

Отзыв
официального оппонента
доктора технических наук, профессора
Григорьева Владимира Александровича
на диссертационную работу Царика Владимира Игоревича,
выполненную 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 определяется новыми условиями работы навигационных автономных приемников (НАП) Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (ГНСС), связанными с воздействием помех в рабочей полосе радиочастот. Наличие помех приему сигналов ГНСС в НАП способно не только увеличить погрешность, но и привести к невозможности измерения местоположения, что во многих ситуациях недопустимо. Ситуация усугубляется постановкой пространственно-распределенных по направлению прихода преднамеренных помех. Необходимость решения задачи местоопределения с наперед заданной погрешностью в таких условиях говорит об актуальности повышения помехоустойчивости приема за счет устранения помех благодаря применению средств подавления помех на входе НАП.

Поэтому задача разработки и применения алгоритмов подавления помех пространственными фильтрами на входе НАП является актуальной.

Существует ряд способов повышения помехоустойчивости приема сигналов на фоне пространственно-распределенных помех, которые приводят к снижению мощности помеховых сигналов на входе приемника за счет обработки в пространственной, временной, поляризационной и частотной областях. В силу ярко выраженных различий в направлении прихода полезных радионавигационных сигналов и помех правильным представляется

концентрация усилий автора на пространственных способах обработки сигналов (ПОС). Учитывая неопределенность направлений прихода преднамеренных помех особую актуальность, приобретает направление адаптивной обработки сигналов на фоне помех.

Прямое применение методов пространственной обработки сигналов не позволяет построить системы подавления помех, учитывающие специфику ГНСС. Поэтому автору потребовалось исследование возможностей приспособления существующих алгоритмов адаптации к особенностям динамики ГНСС и пространственного распределения сигналов и помех. Решение такой задачи позволяет расширить сферу применения ГНСС на условия воздействия классов пространственно-распределенных помех в пределах допустимой погрешности измерения местоположения НАП, в составе которого использованы устройства пространственной обработки сигналов (ПОС). Автором выбраны способы непосредственного обращения матрицы в качестве базовых, так как именно они нацелены на учет условий динамики помеховой обстановки. Поставленная в работе задача повышения скорости адаптации за счет применения специальных алгоритмов обращения корреляционной матрицы является следствием необходимости учета скорости изменения сигнально -помеховой обстановки.

Поэтому диссертационная работа Царика В. И. посвящена важной и актуальной теме создания алгоритма пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов на фоне помех с неизвестными направлениями прихода обладает высокой практической значимостью, так как позволит использовать ГНСС в условиях преднамеренных помех с сохранением функций измерения координат в пределах заданной погрешности с учетом динамики помеховой обстановки.

2. Общая характеристика работы. Диссертация представлена на 185 страницах машинописного текста и содержит введение, 4 главы, заключение, списки сокращений, литературы, рисунков и таблиц, а также 2 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформирована цель, поставлена научная задача, определены объект и предмет исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту, степень достоверности, сведения о публикациях, апробации и реализации результатов работы.

В первой главе приведены сведения о существующих ГНСС, используемых в них видах сигналов, типов и характеристик помех, влияющих на показатели функционирования ГНСС, а также рассмотрены показатели эффективности пространственной обработки сигналов в ГНСС.

Во второй главе предложены способы аппроксимации корреляционных матриц входных сигналов пространственных фильтров матрицами специального вида и получено выражение для аппроксимации циркулянтных матриц в случае кольцевых антенных решеток снижающие риск плохой обусловленности. Получены новые модифицированные алгоритмы обращения теплицевых матриц на основе алгоритма Барайса, упрощающие вычислительные процедуры пространственной обработки сигналов в ГНСС.

Третья глава посвящена методам пространственной обработки сигналов в частотной области. В главе получены различные алгоритмы пространственной обработки, справедливые для разного объема априорной информации относительно параметров сигнально-помеховой обстановки, а также дополнительные алгоритмы оценки неизвестных параметров помех, позволяющие увеличить эффективность пространственной обработки за счет определения количества помех и углов прихода.

В четвертой главе представлен предлагаемый в диссертации аппаратно-программный комплекс, реализующий алгоритм пространственно-временной обработки сигналов в ГНСС, и проведено его исследование путем имитационного моделирования и экспериментальной практической реализации на ПЛИС. Макет НАП с ПОС может быть использован в качестве образца для серийной реализации.

В заключении сформулированы основные результаты исследований и приведены общие выводы и рекомендации по диссертационному исследованию.

Текст диссертации оформлен в соответствии с существующими требованиями, написан хорошим языком с соблюдением научного стиля изложения, диссертация логично структурирована, каждый последующий раздел является логическим продолжением предыдущего раздела.

Представленный автореферат соответствует диссертации и позволяет получить достаточно полное представление о её содержании и результатах. Все основные научные положения и выводы, приведённые в диссертации, получены автором лично.

3. Анализ положений, выносимых на защиту. Основные положения, выносимые автором на защиту, в полной мере отражают научно-техническую новизну и значимость результатов работы и в достаточной степени обоснованы в ходе исследований.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, следует из использования адекватных и широко известных математических методов статистической радиотехники и линейной алгебры и подтверждается опубликованными автором научными работами и апробацией материалов перед научной общественностью. По теме исследования автором опубликовано 18 научных трудов, среди которых 4 — в журналах из перечня ВАК, 3 — в изданиях, индексируемых в МБЦ Scopus, 5 — в сборниках трудов конференций, индексируемых в РИНЦ, а также 4 отчёта о научно-исследовательской работе и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Обоснованность результатов работы дополнительно подтверждается тем, что они лично докладывались автором и обсуждались со специалистами на российских и международных научно-практических конференциях, среди

которых такие как «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.).

5. Научная новизна работы заключается в том, что автором впервые использованы новые оригинальные методы выборочного приближения и численного обращения корреляционных матриц входных сигналов компенсаторов помех с антенными решётками особой пространственной конфигурации, а также комплекс новых алгоритмов пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов в частотной области и дополнительных алгоритмов оценки параметров помеховой обстановки.

6. Достоверность результатов, приведённых автором в диссертационной работе, подтверждается корректным использованием известных теоретических результатов, а также воспроизводимостью и непротиворечивостью полученных результатов.

7. Практическая и теоретическая значимость. Практическая значимость результатов работы заключается в возможности их применения в опытно-конструкторских и научно-исследовательских проектах в области помехозащищённой спутниковой навигации, в частности, при решении задач имитационного моделирования и исследования поведения значений характеристик качества работы соответствующих устройств. Практическая ценность работы подтверждается полученными актами о внедрении её результатов и подготовленными отчётами о научно-исследовательской работе.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в разработке новых методов пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов, в частности, формулы выборочной аппроксимации циркулянтных

эрмитовых корреляционных матриц входных сигналов фильтров, метода обращения таких матриц с пониженной вычислительной сложностью, алгоритмов, составляющих комплекс методов пространственной обработки в частотной области с учётом информации о помеховой обстановке, а также модели пространственно-временной обработки в рамках аппаратно-программного комплекса помехозащищённого позиционирования.

8. Замечания по содержанию работы. По содержанию работы можно высказать следующие замечания:

1. В первой главе целесообразно было бы за основной показатель качества обработки принять погрешность измерения координат НАП в условиях преднамеренных помех, так как цель обработки заключается в расширении области работоспособности ГНСС на сценарии, включающие наличие пространственно-распределённых помех.

2. Необходимо было бы более подробно описать модели, абсолютную и относительную динамику как полезных сигналов, так и помех, так как от нее зависят требования к ПОС, а также определить пространственную модель функционирования ГНСС на фоне помех, а также пределы изменений параметров сигналов и помех. Отсутствие таких данных затрудняет понимание границ применимости ПОС в построенной модели функционирования ГНСС.

3. В работе приведены оценки устойчивости алгоритмов обращения Левинсона и Барайсса, однако не показана методика оценки устойчивости, что затрудняет понимание сделанного автором вывода.

3. В работе приведен пример реализации ПОС на основе конкретной реализации SDR устройства с 12 разрядным АЦП/ЦАП. Однако не ясно какое влияние оказывает ограничение разрядности на качество обработки. В частности, целесообразно было бы провести оценку влияния разрядности на погрешность измерения координат и коэффициент подавления помехи.

4. В работе приведены сведения о динамике обработки по алгоритму Барайсса для разного количества антенных элементов, однако интерес

представляет практический результат функционирования НАП в условиях помех и применения предложенного алгоритма на примере записанных реализаций сигнально-помеховой обстановки для кольцевой АР.

5. Не совсем ясно почему автор остановился на использовании метода Кейпона при решении задачи спектрального пространственного анализа при определении количества помех, так как на практике используется множество других методов. Сравнение методов спектрального анализа для конкретной структуры антенной решетки позволило бы снять этот вопрос.

Отмеченные недостатки не снижают общей высокой положительной оценки диссертационной работы В. И. Царика.

9. Соответствие научной специальности. Работа В. И. Царика соответствует пунктам 3, 5, 6 и 8 паспорта специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

10. Заключение. Диссертация Царика Владимира Игоревича «Разработка алгоритмов пространственной обработки спутниковых навигационных сигналов в глобальных навигационных системах» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи. Результаты диссертации в достаточной мере отражены в публикациях, имеют явную новизну, а также теоретическую и практическую значимость. Диссертация полностью соответствует требованиям к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, указанным 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.

Официальный оппонент

Григорьев Владимир Александрович

Доктор технических наук (специальность 20.02.14 Вооружение и военная техника), профессор по кафедре беспроводных телекоммуникаций, генеральный директор ООО «ЛИС», действительный член - президент Санкт-Петербургского (Северо-Западного) отделения Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова (АИН).

Контактный телефон: +7 921 958-93-33, e-mail: vgrig@rdnet.ru

Наименование организации: Общество с ограниченной ответственностью «Лаборатория инфокоммуникационных сетей» (ООО «ЛИС»)

Адрес организации: 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Сердобольская, д. 65, лит. А., офис 601

Телефон: +7(812)404-54-06

E-mail: info@labics.ru

02.06.2025

Подпись Владимира Александровича Григорьева заверяю:

Инспектор по кадрам ООО «Лаборатория инфокоммуникационных сетей»



И.А. Ермолинская