

УТВЕРЖДАЮ
Проректор НГТУ
по научной работе
Д.Т.Н., доцент

С.В. Брованов



06 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Гафарова Евгения Раисовича «Антенны круговой поляризации для систем высокоточного позиционирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»

Актуальность темы диссертационной работы.

Исследование и разработка антенн наземного сегмента беззапросных измерительных станций (БИС) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) повлекло за собой ряд задач, решение которых являются актуальными.

Так, современные навигационные системы характеризуются низким уровнем коэффициента усиления (КУ) антенны в нерабочей области углов. Это обусловлено не только энергетическими потерями, но и в значительной мере

ростом требований к помехозащищенности и электромагнитной совместимости БИС. КУ антенны приемника в нерабочей области углов определяет потенциальную точность БИС при малых углах возвышения. Таким образом, имеется необходимость создания антенн с максимально возможной шириной диаграммы направленности (ДН) и резким перепадом уровня усиления в направлении на горизонт. Проектирование антенн ГНСС ведётся с учётом приема сигналов с правой круговой поляризацией, тем не менее, зачастую возникает проблема создания высокого значения коэффициента эллиптичности (КЭ) во всем рабочем диапазоне углов. При этом всё ещё недостаточно внимания уделяется исследованию пространственных поляризационных структур, позволяющих увеличить уровень КЭ в требуемом угловом диапазоне. Кроме того, требуют дополнительного исследования вопросы обеспечения стабильности положения фазового центра (ФЦ) антенны на её облике, как одного из ключевых параметров обеспечения точности определения координат. Кроме того, зачастую существующие антенны характеризуются недостаточно высоким коэффициентом полезного действия (КПД), что в свою очередь ведет к уменьшению отношения сигнал/шум и снижению точности позиционирования.

Всё вышеописанное обуславливает актуальность работы, направленной на исследование и поиск методов улучшения характеристик антенн ГНСС круговой поляризации, включая модернизацию их обликов и схем питания, пространственных поляризаторов и специальных экранов, позволяющих минимизировать эффект многолучевой интерференции.

Содержание диссертации

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, отмечены теоретическая и практическая значимости работы (включая сведения о внедрении результатов), научная новизна исследований, охарактеризованы методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы, о структуре диссертации.

В *первой главе* описываются особенности распространения радиоволн в диапазонах ГНСС, в том числе влияние тропосферы и ионосферы, эффект многолучевого распространения. Перечислены основные параметры антенн круговой поляризации ГНСС, обоснованы требования к ним, включая оценки в области перспективных направлений использования. Кроме того, представлены основные подходы к исследованию и разработке антенных элементов, их обликов и схем питания, в том числе антенных систем круговой поляризации

высокоточных измерительных станций, а также охарактеризованы связанные с этим технические требования и их проблемные/уязвимые области и проявления. При критическом ретроспективном анализе существующих решений антенн ГНСС сформированы направления исследований в части антенных элементов и схем питания, а также структур/обликов поляризаторов и высокоимпедансных экранов.

Во второй главе исследуется влияние способов возбуждения, геометрических размеров излучателей и толщин подложек двухслойной печатной антенны (ПА) круговой поляризации на полосу рабочих частот. Выполнено исследование полного коэффициента отражения и полного КПД двухслойной ПА с несколькими точками возбуждения (в частности, число таких точек равно 2, 3, 4), а также проведен сравнительный анализ характеристик направленности и поляризации. Обоснованы и приведены результаты разработки широкополосной трехточечной схемы питания для двухслойной ПА, включая её облик и компоновку.

В третьей главе рассмотрена широкополосная антенна ГНСС с полусферической образующей монополей для получения широкоугольной ДН с высоким уровнем горизонтального усиления (КУ в направлении на горизонт) и высоким КПД. Рассмотрена элементарная ячейка поляризатора типа «меандр» для повышения КЭ электромагнитного излучения на рабочих частотах. Исследованы способы улучшения поляризационных характеристик квадрупольной антенны для «скользящих» углов при помощи пространственного поляризатора типа «меандровой» линии. Проведено исследование квадрупольной антенны с высокоимпедансным экраном для формирования резкого перепада усиления в области «скользящих» углов.

Четвертая глава представляет результаты экспериментальных исследований антенн ГНСС. Эти исследования проводились в безэховой камере с использованием поверенного оборудования и стандартных методик измерений. После их обработки сделаны выводы о том, что данные, полученные по результатам моделирования в системах автоматизированного проектирования, хорошо согласуются с результатами натуральных экспериментов. Это можно рассматривать как исчерпывающую верификацию обликов моделей разработанных соискателем антенн.

В заключении приводятся основные результаты выполненного диссертационного исследования.

Приложение содержит акты внедрения полученных в диссертации результатов.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций.

Научная новизна результатов, полученных автором, состоит в следующем:

- найдено компромиссное решение между количеством используемых входов/портов многовходовых/многопортовых антенн разных типов и их характеристиками, позволяющее уменьшить количество составных частей в обликах антенн круговой поляризации;
- предложен цилиндрический поляризатор меандровой линии для квадрупольной антенны, позволяющий увеличить развязку по поляризации в области «скользящих» углов и уменьшить уровень нежелательного отраженного сигнала;
- рассчитана зависимость крутизны амплитудной ДН квадрупольной антенны от диаметра ее высокоимпедансного экрана в области «скользящих» углов, которая позволяет получить высокий уровень перепада усиления при переходе в нерабочую область углов с сохранением относительно малых габаритов антенной системы.

Предложенная конструкция печатной антенны, благодаря ее малому профилю и весу, может быть использована в качестве элемента плоской антенной решетки, в том числе на борту космического аппарата.

Разработанная квадрупольная антенна может быть применена в качестве элемента высокоточной антенной системы в комбинации с экраном для подавления многолучевой интерференции. В качестве элемента помехозащищенной антенной решетки квадрупольная антенна была применена в макете беззапросной измерительной системы. Конструкции поляризатора и высокоимпедансного экрана, исследованные в диссертационной работе, могут быть применены в ГНСС для подавления эффекта многолучевой интерференции в высокоточных антенных системах.

Значимость и достоверность результатов работы

Диссертационная работа имеет выраженную практическую направленность и значимость. Результаты исследований, полученные в ней, нашли применение в ходе выполнения НИР и ОКР, проводимых в «АО «ИСС» им. Академика М.Ф. Решетнёва», ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», что подтверждается актами внедрения. Диссертационная работа основывается на корректном использовании современных САПР, апробированных

экспериментальных методик и высокоточного поверенного оборудования. Результаты работы являются воспроизводимыми, результаты моделирования и экспериментальные результаты качественно и количественно совпадают.

По материалам диссертации опубликовано 19 научных работ, включая 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 11 в сборниках публикаций, индексируемых в наукометрической базе «Scopus», 7 - в «Web of Science».

Замечания по работе

В ходе обсуждения диссертационной работы выявились следующие моменты, которые можно квалифицировать как недостатки:

1. Различная глубина проработки вопросов. Так, приходится догадываться, как можно использовать весьма технологичные монополи различной формы при модернизации и проектировании антенн круговой поляризации.
2. Работа бы только выиграла, если бы в ней более подробно и системно было отражено влияние поляризатора на основе меандровой линии на амплитудные и фазовые характеристики квадрупольной антенны.
3. При оценке коэффициента эллиптичности предложенных антенн не всегда исследуется влияние случайных факторов обликов «реальных» схем питания, амплитудно-фазовые характеристики которых чувствительны к конструкторско-технологическим допускам и имеют разброс в частотной области.
4. Стилистические и пунктуационные неточности. Так в разделе 2.3 встречается термин «патч антенна» вместо традиционного выражения «печатная антенна». А на стр. 69 на рисунке 56 для разделения целой и дробной частей чисел используется «точка».

Перечисленные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы и ее значимость в решении задач совершенствования и модернизации антенн спутниковых радионавигационных систем, обеспечивающих повышение точности позиционирования объектов.

Заключение

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 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), так как является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, содержащей решение

актуальных задач, заключающееся в комплексном подходе к исследованию антенн для высокоточного сегмента ГНСС.

Учитывая вышеизложенное, считаем, что Гафаров Евгений Раисович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Отзыв на диссертационную работу и её автореферат после доклада соискателя обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры «Радиоприёмные и радиопередающие устройства» (РПиРПУ) Новосибирского государственного технического университета, состоявшемся 03 июня 2021 года, протокол № 4.

Заведующий кафедрой РПиРПУ

д.т.н., доцент



М.А. Степанов

Секретарь

к.т.н., доцент



И.С. Савиных

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Проспект Карла Маркса, 20, город Новосибирск, 630073.

Телефон: (383) 346-50-01, E-mail: rector@nstu.ru, <http://www.nstu.ru>.