

Перспективные способы управления групповым полётом малых спутников

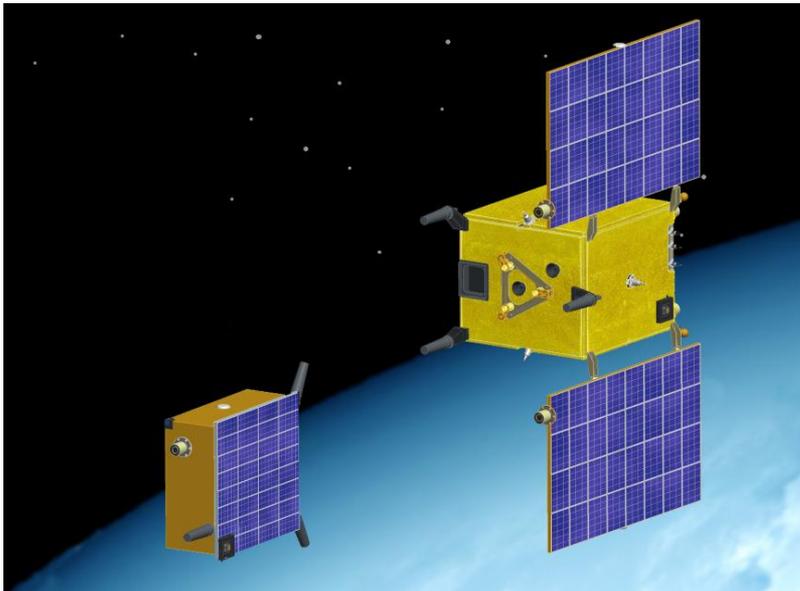
Иванов Д. С.
Овчинников М. Ю.
Шестаков С. А.

Содержание

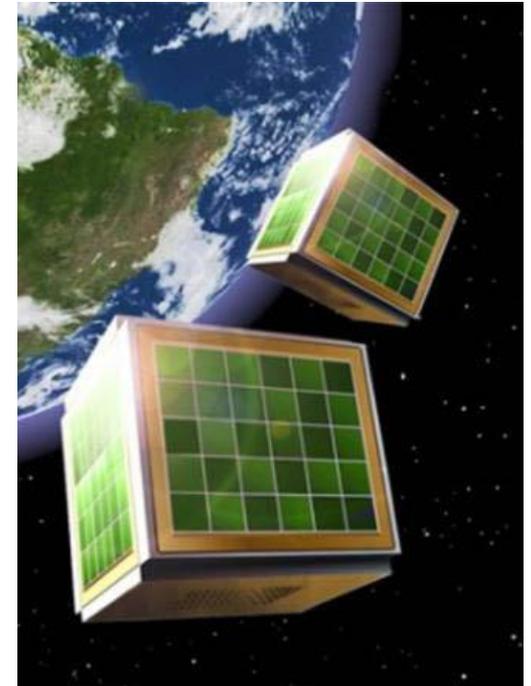
- Введение
- Бестопливные способы управления
 - кулоновское взаимодействие
 - электромагнитные управляющие элементы
 - торможение в атмосфере
- Управление с помощью переброса массы
 - примеры перебросов
- Заключение

Групповой полёт спутников

- Возможность решать задачи, которые не может решить одиночный аппарат.
- Увеличение надёжности миссий.
- Распределение функций между аппаратами в группе.



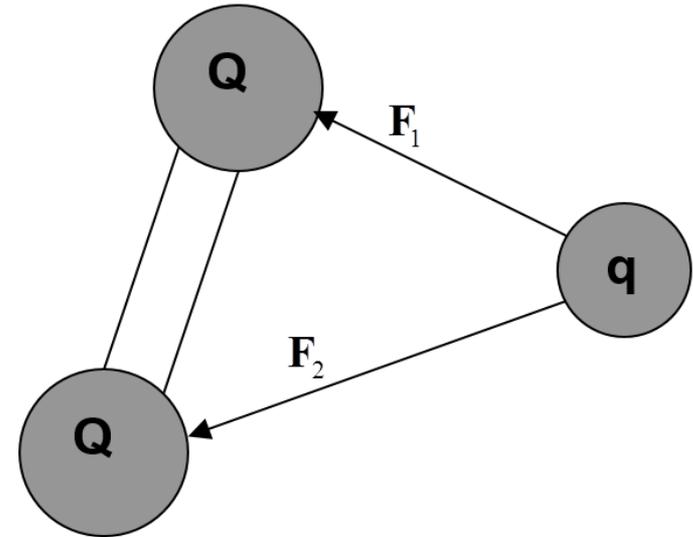
Спутники миссии PRIZMA:
Tango и Mango



Групповой полет
«AeroCube»

Использование электромагнитного взаимодействия

- Каждый спутник в формации способен накапливать электрический заряд
- Кулоновские поля спутников взаимодействуют (10 – 100 м.)
- Движущийся заряженный спутник взаимодействует с магнитным полем Земли (низкие орбиты)



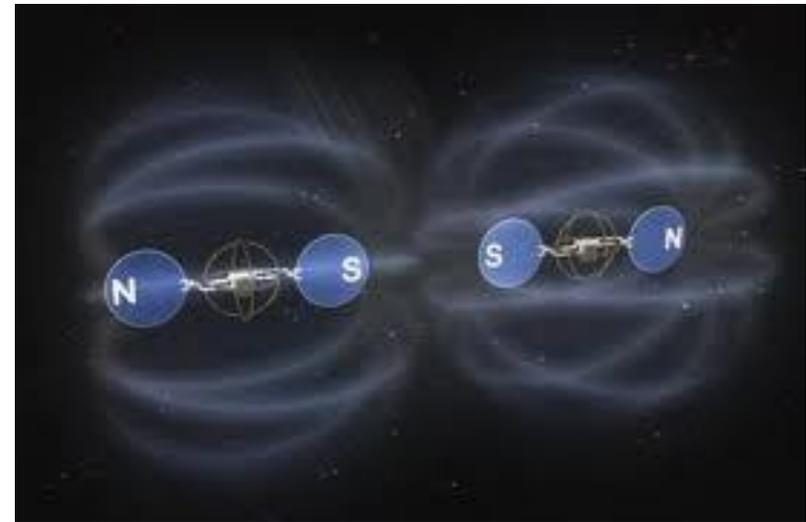
Использование силы Кулона для управления ориентацией.

1979 г. --- SCATHA (Spacecraft Charging At High Altitudes)

2001 г. --- NASA Institute for Advanced Concepts

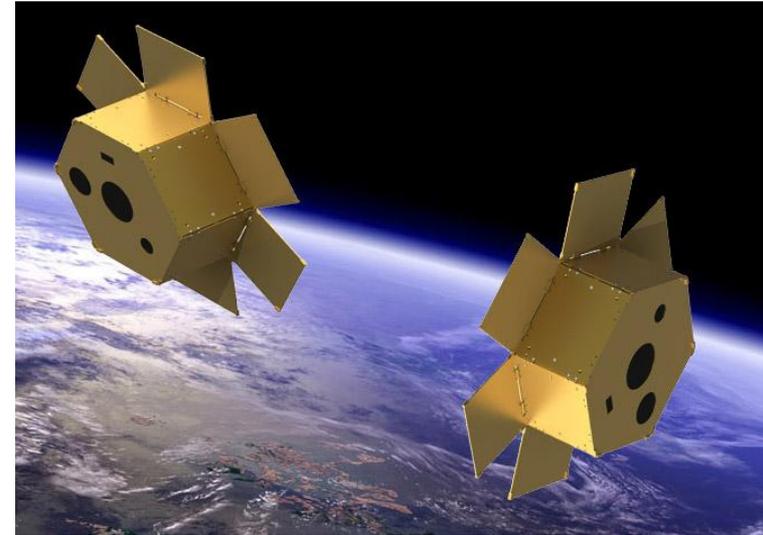
Использование электромагнитных управляющих элементов

- Магнитные катушки на спутнике создают магнитный момент и магнитное поле
- Дипольный магнитный момент одного спутника взаимодействует с магнитным полем другого
- Движущийся заряженный спутник взаимодействует с магнитным полем Земли
- Использование сверхпроводящих материалов позволяет создавать значительный момент при малых энергетических затратах



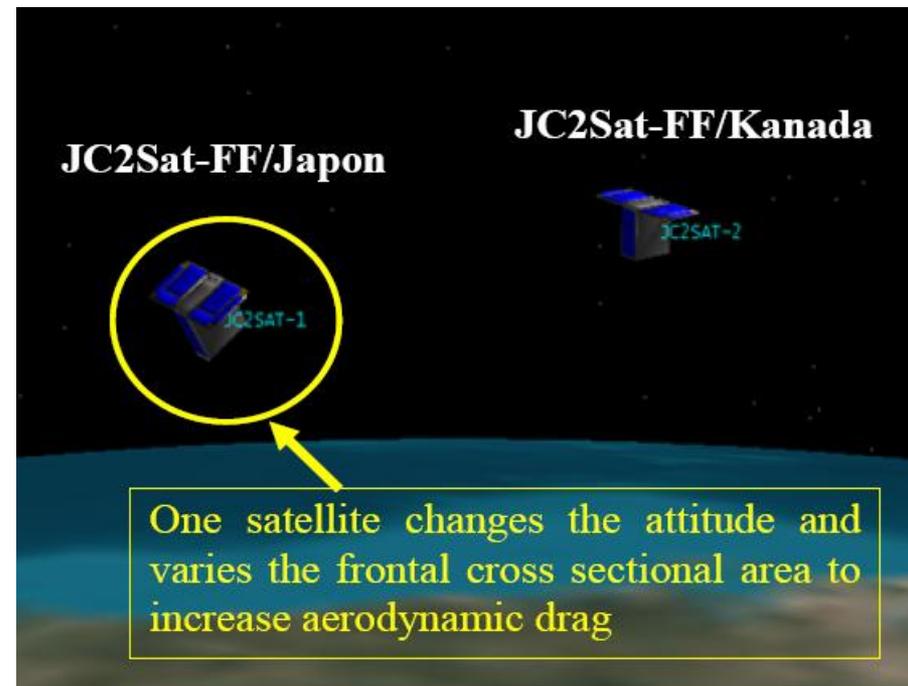
Использование эффекта торможения в атмосфере

- За счет поворота спутника относительно центра масс изменяется площадь сечения аппарата относительно набегающего потока.
- Возникает разница между действующими на два спутника силами сопротивления.
- Управляя взаимной ориентацией двух аппаратов, можно управлять относительным движением их центров масс.



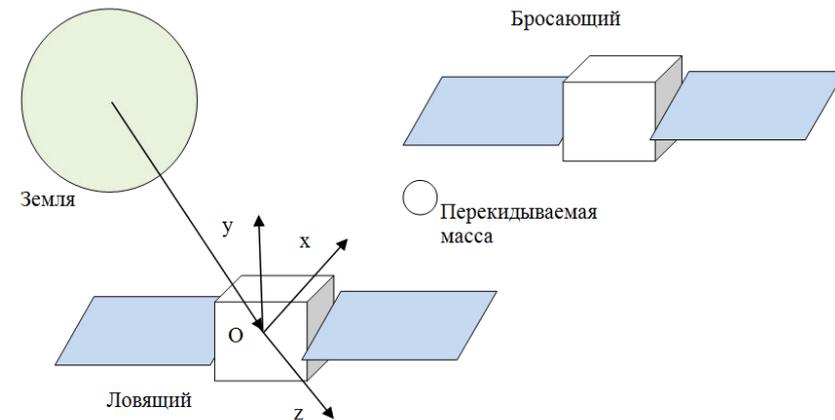
Использование эффекта торможения в атмосфере

2006 г. --- Канада – Япония, проект JC2Sat-FF --- два идентичных микроспутника, имеющие массу 18 кг каждый, запущены на близкие околокруговые орбиты высотой 700 км, должны осуществить сближение с расстояния в несколько километров до 100 м, используя лишь дифференциальный эффект атмосферного торможения.



Управление с помощью переброса дополнительной массы

- Рассматриваются два спутника на близких орбитах – ловящий на круговой и бросающий на околокруговой
- В некоторый момент времени бросающий спутник выбрасывает дополнительную массу так, чтобы она попала в ловящий спутник
- Вследствие закона сохранения импульса относительная траектория меняется дважды --- в момент броска и в момент ловли
- Требуется найти параметры броска, чтобы достичь некоторой относительной траектории спутников



В качестве параметров броска рассматриваются:

- Точка броска на относительной траектории
- Величина скорости броска
- Направление броска

Реализация броска и захвата массы

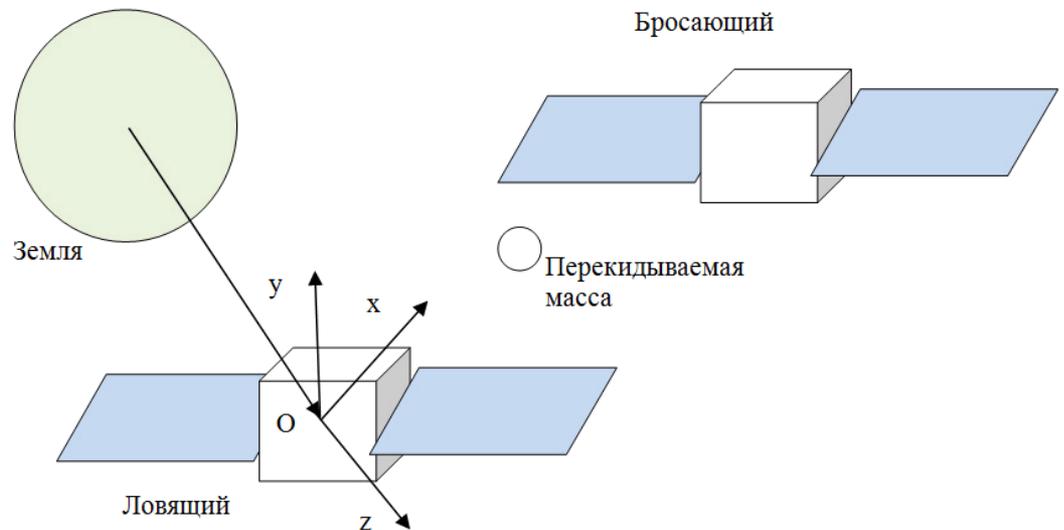
- Для совершения броска можно воспользоваться манипуляторами, установленными на каждом спутнике
- В качестве примера можно рассмотреть манипуляторы миссии Space Sweeper With Sling Sat



Управление с помощью переброса дополнительной массы

В качестве уравнений, описывающих относительное движение спутников в группе, используются уравнения Хилла—Клохесси—Уайтшира (HCW-equations):

$$\begin{cases} \ddot{x} + 2\omega\dot{z} = 0, \\ \ddot{y} + \omega^2 y = 0, \\ \ddot{z} - 2\omega\dot{x} - 3\omega^2 z = 0 \end{cases}$$

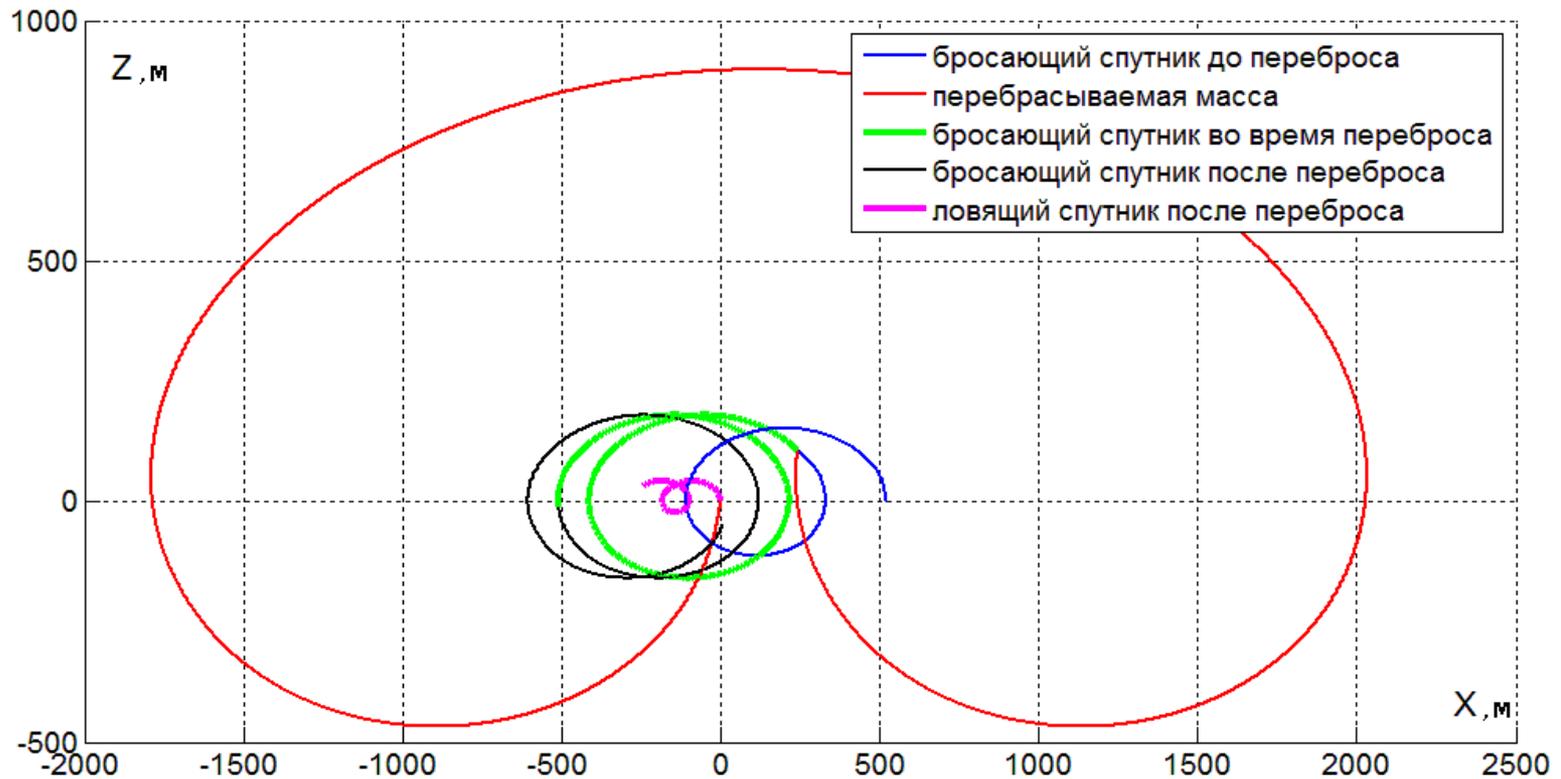


Управление с помощью переброса дополнительной массы

- В момент времени $t=t_0$ бросающий спутник выстреливает дополнительную массу m с некоторой относительной скоростью.
- В момент времени $t=t_1$ дополнительная масса сталкивается с ловящим спутником --- условие на относительную скорость выброса
- Относительная траектория изменяется дважды: после выброса тела и после столкновения тела с ловящим спутником
- В результате переброса новая относительная траектория являются функцией начальной относительной траектории и времени переброса $t_1 - t_0$

Пример переброса

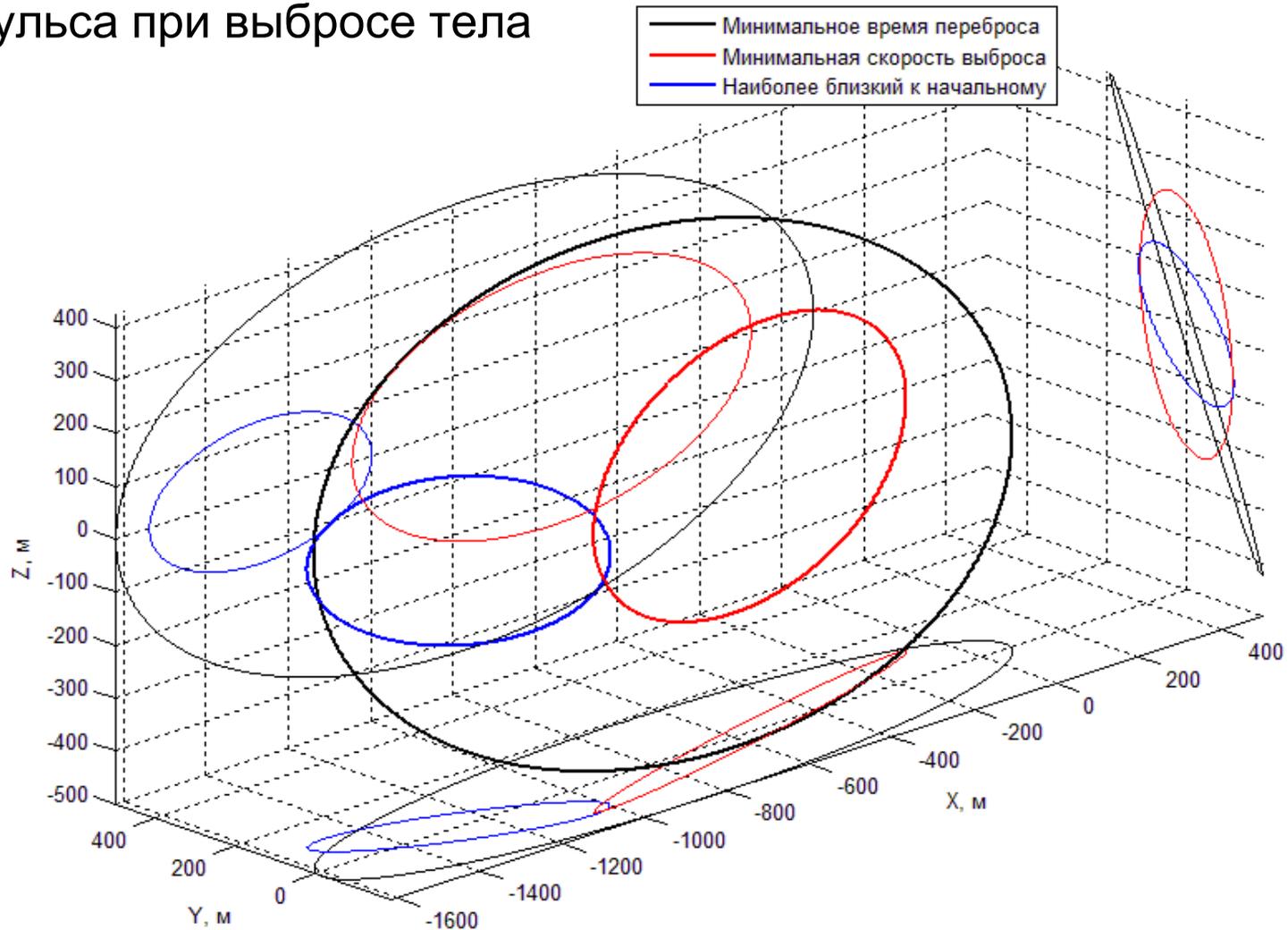
- Изначально относительная траектория не замкнута – есть относительный дрейф.
- После переброса получаем замкнутую относительную траекторию



Траектория спутников во время переброса

Пример переброса

- При заданной начальной орбите незамкнутой орбите можно поставить задачу получения замкнутой орбиты с дополнительными ограничениями: минимизацией времени переброса или требуемого импульса при выбросе тела



Заключение

- Представлен обзор перспективных бестопливных способов управления групповым полётом малых спутников
- Разработан новый алгоритм управления с помощью переброса дополнительной массы
- Работа поддержана грантами РФФИ № 12-01-33045, № 13-01-00665, № 14-01-31313