

**ФГБОУ ВО ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

НАНОСПУТНИКИ В СИСТЕМЕ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

**Диссертация на соискание степени магистра по направлению
11.04.02 - Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

**Выполнил – магистрант гр. ИКТм-72 Киршин Александр Романович
Научный руководитель – к.т.н., доцент кафедры ССС Кустова Марина Николаевна**

Самара 2019

Цель и задачи работы

Целью работы является создание блок-схемы и моделирование структурных частей наноспутника.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- 1.** поиск, изучение, обработка и систематизация научной литературы по тематике исследования;
- 2.** структурирование элементов наноспутника, путем моделирования;
- 3.** определение экономической эффективности применения наноспутников.

Объект и предмет исследования

Объект исследования – проведение поисково-исследовательских работ в области применения наноспутников для космической радиосвязи

Предметом исследования выступает сравнительный анализ стандартных спутников связи с их передовыми аналогами (наноспутниками); детальный анализ слабых и сильных сторон обеих групп спутников и структурирование блоков наноспутника

Научная новизна работы

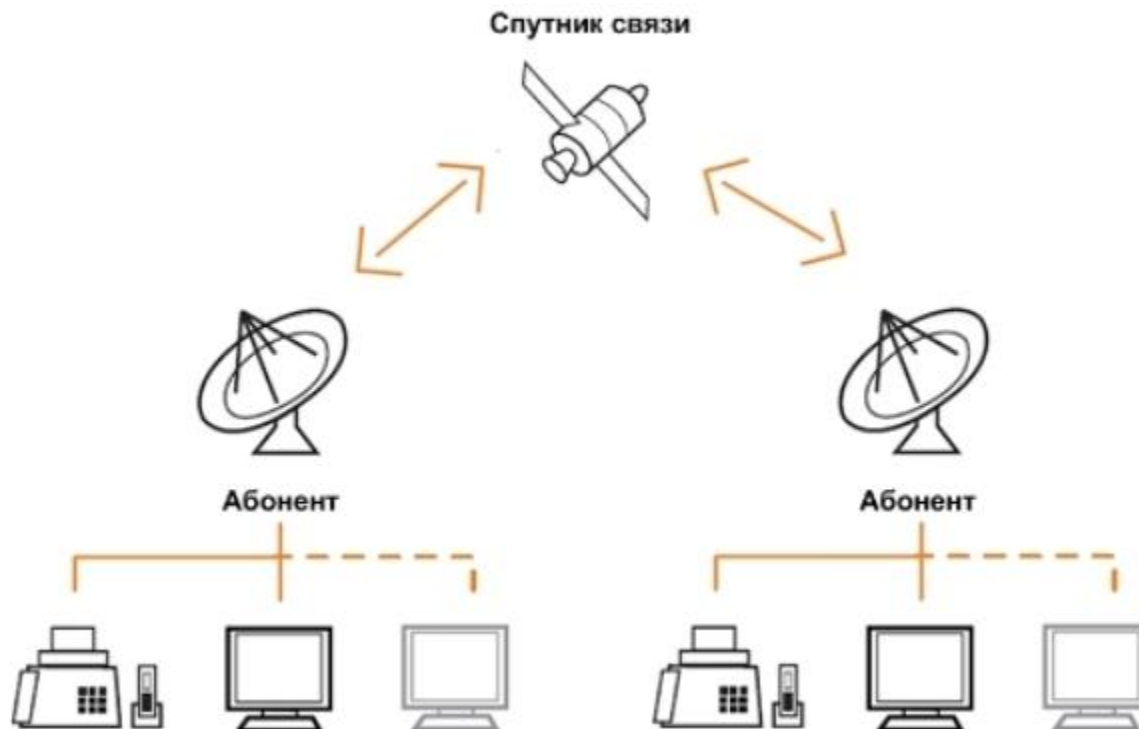
В связи с недостаточным количеством экспериментальных исследований, проводимых в области промышленного использования наноспутников в структуре космической радиосвязи, возникает острая заинтересованность в изучении и комбинировании их элементной базы, с помощью методов физического моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Имитационная модель CubeSat.
2. Результаты физического моделирования для использования CubeSat в системе космической радиосвязи.
3. Экономическая целесообразность использования наноспутников CubeSat в системе космической радиосвязи.

Определение спутниковой связи

Спутниковая связь – это вид радиосвязи, использующий искусственные спутники Земли (ИСЗ) в качестве ретрансляторов; является развитием традиционной радиорелейной связи путём вынесения ретранслятора на очень большую высоту; осуществляет связь между земными станциями.



Роль ИСЗ в ССС

ИСЗ классифицируют на астрономические, биоспутники, метеорологические, разведывательные, навигационные, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), связи, а также малые спутники.

Малые спутники – ИСЗ, имеющие малый вес (менее 0,5 – 1 тонны) и размеры.

Классификацию малых спутников можно представить следующим образом:

- миниспутники, имеют массу (вместе с горючим) от 100 до 500 кг;
- микроспутники имеют массу от 10 до 100 кг;
- наноспутники имеют массу от 1 до 10 кг. В основном проектируются для работы в группе, некоторым группам нужно наличие более крупного спутника для связи с Землёй. Несмотря на то что они малы, современные наноспутники имеют широкую область применения;
- пикоспутники имеют массу от 100 гр. до 1 кг;
- фемтоспутники имеют массу до 100 гр.

Наноспутники CubeSat



Появившиеся не так давно наноспутники начинают завоевывать позиции своих старших собратьев. Особым толчком для этого стал стандарт CubeSat разработанный в 1999 г. Его появление обязано двум профессорам – Jordi Puig-Suari из Калифорнийского политехнического государственного университета (Cal Poly) и Bob Twiggs из Лаборатории развития космических систем Стэнфордского университета (SSDL).

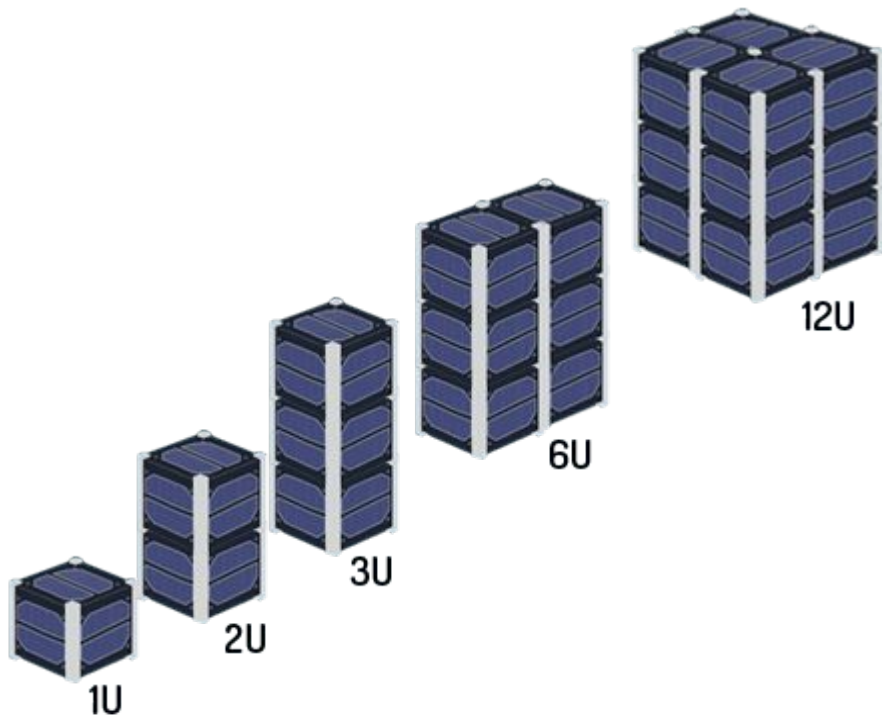
CubeSat – это спутник, имеющий форму куба размером 10x10x10 см с массой до 1,33 кг.

Классификация CubeSat



10x10x10 cm
Dimensions of a CubeSat

1.3 kg
Mass of a CubeSat



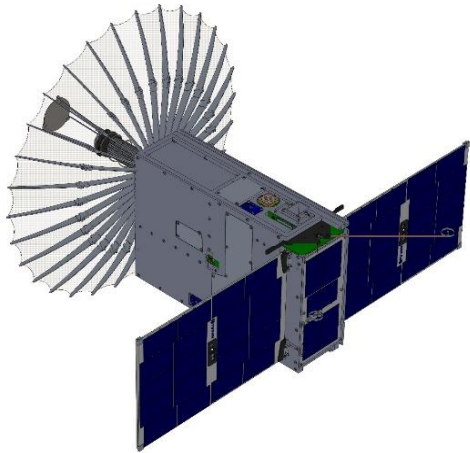
Количество соединенных между собой блоков классифицирует размер спутника CubeSat в соответствии со спецификацией соответствующих классам 0,5U, 1U, 1,5U, 2U, 3U, 3U+ могут размещать компоненты цилиндрической формы и также начали применяться 6U и экспериментальные 12U.

Характеристика наноспутников CubeSat



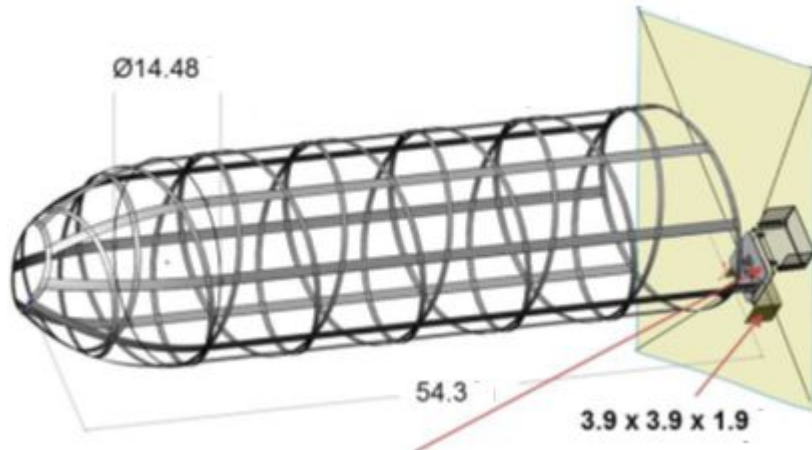
- Внешняя оболочка P-POD
- Класс CubeSat
- Бортовой компьютер
- Системы контроля отклонения
- Двигательные установки
- Система питания
- Терморегулирующая система
- Система связи
- Антенна

Миссии и инновационные технологии CubeSat



1. Технология параболической антенны RainCube

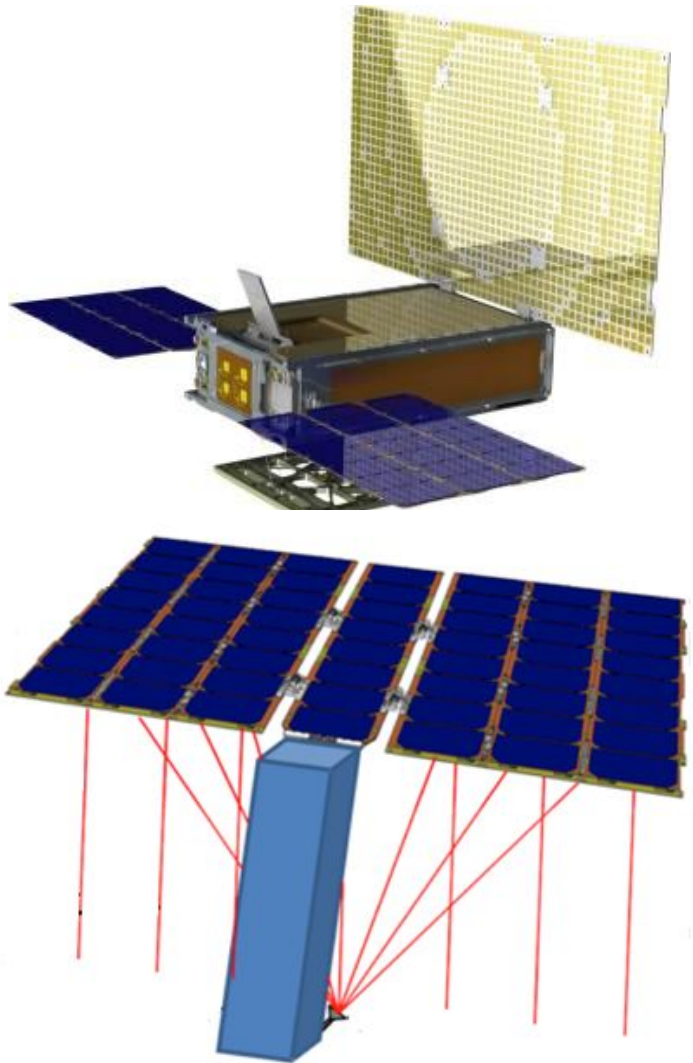
RainCube используется для проверки работы, Ka-диапазонных радарных технологий. Эта миссия проверяет новую архитектуру радаров для Ka-диапазона и ультра-компактную легкую антенну, имеющую размер 0,5x0,5 м, развертываемую в космической среде.



2. Спиральная антенна CubeSat

Эта антенна может уместиться в объем 0,5U, а при разворачивании может достигать размеров 140x35 см. Ее структура состоит из термопластичных композитных полосок.

Миссии и инновационные технологии CubeSat



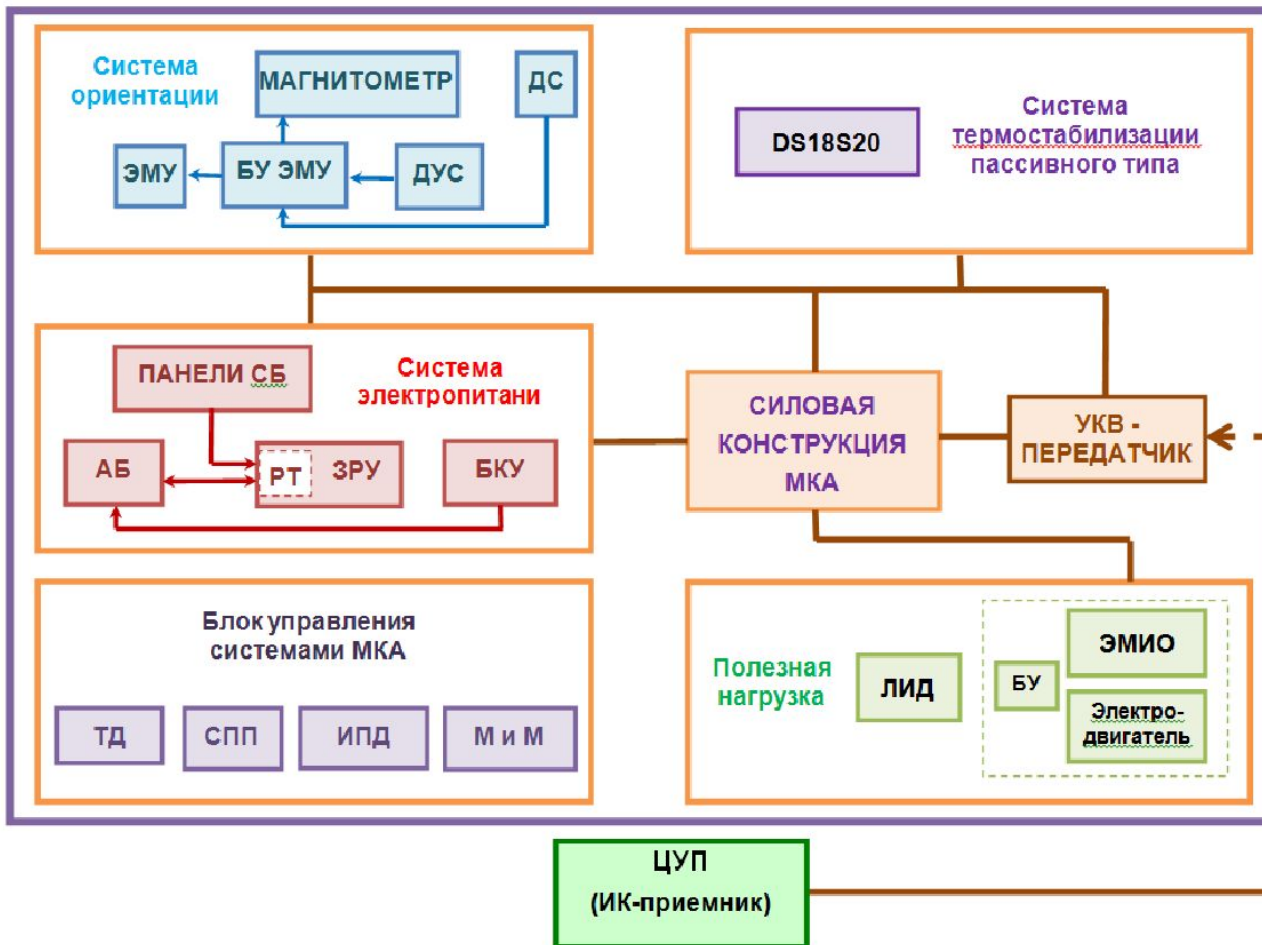
3. Технологии миссии MarCo

В данной миссии установлена антенна с высоким коэффициентом усиления, X-диапазона. Антенна представляет собой параболическую антенну, состоящую из плоских панелей.

4. Интегрированная солнечная и отражающая антенна (ISARA)

Миссия ISARA продемонстрирует возможность связи CubeSat с высокой пропускной способностью Ka-диапазона.

Общая структурная блок-схема CubeSat



АБ – аккумуляторная батарея;
 ДС – датчик Солнца;
 ЗРУ – зарядно-разрядное устройство;
 ЭМУ – электромагнитное устройство;
 Т – регулятор тока;
 БУ ЭМУ – блок управления ЭМУ;
 БУ – блок управления;
 БКУ – блок контроля и управления;
 ИПД – интерфейс передачи данных;
 ДУС – датчик угловой скорости;
 СПП – система приема-передачи;
 ЛИД – лазерно-ионный двигатель;
 М и М – микропроцессоры и микроконтроллеры;
 DS18S20 – датчик температуры;
 СБ – солнечные батареи;
 ТД – термодатчики;
 ЭМИО – электромеханический исполнительный орган.

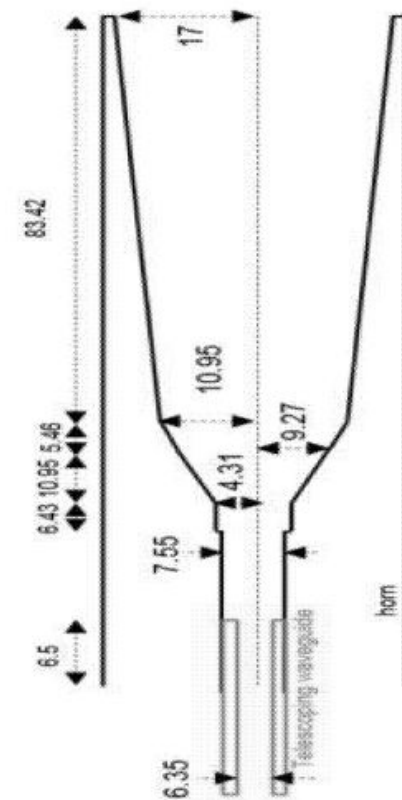
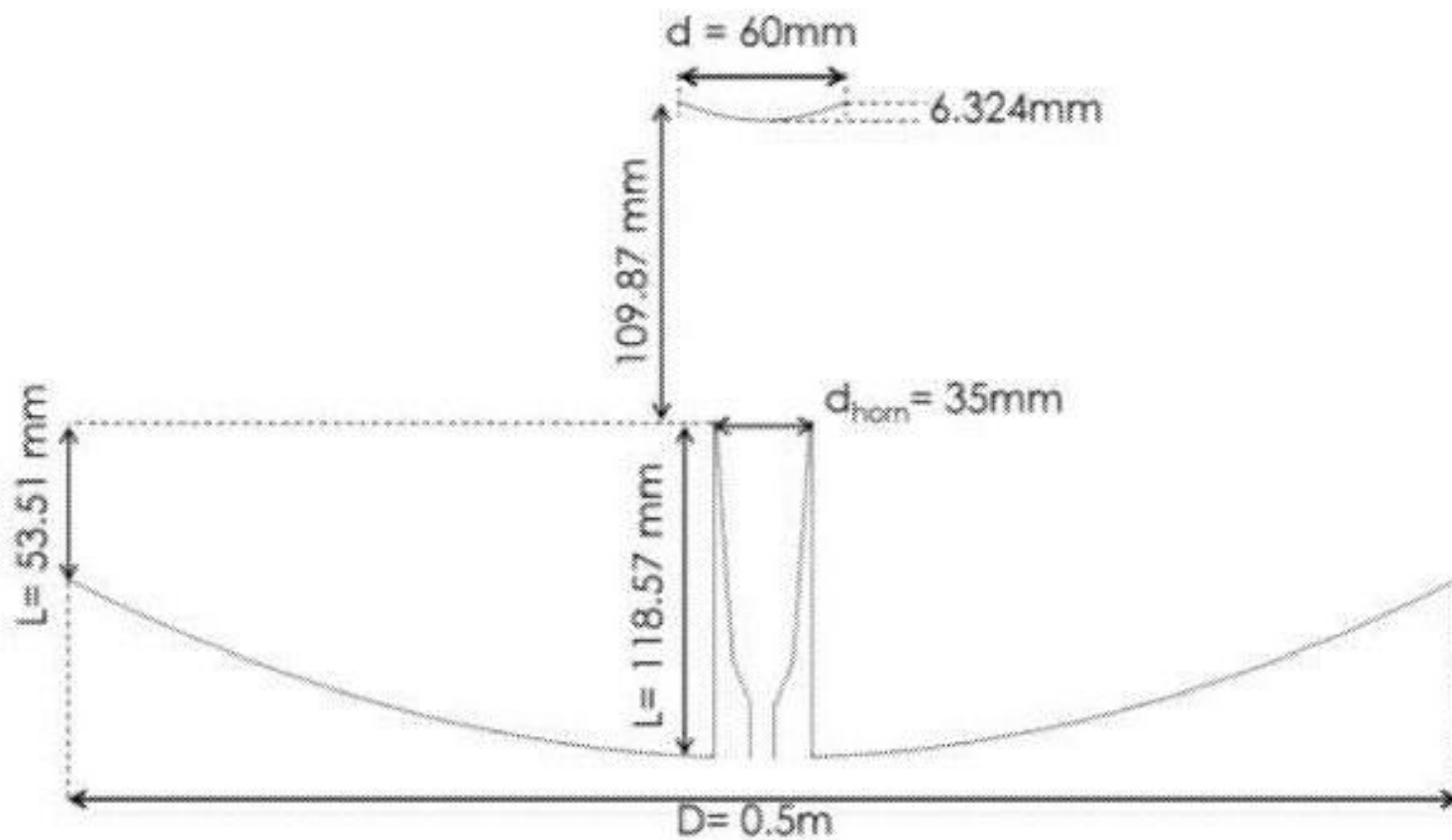
Основные эксплуатационные характеристики CubeSat 3U и 6U

Наименование	CubeSat 3U	CubeSat 6U
Габариты в собранном состоянии, мм	100x100x330	100x200x330
Максимальная масса, кг	до 4	до 8
Полезная нагрузка	Антенна СВЧ; система связи Ионно-плазменный двигатель	Антенна СВЧ; система связи Ионно-плазменный двигатель
Ресурс (расчетный), год	2	2
Температурный режим, °C	0 ±60	0 ±60
Система термостабилизации	активная	активная
Система ориентации	активная	активная

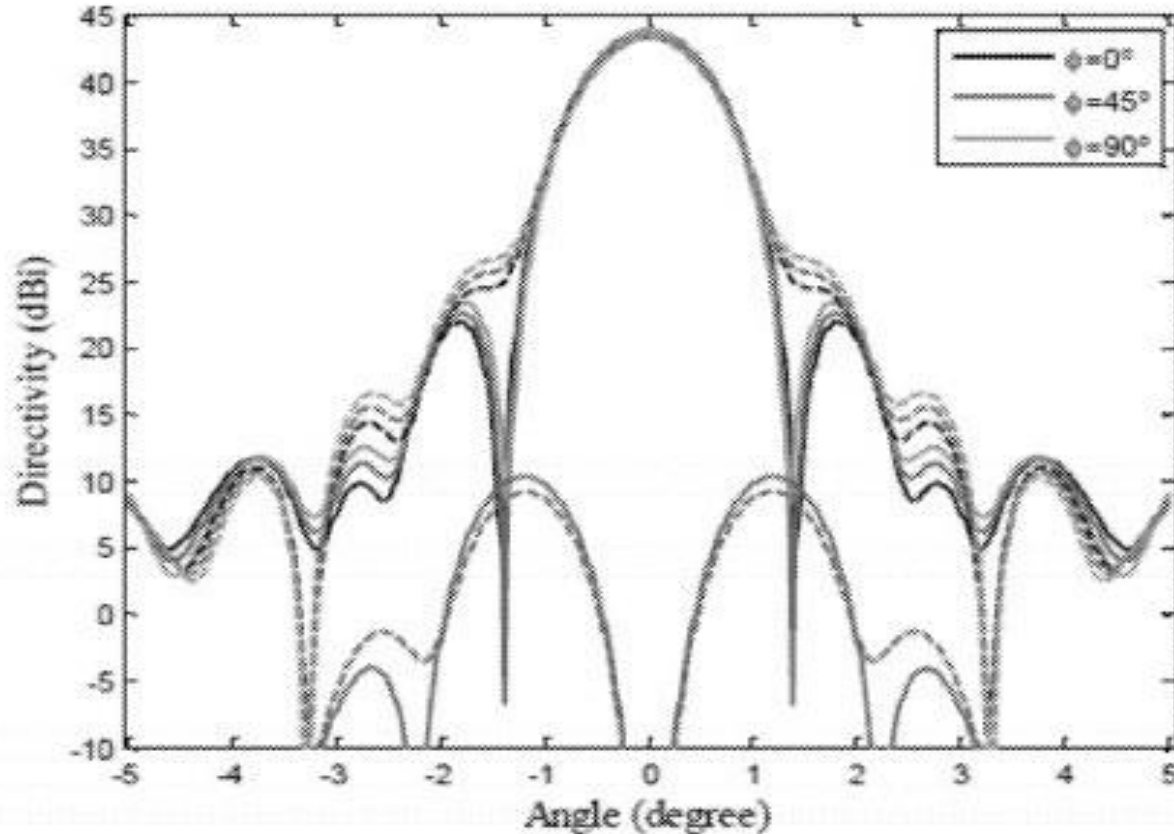
Технические параметры цифрового солнечного датчика SX-SUNR-01

Параметр	Значение
Угол обзора	$\pm 60^\circ$
Случайное отклонение (шум)	Не более $\pm 0,1^\circ$
Напряжение питания	$5\text{В} \pm 0,3\text{В}$
Потребляемая мощность	0,05 Вт
Масса	100 г
Габариты	49,3x40x17,5 мм
Диапазон рабочих температур	$-40\dots+60^\circ\text{C}$
Передаваемая телеметрия	Орт направления на Солнце, t

Техническая схема параболической антенны Ka-диапазона и ее волновода



Диаграммы направленности параболической антенны



На данном слайде представлены диаграммы направленности параболической антенны при разных углах прихода волны: 0, 45 и 90 градусов

Коэффициент усиления параболической антенны

Вычисление коэффициента усиления антенны при разных углах прихода волны: 0, 45, 90 градусов

$$G_a = 10 \lg \left(k \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \cos(\Phi) \right)$$

где G_a – коэффициент усиления, дБ;
 k – эффективность или коэффициент использования поверхности антенны;
 π – число «пи»;
 D – диаметр зеркала, м;
 λ – длина волны, м;
 Φ – угол прихода волны, °.

Анализ экономической эффективности CubeSat

Наименование	Стоимость в \$
Антенные системы	4750
Устройства корректировки	3500
Датчики корректировки x 2	8000
Бортовой компьютер	4400
Системы связи	8500
Структура (каркас)	5500
Наземная станция	5000
Автоматизированная система диспетчерского управления	8500
Контейнеры для запуска	2000
Комплект двигателей	40000
Солнечные батареи и система питания	6000
Параболическая антенна Ka-диапазона	6000
Трансивер	6500
Итого:	108650

«Экспресс-А М4»	250 млн. долларов
Все «CubeSat»	33,21 млн. долларов

Основные результаты диссертационной работы

1. Проведено исследование наноспутников в полном объеме, как одного из элементов структуры спутниковой связи.
2. Разработана блок-схема и промоделированы структурные части наноспутника CubeSat в соответствии со спецификацией и требований космических агентств.
3. Рассчитана экономическая целесообразность использования наноспутников CubeSat в системе космической радиосвязи.

Публикации

1. Киршин, А.Р. Наноспутники для космической радиосвязи [Текст] / А.Р. Киршин, М.Н. Кустова // Научно-техническая конференция Росинфоком – 2017 «Актуальные вопросы телекоммуникаций»: Самара, 2017 – С.175-176.
2. Киршин, А.Р. Применение DTN в IPN, MANET [Текст] / А.Р. Киршин, М. Н. Кустова // Научно-техническая конференция Росинфоком – 2017 «Актуальные вопросы телекоммуникаций»: Самара, 2017 – С.177-178.
3. Киршин, А.Р. Применение рефлекторной антенны в CubeSat для увеличения скорости передачи данных [Текст] / А.Р. Киршин, М.Н. Кустова // XXV Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: Самара, 2018 – С.35