

ОТЗЫВ

официального оппонента **Гафарова Евгения Раисовича**
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 исследования

Пеленгация фазовым методом является актуальной технологией в современных системах радиолокации, связи и навигации благодаря своей точности, компактности и адаптивности. Пеленгация подходит для цифровой обработки сигналов и интеграции с алгоритмами машинного обучения, при этом работа на высоких частотах (в частности, в миллиметровом диапазоне длин волн), позволяет уменьшить массогабаритные показатели применяемых антенных систем. Разрешение таких систем может достигать долей градуса, что является важным для радиолокации и систем связи.

Пеленгаторы, использующие фазовый метод, обладают высокой точностью, но имеют ряд существенных недостатков, таких как проблема неоднозначности, чувствительность к помехам и шумам, зависимость от точности калибровки, ограниченный диапазон частот и др. Вышеописанные факторы приводят к повышению ошибок пеленгации вплоть до неработоспособности системы.

Для снижения ошибок пеленгации фазовым методом, среди прочего, необходимо стремиться к обеспечению идентичности приемных каналов. Поскольку антенны являются неотъемлемой частью приемных каналов, необходимо исследовать их влияние на ошибки пеленгации, а также предложить способы снижения этого влияния. Решению данной проблемы посвящена диссертационная работа Павлова И. Д.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Павлова И.Д. включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и четыре приложения. Диссертация изложена на 154 страницах.

Во введении показана актуальность, формулируется цель диссертационной работы и задачи, которые необходимо решить для ее достижения. Сформулирована научная новизна и практическая значимость. Приведена информация об апробации и внедрении результатов.

Первый раздел посвящен обзору моделей, применяемых для описания антенн. Указанные модели рассмотрены с позиции их возможного применения для исследования влияния антенны на ошибки пеленгации фазовым методом. Выделены три типа моделей, из которых матричная выбрана как наиболее подходящая для планируемого исследования.

Второй раздел посвящен особенностям формирования матрицы рассеяния антенны, приведен физический смысл коэффициентов, составляющих матрицу. Исходя из указанных особенностей предложена форма записи матрицы позволяющая получить ее исходя из результатов практических измерений. Также предложен способ сравнения однотипных антенн, предполагающий сравнение соответствующих им матриц рассеяния с помощью использования L нормы.

Третий раздел посвящен разработке широкополосной антенны миллиметрового диапазона. Определен и обоснован тип излучающей структуры, согласующего и симметрирующего устройства. Проведено электродинамическое моделирование разработанной антенны и, исходя из положительных результатов, антенна была изготовлена. С указанной антенной были проведены практические измерения и получены ее характеристики.

Четвертый раздел посвящен исследованию влияния разработанной антенны на ошибки пеленгации. В рамках проведенного исследования рассмотрена серия из четырех антенн. С использованием аппарата матриц рассеяния показано, что в рамках одной фазометрической базы применение антенн с наиболее отличающимися характеристиками приводит к повышению уровня ошибок пеленгации по сравнению со случаем применения антенн с характеристиками, отличающимися в меньшей степени. Предложен способ настройки антенной системы, позволяющий снизить ошибки пеленгации. Проведена оптимизация положения плоского спирального излучателя в цилиндрическом проводящем корпусе. Установлено, что наилучшем с позиции уменьшения ошибок пеленгации является вариант, при котором излучатель установлен на одном уровне с краем корпуса.

В заключении сформулированы выводы проведенного исследования и даны рекомендации по применению его результатов.

Научная новизна работы

1. Для снижения влияния антенн на ошибки пеленгации фазовым методом необходимо определять насколько антенны, установленные в фазометрическую базу, отличаются друг от друга. Способ определения неидентичности однотипных антенн предложен автором. В рамках указанного способа сравниваются соответствующие антеннам матрицы, составленные из комплексного коэффициента отражения,

пространственных отсчетов коэффициента усиления и отсчетов фазовых диаграмм направленности для двух ортогональных поляризаций. Количественным показателем неидентичности является абсолютная разность L норм соответствующих матриц.

2. Предложенный автором способ сравнения однотипных антенн использован для формирования антенной системы фазового пеленгатора. Антенная система должна формироваться по принципу установки в фазометрические базы антенн с наименьшей взаимной идентичностью, которая определяется путем подбора антенн с наименьшей абсолютной разностью L норм соответствующих им матриц рассеяния. Использование в рамках фазометрической базы наиболее идентичных антенн позволяет снизить максимальный уровень ошибок пеленгации с 1° до $0,75^\circ$ (при максимально допустимом значении $0,8^\circ$).

3. В рамках исследования влияния антенн на ошибки пеленгации показано, 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 (в рассмотренном случае с $4,3$ мм до $3,7$ мм) и максимальный уровень ошибок пеленгации, по сравнению со случаем установки излучателя внутрь 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 $0,8^\circ$).

Практическая значимость работы

1. Предложен способ формирования антенной системы фазового пеленгатора, который может быть использован как основа для создания технологии настройки антенных систем фазового пеленгатора.

2. Предложен вариант конструкции малогабаритной спиральной антенны (получен патент РФ).

3. Оптимизирован вариант конструкции малогабаритной спиральной антенны при производстве изделий АО «ЦКБА» (акт об использовании антенны АО «ЦКБА»).

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов основывается на соответствии данных электродинамического моделирования антенны и антенной системы и практических экспериментов, выполненных с указанной антенной и блоком фазового пеленгатора.

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты диссертации прошли апробацию на конференциях всероссийского и международного уровня, что подтверждается публикациями в сборниках докладов указанных конференций (10 публикаций), также результаты работы отражены в статьях в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК (4 публикации) и получен 1 патент на изобретение. Таким образом, общее количество публикаций по теме диссертации составляет 15.

Замечания по диссертационной работе

- 1) В разделе 3.3 диссертации представлено исследование симметрирующего согласующего устройства. Однако не приведены его радиотехнические характеристики, в том числе в корпусе антенны.
- 2) Как указано в разделе 3.4 диссертации, наличие радиопоглощающего материала в корпусе антенны, вблизи симметрирующего устройства, позволяет значительно улучшить КЭ, КСВН, УБИ, при этом ухудшается КУ антенны. Возможно, симметрирующее согласующее устройство не полностью выполняет функции линии передачи и излучает часть энергии. Для оценки данного обстоятельства недостаточно информации в тексте работы.
- 3) Для осуществления пеленгации фазовым методом обычно рассматривается некоторый диапазон углов пеленга. При этом в диссертации не указано для каких направлений оценивался КЭ в приведенных частотных зависимостях.
- 4) Выносимое на защиту положение №3 частично повторяет положение №1.
- 5) В тексте диссертации встречаются пунктуационные и стилистические ошибки.

Замечания не влияют на хорошее впечатление о работе.

Заключение

На основании вышеизложенного, считаю, что диссертационная работа Павлова Ивана Дмитриевича «Влияние неидентичности характеристик спиральных антенн миллиметрового диапазона на ошибки пеленгации фазовым методом» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой представлено научно обоснованное техническое решение актуальной задачи.

Представленная работа соответствует 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 автор работы

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ – устройства и их технологии».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ, кандидат технических наук (специальность 05.12.07 «Антенны, СВЧ – устройства и их технологии»), доцент кафедры «Радиотехника» Института инженерной физики и радиоэлектроники СФУ. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Адрес: 660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Телефон: +7 (391) 206-22-22; 244-86-25

E-mail: office@sfu-kras.ru

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты.



 Гафаров Е. Р.
«27» мая 2025 г.

