

**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.

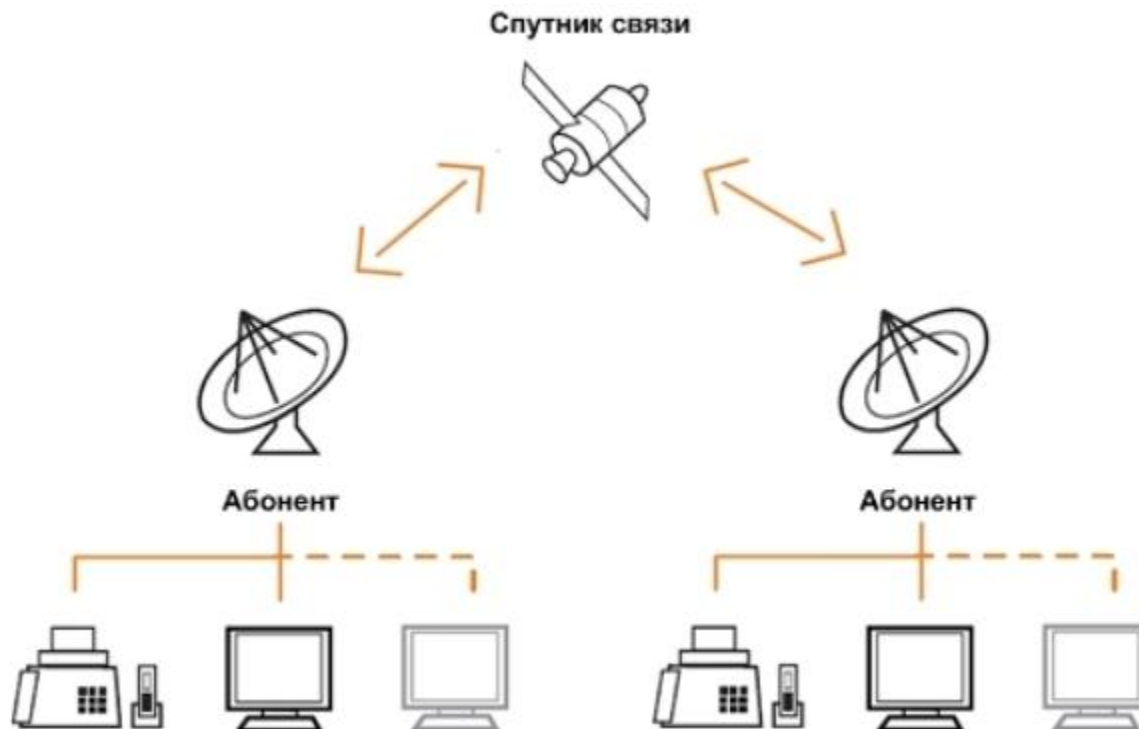
# Основные положения, выносимые на защиту

---

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.

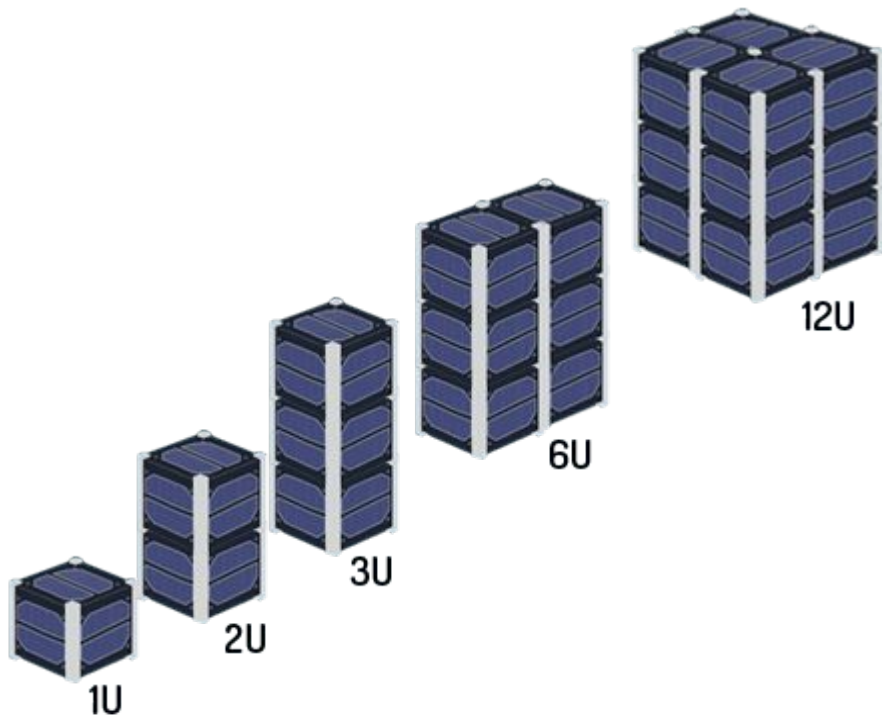


# Классификация CubeSat



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.

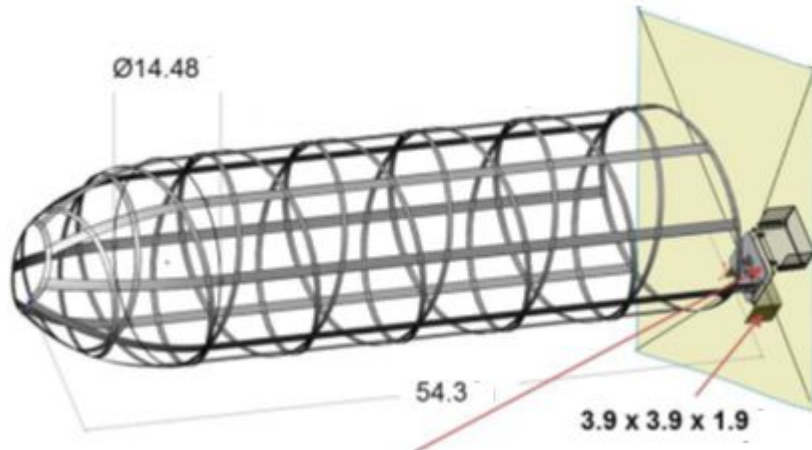
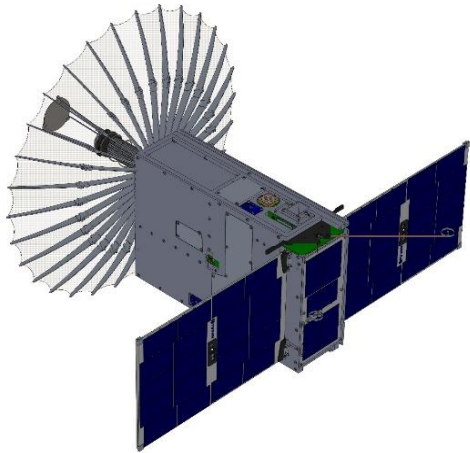
# Характеристика наноспутников CubeSat

---



- 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

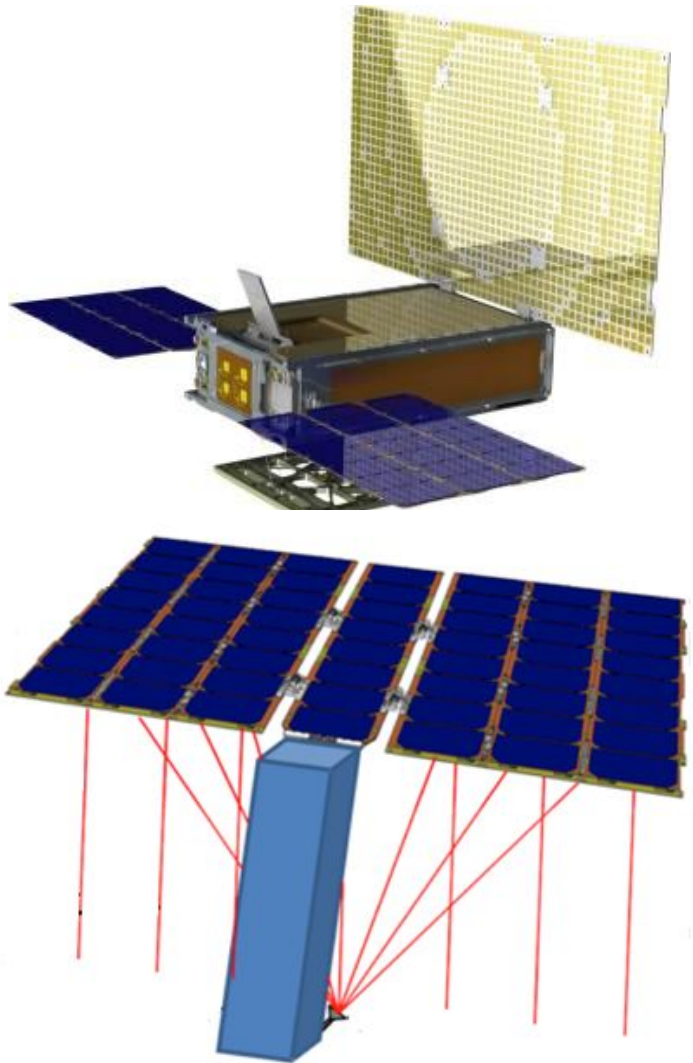
RainCube используется для проверки работы, Ka-диапазонных радарных технологий. Эта миссия проверяет новую архитектуру радаров для Ka-диапазона и ультра-компактную легкую антенну, имеющую размер  $0,5 \times 0,5$  м, разворачиваемую в космической среде.

## 2. Спиральная антенна CubeSat

Эта антенна может уместиться в объем  $0,5U$ , а при разворачивании может достигать размеров  $140 \times 35$  см. Ее структура состоит из термопластичных композитных полосок.

# Миссии и инновационные технологии CubeSat

---



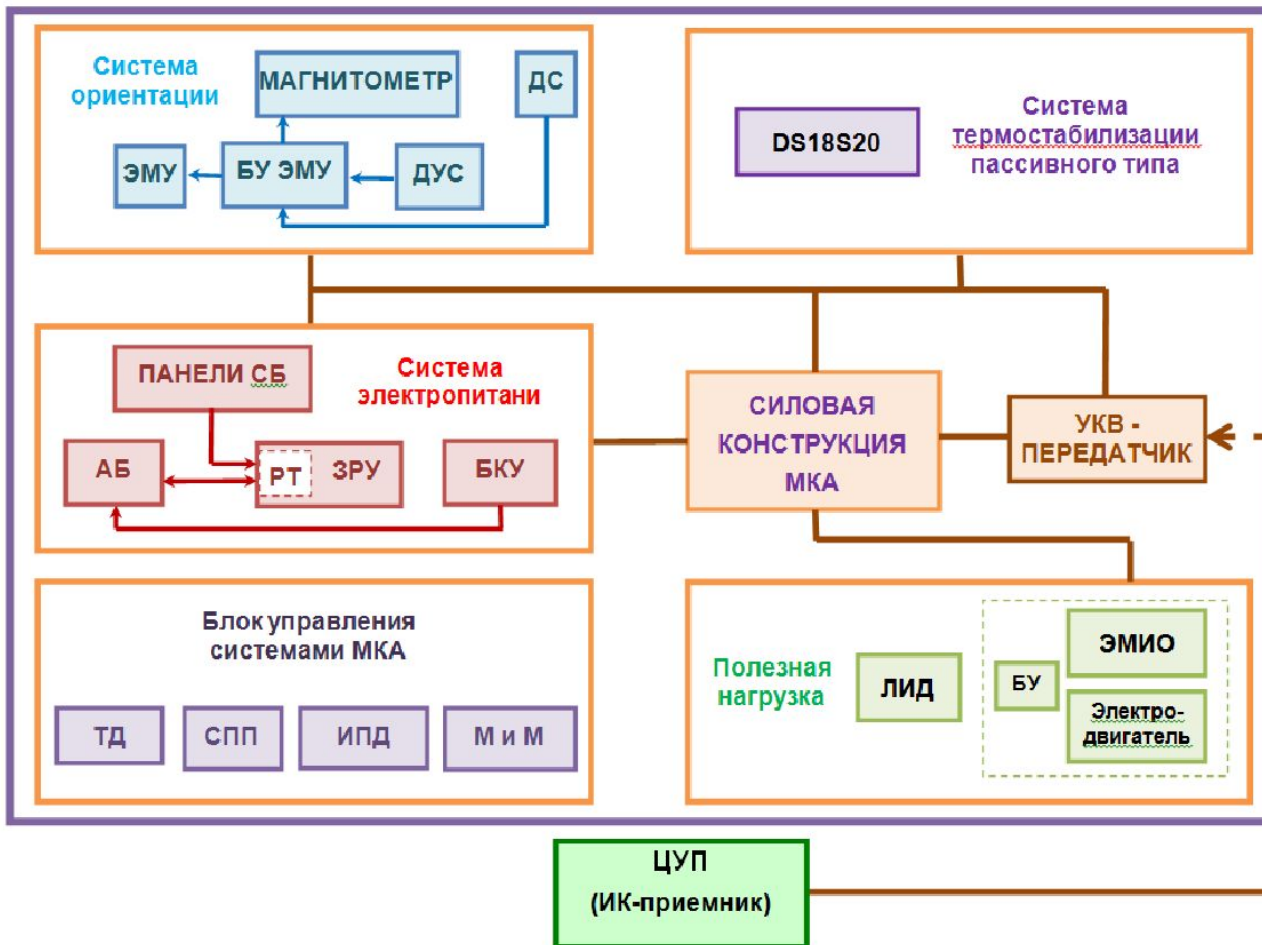
## 3. Технологии миссии MarCo

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.



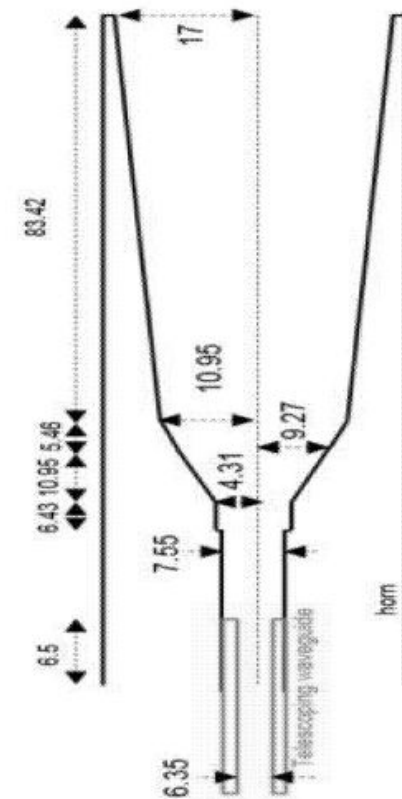
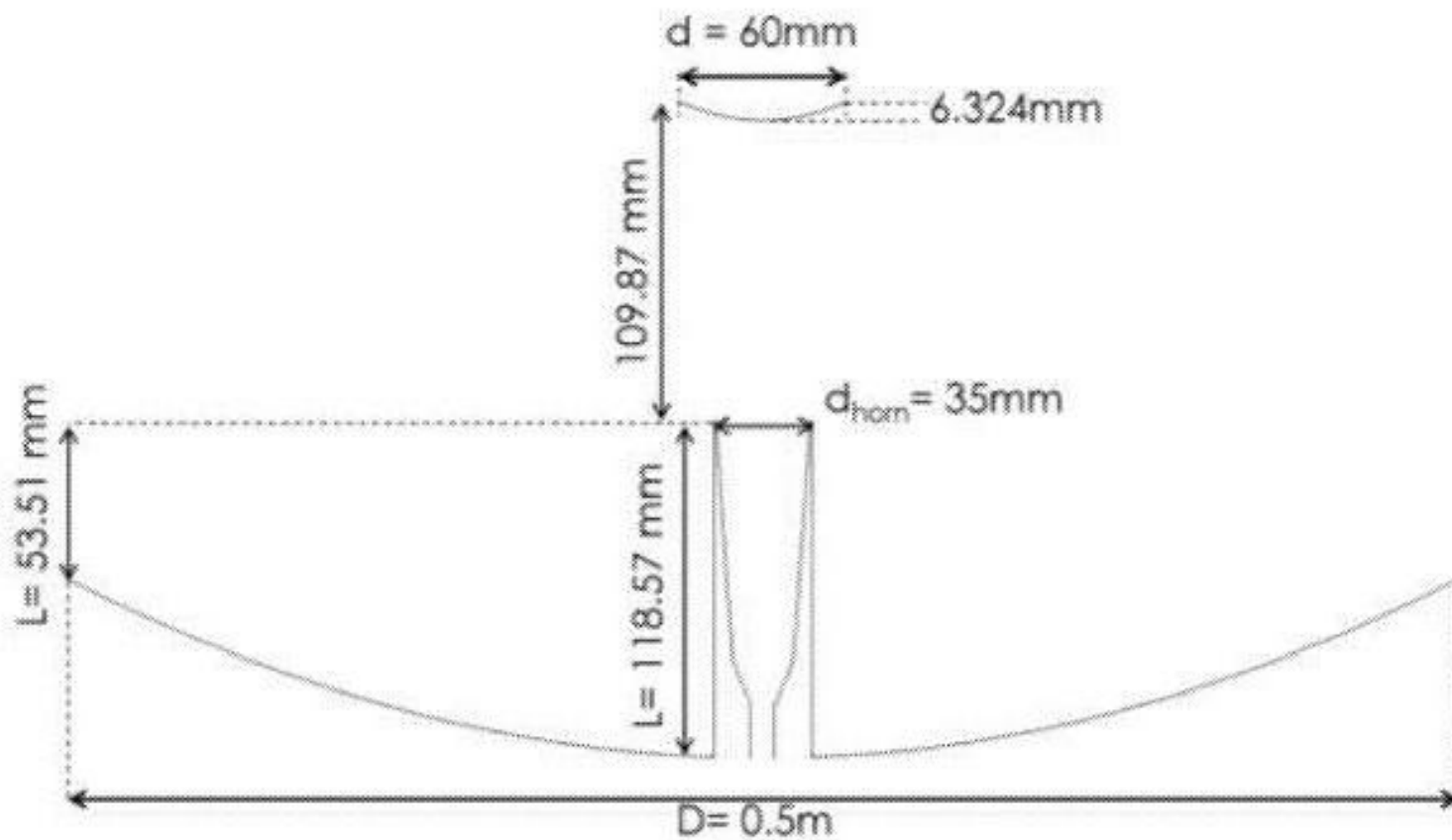
# Основные эксплуатационные характеристики CubeSat 3U и 6U

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

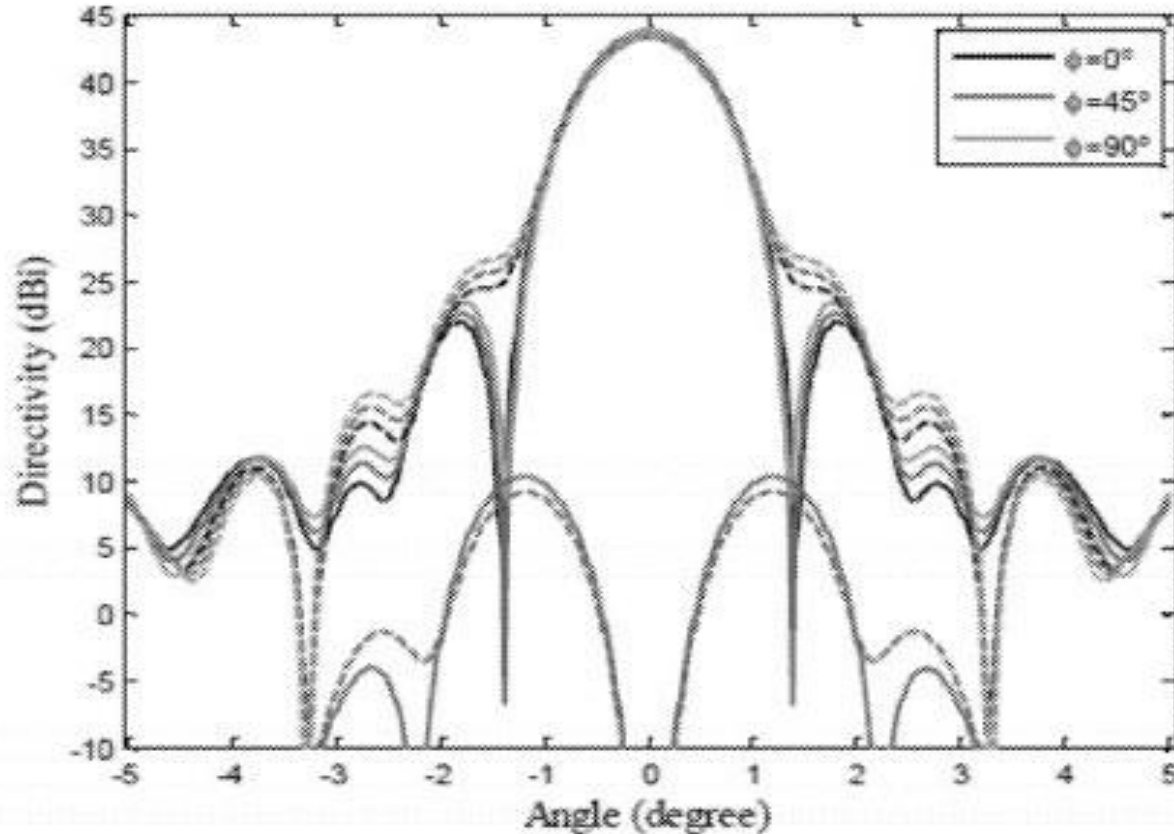
Параметр	Значение
Угол обзора	$\pm 60^\circ$
Случайное отклонение (шум)	Не более $\pm 0,1^\circ$
Напряжение питания	$5В \pm 0,3В$
Потребляемая мощность	0,05 Вт
Масса	100 г
Габариты	49,3x40x17,5 мм
Диапазон рабочих температур	$-40 \dots +60^\circ\text{C}$
Передаваемая телеметрия	Орт направления на Солнце, 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;  
 $\pi$  – число «пи»;  
 $D$  – диаметр зеркала, м;  
 $\lambda$  – длина волны, м;  
 $\Phi$  – 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

<b>«Экспресс-А М4»</b>	<b>250 млн. долларов</b>
<b>Все «CubeSat»</b>	<b>33,21 млн. долларов</b>

# 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