

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина»

доктор физико-математических наук, доцент

Германенко А.В.



23» 05 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Павлова Ивана Дмитриевича «Влияние неидентичности характеристик спиральных антенн миллиметрового диапазона на ошибки пеленгации фазовым методом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ – устройства и их технологии»

Актуальность темы диссертационной работы.

Пассивные системы пеленгации широко применяются в радионавигации и радиомониторинге. Использование таких устройств в системах безопасности объектов накладывает особые требования к их тактико-техническим характеристикам. В системах, использующих фазовый метод пеленгации, критичным является идентичность каналов приема, неотъемлемой частью которых являются антенны. Анализ способов обеспечения идентичности характеристик антенн является актуальной задачей, поскольку позволит разработать конструкторские и технологические рекомендации по снижению ошибок фазового пеленгатора как на этапе разработки, так и на этапе тестирования образцов антенн. Выбранная тема является актуальной для повышения эффективности работы радиотехнических комплексов.

Содержание диссертации.

Во введении сформулирована цель диссертационного исследования и определены задачи, решение которых необходимо для ее достижения. Также обоснована актуальность темы исследования и приведена информация о внедрении и апробации результатов работы.

В первом разделе сделан литературный обзор, в котором рассмотрены типы моделей антенн, оценена их применимость для достижения цели диссертационного исследования. Среди рассмотренных моделей выделена матричная, как наиболее применимая для достижения поставленной цели, поскольку такой тип модели достаточно универсален и подходит для описания характеристик излучения.

Во втором разделе подробно рассматривается матрица рассеяния антенны, раскрывается физический смысл составляющих ее коэффициентов. Рассматриваются особенности формирования указанной матрицы и предлагается вариант записи матрицы, который может быть получен в результате практических измерений. Кроме того, предложен способ сравнения однотипных антенн, позволяющий количественно определить их неидентичность. Указанный способ состоит в сравнении соответствующих антеннам матриц рассеяния. Для сравнения матриц предлагается использовать L нормы.

Третий раздел посвящен разработке широкополосной антенны миллиметрового диапазона и исследованию ее характеристик. Проведен выбор и выполнено обоснование типа излучающей структуры, а также согласующего и симметрирующего устройств. Проведено электродинамическое моделирование предложенной антенны, по результатам которого были изготовлены образцы для экспериментальных исследований. Выполнены практические измерения характеристик антенн, которые подтвердили результаты моделирования.

Четвертый раздел посвящен исследованию влияние неидентичности характеристик спиральной антенны миллиметрового диапазона на ошибки пеленгации фазовым методом. Предложен способ снижения ошибок пеленгации, состоящий в подборе идентичных антенн по наименьшей абсолютной разности L норм соответствующих им матриц рассеяния. Рассмотрены вопросы оптимизации конструкции разработанной антенны, которая состоит в экспериментальном определении положения спирального излучателя в корпусе. В результате проведенных исследований показано, что наилучшим является размещение спирального излучателя на одном уровне с краем проводящего корпуса. Указанный вариант сравнивался с исходным в части влияния на ошибки пеленгации. Проведенное сравнение показало, что применение антенн с оптимизированным положением плоского спирального излучателя позволяет снизить ошибки пеленгации относительно случая применения исходного варианта размещения излучателя.

В заключении приведены выводы, в которых содержатся основные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций.

1. Предложен метод сравнения характеристик излучения антенн на основе использования матрицы рассеяния, полученной сравнением поля в сечении входного порта антенны и измеренных комплексных значений коэффициентов отражения и передачи на двух ортогональных поляризациях. Степень идентичности антенн определяется на основе нахождения абсолютной разности L норм, соответствующих этим антеннам матриц рассеяния.

2. Для снижения ошибок пеленгации автором предложено формировать антенную систему фазового пеленгатора путем подбора антенн по принципу наименьшей абсолютной разности L норм соответствующих им коэффициентов матриц рассеяния, полученных на основе измерений коэффициента передачи. Предложенный подход позволил снизить максимальный уровень ошибок пеленгации с 1° до $0,75^\circ$ (при максимально допустимом значении $0,8^\circ$).

3. В ходе исследования установлено, что размещение плоского спирального излучателя на одном уровне с краем проводящего корпуса (допустимая просадка платы в рассмотренном случае не более $0,3$ мм), позволяет уменьшить ширину пространственного диапазона изменения положения фазового центра разработанных антенн с $4,3$ мм до $3,7$ мм и понизить максимальный уровень ошибок пеленгации по сравнению со случаем установки излучателя внутри корпуса (на $0,8$ мм ниже края в рассмотренном случае). Снижение максимального уровня ошибок пеленгации составило $0,3^\circ$ с 1° до $0,7^\circ$ (при максимально допустимом значении $0,8^\circ$).

Значимость результатов диссертации для науки и производства

Результаты, полученные в ходе подготовки диссертационной работы ориентированы на решение прикладных задач и обладают практической значимостью. К значимым результатам можно отнести следующие:

1. Метод формирования антенных систем для устройств пеленгации на основе сравнения экспериментально определенных для каждой антенны коэффициентов матриц рассеяния и определения по ним наиболее идентичных излучателей.

2. Обоснованное конструктивное решение по оптимальному расположению плоского спирального излучателя в корпусе антенны.

Значимость данных результатов работы подтверждается тем, что они использованы в конструкции блока фазового пеленгатора, серийно производимого АО ЦКБА, г. Омск. Это подтверждается актом об использовании результатов диссертационной работы.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Анализ результатов диссертационного исследования свидетельствует о целесообразности использования предложенных конструкций спиральных антенн и метода формирования антенной системы, обеспечивающего минимальный уровень ошибок пеленгации, в производственный процесс предприятий, занимающихся разработкой и промышленным выпуском систем радиопеленгации и радиолокации, а также СВЧ широкополосных антенн.

Результаты диссертационной работы могут представлять интерес для использования в следующих научных и промышленных организациях страны: АО ЦКБА (г. Омск), АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения» (г. Омск), Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь» (г. Каменск-Уральский), Концерн «Созвездие», (г. Воронеж), а также на других предприятиях радиоэлектронной промышленности РФ.

Достоверность и обоснованность результатов.

Достоверность приведенных положений основана на соответствии результатов электродинамического моделирования, выполненного для спиральной антенны, и системы, построенной на ее основе, и данных экспериментальных исследований, выполненных с указанной антенной в составе фазового пеленгатора.

Апробация результатов работы и публикации.

Диссертационная работа И.Д. Павлова прошла достаточную апробацию. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 15 работах, из которых: 4 – статьи в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК, 10 – публикации в сборниках всероссийских и международных конференций, 1 патент на изобретение.

Замечания по работе.

В ходе обсуждения работы выявлены следующие недостатки:

1. Для формирования матрицы рассеяния исследуемых антенн выполнялось измерение комплексных коэффициентов передачи по полю от входного сечения антенны (коаксиальный вход) до некоей плоскости отсчета в двух ортогональных сечениях. Предполагаем, что в этом сечении находилась вторая антенна. Из представленных

материалов неизвестно, каким образом учитывались характеристики этой приемной антенны, как учтены ее поляризационные свойства и как они влияли на точность измерений.

2. В качестве симметрирующего устройства выбран плавный переход от микрополосковой линии к двухпроводной с плоскими проводниками. При этом ширина проводника изменяется линейно (рис. 5). В ряде работ рекомендовано изменение ширины по экспоненциальному закону для расширения полосы частот.

3. В современных программных средах достаточно легко определяется входное сопротивление антенн, тем самым облегчается решение задачи согласования. Использованный автором подход анализа минимума отражения в принципе тоже приемлем.

4. Судя по приведенной диаграмме направленности спиральной антенны (рис. 6), имеющей максимумы в противоположных направлениях, она рассчитывалась без учета предложенного согласующего устройства. К сожалению, в работе не приведена аналогичная 3-D диаграмма направленности, но с учетом экрана, корпуса, а затем и экрана со слоем поглощающего материала, выполненная в HFSS.

5. В работе отсутствует информация о типе и толщине поглощающего материала, величине снижения коэффициента усиления из-за потерь мощности в нем. Эти потери, исходя из вида диаграммы направленности на рис. 6, могут оказаться существенными.

6. В работе оценка точности пеленгации выполнена только по одному фактору – прогибу платы со спиральной антенной, причем плоского. Фактически прогиб платы в силу использованного способа ее крепления отличается от плоского случая. В миллиметровом диапазоне это необходимо учитывать.

7. Автору следовало бы сформулировать рекомендации к конструкции и технологии изготовления спиральных антенн в цилиндрическом корпусе, которые при производстве обеспечили высокую степень идентичности излучателей.

Заключение.

Перечисленные замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы. Представленная диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой представлено научно обоснованное техническое решение актуальной задачи.

Результаты диссертации обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью. Они с достаточной степенью представлены в опубликованных научных трудах автора.

Представленная работа соответствует паспорту специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ – устройства и их технологии» в части п. 2: исследование характеристик антенн и микроволновых устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т.д., и п. 6: разработка и исследование новых технологий производства, настройки и эксплуатации антенных систем.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

Использование результатов работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации.

Диссертация Павлова И.Д. отвечает требованиям пунктам 9-14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 28.08.2017 № 1024), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

В качестве экспертов по диссертационной работе выступили профессор кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций, д.т.н., профессор Иванов В.Э., профессор кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций, д.т.н., доцент Носков В.Я.

Диссертационная работа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций, протокол № 5 от 22.05.2025 г.

Заведующий кафедрой Радиоэлектроники и телекоммуникаций,
доктор технических наук, профессор
Шабунин Сергей Николаевич



e-mail: s.n.shabunin@urfu.ru

Телефон: (343) 375-48-86

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, тел. +7 (343) 375-45-07; 375-46-09; 375-97-78 (факс), e-mail: rector@urfu.ru, сайт: <https://urfu.ru>