

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и инновационной деятельности
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)»

д.т.н., профессор

Семенов А.А.

«12» января 2026 г.



ОТЗЫВ ведущей организации

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») на диссертационную работу Симонова Романа Валерьевича «Развитие оптимальных методов обработки ультразвуковых сигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Диссертационная работа Симонова Р.В. посвящена решению важной научной проблемы, находящейся на стыке радиофизики, статистической радиотехники и акустики – развитию теории и практики оптимальной обработки ультразвуковых сигналов на базе метода максимального правдоподобия (ММП) с целью получения высокого разрешения по информативным параметрам, полученного на основе статистической теории оптимального приема и превышающего известный детерминистский предел разрешения по критерию Рэлея.

1. Актуальность темы.

Ультразвуковые технологии являются базовыми для многих областей современной науки и техники, таких как медицинская диагностика, дефектоскопия, гидроакустика и подводная связь. Несмотря на схожесть с радиотехникой с точки зрения решаемых задач (обнаружение, разрешение, оценка параметров), методы обработки ультразвуковых сигналов не всегда соответствуют теории оптимального приема и обработки сигналов. В диссертационной работе Симонова Р.В. обосновано указывается на специфические особенности ультразвука: высокочастотные приемно-излучающие пьезопреобразователи, частотнозависимое затухание при

распространении сигнала, наличие структурного шума и многолучевости в неоднородной среде, которые делают прямое заимствование радиотехнических методов недостаточно эффективным. Из сказанного следует несомненная актуальность предпринятого в работе целенаправленного развития методов оптимального приема применительно к ультразвуковым системам, что придаёт исследованию высокую научную и практическую значимость и будет востребовано во многих приложениях.

2. Соответствие диссертации профилю ведущей организации и паспорту специальности.

Тематика работы полностью соответствует научному профилю СПбГЭТУ «ЛЭТИ», в котором традиционно развиваются фундаментальные и прикладные аспекты радиофизики, статистической теории сигналов и обработки радио- и гидролокационной информации. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.4 «Радиофизика», а именно:

- п. 2 «Разработка новых приборов и методов для изучения линейных и нелинейных процессов излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн...».
- п. 8 «Статистическая радиофизика... теория и методы обработки сигналов и полей, включая задачи фильтрации, обнаружения, оценивания параметров и распознавания образов».

3. Научная новизна и достоверность результатов.

К наиболее существенным результатам, определяющим новизну, относятся:

- *Развитие методологии метода максимального правдоподобия (ММП).* Предложен и исследован преобразованный функционал правдоподобия с подстановкой Хелстрема, что позволило устранить неоднозначность решений и сделать метод работоспособным в задачах приема множественных сигналов.

- *Критический анализ классических методов приема акустических сигналов.* Подтверждена ограниченность классических методов спектрально-корреляционной обработки и согласованной фильтрации, оптимальных лишь для случая приема одиночных сигналов на фоне аддитивных дельта-коррелированных гауссовых шумов. Показана их непригодность при приеме акустических сигналов в слоистых и диспергирующих средах, порождающих многотрассовое распространение сигналов.

- *Выявление и подавление сингулярных шумовых максимумов.* Обнаружено и исследовано фундаментальное явление сингулярных шумовых максимумов на поверхностях тела правдоподобия при наличии нескольких сигналов, которое ранее не находило должного освещения в литературе. Предложен оригинальный метод ограничения разрешения для их подавления.

- *Найдено решение комплексной задачи обнаружения-оценивания-разрешения* в трактовке Я.Д. Ширмана для случая двух сильно коррелированных сигналов, включая разработку алгоритма, различающего четыре альтернативные гипотезы.

Достоверность результатов обеспечивается строгим использованием аппарата теории оптимального приема, проведенным математическим моделированием в частных предельных случаях, а также натурными экспериментами на созданных автором макетах. Согласование полученных результатов моделирования, эксперимента и теоретических предсказаний свидетельствует о достоверности выводов.

4. Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость заключается в существенном развитии аппарата ММП для условий, характерных для ультразвуковых систем, в частности, для области неортогональности сигналов. Работа вносит вклад в статистическую теорию обработки сигналов, выявляя и предлагая методы компенсации таких явлений, как неоднозначность и сингулярности в решающих функциях.

Практическая значимость заключается в разработке методов и алгоритмов, позволяющих существенно повысить разрешающую способность ультразвуковых систем во многих приложениях, связанных с пространственно-временной обработкой сигналов, в том числе, гидроакустике, сейсморазведке, медицинской диагностике, дефектоскопии и неразрушающем контроле.

Разработанные алгоритмы и программное обеспечение апробированы и готовы к внедрению в промышленные и исследовательские системы.

5. Соответствие критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация представляет собой завершенное научное исследование. Соискателем лично получены основные научные результаты, разработаны алгоритмы, проведены компьютерные и натурные эксперименты. Объем и

содержание работы, количество и качество публикаций (3 статьи в журналах ВАК, 27 работ в трудах конференций) полностью соответствуют требованиям Положения о присуждении ученых степеней.

6. Критические замечания и вопросы.

Несмотря на высокий уровень работы, в ходе ознакомления возник ряд вопросов, на которые соискателю целесообразно осветить на защите:

- 1) 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.
- 2) 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?
- 3) 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).
- 4) 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.

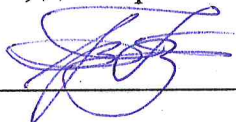
Указанные замечания носят конструктивный характер и ни в коей мере не умаляют общей высокой оценки работы, а лишь указывают на направления для дальнейших исследований.

Заключение.

Диссертационная работа Симонова Романа Валерьевича «Развитие оптимальных методов обработки ультразвуковых сигналов» является самостоятельным, законченным и актуальным научным исследованием, вносящим существенный вклад в теорию и практику обработки сигналов. Выполненный соискателем цикл исследований несомненно соответствует уровню кандидатской диссертации, Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации. Публикации в рецензируемых журналах и трудах авторитетных конференций подтверждают научную ценность полученных результатов.

Диссертационная работа Симонова Романа Валерьевича соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Отзыв составил профессор кафедры Радиотехнических систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ», доктор технических наук, профессор



Кутузов Владимир Михайлович.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры Радиотехнических систем 22 декабря 2025 года, протокол №10.

Ученый секретарь кафедры Радиотехнических систем



Пыко С.А.

Полное наименование организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)».

Адрес: 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, литера Ф.

Телефон: (812) 234-05-96, **Сайт организации:** <https://etu.ru>