

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора по науке,
инновациям и цифровизации
ФГБОУ ВО «ВГУ»



Д.В. Костин

ноября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

на диссертационную работу

Чуманкина Юрия Евгеньевича

*«Методы повышения точностных характеристик пассивных систем
моноимпульсной пеленгации в условиях неопределённости параметров
антенных систем»,*

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Актуальность темы диссертации

В настоящее время ведётся активная разработка новых спутниковых систем связи, актуальной проблемой для которых является определение местоположения абонентов в условиях, когда технологии глобальных навигационных спутниковых систем неприменимы (в сложной помеховой обстановке, либо в арктической зоне). Решение данной задачи необходимо, в частности, для точного наведения антенны абонентского терминала на космический аппарат для максимизации отношения сигнал / шум или установления временной синхронизации между терминалом и космическим аппаратом. При этом экономически целесообразно обеспечить попадание абонентского терминала в область видимости только одного космического аппарата. Диссертационная работа Ю.Е. Чуманкина посвящена разработке вычислительно-эффективных алгоритмов решения задачи пассивной пеленгации источника радиоизлучения в сложных условиях на основе анализа данных многолучевой антенной системы, размещенной на космическом аппарате.

Использование космического сегмента обуславливает повышенные требования к устойчивости алгоритмов к высокому уровню шумов и их общей точности. Ключевой аспект работы связан с учётом критических факторов, определяющих погрешность пеленгации, среди которых – деформация антенной системы, особенности распределения вероятности значений амплитуды шума и

возникновение статистически редких результатов с аномально большими ошибками. Актуальность решаемой в диссертационной работе алгоритмом не вызывает сомнений.

Анализ содержания диссертации

Диссертация имеет общий объем 131 страницу, состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 122 источника, содержит 32 иллюстрации.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели, задачи исследования и основные положения, выносимые на защиту, приведено краткое изложение содержания диссертации.

В первой главе представлен и исследован новый метод уточнения диаграммы направленности антенны с учетом деформации ее рефлектора. Рассмотрены теоретические основы антенных систем и проведен анализ методов расчета диаграмм направленности. Проанализированы существующие методы коррекции диаграмм направленности в реальном времени, которые оказались неприменимы для данной задачи, в связи с тем, что их использование значительно усложняет конструкцию антенной системы. Рассмотрены телеметрические системы, предоставляющие данные о деформации рефлектора антенны через его аппроксимацию вписанным параболоидом.

Основное содержание главы составляет разработка оригинальной методики, основанной на ключевом предположении: при малых деформациях рефлектора антенны форма диаграммы направленности меняется незначительно (с точки зрения решения задачи пеленгации), но существенно смещаются направления её главных максимумов. Это смещение в работе предложено аппроксимировать квадратичной формой от вектора геометрических параметров вписанного параболоида.

Проверка методики проводилась численным моделированием, на примере параболической антенны с заданными параметрами. Результаты численных экспериментов показали, что предложенный метод обеспечивает существенное повышение точности пеленгации по сравнению с подходами, не учитывающими деформации рефлектора.

Во второй главе выявлены основные проблемы пеленгации с использованием космического сегмента, разработан и исследован новый алгоритм пеленгации, учитывающий ненулевое среднее значение амплитуды шума в принимаемых сигналах. В качестве базового алгоритма, с результатами работы которого выполнено сравнение, выбран оптимизационный алгоритм, как наиболее точный и учитывающий особенности реальных диаграмм направленности антенных систем.

Основное содержание главы составляет разработка оригинального алгоритма, который сводит задачу пеленгации к решению системы нелинейных уравнений с использованием функций рассогласования. Исследованы три типа функций рассогласования: суммарно-разностное квадратичное, косинусное и расстояние Кульбака-Лейблера. Установлено, что косинусное рассогласование обеспечивает наилучшую точность пеленгации при различных отношениях сигнал / шум. Для повышения эффективности оригинального алгоритма предложено помимо пеленга оценивать среднее значение амплитуды шума. На основе аналитической

минимизации косинусного рассогласования выведено выражение для оценки параметра шума, что позволило сократить размерность решаемой системы уравнений. Сравнительный анализ показал, что модифицированный алгоритм с аналитической оценкой амплитуды шума является наиболее предпочтительным при ограниченных вычислительных ресурсах.

В третьей главе систематизированы особенности пеленгационных алгоритмов, заключающиеся в периодическом появлении явно неверных результатов пеленгации (выбросов). Проведён анализ существующих методов обнаружения выбросов, в результате которого выявлены ключевые проблемы, ограничивающие их практическую применимость. Большинство известных методов уменьшения влияния выбросов основаны на различных способах исключения их из общего рассмотрения. Однако при этом возникает риск ошибочного отбрасывания верных измерений. Проведенное в работе исследование распределения энтропии амплитуд сигналов подтверждает корреляцию между возникновением выбросов и направлениями, соответствующими боковым лепесткам диаграммы направленности антенной системы. В главе предложен и исследован оригинальный алгоритм, использующий дополнительную априорную информацию. Его отличительными особенностями являются использование энтропии амплитуд сигналов на входе алгоритма и введение параметра доверия, аппроксимируемого нейронной сетью на основе данных о положении пеленга и его погрешности. Реализация данного подхода позволяет исключать из обработки сигналы, идентифицированные как выбросы, что в итоге приводит к снижению результирующей погрешности пеленгации.

Научная новизна и достоверность

Научная новизна исследования заключается в создании алгоритма пеленгации, который за счет учета нескольких факторов превосходит по точности классические аналоги. В число рассматриваемых факторов входят смещение направлений на главные максимумы диаграммы направленности; наличие ненулевого среднего значения амплитуды шума; использование данных, приводящих к неудовлетворительному по точности результату.

Предложен вычислительный алгоритм, позволяющий в близком к реальному масштабе времени учесть изменение параметров диаграммы направленности, обусловленное деформацией рефлектора и элементов крепления антенной системы, что позволяет отказаться от методов их механической компенсации. Поскольку для задачи пеленгации определяющий вклад вносит направление на главный максимум диаграммы направленности, оценка изменения указанного направления производится оригинальным алгоритмом по шести параметрам, приближённо описывающим деформацию рефлектора.

Для этапа определения пеленга на источник радиоизлучения также разработан адаптивный оптимизационный алгоритм, в котором одновременно с расчетом пеленга, в процессе вычислений оценивается и средний уровень шума в

принимаемом сигнале, что позволяет существенно повысить точность пеленгации. В общем случае введение дополнительного параметра оптимизации повышает вычислительную сложность задачи. Достоинство разработанного алгоритма заключается в частичной аналитической оптимизации рассматриваемой функции невязки по параметру среднего значения шума, что обеспечивает повышение точности пеленгации по сравнению с классическим оптимизационным алгоритмом при сохранении аналогичной вычислительной сложности.

В работе предложен оригинальный критерий, обработка которого позволяет с высокой вероятностью предсказать будет ли ошибка пеленга, полученного для заданных входных данных, аномально большой вследствие многоэкстремальности оптимизируемого функционала рассогласования.

Комплексное использование разработанных алгоритмов позволяет существенно снизить погрешность определения пеленга. Достоверность научных положений подтверждается результатами сравнения с существующими подходами к рассматриваемым задачам, разработанными другими авторами и проведенным компьютерным имитационным моделированием.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность результатов, представленных в диссертации, не вызывает сомнений. Обоснованность результатов диссертационного исследования основана на использовании современных методов статистической радиофизики и теории цифровой обработки сигналов.

Основные результаты опубликованы в 3 статьях в журналах, включенных в перечень ВАК, и обсуждались на всероссийских и международных конференциях.

Оценка научной и практической ценности диссертации, рекомендации по использованию результатов

Научная и практическая ценность работы заключается в разработке алгоритмических решений, которые позволяют преодолеть одно из ключевых ограничений существующих подходов – усложнение аппаратной части космического сегмента. Предложенные методика и алгоритмы обеспечивают заданную точность пеленгации для систем космического базирования исключительно за счёт совершенствования математического и программного обеспечения, демонстрируя при этом более высокую эффективность по сравнению с иными известными программными модификациями.

Результаты, полученные в диссертационной работе, целесообразно использовать при разработке однопозиционных спутниковых систем определения местоположения источника излучения, а также при разработке спутниковых систем связи. Результаты работы представляют интерес для научно-исследовательских учреждений, таких как АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО ИСС им. М.Ф. Решетнева, г. Железногорск),

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва (СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск), ФГБОУ ВО Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ФГБОУ ВО «ТУСУР», г. Томск), Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ, г. Москва).

Замечания

В целом диссертация заслуживает высокой оценки, но вместе с тем она не лишена недостатков, а именно:

1. В диссертации рассматривается пеленгация абонента на стороне космического аппарата. При этом делается предположение, что в один момент времени в эфире находится только один абонент. С учётом ширины области видимости космического аппарата реализация такого предположения видится маловероятной, в связи с чем следует уточнить каким образом выделяется сигнал одного абонента (источника излучения).

2. В третьей главе диссертации вводится новый параметр доверия, описываемый выражением (113, стр. 107), которое включает в себя погрешность и значение пеленга. Однако в процессе работы алгоритма до решения задачи пеленгации эти параметры неизвестны. В работе приведено недостаточно подробное объяснение каким образом появляется возможность выполнить оценку параметра доверия без знания пеленга и погрешности пеленга.

3. В описании численных экспериментов по сравнению вычислительной эффективности различных алгоритмов пеленгации не приведены сведения по обеспечению одинаковых условий их проведения.

4. В ряде формульных выражений отсутствуют пределы изменения индексов суммирования.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки представленной работы.

Заключение

Диссертация Чуманкина Ю.Е. является законченной научно-квалификационной работой, содержит решение научных задач, актуальных для радиофизики, связанных с разработкой новых методов анализа и обработки сигналов в условиях помех в области перспективных систем связи и навигации. Представлены алгоритмы оценки смещения главных максимумов диаграммы направленности, обусловленные деформацией рефлекторной антенны; алгоритмы оценки пеленга источника радиоизлучения и оценки достоверности результата пеленгации в сложных условиях.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Автореферат диссертации и публикации по теме диссертации в полной мере отражают ее положения, выводы и рекомендации.

Диссертационная работа Чуманкина Ю.Е. «Методы повышения точностных

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры радиофизики физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» 12 ноября 2025 г. (протокол № 8).

Заведующий кафедрой радиофизики
физического факультета ФГБОУ ВО «ВГУ»
доктор физико-математических наук
(01.04.03 – Радиофизика),
доцент,
Телефон: 8-908-146-35-68
E-mail: korchagin@phys.vsu.ru

 Ю.Э. Корчагин



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

Подпись: И.И. Корытченко

заверяю _____
начальник отдела кадров
должность,
Т.В. Зарудная 2018 20
подпись, расшифровка подписи

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.vsu.ru>