

Построение наноспутниковых группировок с помощью солнечного паруса

МГТУ им. Н. Э. Баумана

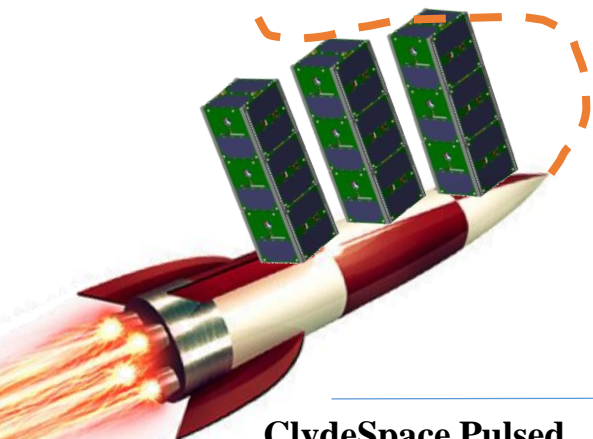
Мельникова Валерия

Тененбаум Степан



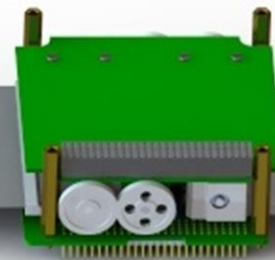
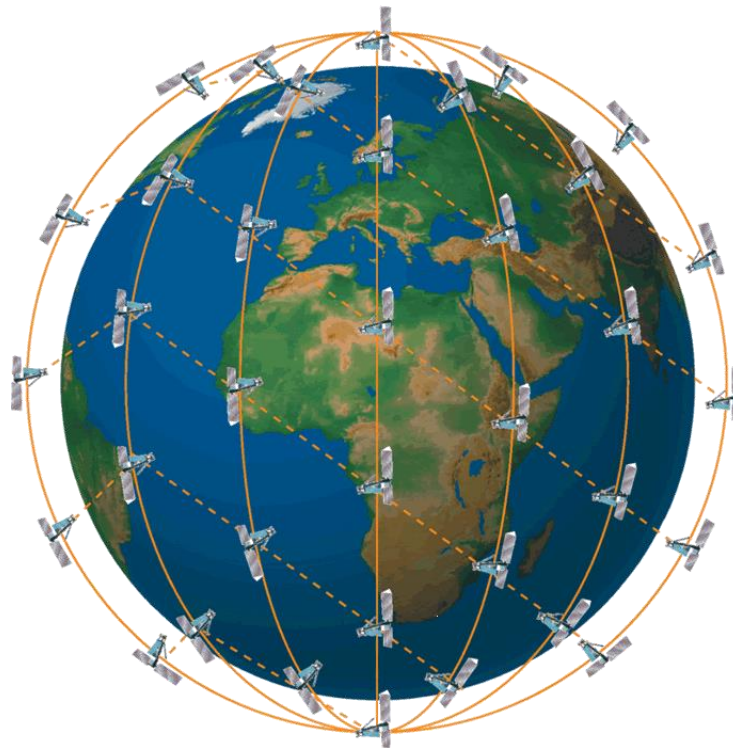
Проблема

Все кубсаты летают как одна точка



Двигательная установка

Спутниковая группировка



ClydeSpace Pulsed Plasma Thruster

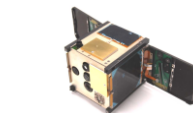


Micro-space micropropulsion system



 **AEROSPACE**
Assuring Space Mission Success

 planet.

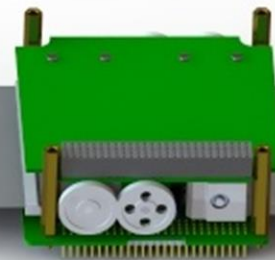


AeroCube



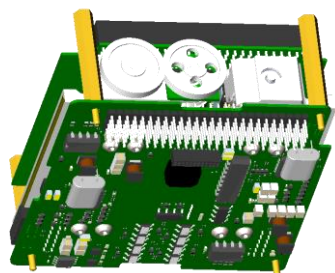
Dove

Наше решение

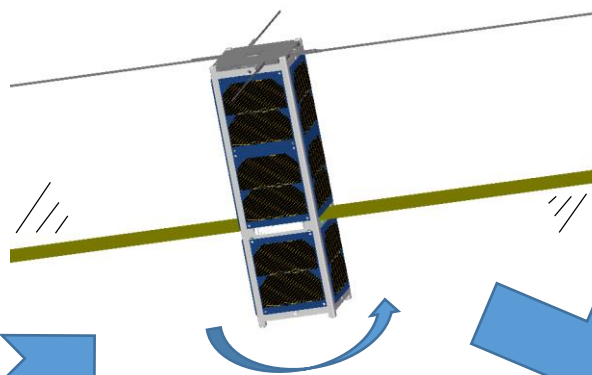


Двухлопастной роторный
солнечный парус

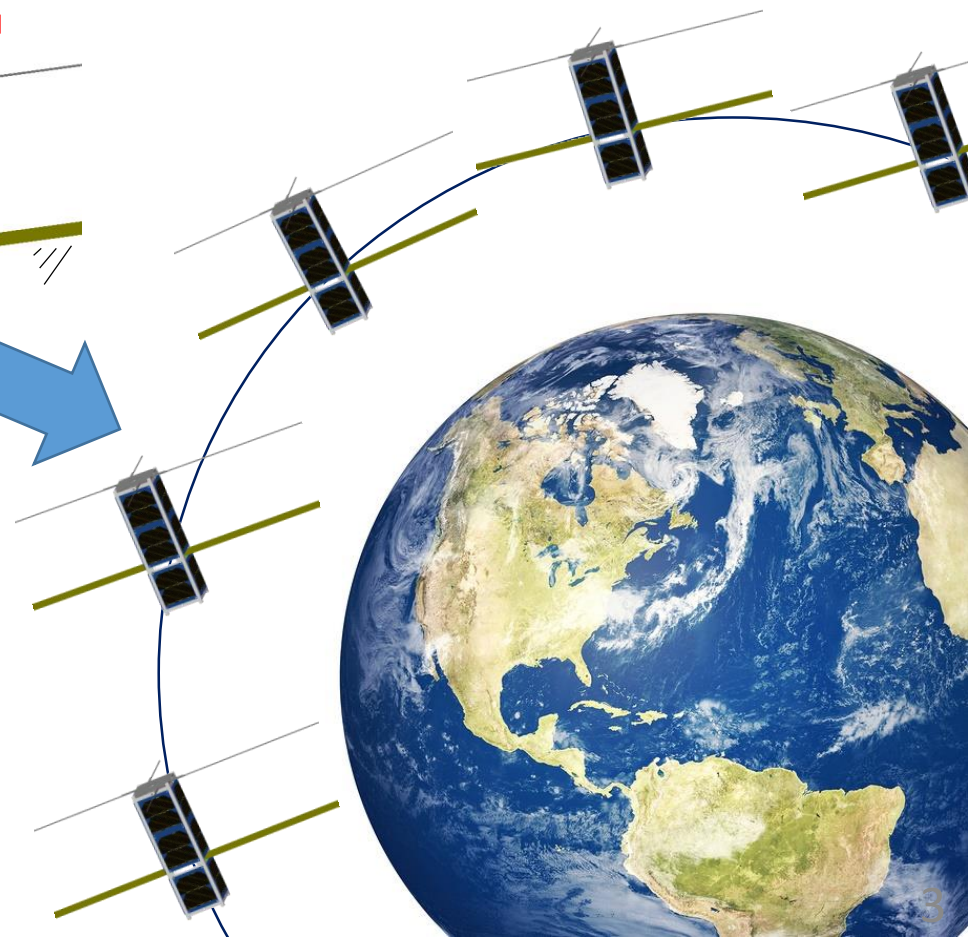
Спутниковая группировка



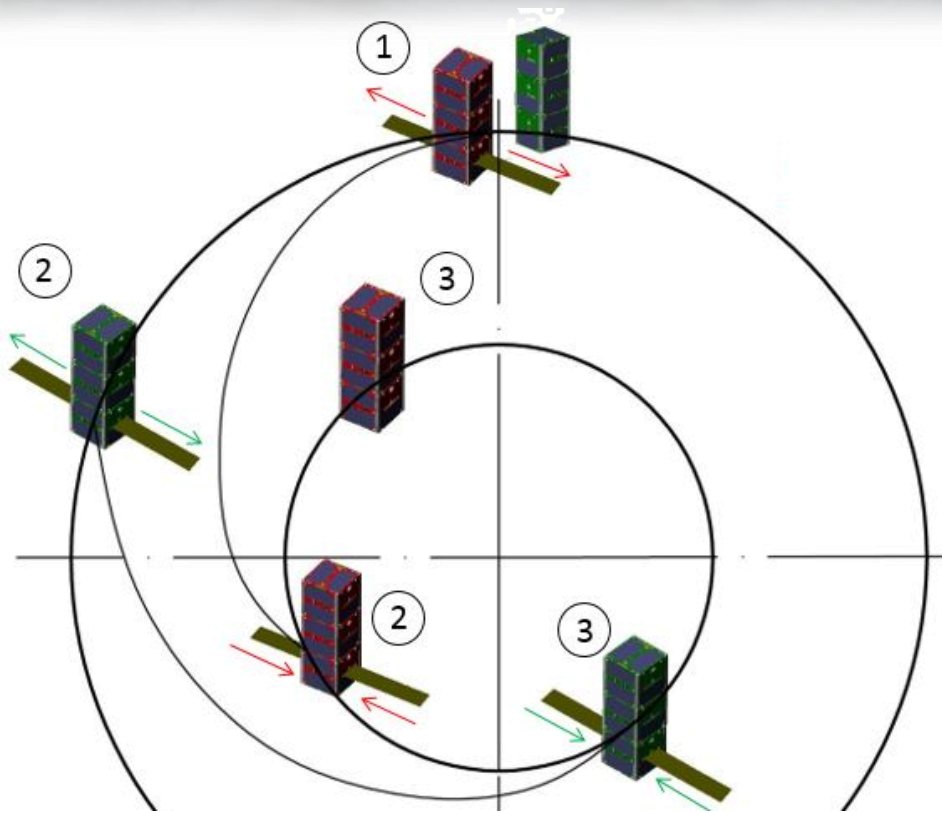
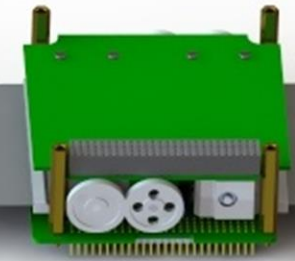
Модуль «Одуванчик»



Аппараты с
модулем
«Одуванчик»



Принцип работы



Алгоритм построения спутниковой группировки

- ① - номер шага
- раскрытие паруса
- закрытие паруса

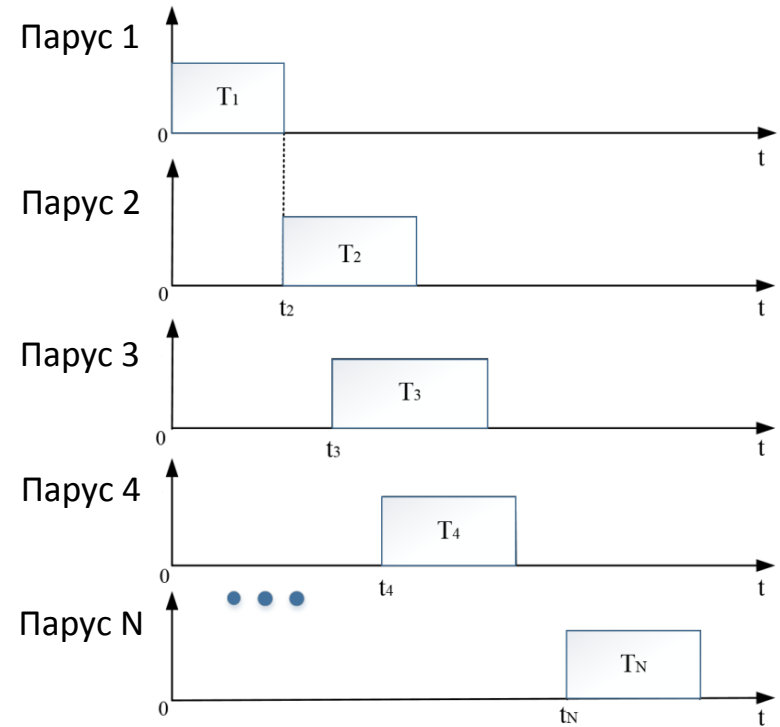
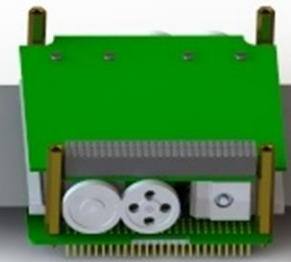


Диаграмма работы солнечных парусов

- N – число аппаратов
- t – момент начала раскрытия паруса
- T – период времени, в течение которого парус раскрыт

Математическая модель



Допущения:

- Ориентация аппарата считается постоянной в инерциальном пространстве
- Плотность атмосферы берется для теневой стороны Земли (минимальная)
- Атмосфера планеты неподвижна
- Силы притяжения Солнца и остальных планет не учитываются

$$\ddot{\vec{X}}(t) = \frac{\vec{F}}{m}$$

где $\ddot{\vec{X}}(t)$ – вектор координат;
 m – масса аппарата;

$$\vec{F} = \vec{F}_g + \vec{F}_a + \vec{F}_s$$

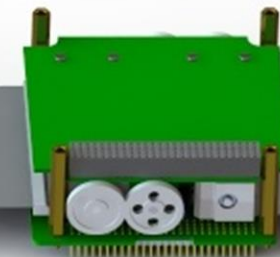
вектор сил, состоящий из:

\vec{F}_g – сила притяжения Земли (с учетом сжатия Земли - 2 зональная гармоника),

\vec{F}_a – сила сопротивления атмосферы (ГОСТ Р 25645.166-2004, $F_{10,7} = 75 \cdot 10^{-22}$ Вт/ м²Гц),

\vec{F}_s – сила солнечного давления.

Алгоритм



t_i - момент начала раскрытия i -го паруса

T_i - период времени, в течение которого i -ый парус раскрыт

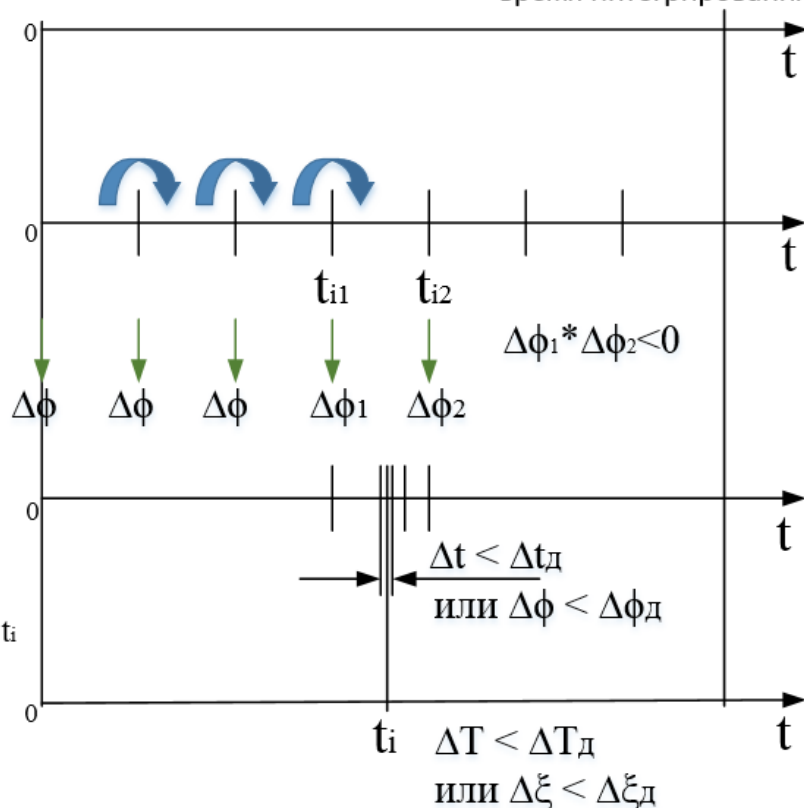
t_{max} - максимальное время интегрирования

Выбор t_{max}

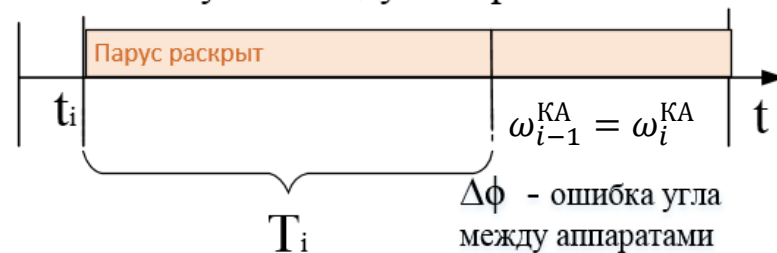
Выбор интервала для поиска t_i

Поиск t_i методом дихотомии

Поиск T_i соответствующего t_i методом дихотомии

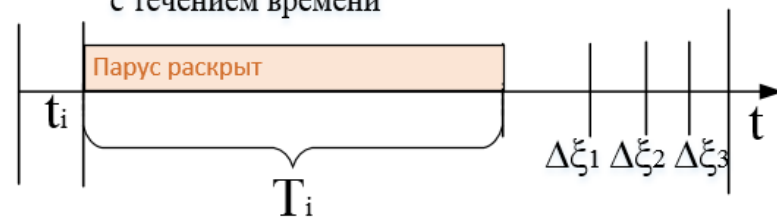


поиск T_i из условия обеспечения заданного угла между аппаратами

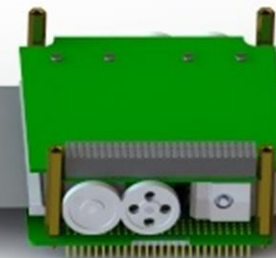


поиск T_i из условия сохранения угла между аппаратами длительное время

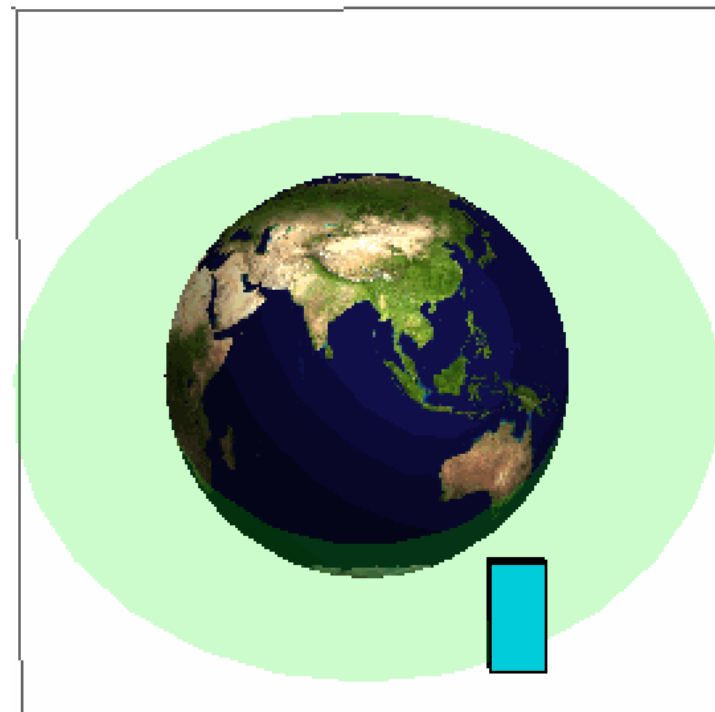
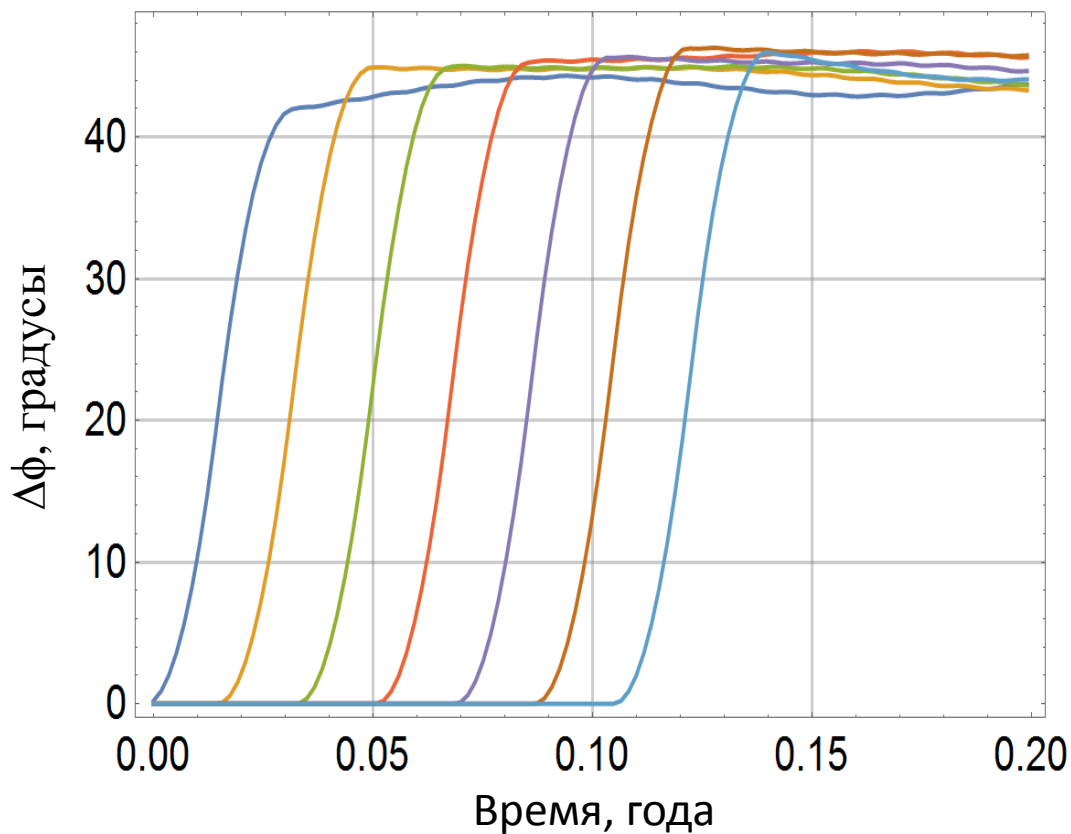
$\Delta\xi$ - изменение угла между аппаратами с течением времени



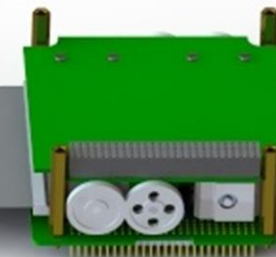
Результаты



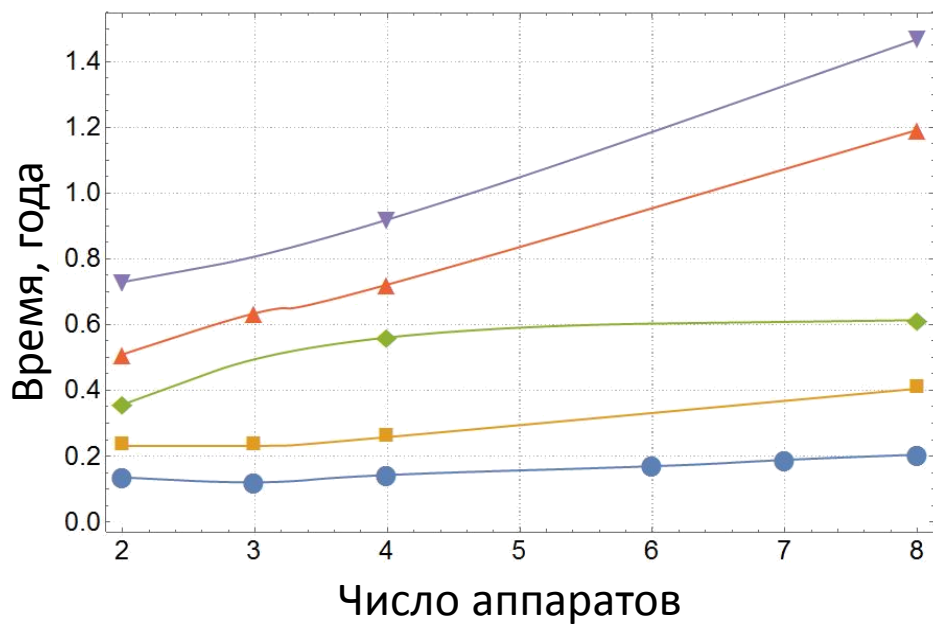
Зависимость от времени углов $\Delta\phi$ между 8 аппаратами
с высотой орбиты 450 км и площадью паруса 1 м²



Результаты



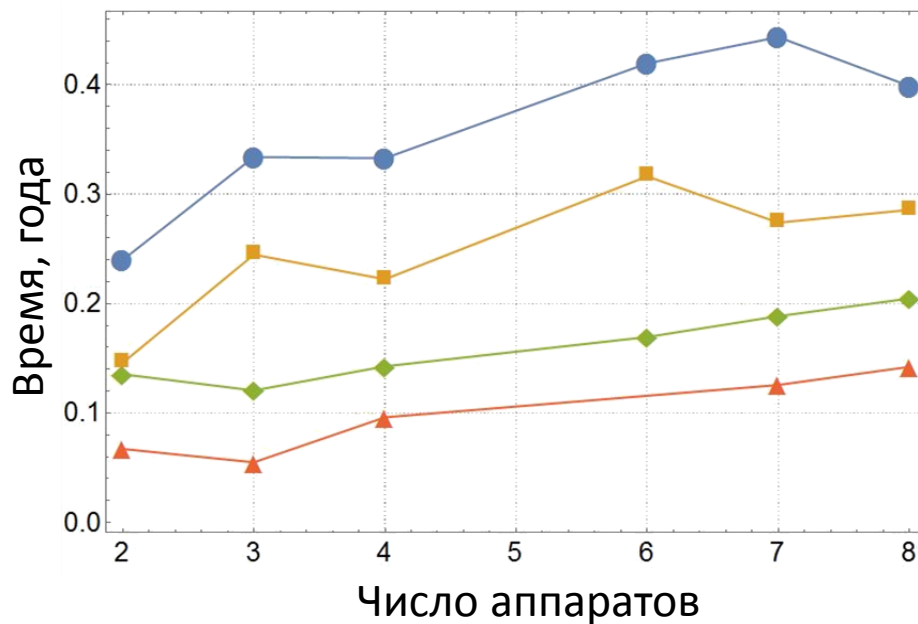
Влияние высоты орбиты
на время разведения
(площадь паруса – 0.5 м^2)



Высота:

● 450 км ■ 500 км ◆ 550 км ▲ 600 км ▼ 650 км

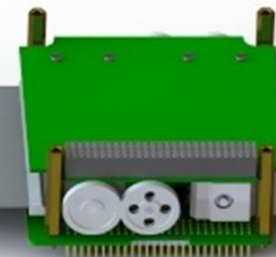
Влияние площади паруса
на время разведения
(высота – 450 км)



Площадь паруса:

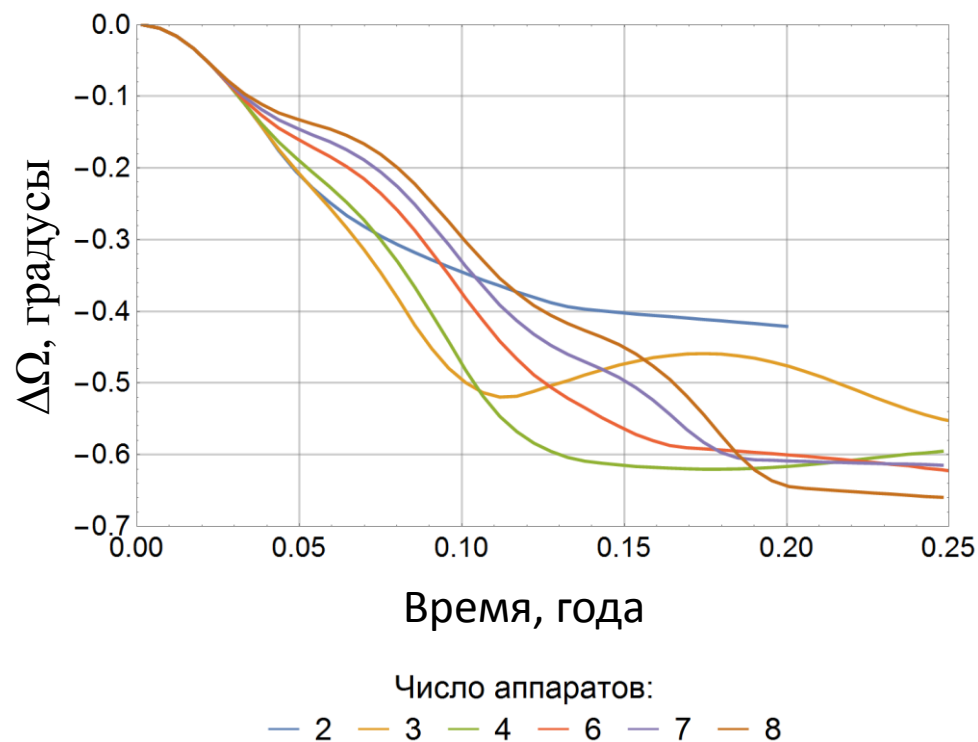
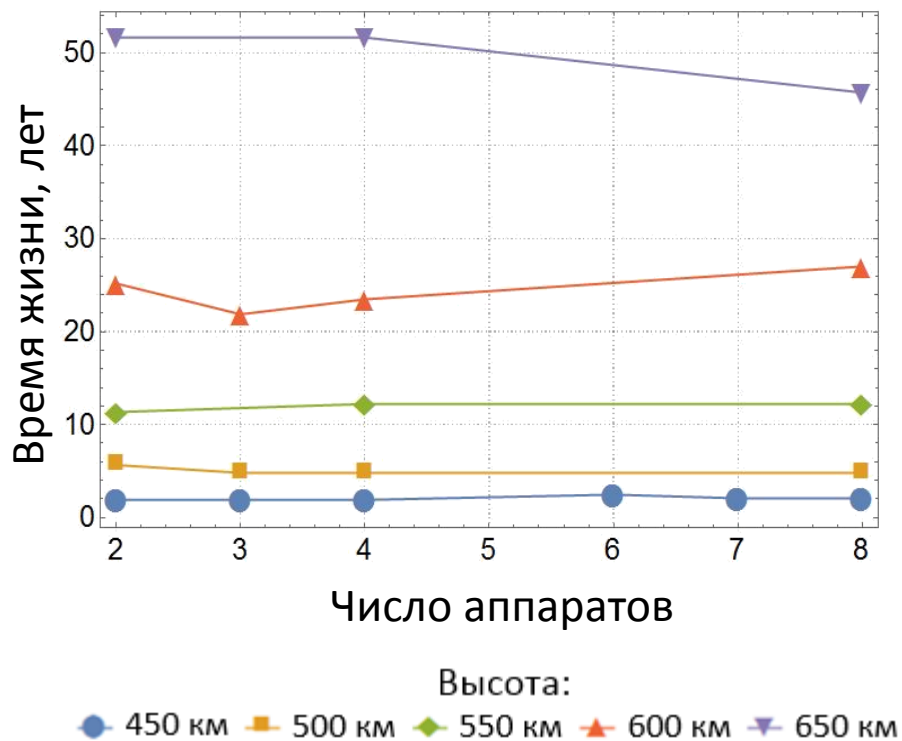
● 0.125 м^2 ■ 0.25 м^2 ◆ 0.5 м^2 ▲ 1 м^2

Результаты

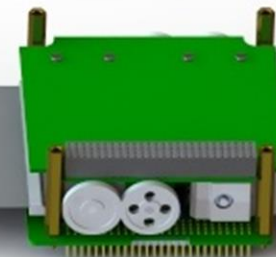


Срок существования аппаратов после построения группировки (площадь паруса – 0.5 м^2)

Разница долготы восходящего узла между первым и последним аппаратами (высота – 450 км, площадь паруса – 0.5 м^2)



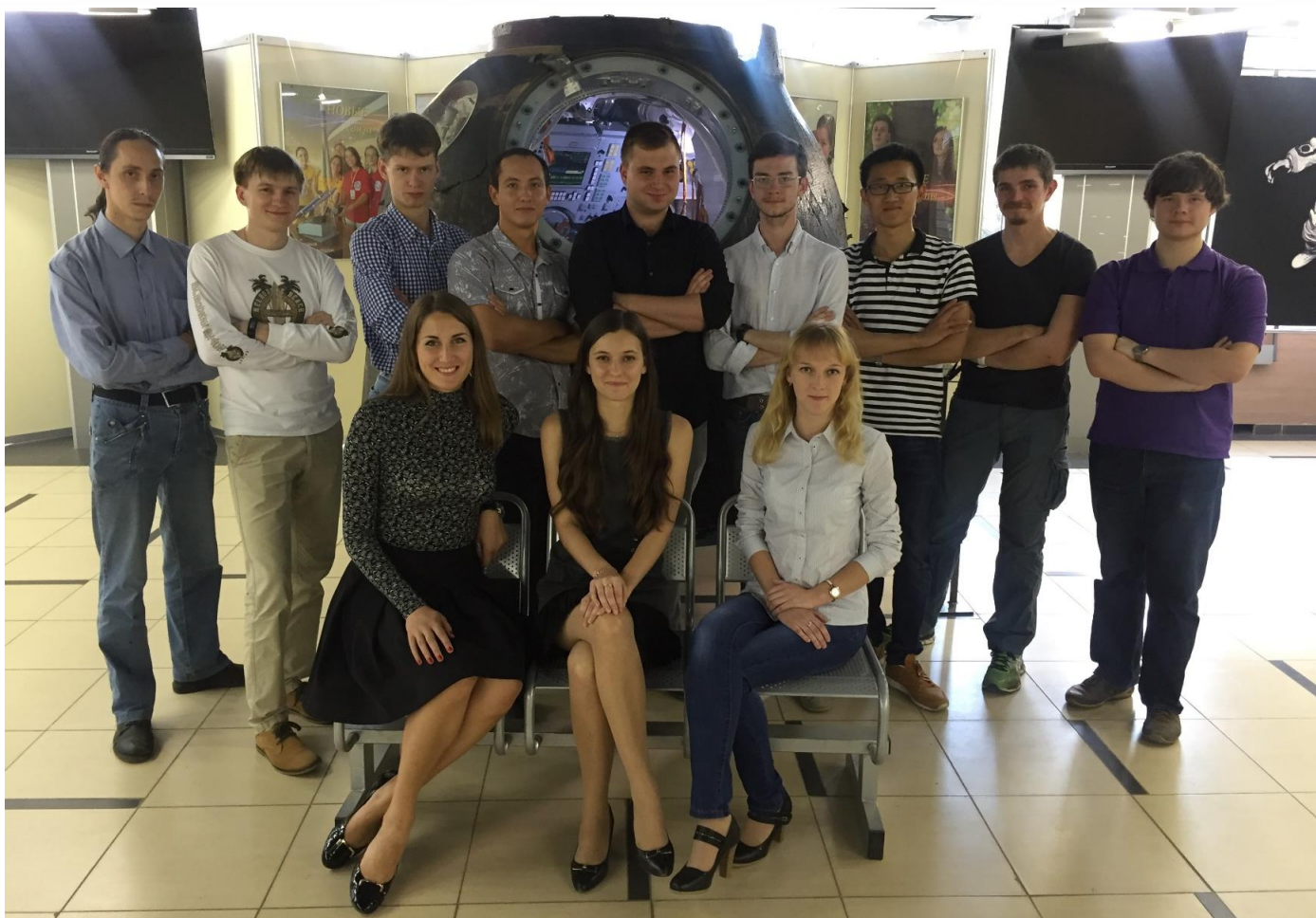
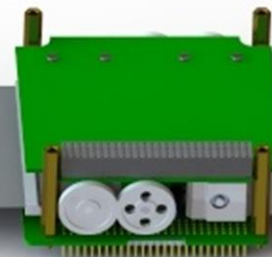
Выводы



- Разработан оригинальный метод построения группировки наноспутников с использованием солнечного паруса
- В первом приближении обоснована реализуемость предложенного метода
- Разработана программа по моделированию построения группировки
- Создан алгоритм решения задачи определения циклограммы работы солнечных парусов на каждом аппарате
- Определены основные зависимости времени разведения от высоты начальной орбиты, числа спутников в группировке и площади солнечного паруса

- Требуется уточнение моделей атмосферы, гравитационного поля и солнечного давления

Спасибо за внимание!



Сайт проекта: bsail.ru