



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

д.т.н., профессор



Ю.Л. Леохин

« ____ » июня 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» на диссертацию Царика Владимира Игоревича на тему «Разработка алгоритмов пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов в глобальных навигационных системах», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

1. Актуальность темы исследования.

Трудно переоценить ту роль, которую играют глобальные системы спутниковой навигации в жизни современного человека. Использование данных средств навигации в наши дни имеет место во всех областях человеческой деятельности, в том числе — в критически важных. Одновременно с широчайшим распространением спутниковые навигационные системы обладают весьма низким запасом помехоустойчивости. Это обуславливается чрезвычайно низким уровнем мощности сигналов данных систем, имеющим место при их приёме вблизи земной поверхности, а также участвовавшими в последние десятилетия случаями глушения средств спутниковой навигации даже с использованием маломощных устройств постановки помех. Особенно злободневной является

проблема частых инцидентов глушения сигналов отечественной спутниковой навигационной системы «ГЛОНАСС».

Наиболее эффективным способом борьбы с глушением навигационных спутниковых сигналов является использование адаптивных антенных решёток, осуществляющих пространственную обработку в навигационной аппаратуре потребителей. Их применение позволяет добиться наибольших значений характеристик подавления помех среди всех известных способов повышения помехоустойчивости спутниковых навигационных систем. При этом в данной области на сегодняшний день остаётся достаточно много открытых вопросов, касающихся дополнительного повышения эффективности методов пространственной обработки, а также связанных с ними алгоритмов, использующих при фильтрации временные и частотные степени свободы адаптивных антенных решёток.

Учитывая всё вышесказанное, можно констатировать высокую актуальность темы диссертационной работы Царика В. И. и решаемой в ней научной задачи.

2. Новизна исследований и полученных результатов.

Научная новизна результатов диссертации Царика В. И. обуславливается следующим:

1. Автором получена новая формула выборочной аппроксимации эрмитовых циркулянтных корреляционных матриц входных сигналов кольцевых антенных решёток, пригодная для применения при построении весовых коэффициентов пространственных компенсаторов помех.

2. Автором предложен новый модифицированный алгоритм обращения эрмитовых тёплицевых матриц, имеющий пониженную вычислительную сложность по сравнению с другими алгоритмами, который можно использовать при вычислении коэффициентов пространственных фильтров.

3. Автором разработан комплекс алгоритмов пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов в частотной области, включающий в себя новые методы получения информации о специфической и постоянно изменяющейся помеховой обстановке.

4. Автором предложен новый аппаратно-программный комплекс обработки спутниковых навигационных сигналов, обеспечивающий корректное решение задачи позиционирования в условиях одновременного

воздействия на навигационный приёмник нескольких некоррелированных энергетических помех.

3. Практическая и теоретическая значимость.

Практическая значимость полученных в диссертационной работе результатов заключается в возможности их достаточно широкого применения при проведении работ исследовательского и конструктивного характера по построению и испытанию устройств помехозащищённой навигации, измерению обеспечиваемых ими характеристик повышения помехоустойчивости, а также при разработке и проверке имитационных моделей соответствующих устройств и окружающих их сигнально-помеховой обстановки.

Теоретическая значимость результатов диссертации Царика В. И. заключается в проведённых автором модификациях известных алгоритмов выборочного приближения циркулянтных корреляционных матриц, обращения эрмитовых тёплицевых матриц, пространственной обработки в частотной области и пространственно-временной фильтрации, а также методов определения количества источников энергетических помех и относительных угловых направлений на них, в результате которых автором были получены соответствующие новые формулы, алгоритмы и их комплексы.

4. Обоснованность и достоверность.

Обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждается применением при их получении проверенного и обоснованного математического аппарата, результатами имитационного моделирования и натурных экспериментов, обсуждением со специалистами на российских и международных научных конференциях. Всего автором сделано 8 докладов на научных конференциях, среди которых «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики» (Санкт-Петербург, 2021, 2022 г.), «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, 2022, 2024 г.), «Технологии информационного общества» (Москва, 2022 г.), «2023 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications» (Москва, 2023 г.) и «IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)» (Батуми, Грузия, 2023 г.; Ереван, Армения, 2024 г.). Также достоверность результатов работы подтверждается их публикацией в статьях в рецензируемых научных журналах. Всего по теме диссертации автором опубликовано 4 статьи в

журналах из перечня ВАК и 3 — в изданиях, индексируемых системой Scopus. Другие научные труды, опубликованные автором по теме работы, включают в себя 5 статей в сборниках трудов конференций, индексируемых в РИНЦ, 4 отчёта о научно-исследовательской работе и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Результаты и выводы, полученные в ходе диссертационных исследований, рекомендуется использовать в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, направленных на проектирование и испытание устройств помехозащищённой спутниковой навигации, а также комплексов таких устройств и сопутствующей аппаратуры и программного обеспечения. К таким результатам относятся предложенные в диссертации алгоритмы пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов, дополнительные методы понижения сложности вычислений и получения информации о помеховой обстановке, а также предложения по практической реализации методов пространственной компенсации помех.

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы в научно-исследовательских организациях и предприятиях, разрабатывающих технические средства, обеспечивающие повышение помехоустойчивости спутниковой навигационной аппаратуры, в частности, в ООО «Специальный технологический центр» (г. Санкт-Петербург), АО «НПП «Радар ММС» (г. Санкт-Петербург), госкорпорация «Роскосмос» (г. Москва), госкорпорация «Росатом» (г. Москва), Военная академия связи (г. С.-Петербург), Военный университет радиоэлектроники (г. Череповец).

6. Общая характеристика работы.

Диссертация Царика В. И. представляет собой 185 страниц машинописного текста, состоящего из введения, 4 глав, заключения списков литературы, рисунков и таблиц, а также 2 приложений. Диссертационная работа написана понятным литературным языком, выдержан научный стиль повествования. Тема диссертационной работы соответствует пунктам 3, 5, 6 и 8 паспорта специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. Автореферат соответствует диссертации и в достаточной мере отражает её содержание и результаты. Оформление диссертации и автореферата полностью соответствует ГОСТ Р 7.0.11–2011.

Вместе с несомненными положительными сторонами диссертационного исследования, следует также отметить и следующие его **недостатки**:

1. На протяжении всей работы приводятся результаты моделирования алгоритмов фильтрации в среде MATLAB, однако нигде не указаны использованные при моделировании разрядности данных и соответствующих вычислений, что затрудняет понимание близости построенных моделей к более низкоуровневым программным реализациям, в том числе, используемым в реальных устройствах.

2. В главе 2 автор приводит полученные им в ходе моделирования характеристики быстродействия алгоритмов обращения матриц, в том числе время работы алгоритмов. Однако диссертация не содержит описания значений времени работы подобных алгоритмов на конкретной элементной базе, характерных для решаемой задачи. Данный недостаток препятствует сравнению полученных результатов с цифрами, имеющими место на практике, и затрудняет понимание границ применимости предложенных методов.

3. Представляется недостаточно обоснованным выбор конкретных метаэвристических алгоритмов оптимизации функций в главе 3 (методы роя частиц и салпы) и их предпочтение иным алгоритмам данного класса.

4. В работе не рассмотрен большой класс алгоритмов пространственной обработки, основанных на различных градиентных методах оптимизации, которые достаточно широко исследованы в литературе и отсутствует должное обоснование выбора только прямых методов адаптации.

5. Глава 4 не содержит подробного анализа построенного аппаратно-программного комплекса на предмет скорости сходимости процесса адаптации (построения весовых коэффициентов фильтра) и соответствующих динамических возможностей относительно, например, допустимой скорости перемещения комплекса, его работоспособности при установке на транспортном средстве и так далее.

Указанные недостатки не снижают общего высокого качества выполненной работы.

7. Заключение.

Диссертационная работа Царика В. И. «Разработка алгоритмов пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов в глобальных навигационных системах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведённых автором исследований изложены новые обоснованные решения в перспективной

практической области, имеющие значение для развития отечественной науки и техники.

Работа соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, перечисленным в пп. 9–14 актуальной редакции Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 "О порядке присуждения учёных степеней". Автор диссертации Царик Владимир Игоревич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Отзыв ведущей организации заслушан и утвержден на расширенном заседании кафедры «Радиотехнические системы» (протокол № 7 от 03 июня 2025 г.).

Отзыв подготовил заведующий кафедрой «Радиотехнические системы»
доктор технических наук, профессор



Чиров Денис Сергеевич

« 3 » июня 2025 г.