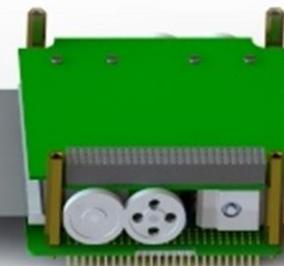


Проект построения группировки наноспутников с помощью солнечного паруса

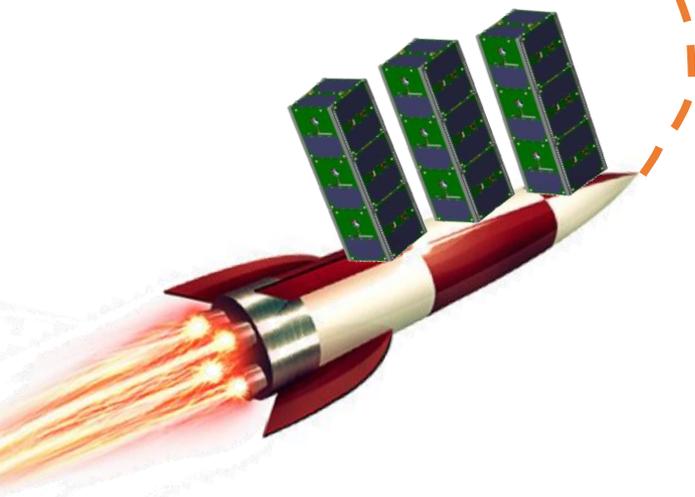
Авторы:

Тимакова Е.Д., С.М. Тененбаум, В.Г. Мельникова, А.А. Боровиков, М.
Ю. Корецкий, Ю.Л. Смирнова, А.О. Кузнецов, К.А. Фролов, Д.А. Рачкин,
О.С. Коцур, Н.А. Неровный

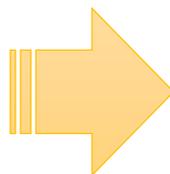
Проблема



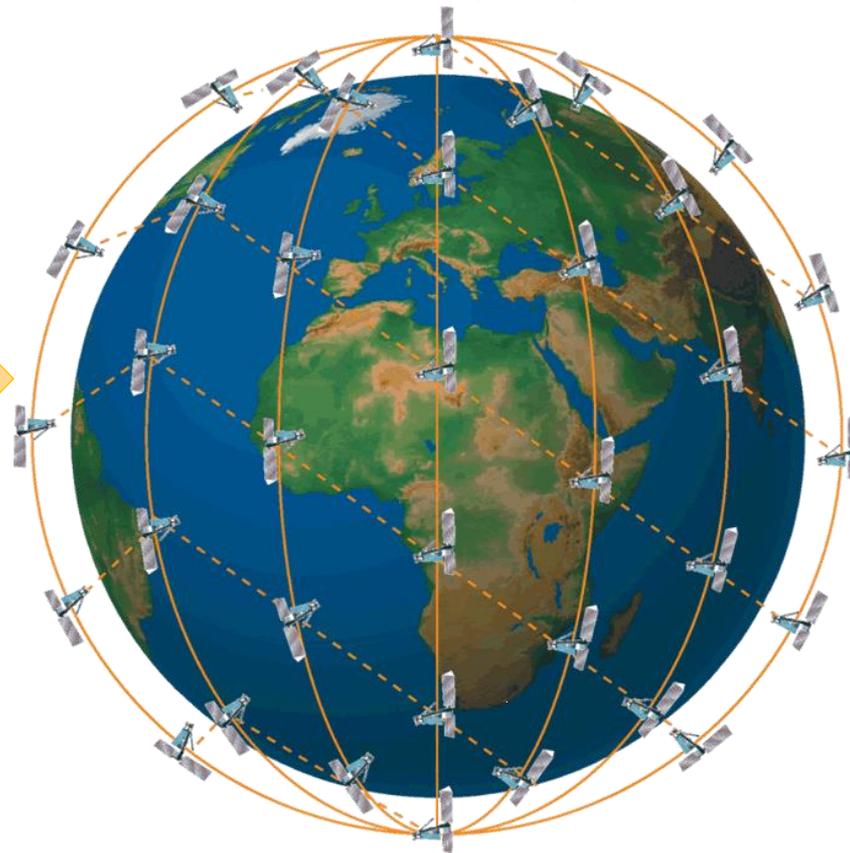
Все кубсаты летают как
одна точка



Двигательная установка

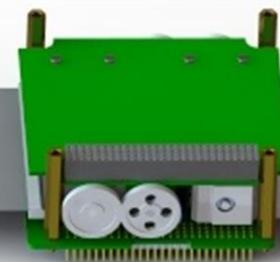


Спутниковая группировка

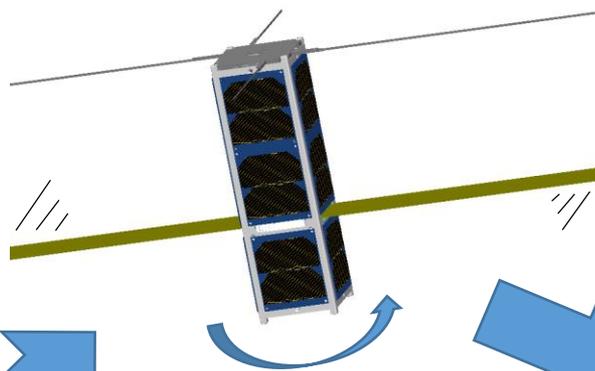


Наше решение

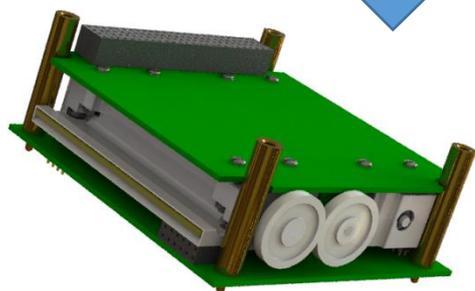
Двухлопастной роторный солнечный парус



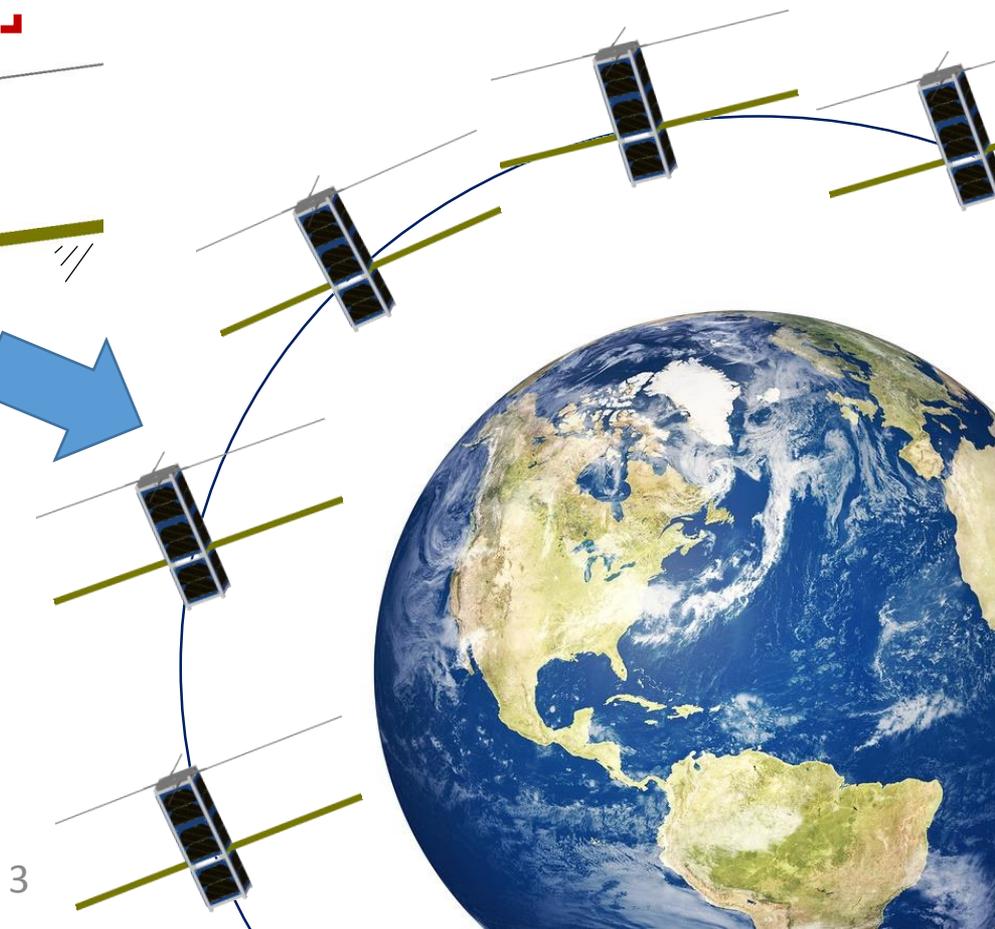
Спутниковая группировка



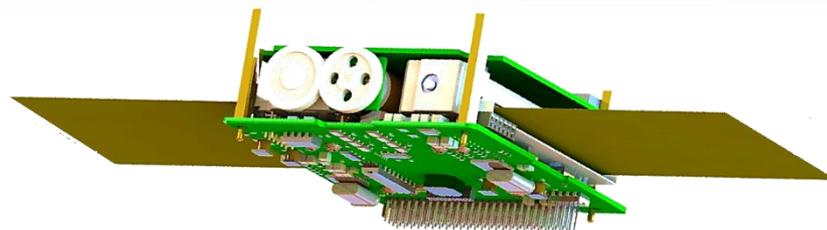
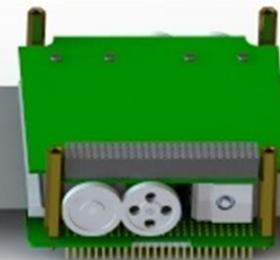
Аппараты с
модулем
«Одуванчик»



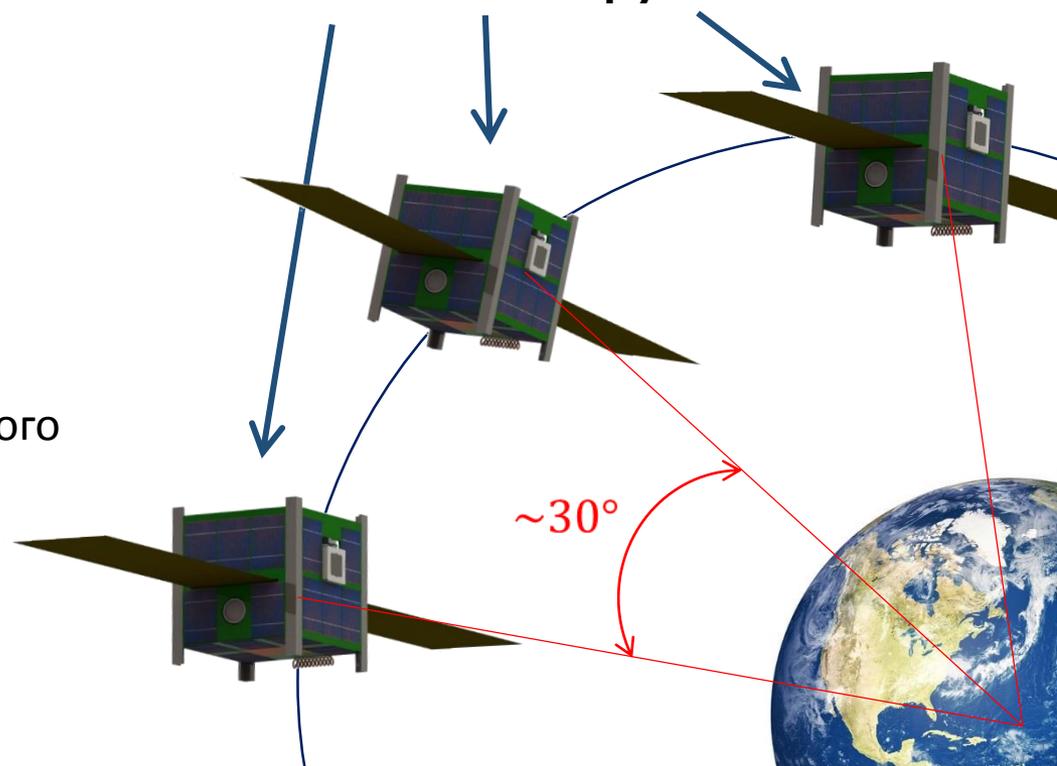
Модуль «Одуванчик»



Эксперимент «Ярило»



**Модуль
солнечного паруса**



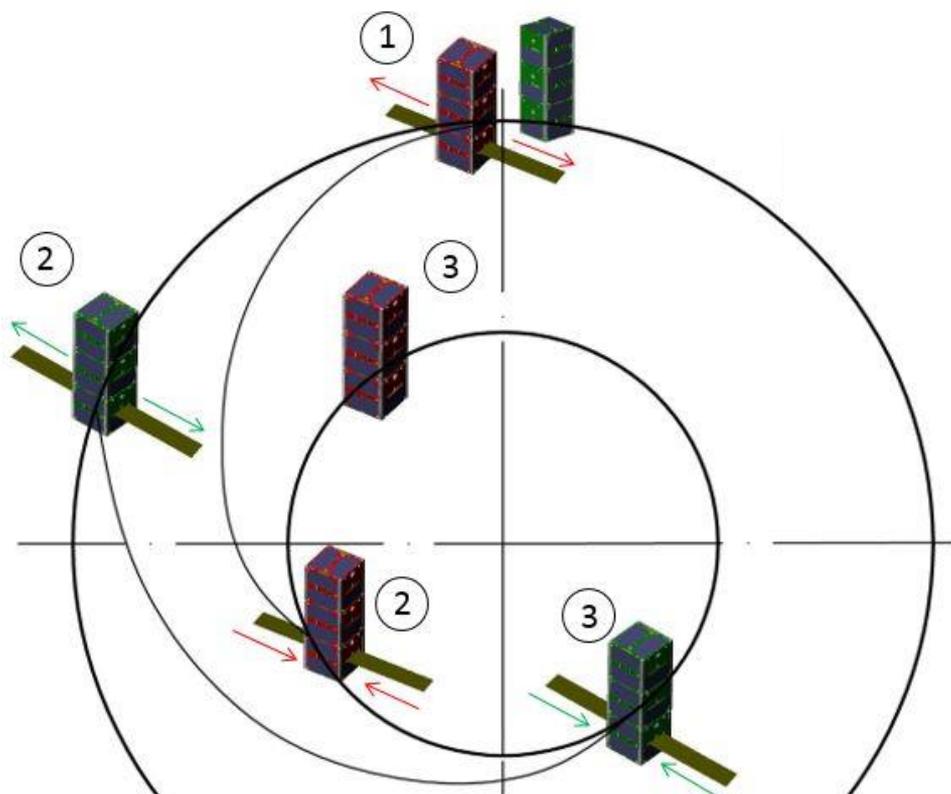
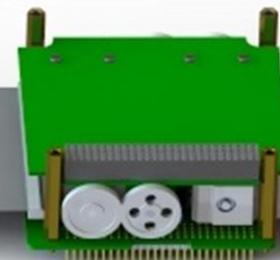
Цели:

- демонстрация технологии построения группировки наноспутников солнечным парусом
- демонстрация технологии обмена информацией между наноспутниками по протоколу DTN (Space Internet)

Задачи:

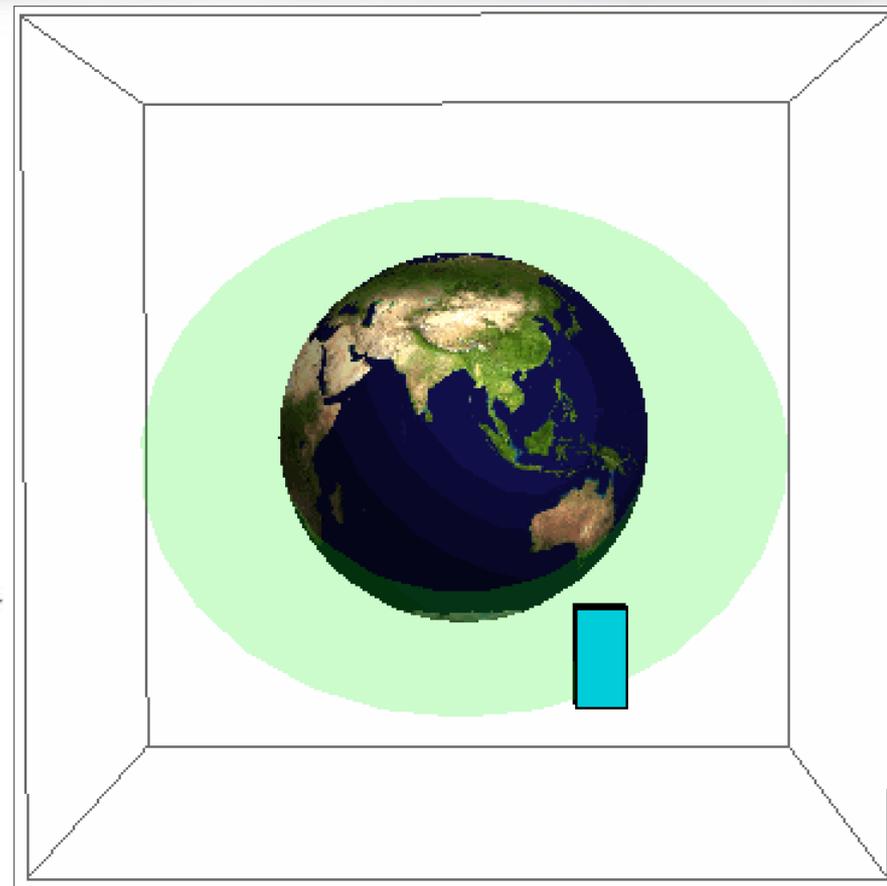
- запуск 3 кубсатов 1U
- построение группировки
- подтверждение возможности длительного группового полёта
- отработка DTN
- отработка управления ориентацией солнечного паруса с использованием магнитных катушек

Принцип работы



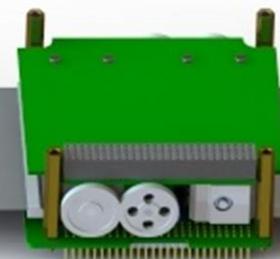
Алгоритм построения спутниковой группировки

- ① - номер шага
- ↔ - раскрытие паруса
- ← - закрытие паруса

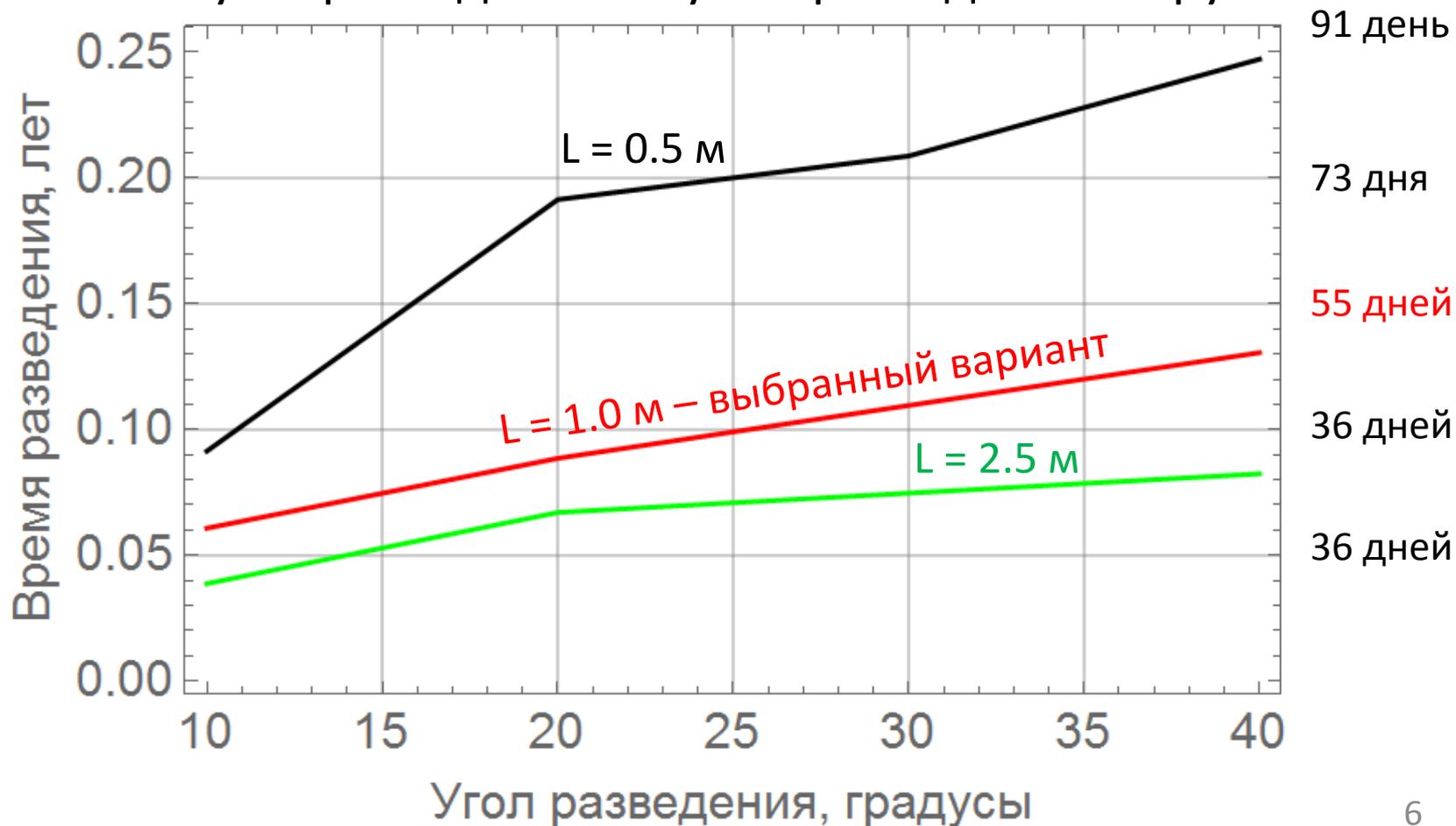


Зависимость от времени
углов между 8 аппаратами ξ
высотой орбиты 450 км и
площадью паруса 1 м

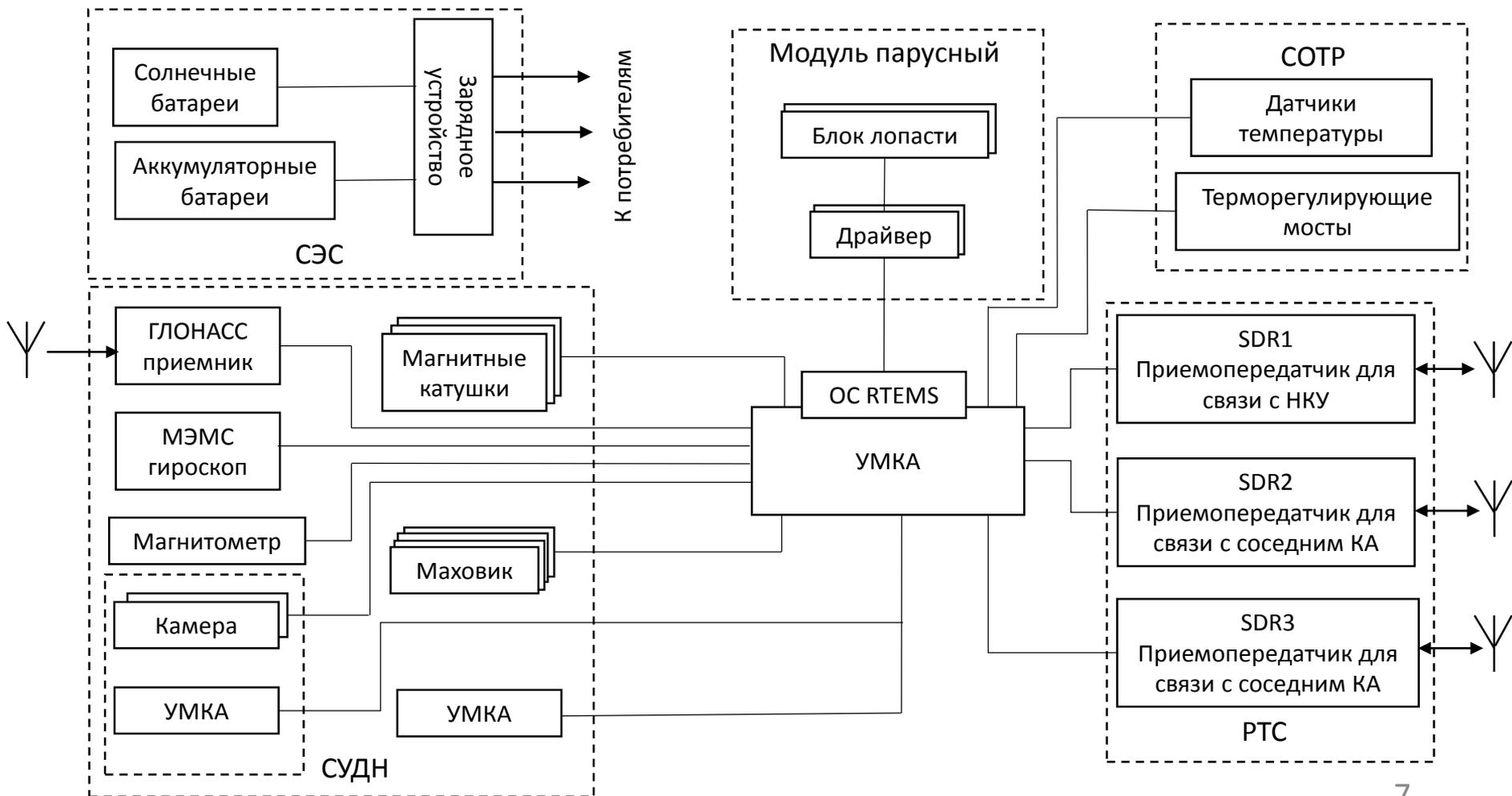
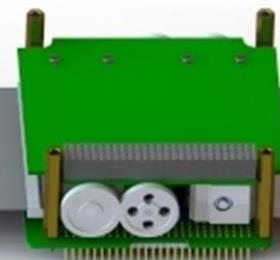
Баллистические расчеты



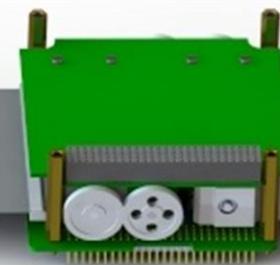
Зависимость времени разведения трёх аппаратов от угла разведения и суммарной длины паруса



Функциональная схема КМА



Внешняя компоновка КМА



Фотоэлектрические преобразователи

Порт заряда аккумуляторных батарей

Направляющие

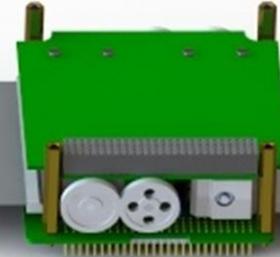
Антенна ГЛОНАСС

Двухлопастный солнечный парус

Камера широкоугольная

Антенна для связи с НКУ

Внутренняя компоновка КМА



Аккумуляторные батареи

Антенна для связи с другими аппаратами группировки

Межплатные стойки

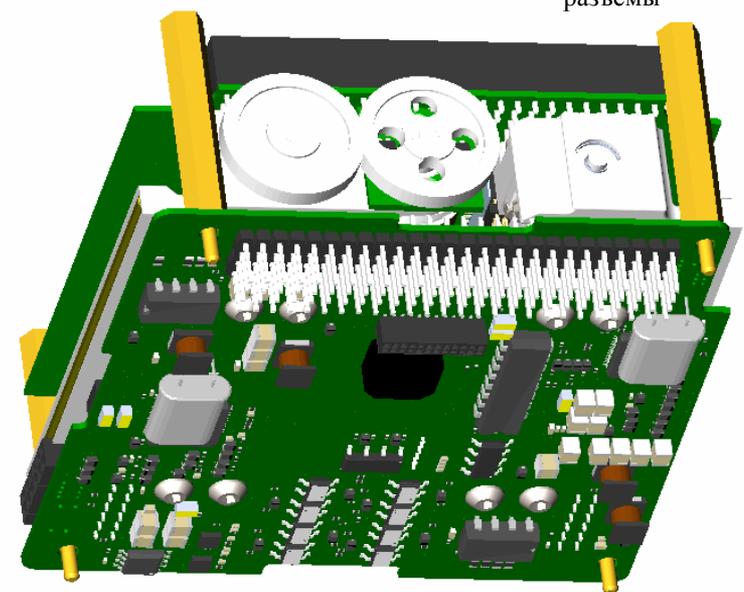
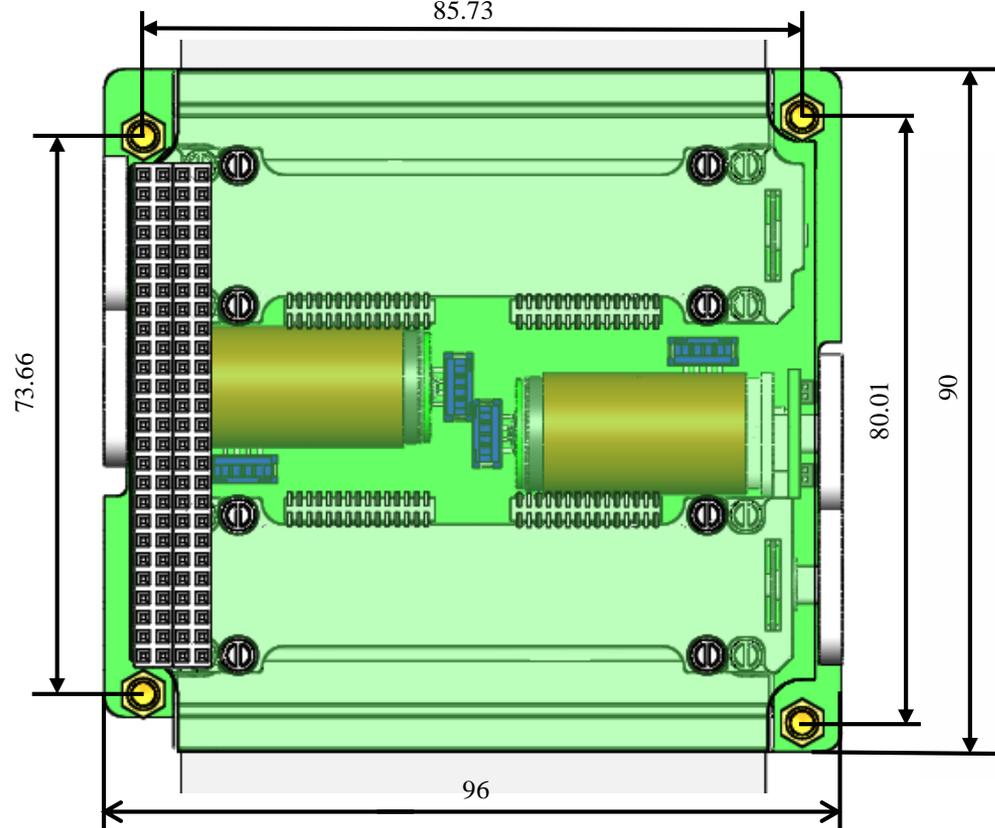
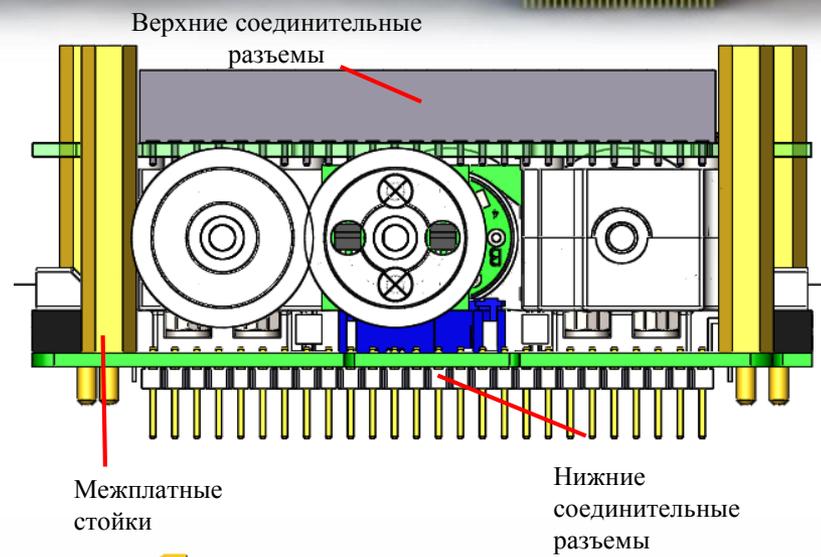
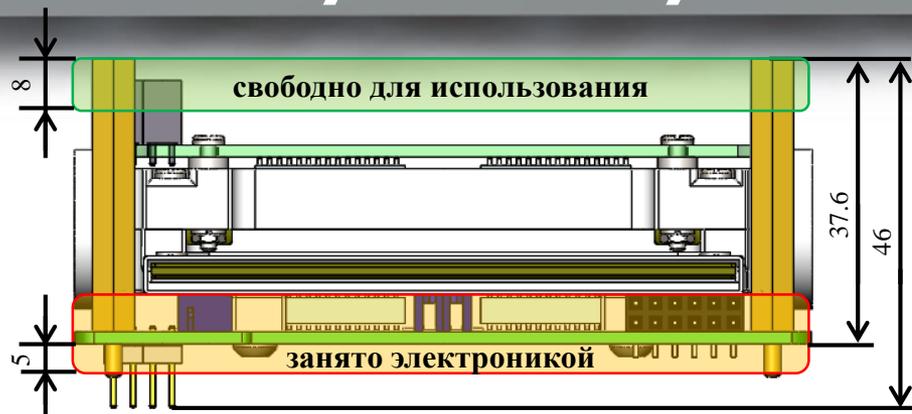
Межплатные соединители

Модуль «Одуванчик»

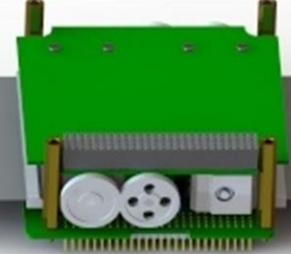
Двигатель - маховик

Магнитные катушки

Модуль «Одуванчик»



Система энергоснабжения

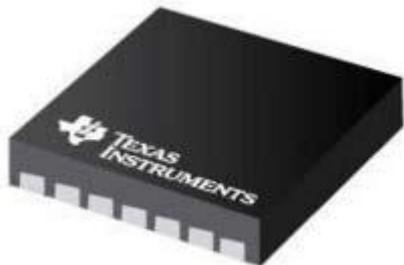


Технические характеристики

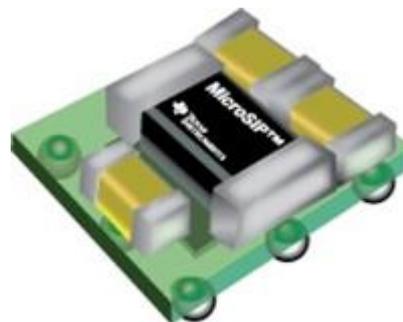
Емкость аккумуляторных батарей, Вт·ч	19500
КПД ФЭП, %	21
Мах выработка электроэнергии, Вт	1,136
Средневитковая выработка электроэнергии, не менее, Вт	0,686
Расчётный ресурс АБ, лет	5



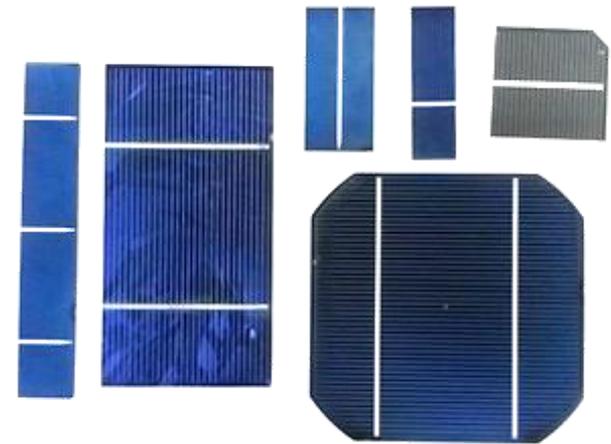
Аккумуляторная батарея



Преобразователь напряжения для формирования шины 3.3 В

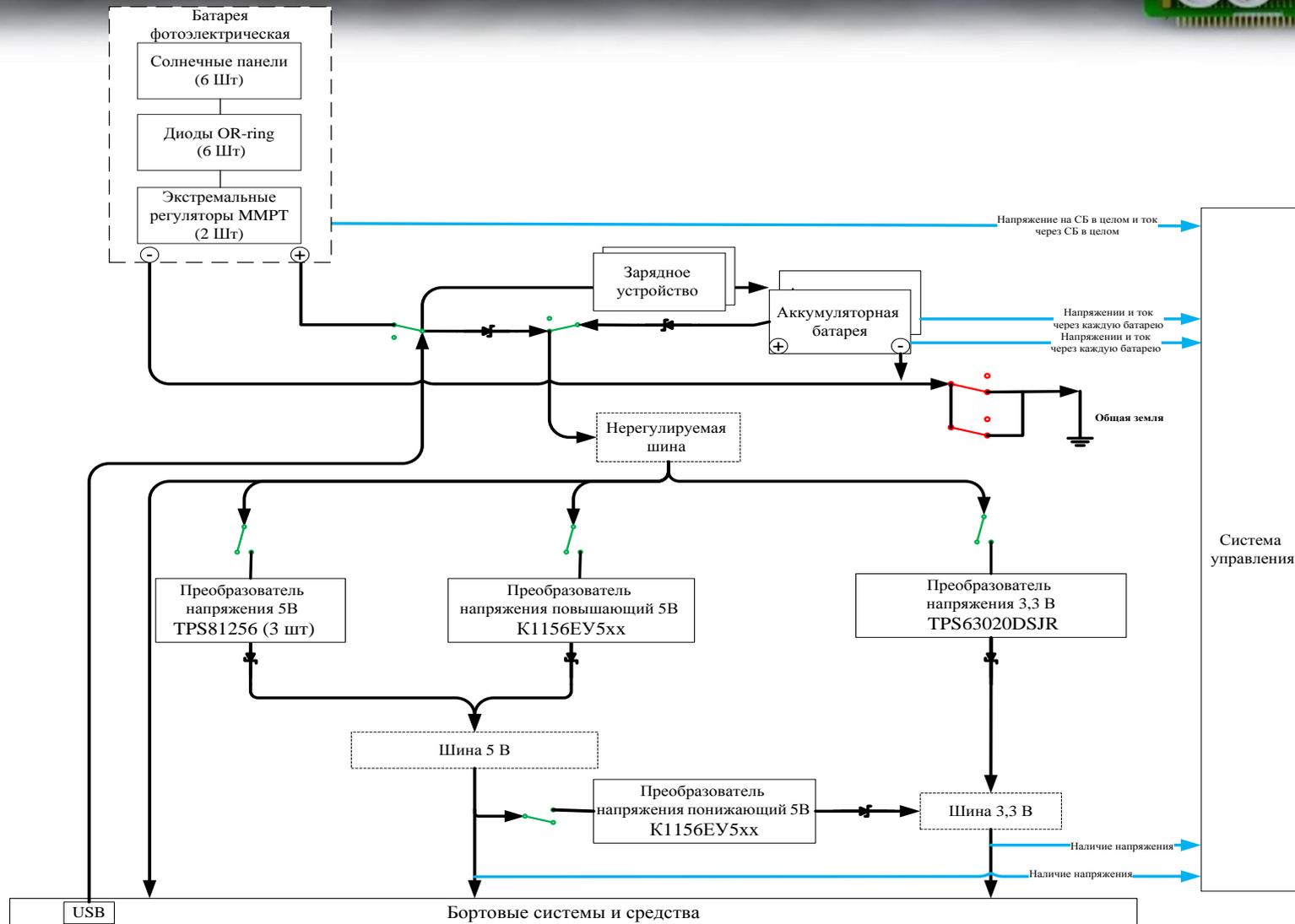
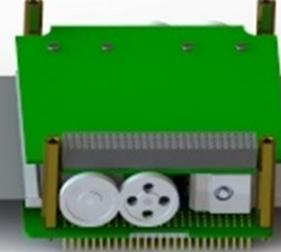


Преобразователь напряжения для формирования Шины 5 В



Кремниевые фотоэлементы

Система энергоснабжения



—> - Основные интерфейсы питания

—> - Телеметрические интерфейсы

—> - Технологический переключатель

—> - Главный выключатель (Полностью обесточивает/запитывает КМА)

Система управления движением и навигацией



Двигатели -Маховики (4 шт)

*Шаговый Двигатель
Faulhaber FDM0620*



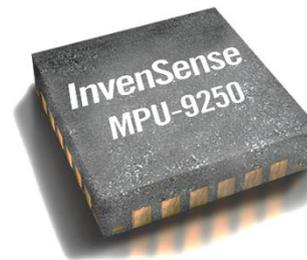
Камера (2 шт.)

RPi Camera (1)



ДУС + магнитометр

MPU - 9250



ADXRS290



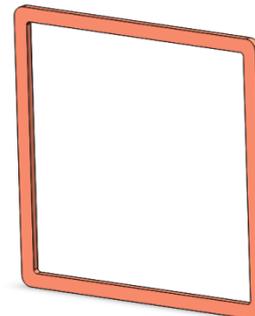
Основные режимы
ориентации

- демпфирование
- закрутка
- солнечная ориентация
- трехосная ориентация

Приемник
МНП М9



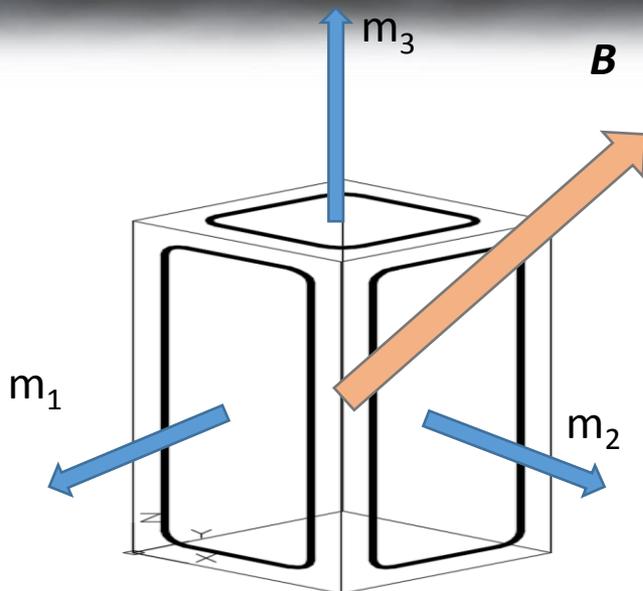
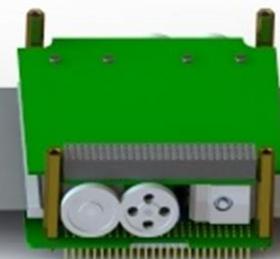
МИО
(5 шт.)



Датчики солнца

*Для первоначальной
ориентации на
Солнце
используются ФЭПы
СЭС*

Принципы и алгоритмы управления



Управляющий момент

$$\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{V}$$

Закрутка для требуемой угловой скорости выполняется с помощью МИО

Уравнения движения

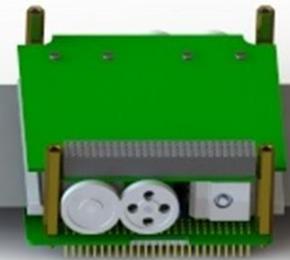
$$\begin{aligned} J_1 \omega_1' + (J_3 - J_2) \omega_2 \omega_3 &= M_1 \\ J_2 \omega_2' + (J_1 - J_3) \omega_3 \omega_1 &= M_2 \\ J_3 \omega_3' + (J_3 - J_2) \omega_1 \omega_2 &= M_3 \end{aligned}$$

Алгоритмы закрутки

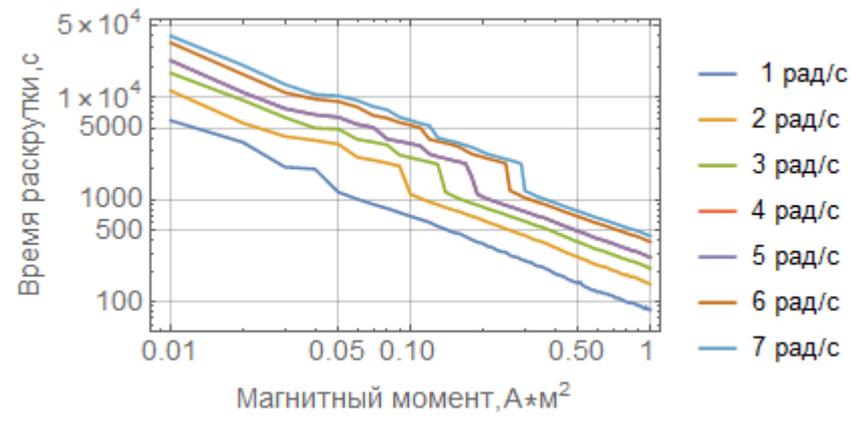
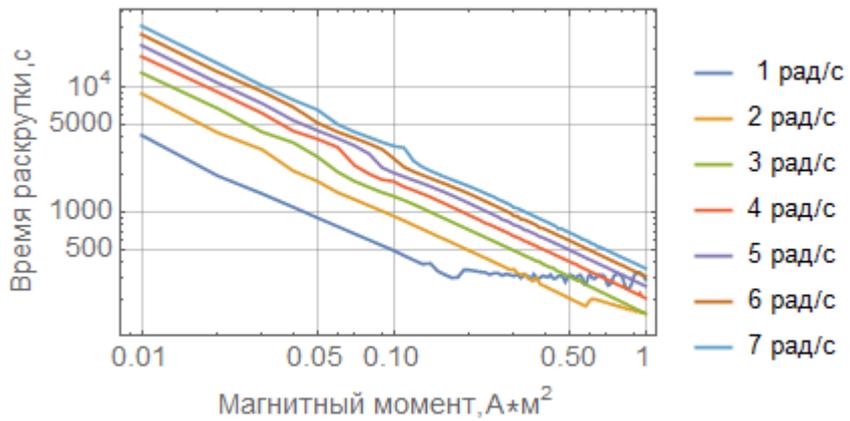
Алгоритм, представленный в статье «Magnetic Attitude Control System for Spin Stabilized Satellite», Hamed Shahmohamadi Ousaloo and Ali Badra

Алгоритм нашей разработки

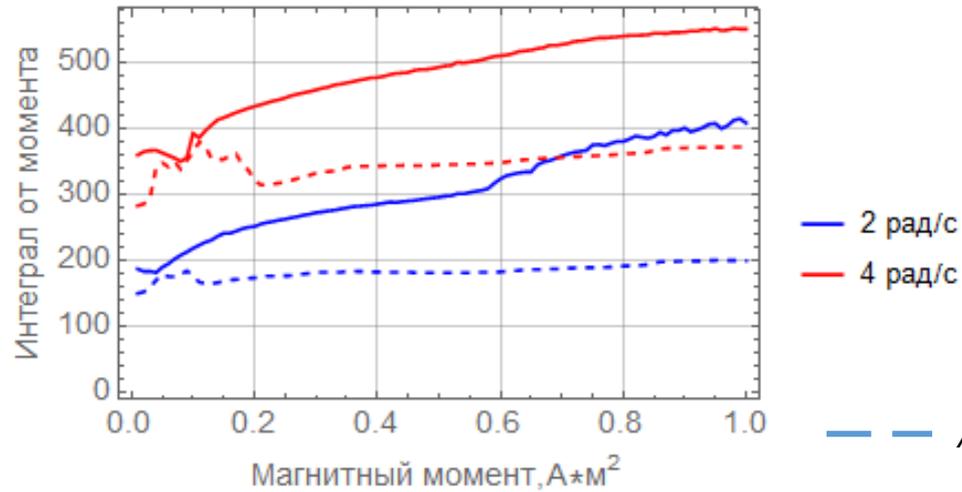
Результаты численного моделирования



$H=400$ км, $i=51,6^\circ$



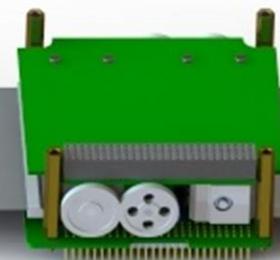
Сравнение энергопотребления



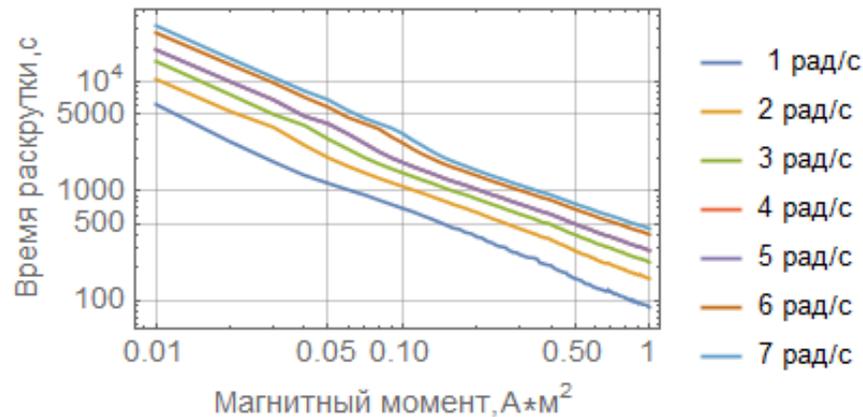
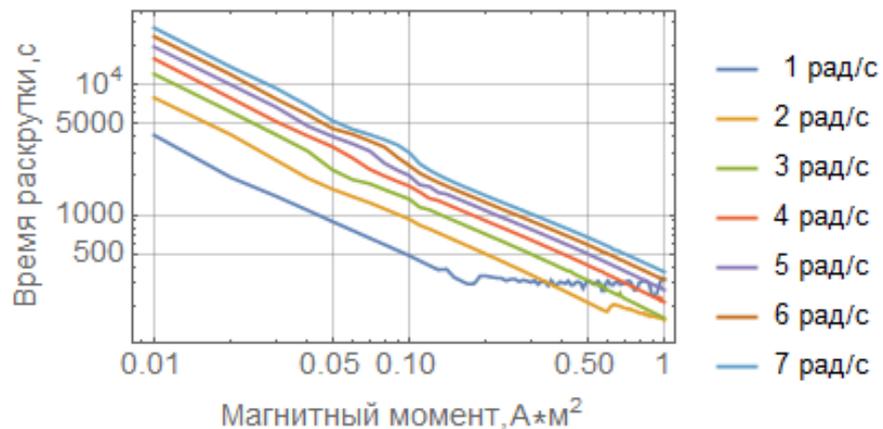
— Алгоритм 1

--- Алгоритм 2

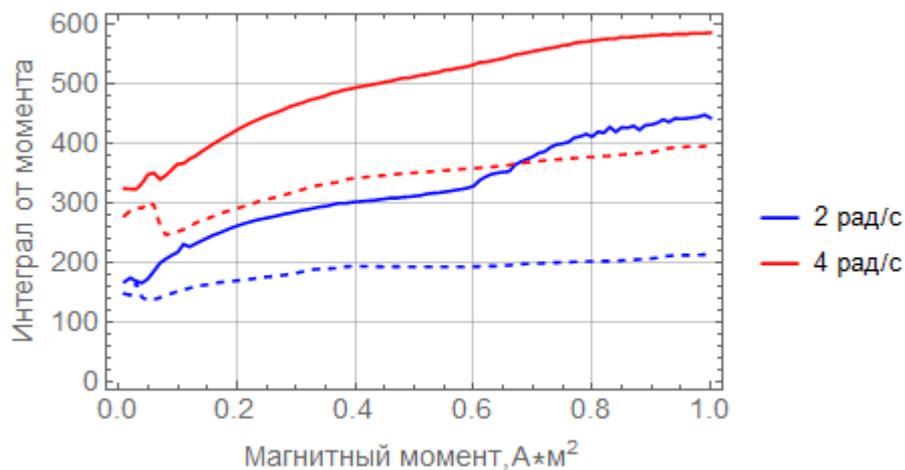
Результаты численного моделирования



$$H=550 \text{ км}, i=97,7^\circ$$



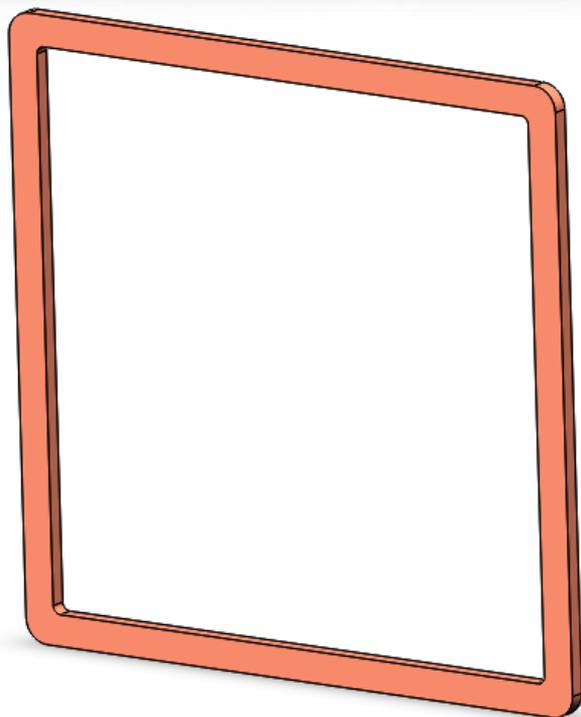
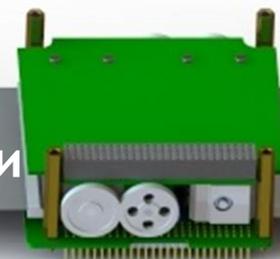
Сравнение энергопотребления



— Алгоритм 1

— Алгоритм 2

Магнитные исполнительные органы и их характеристики



Основные расчетные параметры:

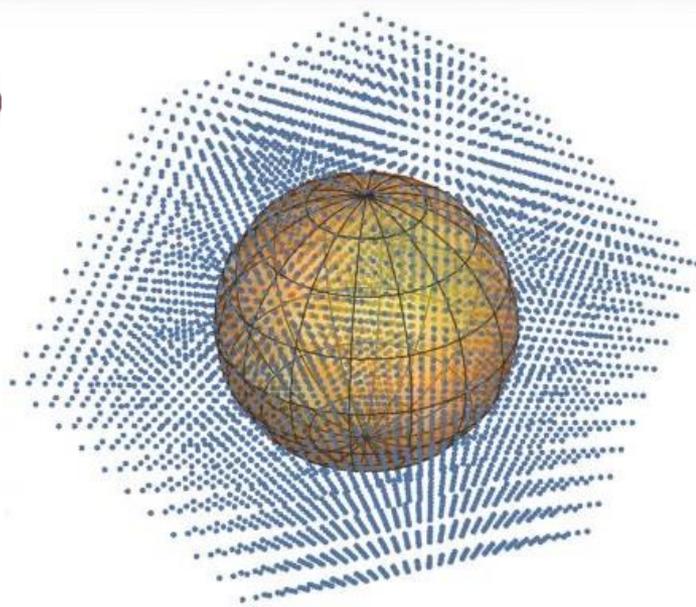
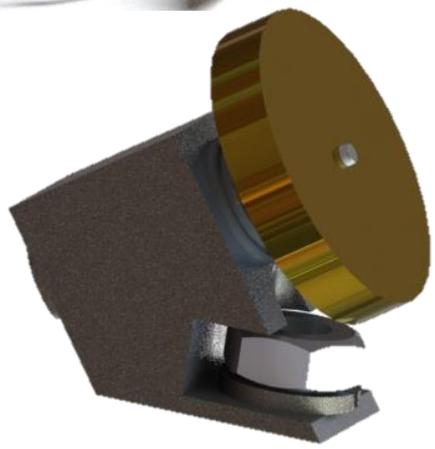
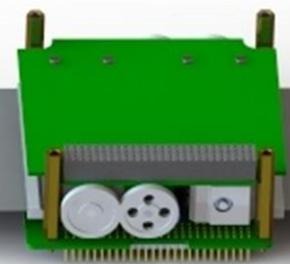
$$M = IBS \quad R = \frac{\rho L}{S}$$

$$N = \left(\left(\frac{A-B}{2} \right) * h \right) / d^2$$

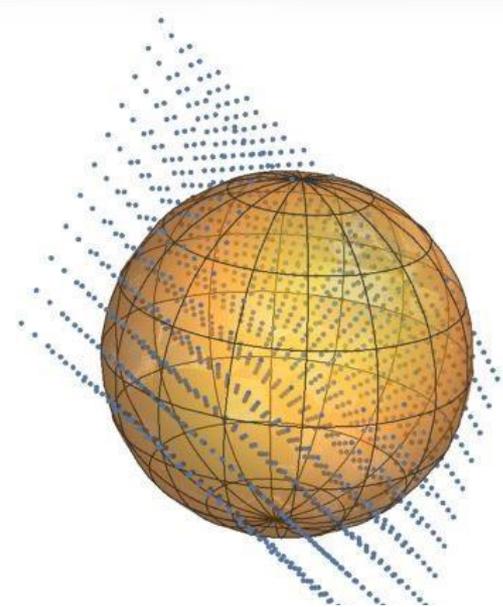
M – магнитный момент,
A – внешний размер,
B – внутренний размер, *h* – толщина,
N – кол-во витков, *d* – диаметр провода,
L – длина провода,
I – ток, *U* – Напряжение,
m – масса

М, А *мм2	А, мм	В, мм	h, мм	N	d, мм	L, м	I, А	U, В	m, г	Цена, руб
0,05	79	71	2	408	0,14	123	0,02	3	22	150

Двигатель-маховик



Область обеспечиваемого кинетического момента при штатном функционировании ДМ



Область обеспечиваемого кинетического момента при отказе одного ДМ

Максимальный кинетический момент, мН·м·с	Максимальный управляющий момент, мН·м	Максимальная скорость вращения маховика, об/мин	Масса, г	Габариты, мм
0,176	0,39	21 000	4,35	14x14x14,7

В основе ДМ лежит шаговый двигатель FAULHABER FDM0620

Система радиосвязи

Назначение:

- СВЯЗЬ КМА < = > НКУ → 435 МГц
- СВЯЗЬ КМА < = > КМА → 2,4 ГГц

Состав:

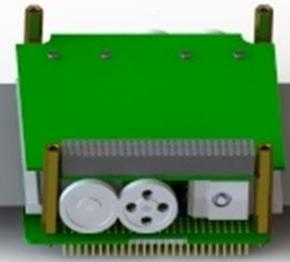
- приёмопередатчик 435 МГц
- приёмопередатчик S диапазона (2 шт.)
- антенны

Технические характеристики

- мощность передатчиков: до 5 Вт
(может изменяться в процессе полёта)
- Информационный интерфейс: SPI

Особенности:

- выбор частот обусловлен возможностями ЦУП МГТУ им. Н.Э. Баумана и компактностью аппарата
- используется задел по «Парус-МГТУ»

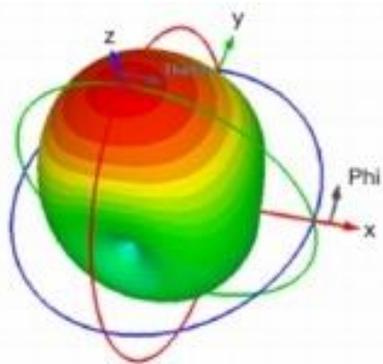
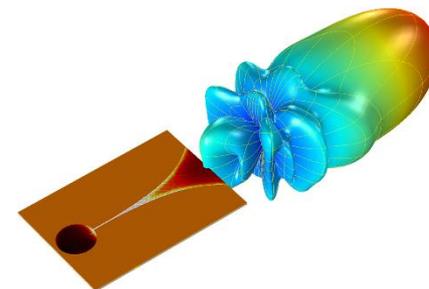
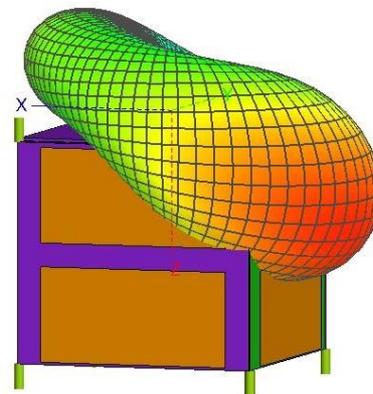
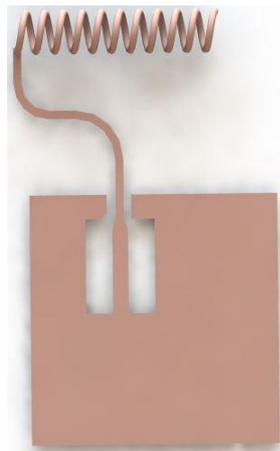
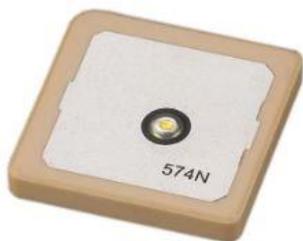
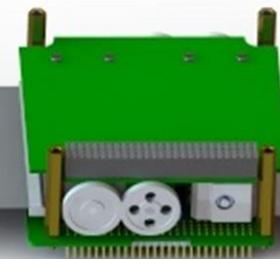


Микросборка-модем
RFM23BP – 435 МГц



Микросборка-модем
MBe v2.1 – 2,4 ГГц

Антенны космического аппарата



Антенна для связи с НКУ

1. Тип: Спиральная антенна
2. Частота: 435 МГц
3. Коэффициент усиления: 1.04
4. КСВ: 5 (по результатам предварительного моделирования, будет уточнен)

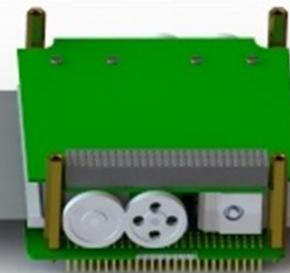
Антенна для связи с другими аппаратами группировки

1. Тип: Антенна Вивальди
2. Частота: 2400 МГц
3. Коэффициент усиления: > 7 дБ
4. КСВ: < 2

ГЛОНАСС/GPS Антенна

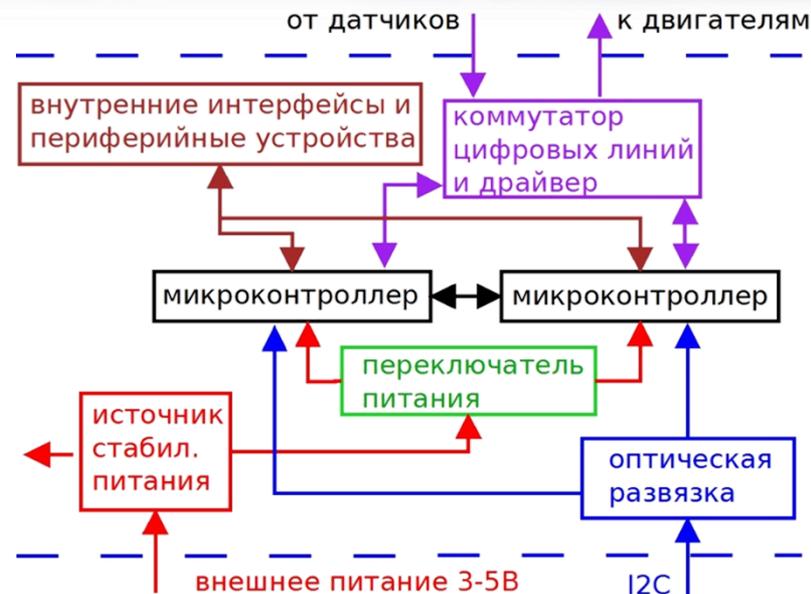
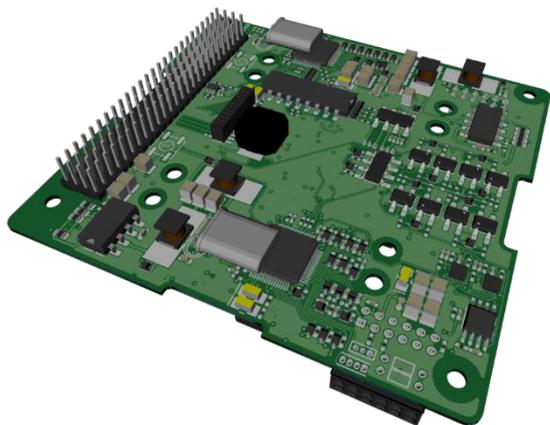
1. Тип: Патч-антенна
2. Частота: 1575 МГц
3. Коэффициент усиления: 1.04
4. КСВ: 1

УМКА



Решаемые задачи :

- Связь с материнским аппаратом
- Обеспечение стабилизированного питания конечных устройств (3.3; 5.0 В)
- Управление конечными устройствами
- Работа с датчиками
- Сбор и передача данных телеметрии



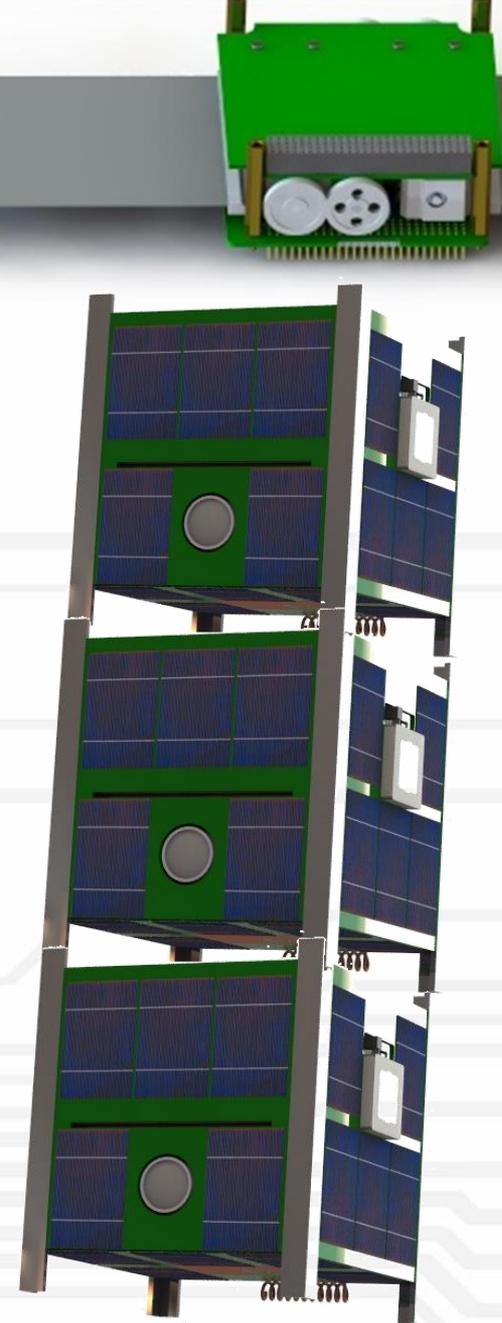
Архитектура

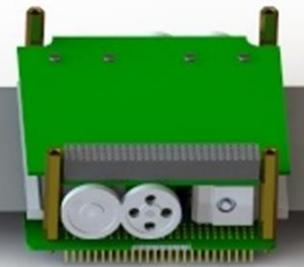
Особенности:

- Нормальное функционирование при одном произвольном необратимом отказе
- Использование преимущественно Российских компонентов

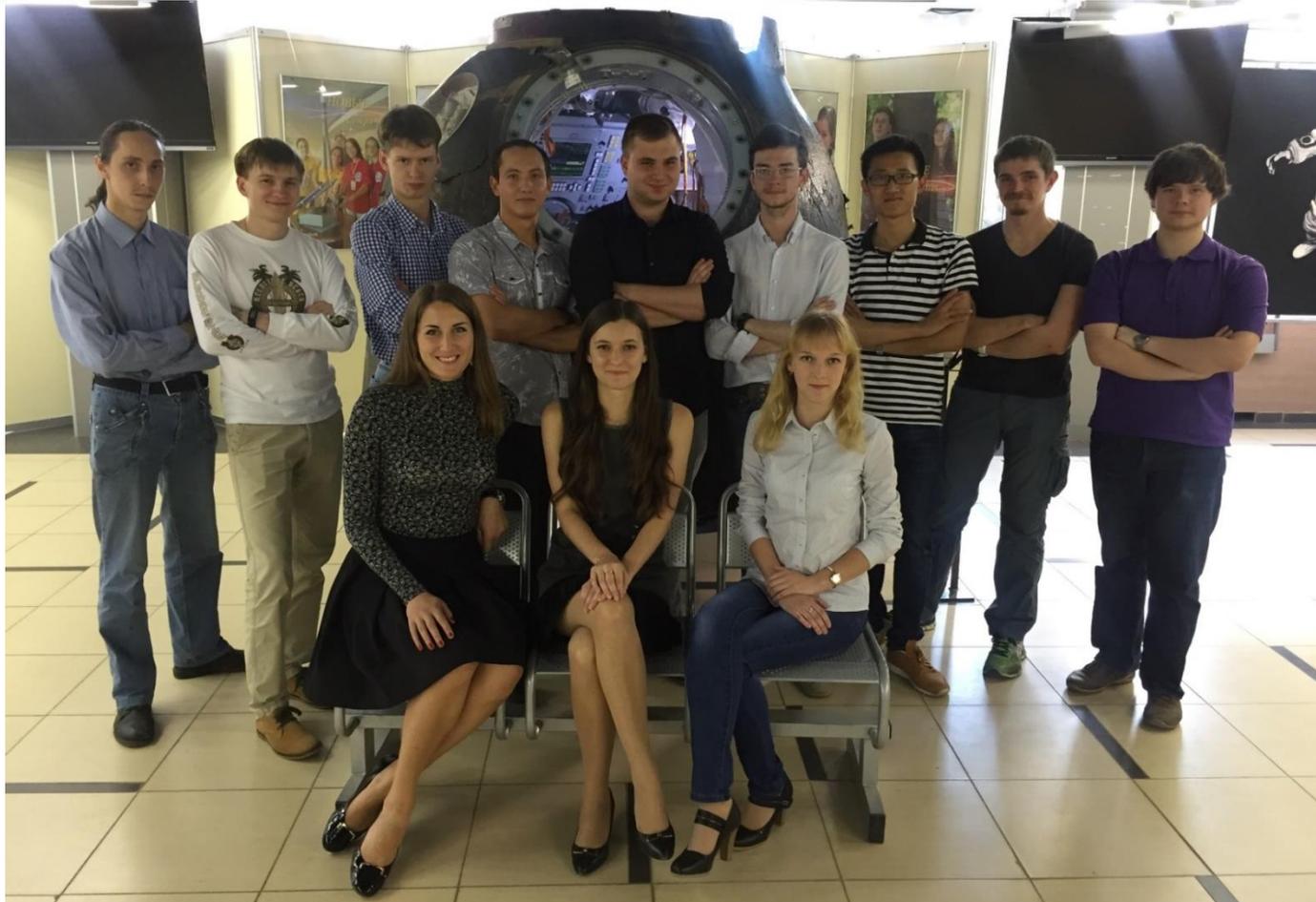
ВЫВОДЫ

- разработан проектный облик космического аппарата для проведения эксперимента по построению группировки наноспутников с помощью солнечного паруса
- Разработаны алгоритм и математическая модель для баллистических расчетов
- Предполагается одновременный запуск трех наноспутников формата 1U (допускается стандартом 3U) с МКС или из транспортно-пускового контейнера любого носителя
- предложен алгоритм раскрутки с помощью магнитных катушек, обеспечивающий снижение энергопотребления, определены затраты времени на раскрутку





Спасибо за внимание!



Сайт проекта: bsail.ru