

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.02,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.
Котельникова Российской академии наук, по диссертации на соискание
ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета 06 февраля 2026 г., № 01

О присуждении Симонову Роману Валерьевичу, гражданину России
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация на тему «Развитие оптимальных методов обработки ультразвуковых сигналов» принята к защите 10 октября 2025, протокол №17, диссертационным советом 24.1.111.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, д. 11. корп.7) (приказ Рособрнадзора о создании совета № 2397–1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Симонов Роман Валерьевич, 1992 года рождения, в 2014 году окончил Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта по специальности «Радиофизика и электроника», специализация «Радиофизика», получен диплом специалиста.

В период с 01.09.2014 по 31.08.2018 проходил обучение в аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по специальности 1.3.4 «Радиофизика» и по окончании получил диплом по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель исследователь».

Работает научным сотрудником лаборатории трёхмерной сейсморазведки и обратных задач волновых процессов НИИ прикладной информатики и математической геофизики БФУ им. И. Канта.

Диссертация выполнена в Образовательно-научном кластере «Институт высоких технологий» ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, лаборатория цифровой обработки сигналов.

Научный руководитель: Пахотин Валерий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий» Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта». (Специальность 01.04.03 «Радиофизика»)

Официальные оппоненты:

Парфенов Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики Воронежского госуниверситета, **Егоров Владимир Викторович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник Российского института мощного радиостроения, **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), **в своем положительном отзыве**, подписанном профессором кафедры Радиотехнических систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ» доктором технических наук, профессором Кутузовым Владимиром Михайловичем и учёным секретарём кафедры Радиотехнических систем Пыко С. А., **отметила**, что тема диссертации Р. В. Симонова актуальна, она представляет завершённую научную работу, вносящую существенный вклад в статистическую теорию обработки сигналов, выявляя и предлагая методы компенсации таких явлений, как неоднозначность и сингулярность в решающих функциях. В ходе работы были созданы алгоритмы, позволяющие существенно расширить возможности ультразвуковых систем. Работа обладает значительной научной и практической значимостью, которая заключается в существенном развитии аппарата метода максимального правдоподобия для условий, характерных для ультразвуковых систем. Выполненный соискателем цикл исследований соответствует уровню кандидатской диссертации.

Основные результаты проведенных исследований представлены в 30 работах по профилю диссертации: 3 статьи – в российских рецензируемых периодических изданиях (журналах) из перечня ВАК РФ (по состоянию на 04.02.2026), 9 тезисов докладов – на международных и российских конференциях, 1 – свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составил 13.7 печатных листов. Из них:

1. Симонов, Р. В. Решение задачи обнаружения ультразвуковых сигналов в области их высокой корреляции / Р. В. Симонов, В. А. Пахотин, К. В. Власова // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 30-38.

Краткое описание:

Цель работы: Исследование возможности обнаружения совокупности сигналов в области их высокой корреляции с учетом шумовых сингулярных максимумов.

Методы: Задача раздельного обнаружения сигналов решена на основе метода максимального правдоподобия с подстановкой Хелстрёма и с учетом сингулярных шумовых максимумов. Изложены основы теории, представлены результаты модельных расчетов.

Результаты: Рассмотрен основной фактор, ограничивающий возможность решения задачи. Он связан с сингулярностью корреляционной матрицы, получаемой при решении уравнений правдоподобия. Приведена статистика оценок амплитуд сигналов и

значений шумовых сингулярных максимумов в зависимости от отношения сигнал/шум. Приведены выражения, определяющие дисперсию амплитуд сигналов и дисперсию значений шумовых сингулярных максимумов. Показана структура шумовых сингулярных максимумов в области решений в зависимости от разности времен приема и уровня шума. Предложен метод ограничения области поиска максимума функционала отношений правдоподобия, который существенно улучшает возможности обнаружения сигналов. Представлены результаты модельных расчетов, иллюстрирующие эффективность использования предложенного метода.

Симонов, Р. В. Потенциальные возможности разрешения ультразвуковых сигналов Р. В. Симонов, В. А. Пахотин, И. В. Либман // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2024. Т.17, № 3. С12-20.

Краткое описание:

Цель работы: Оценка потенциальных возможностей обработки ультразвуковых сигналов с учетом сингулярности корреляционной матрицы на основе преобразованной функции правдоподобия.

Методы: Задача разрешения ультразвуковых сигналов решается методом максимального правдоподобия с подстановкой Хелстрема. Вводится относительная дисперсия оценок амплитуд сигналов, на основании которой определяется рабочая область решений. Учитывается сингулярность корреляционной матрицы.

Результаты: Рассмотрена задача разрешения ультразвуковых сигналов методом максимального правдоподобия в области, запрещенной критерием Рэлея. Для исключения неоднозначности решения используется преобразованная за счет подстановки Хелстрема функция правдоподобия. Обсуждаются вопросы разрешения на основе аппаратных функций и на основе статистического подхода к вопросам разрешения сигналов. Вводится относительная дисперсия оценок амплитуд, на основе которой устанавливается рабочая область разрешения двух сигналов, определяемая изменением коэффициента корреляции от 0 до 0.9. Анализируется влияние сингулярности корреляционной матрицы на возможность разрешения сигналов. Рассматриваются шумовые сингулярные максимумы, ограничивающие решение задачи обнаружения, а, следовательно, и разрешение двух или более сигналов. Предлагается метод оценки разрешения двух сигналов с ограничением, позволяющий решить задачу обнаружения сигналов и их разрешения при наличии сингулярных шумовых максимумов.

2. Симонов, Р. В. Технология оптимальной обработки сигналов в области ультразвука с высоким разрешением / Р. В. Симонов, В. А. Пахотин, С. В. Молостова // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 15-23

Краткое описание:

Цель работы: Представление технологии обработки ультразвуковых сигналов с высоким разрешением.

Методы: Базируется на подстановке Хелстрема, исключающей неоднозначность максимизации функции правдоподобия в разрезах по времени приема; показано, что преобразованная функция правдоподобия и функционал отношений правдоподобия в результате подстановки Хелстрема, взаимно дополняя друг друга, позволяют решать статистические задачи в области высокого разрешения сигналов.

Результаты. На основе модельных расчетов представлен результат подстановки Хелстрема, исключающий неоднозначность максимизации функции правдоподобия. Приведены статистики амплитуд и времен приема двух ультразвуковых сигналов в зависимости от отношения сигнал/шум и от разности времен приема. Приведены оценки рабочего диапазона разрешения двух ультразвуковых сигналов и области отношений сигнал/шум, в которой погрешности оценок параметров сигналов не превышают 10 %.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

– Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») от Кутузова В. М. и Пыко С. А. (Замечания.

- В работе используются эволюционные алгоритмы для поиска максимума функционала правдоподобия. Для их практического применения необходимо более детально охарактеризовать их вычислительную сложность и сравнить с реальными возможностями современных процессоров для обработки данных в реальном времени, особенно в многоканальных пространственно-временных системах.
- Предложенный метод подавления сингулярных шумовых максимумов путем введения ограничения на разрешение является эвристическим. Существуют ли теоретические оценки для выбора оптимальной величины этого ограничения в зависимости от параметров сигналов и шума?
- В работе заявлено о решении задачи фильтрации на фоне помех с нормальной плотностью вероятности. Было бы полезно увидеть более развернутое сравнение эффективности предложенного метода с классическими методами адаптивной фильтрации для типовых моделей помех, характерных для ультразвуковых сред (например, гладко окрашенные и многомодальные реверберационные помехи).
- В работе рассматривается задача статистического разрешения – обнаружения – оценивания в трактовке Я.Д. Ширмана. Хотелось бы видеть полное семейство характеристик разрешения - обнаружения предложенного метода обработки, например, для рассматриваемого в диссертации случая разрешения - обнаружения двух сигналов в области их взаимной неортогональности в виде зависимостей

условных вероятностей правильных и ложных решений от отношения сигнал/шум, что позволило бы сделать вывод об эффективности ММП как обнаружителя множественных сигналов при заданной вероятности ложной тревоги.)

- Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» от д.ф.-м.н. Парфенова В. И. (замечания: недостаточно четко конкретизировано, какие именно положения теории оптимального приема были уточнены в работе, помимо концепции сверхразрешения; отсутствует сравнение эффективности предложенных алгоритмов с известными современными методами (например, MUSIC, Annihilating Filter для задач сверхразрешения, режекторная фильтрация для борьбы с помехами); ряд важных выводов (определение "области оценок", "порогового уровня", утверждения о вероятностях ошибок и эквивалентности методов оптимизации) сделаны на основании анализа ограниченного набора данных, что снижает статистическую достоверность.)

- АО Российского института мощного радиостроения от д.т.н. Егорова В.В. (Замечания: недостаточно полно представлен сравнительный анализ предложенного метода с другими современными методами сверхразрешения (на основе разрешения сингулярных значений, адаптивными алгоритмами обработки в антенных решетках и т.п.).

В описании экспериментальных исследований отсутствует развернутая метрологическая характеристика измерительных комплексов (процедуры калибровки, оценка погрешностей, условия экспериментов), что снижает воспроизводимость и убедительность результатов.)

- ФГБОУ ВО Рязанского государственного радиотехнического университета им. В. Ф. Уткина от Ключко В. К. (Замечание: работа ограничена случаем двух сигналов, желательно было бы результаты для трёх или четырёх сигналов.)

- ФГБОУ ВО Рязанского государственного радиотехнического университета им. В. Ф. Уткина от Паршина А. Ю. (Замечания: в автореферате не указаны условия распространения сигналов и виды действующих шумов и помех при проведении моделирования, только утверждается о проведении испытаний в условиях действия помех; описание главы 4 диссертационной работы весьма краткое, что не позволяет оценить корректность сделанных по её результатам выводов.)

- ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» от д-ра техн. наук Носкова В.Я. (Замечания: недостаточно подробно рассмотрены вопросы вычислительной эффективности предложенных алгоритмов, возможности применения эволюционных методов оптимизации и перспективы реализации в реальном времени).

- ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» от канд. техн. наук Жука А.П. (Замечания: сформулированная цель работы ("развитие методов...") не конкретизирует конечный практический результат)

- Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого от д-ра техн. наук Макарова С.Б. (замечание о том, что стоит более подробно осветить, насколько разработанные методы устойчивы к отклонениям от модели, а также о том, что результаты пространственно-временной обработки сигналов нужно представить более полно).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации по диссертации Р. В. Симонова обосновывается тем, что: официальными оппонентами являются ученые широко известные своими достижениями в данной отрасли науки, имеющие многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации –

Доктор физико-математических наук **В. И. Парфенов** является известным специалистом в области современных радиотехнических систем и алгоритмов обработки информации. Его сфера научных интересов сосредоточена на современных задачах радиотехники и связи.

Доктор технических наук **В. В. Егоров** – ведущий специалист АО РИМР, специалист в области радиотехники, радиосвязи, и цифровой обработки сигналов.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»). Университет активно участвует в научных исследованиях, международных проектах и программах академического обмена. Многочисленные работы её сотрудников в области оппонируемой диссертации свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Развиты ключевые положения теории оптимального приёма применительно к решению основных статистических задач радиотехники в области неортогональности ультразвуковых сигналов.

- Усовершенствованы принципы оптимальной обработки простых и сложных ультразвуковых сигналов операторными методами.
- Выявлены и исследованы новые факторы (неоднозначность, сингулярные шумовые максимумы), существенно влияющие на применимость метода максимального правдоподобия для обработки ультразвуковых сигналов в реальных условиях.
- Разработана принципиально новая методика фильтрации ультразвуковых сигналов на фоне помех произвольного типа (ортогональных и неортогональных сигналу).

- Создан новый метод решения задачи обнаружения, основанный на статистике оценок значений преобразованного функционала отношения правдоподобия.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии ключевых положений теории оптимального приёма применительно к решению основных статистических задач радиотехники в области неортогональности ультразвуковых сигналов. **Практическая значимость исследования** состоит в создании алгоритмов программ, позволяющих решать задачи оптимальной обработки сигналов в комплексах аппаратуры.

Личный вклад соискателя Автор лично выполнил следующие ключевые этапы исследования:

1. Разработка основных теоретических положений: Постановка основных задач работы и обсуждение получаемых результатов (теоретических, модельных, экспериментальных) осуществлялись совместно с научным руководителем.
2. Разработка и проведение экспериментов:
 - Разработано специализированное экспериментальное устройство для регистрации ультразвуковых сигналов.
 - Проведены эксперименты по приёму множественных ультразвуковых сигналов в условиях многолучевого распространения и по приёму пространственно-временных сигналов.
3. Разработка алгоритмов и теоретический анализ:
 - Созданы алгоритмы обработки сигналов на основе метода максимального правдоподобия.
 - Проведены масштабные модельные исследования с использованием этих алгоритмов.
 - Получены основные аналитические выражения и соотношения для разработанных методов.
4. Реализация и оптимизация:
 - Реализованы алгоритмы поиска экстремума функционала правдоподобия (включая эволюционные методы).
 - Проведено сравнительное исследование эффективности различных алгоритмов оптимизации.

В ходе защиты диссертации в рамках дискуссии членами диссертационного совета была дана высокая оценка уровню работы и отмечено, что работа вносит существенный вклад в развитие теории и практики оптимальной обработки сигналов.

Соискатель Симонов Р. В. дал исчерпывающие комментарии на вопросы и замечания оппонентов и ведущей организации. Согласился с замечаниями, касающимися оформления текста диссертации и автореферата.

Членами Совета были заданы вопросы: о форме используемого ультразвукового сигнала, о возможностях применения разработанных методов в гидролокации, о случае приёма двух сигналов в противофазе, о

частотной дисперсии при распространении ультразвука и влиянии её на возможности обработки сигнала, о времени, требуемом для обработки сигнала, о поведении фазы сигнала при прохождении через преобразователь и среду, о борьбе со структурным шумом, о требованиях к отношению сигнал/шум для разрешения не ортогональных сигналов, о внедрении предлагаемого метода, о дисперсии оценочных значений при пространственно-временной обработке сигналов, о представлении тематики исследования в российской и зарубежной литературе, о проблемах, ранее препятствовавших применению теории оптимального приёма в области ультразвука, о применении импульсных последовательностей в ультразвуке, о количестве публикаций по теме диссертации.

Ответы соискателя Совет счел удовлетворительными.

Диссертационная работа Симонова Р. В. является законченной научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 824, предъявляемым к диссертациям на соискании ученой степени кандидата наук.

На заседании 06 февраля 2026 г. диссертационный совет за решение важной научной и практической задачи по созданию методов обработки ультразвуковых сигналов в области их неортогональности принял решение присудить Симонову Р. В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 17 человек, из которых 10 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – один.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
академик РАН

Черепенин В.А.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор РАН

Кузьмин Л.В.

06 февраля 2026 г.

Подпись Черепенина В.А,
Кузьмина Л.В. удостоверяю,
Ученый секретарь ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН



(подпись)

/Чусов И.И./
(ФИО)