника с применением одиночного приемника. На основе критерия Неймана–Пирсона рассмотрено обнаружение сигнала шумового источника.

Получены выражения для вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения. Проанализированы кривые обнаружения, представляющие собой зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/помеха (с/п) при фиксированной вероятности ложной тревоги для заданных параметров обработки.

В третьей главе приведены результаты исследования высокочастотного интерферометрического метода локализации шумового источника с применением одиночного векторно-скалярного приемника (ВСП). Метод базируется на частотно-временной обработке, согласованной с интерферограммой, которая формируется движущимся источником. Модельная интерферограмма рассчитывается в рамках двухлучевой модели звукового поля. Предложенный метод был верифицирован на данных натурного эксперимента. Приведены результаты эксперимента с движущимся шумовым источником в акватории Ладожского озера. В эксперименте использовался одиночный ВСП. В результате обработки экспериментальных данных были восстановлены зависимости от времени пеленга, расстояния, скорости движения и глубины источника. Применение двухлучевой модели интерферограммы оказалось полезным в рассматриваемых условиях распространения сигнала при рассмотрении высокочастотного диапазона.

В четвертой главе представлены результаты голографической обработки эксперимента по идентификации движущегося малогабаритного АНПА. С применением одиночных ВСП в мелководной акватории Черноморского побережья в высокочастотном диапазоне продемонстрирована работоспособность голографической обработки по контролю движения малогабаритного АНПА в условиях интенсивного судоходства. Результирующая интерферограмма, обусловленная наложением интерференционных картин, формируемых подводным аппаратом и надводными судами в акватории, не позволяла идентифицировать отдельные источники шумоизлучения. На голограмме спектральная плотность отдельных источников распределялась в форме фокальных пятен и одиночных пиков функции обнаружения. В моменты времени, когда судоходства не наблюдалось, на голограмме и функции обнаружения регистрировались лишь изображения АНПА. Подводный аппарат обнаруживался и локализовывался на всех дальностях, которые были заданы условиями проведения эксперимента.

В пятой главе изложена голографическая обработка гидроакустической информации с использованием линейных антенн. Получены выражения, связывающие двумерную спектральную плотность на выходе двумерного преобразования Фурье интерференционной картины, формируемой движущимся источником, с апертурой и угловой зависимостью принимаемого поля. Оценены коэффициент усиления и характеристика направленности антенны. Проанализирована помехоустойчивость рассматриваемой обработки. В зависимости

от входного отношения с/п на элементах антенны получено выражение для максимального удаления шумового источника, при котором сохраняется устойчивое обнаружение и оценки пеленга, радиальной скорости, удаления и глубины близки к реальным значениям. Представлены и обсуждены результаты численного моделирования. На основе критерия Неймана–Пирсона решена задача обнаружения шумового сигнала с применением линейных антенн. Получены выражения для вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги в зависимости от отношения с/п и числа элементов антенны. Выполнены расчеты кривых обнаружения шумового сигнала. Оценена эффективность обнаружения сигнала с использованием антенны по отношению к одиночному приемнику.

В Заключении диссертационной работы сформулированы основные результаты.

Представленная диссертационная работа подтверждает высокий уровень научной квалификации автора, а также его глубокие знания актуальных задач гидроакустики, проблем обработки гидроакустических сигналов.

Достоверность представленных в диссертации результатов определяется соответствием данных аналитических расчетов и численного моделирования, физической и математической обоснованностью используемых моделей, использованием общепринятых методов численного моделирования и обработки экспериментальных данных, а также верификацией новых методов голографической обработки на основе сравнения данных численного моделирования с результатами обработки реальных натурных наблюдений.

Новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней развит перспективный метод голографической обработки гидроакустических сигналов на случай высокочастотного диапазона с использованием линейных антенн. Особо следует отметить разработанный на основе критерия Неймана–Пирсона статистический метод обнаружения в рамках голографической обработки с применением одиночных приемников и линейных антенн.

Несомненным достоинством диссертационной работы С.А. Ткаченко является ее практическая направленность при разработке и апробации результатов голографической обработки высокочастотных широкополосных гидроакустических сигналов с использованием одиночных приемников и линейных антенн.

Диссертационная работа лишена серьезных недостатков, однако к ней имеются следующие замечания:

1. Особую ценность экспериментальным данным, рассмотренным в диссертации, придает то, что они получены с применением векторно-скалярных приемников, которые позволяют регистрировать гидроакустические сигналы по четырем каналам: одному – скалярному и трем векторным. Однако в полной мере потенциал использования векторно-скалярных приемников в развиваемых в диссертации методах голографической обработки не раскрыт. Так, например,

предложенный метод оценки максимальной дальности обнаружения рассмотрен только для скалярного канала звукового давления. Оценка параметров источника в Главе 3 на основе (3.3) также проведена по данным в виде давления. Развитые в диссертации методы статистической теории обнаружения источника, анализ кривых обнаружения также имеет смысл обобщить на случай голографической обработки векторно-скалярных составляющих звукового поля. По-видимому, все это можно отнести к перспективам дальнейших исследований.

2. В Главе 3, рис. 3.7-3.9, приводятся результаты оценки параметров буксируемого шумового источника, полученные на основе обработки экспериментальных данных. Результаты обработки экспериментальных данных следует указывать с ошибками их определения. Более того, так как источник был контролируемым, имело смысл сравнить полученные результаты с независимыми измерениями.

3. Результаты построенной в диссертационной работе статистической теории обнаружения источника, включая полученные для кривых обнаружения аналитические выражения, следовало бы применить к результатам проведенных экспериментов. Также вызывает некоторое сожаление, что расчеты кривых обнаружения по аналитическим выражениям (одиночный приемник, антенны) не были подкреплены результатами численного моделирования.

4. В тексте диссертации встречаются незначительные неточности и опечатки.

Отмеченные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы С.А. Ткаченко. Результаты работы актуальны, представляют не только теоретическое, но и практическое значение и могут быть применены при разработке и реализации мониторинга шельфовых морей, обеспечения позиционирования подводных аппаратов в сложной помеховой обстановке, в задачах пассивной томографии, использующей информацию о шумовых источниках. Работа выполнена на высоком профессиональном уровне. Совокупность результатов и положений, содержащихся в диссертации, позволяют квалифицировать ее как значительное достижение в области пассивной гидролокации. Автор демонстрирует высокую квалификацию на этапе теоретического анализа рассматриваемой проблемы, при разработке численных алгоритмов, а также при обработке экспериментальных данных, в том числе, с векторно-скалярных приемников. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, представляются достоверными, обоснованными, обладают определенной степенью новизны. Автореферат работы и публикации С.А. Ткаченко достаточно полно передают содержание и основные выводы работы.

Личный вклад автора в постановку задачи, получение результатов и их интерпретацию не вызывает сомнения. Соискатель продемонстрировал высокий научный уровень, глубокие знания предмета исследования. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих

научных журналах из перечня ВАК, апробированы на российских и международных конференциях.

Диссертационная работа «Голографический метод обнаружения и локализации малозумных подводных источников звука» удовлетворяет требованиям ВАК и требованиям п. 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном автономном государственном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор – Ткаченко Сергей Александрович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 – акустика.

Официальный оппонент:

Доцент кафедры акустики физического факультета

Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова»

E-mail: shurup@physics.msu.ru

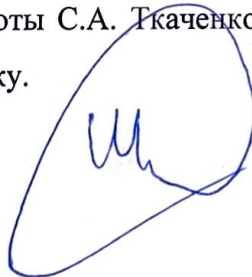
Телефон: +7 495 939-30-81



Шуруп А.С.

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова Дом 1, строение 2, тел: +7 495 939-16-82, e-mail: info@physics.msu.ru

Я, Шуруп Андрей Сергеевич, даю согласие на включение моих персональных данных в материалы защиты диссертационной работы С.А. Ткаченко, а также их размещение на сайте ФГБОУ ВО ЮФУ и дальнейшую обработку.



СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

Фамилия, имя, отчество	Шуруп Андрей Сергеевич
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень, ученое звание	кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.06 – Акустика
Место работы с указанием полного названия организации, должность, почтовый адрес, телефон, e-mail	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» Адрес: 119991, ГСП-1, Москва Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова Дом 1, строение 2 тел: +7 495 939-16-82 e-mail: info@physics.msu.ru

Список основных публикаций оппонента по теме диссертации соискателя за последние 5 лет (не более 15)

1. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Собисевич Л.Е., Шуруп А.С. О локализации геологических отдельностей арктического шельфа на основе анализа модовой структуры сейсмоакустических полей// Доклады Академии наук. 2018. Т. 479, № 1, с. 80-83.
2. Зотов Д.И, Румянцева О.Д, Шуруп А.С. Раздельное восстановление скорости звука, плотности среды и поглощения в задачах томографического типа// Известия РАН. Серия физическая. 2018. Т.82. № 1. С. 41-46.
3. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Собисевич Л.Е., Шуруп А.С. Исследование геоакустических полей - физическая основа мониторинга локальных неоднородностей и запасов углеводородов в Арктике // Известия РАН. Серия физическая. 2018. Т.82. № 5. С. 565-571.
4. Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Груздев П.Д., Игнатьев В.И., Коньков А.И. Мореев А.Ю., Тарасов А.В., Шувалов А.А., Шуруп А.С. Томографическая оценка параметров водоема при наличии ледового покрова с использованием сейсмоакустических излучателей// Акустич. журнал. 2019. Т. 65. № 5. С. 688-698.
5. Гончаренко Б.И., Веденев А.И., Шуруп А.С. Особенности распространения звукового

- сигнала в мелком пресном водоеме при разной глубине погружения источника звука // Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2019. № 5. С. 81-87.
6. Сабиров И.Р, Шуруп А.С. Исследование фазы функции взаимной корреляции шумового поля океанического волновода// Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т.84. № 1. С. 106-109.
 7. Медведева Е.В., Гончаренко Б.И, Шуруп А.С. Использование разнесенных в пространстве комбинированных приемных модулей для исследования скалярно-векторных характеристик акустического поля// Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т.84. № 2. С. 278-283.
 8. Красулин О.С., Шуруп А.С. Численное решение трехмерной задачи адиабатической модовой томографии океана на основе функционально-аналитического алгоритма // Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т.84. № 2. С. 289-294.
 9. Пресное Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Исследование возможностей пассивной томографической реконструкции параметров мелкого моря по данным натурных измерений на поверхности льда // Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т.84. № 6. С. 815-818.
 10. Гончаренко Б.И., Дмитриев К.В., Сергеев С. Н, Шуруп А.С. Теоретические и экспериментальные исследования схемы мониторинга мелких морей гидроакустическими методами// Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т.84. № с. 777-782.
 11. Тихоцкий С.А., Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Использование низкочастотных шумов в пассивной сейсмоакустической томографии дна океана// Акустич. журнал. 2021. Т. 67. № 1. С. 107-116.
 12. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Шуруп А.С. Фундаментальные основы совершенствования пассивных сейсмогидроакустических методов исследования шельфа Арктики// Акустич. журнал. 2021. Т. 67. № 1. С. 72-97.
 13. Rumyantseva O.D., Shurup A.S., Zotov D.J. Possibilities for separation of scalar and vector characteristics of acoustic scatterer in tomographic polychromatic regime // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. 2021. V. 29. № 3. P. 407-420.
 14. Корольков А.И, Князева К.С., Шуруп А.С. Акустическая локация на основе метода тройной корреляции // Известия РАН. Серия физическая. 2022. Т.86. № 1. С. 105- 109.
 15. Shurup A.S. Numerical comparison of iterative and functional-analytical algorithms for

Даю согласие на включение моих персональных данных, приведённых в таблице, в материалы защиты диссертационной работы Ткаченко С.А., а также их размещение на сайте ЮФУ и дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры акустики физического факультета ФГБОУ
ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова», (МГУ имени М.В.
Ломоносова)

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва Ленинские горы,

МГУ имени М.В. Ломоносова Дом 1, строение 2

тел: +7 495 939-16-82

e-mail: info@physics.msu.ru



А. С. Шуруп

И.О. декана
физического факультета МГУ
профессор



В.В. Белокуров