

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктора философии» (PhD) по специальности «6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

МЕЙРАМБЕКҰЛЫ НҰРСҰЛТАН

МНОГОДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Работа посвящена разработке и исследованию новых антенных систем для малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с использованием методов теоретических расчетов, моделирования, создания опытных моделей и лабораторного исследования. В процессе разработки использована, в том числе анизотропный фрактал Жанабаева (ZhF), метод интегрирования антенн с другими подсистемами, путем апертурного совмещения. Результаты проведенных лабораторных экспериментов, компьютерного моделирования описаны и сопоставлены теоретической моделью. Разработаны два типа антенн, патч антенна на базе ZhF и конусообразная спиральная антенна, имеющие функцию интегрирования с камерой наноспутника ДЗЗ, проведена оценка влияния данной технологии интегрирования на быстроту реагирования и энергетическую безопасность КА.

Актуальность темы

CubeSat это стандарт малого космического аппарата, предложенный в конце прошлого столетия. Из-за малых размеров запуск подобных космических аппаратов на орбиту Земли намного снижает расходы получения функционирующего космического аппарата.

В наноспутниках фиксированные габариты, меняющиеся кратно, то есть CubeSat 1U – это космический кубик с размерами 10×10×10 см, 2U – два кубика (10×10×20 см) и т.д. 1U, 3U и 6U – самые распространенные и актуальные модификации. На сегодняшний день область применения наноспутников очень широка – от образовательных миссий до космических наблюдений и связи. Среди них особое место занимает ДЗЗ.

Несмотря на эффективность, маленькие размеры наноспутников заставляет искать новые пути решения данных недостатков. Расположить полноценное научное оборудование задача не из простых. Поэтому, разработка новых схемотехнических решений и миниатюризация бортовых систем, модулей и их оптимальные расположения, в том числе антенных устройств позволяют эффективно использовать ограниченное место на борту КА.

Во многих действующих или находящиеся на стадии проектирования наноспутниках для передачи данных (телеметрия, изображение и т.д.) используются различные виды антенн в зависимости от миссии, возможности

КА и диапазона связи. Проволочные и ленточные монополю, диполь антенны из-за простоты изготовления широко применяются для телеметрии с низкой скоростью передачи данных в диапазонах ОВЧ и УВЧ. Обычные размеры монополя или диполя для этих диапазонов превышают поверхность CubeSat.

Патч-антенны, в основном работающие в L и S диапазонах, являются вторым по популярности из-за низкого профиля, малого веса и отсутствия дополнительного механизма развертывания.

Также нередко встречается использование фрактальных геометрий для миниатюризации и достижения желаемых характеристик антенн. Это широкополосность, многодиапазонность, уменьшение габаритов антенн и др.

На сегодняшний день на практике в наноспутниках ДЗЗ для антенн и основания объектива оптических инструментов, в основном, используются отдельные места на поверхности МКА. Данный факт означает что антенные системы в упомянутых МКА занимает отдельное место на его поверхности, которая могла бы использоваться для выработки солнечной энергии для системы. Для решения данных задач предложены антенные системы, интегрированные с другими подсистемами МКА, такие, как солнечные панели, оптическая система съемки и др., хотя и наблюдается недооценка данной технологии и на практике редко используется. При этом интегрирование антенной системы с солнечными панелями нередко приводит к затенению второго, что приводит к уменьшению эффективности солнечных панелей.

Анализ имеющиеся литературы показывает, что разработка и внедрение новых видов антенн, миниатюризация и повышение их эффективности является актуальной задачей, а применение технологии интегрирования антенных систем и использование фракталов для решения данной проблемы является перспективной и в данном направлении проводятся немало исследований.

Работа, сделанное в данном исследовании связана с перспективным направлением современной радиоэлектроники и связи, где используются новые идеи разработки антенных систем для МКА.

Целью работы является разработка, моделирование и экспериментальное исследование новых антенных систем с функцией интегрирования с оптической системой предназначенных для МКА, используемых в ДЗЗ.

Задачи исследования

1. Провести расчеты и компьютерную симуляцию теоретических моделей, описывающих частотные характеристики новых антенных систем;
2. Изготовить опытные модели антенных систем на базе расчетов и симуляции;
3. Провести исследование электродинамических характеристик антенн и сопоставить с результатами компьютерной симуляции;
4. Провести расчеты влияния системы интеграции на работу КА.

Объекты исследования: патч антенна на базе ZhF и конусообразная спиральная антенны, интегрированные с камерой наноспутника.

Предмет исследования:

Электродинамические характеристики антенн, такие как S_{11} , $KCBH$, $ДН$, $KУ$ и поляризация.

Метод исследования

1. Теоретические и численные методы разработки антенных систем для МКА ДЗЗ;

2. Компьютерные и имитационные моделирования в программной среде CST Microwave Studio;

3. Экспериментальное исследование электродинамических характеристик антенн с использованием лабораторного комплекса состоящей из высокочастотного оборудования и устройств;

4. Анализирование и сопоставление полученных результатов теоретических расчетов, компьютерной симуляции и экспериментальных измерений.

5. Расчеты влияния системы интегрирования, путем апертурного совмещения, на систему МКА.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Интегрированная с камерой и соответствующая размерам стороны наноспутника стандарта CubeSat патч антенна, с толщиной диэлектрической подложки 1,6 мм, излучатель которого основана на базе геометрии первой иерархии фрактала Жанабаева (ZhF) имеет две резонансные частоты в диапазоне S с центральными частотами 2.04 ГГц и 2.45 ГГц.

2. Двухдиапазонная конусообразная спиральная антенна с функцией интегрирования с камерой наноспутника, где в качестве излучателя использована пружинистая латунная проволока с диаметром 1 мм работает в диапазонах L- и S, на частотах 1,7 ГГц и 2,45 ГГц и показывает на соответствующих частотах коэффициенты усиления 6,8 дБи и 7,4 дБи.

3. Антенная система, интегрированная с камерой наноспутника путем использования одной плоскости за счет совмещения режимов съемки и передачи данных, позволяет избежать расхода энергии КА при ориентации для перехода из режима съемки в режим передачи данных и повышает быстроту ориентации наноспутника в 2.11 раз по углу нутации по сравнению со случаем перпендикулярного расположения и в 2.14 раз по углу собственного вращения по сравнению с взаимно противоположным расположением антенны и камеры.

Научная новизна работы заключается в что впервые

1. Разработана и исследована двухдиапазонная патч антенна на базе фрактала Жанабаева (ZhF), интегрированная с камерой наноспутника ДЗЗ, путем апертурного совмещения;

2. Разработана и исследована конусообразная спиральная антенна, интегрированная с камерой наноспутника ДЗЗ, имеющая рабочие частоты в диапазонах L- и S;

3. Исследовано влияние системы интеграции антенн с камерой наноспутника на энергетический бюджет КА.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты полученные в диссертационной работе вносит значимый вклад развитию сферы космической техники и технологии, разработке эффективных антенных систем на базе фрактала ZhF, повышению эффективности КА.

Личный вклад автора заключается в том что все основные результаты теоретических расчетов, компьютерной симуляции и физического эксперимента получены лично соискателем. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Достоверность результатов

Достоверность научных результатов подтверждается согласованностью теоретических расчетов с результатами компьютерной симуляции и экспериментальных измерений.

Апробация работы

По теме диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ.

Статьи с высоким импакт-фактором на базе данных Web of science или в изданиях, входящих в международную базу данных Scopus:

1. **Meirambekuly, N.**, Temirbayev, A. A., Zhanabaev, Z. Z., Karibayev, B. A., Namazbayev, T. A., Khaniyev, B. A., Khaniyeva, A. K. Dual-band optical imaging system-integrated patch antenna based on anisotropic fractal for earth-observation CubeSats // Ain Shams Engineering Journal. -2022. –v. 13(2), doi:10.1016/j.asej.2021.07.010.

2. **Meirambekuly N.**, Karibayev, B.A., Namazbayev, T., Ibrayev G.E., Orynassar S.O., Samsonenko A.I., Temirbayev A.A. A High Gain Deployable L/S Band Conical Helix Antenna Integrated with Optical System for Earth Observation CubeSats // IEEE Access. -2023. -v. 11. -p. 23097-23106, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3253556.

Статьи в изданиях, рекомендуемых КОКШО РК:

1. **Мейрамбекұлы Н.**, Темирбаев А.А., Карибаев Б.А., Намазбаев Т.А. Анизотропты фрактал негізінде жасалған кіші ғарыш аппараттарына арналған S-диапазонды патч антенна //ҚазҰТЗУ хабаршысы. –2020. –№ 3 (139). –С. 325-330.

2. **Мейрамбекұлы Н.**, Карибаев Б.А., Темирбаев А.А., Иманбаев А.К. S и X диапазонная патч антенна для наноспутников CubeSat. // Вестник. Серия Физическая (ВКФ). –2021. –№3 (78). p. 90-96.

3. **Мейрамбекұлы Н.**, Карибаев Б.А., Темирбаев А.А. Многодиапазонная антенна на базе второго поколения анизотропного фрактала для малых космических аппаратов дистанционного зондирования и наблюдения Земли. // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2021. –№5. –С. 42-50.

Публикации в сборниках тезисов докладов:

1. **Мейрамбекұлы Н.** Кіші ғарыш аппараттарына арналған S-диапазонды антенна // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Әлемі». –Алматы. –2020, -с. 293.

2. **Мейрамбекұлы Н.**, Ханиева А.К. UniSat наноспутнигінің антенна жүйесі // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Әлемі». –Алматы, –2021. –С. 208.

3. **Мейрамбекұлы Н.** Опыт моделирования антенн для малых космических аппаратов. Анизотропный фрактал Жанабаева // Труды Международного научно-технического форума СТНО. –Рязань, 2022. –С. 5-8.

1. Karibayev B., **Meirambekuly N.**, Namazbayev, T., Temirbayev A.A., Kadylbekkyzy E., Yessentaeva A. S band TT&C antennas integrated with optical camera system for nanosatellites. // International Conference on Electrical, Computer, and Energy Technologies, ICESCT 2022. –2022, 20-22 July 2022.

Связь темы диссертации с планами научных работ

Диссертационная работа выполнена в рамках НИР в соответствии с планами прикладных научно-исследовательских работ КН МОН РК по теме «Разработка и создание антенн S и X диапазонов для наноспутников CubeSat дистанционного зондирования Земли», №АР09057984 по приоритету: «Информационные, коммуникационные и космические технологии».

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и содержит три приложения. Работа изложена на 107 страницах машинописного текста, иллюстрируется 87 рисунками, приведено 56 формул, 11 таблиц, список использованных источников содержит 117 наименований.