

Децентрализованное управление роем спутников, имеющих коммуникационные ограничения

У.В. Монахова, студентка 4 курса ФУПМ

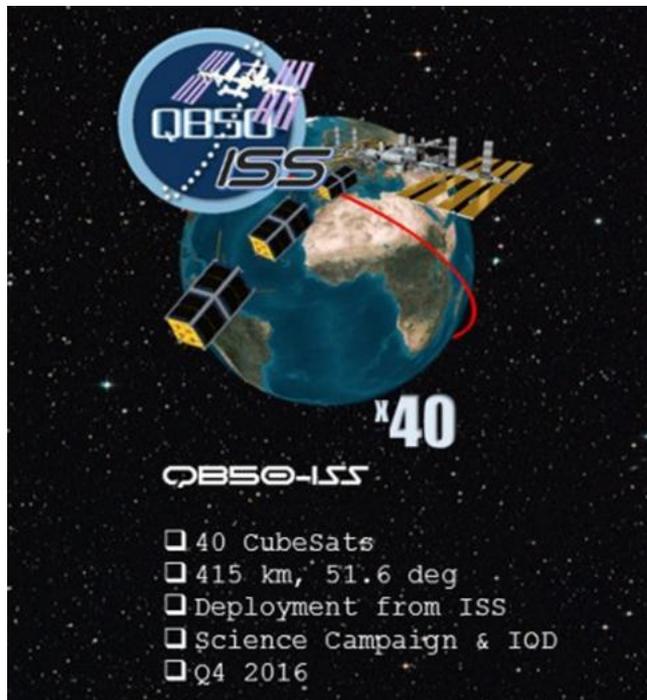
Научный руководитель: Д.С. Иванов

Содержание работы

- Актуальность
- Проблемы управления роем
- Постановка задачи
- Стратегии по выравниванию дрейфов
- Заключение

Актуальность

В настоящее время довольно большое внимание уделяется миссиям с участием множества микро- и наноспутников.



Проект QB-50

Запуск кубсатов с МКС

Проблемы управления роем спутников

- Отсутствие возможности задания точных начальных условий
- Возникновение относительного дрейфа спутников
- Коммуникационные ограничения – невозможность определить относительное движение между всеми спутниками в группе

Постановка задачи

- Формирование роя спутников после их отделения от ракетоносителя, то есть достижение замкнутых относительных траекторий у аппаратов
- Каждый спутник способен определить относительное движение других спутников только внутри некоторой сферы
- Размер сферы обусловлен возможностями средств определения относительного движения (видеокамера, дальномеры и т.д.)

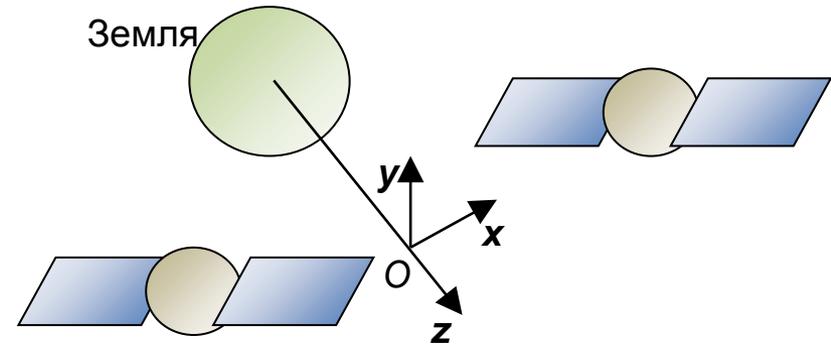
Импульсное управление

Решение уравнений Хилла-Клохесси-Уилтшира для относительного движения имеет вид:

$$\begin{cases} x = -3C_1\omega t + 2C_2 \cos(\omega t) - 2C_3 \sin(\omega t) + C_4 \\ y = C_5 \sin(\omega t) + C_6 \cos(\omega t) \\ z = 2C_1 + C_2 \sin(\omega t) + C_3 \cos(\omega t) \end{cases}$$

Слагаемое, отвечающее за дрейф: $-3C_1\omega t$,

$$\text{где } C_1 = \frac{x(t_0)}{\omega} + 2z(t_0)$$



При реализации импульсного управления по оси Ox решение будет иметь вид:

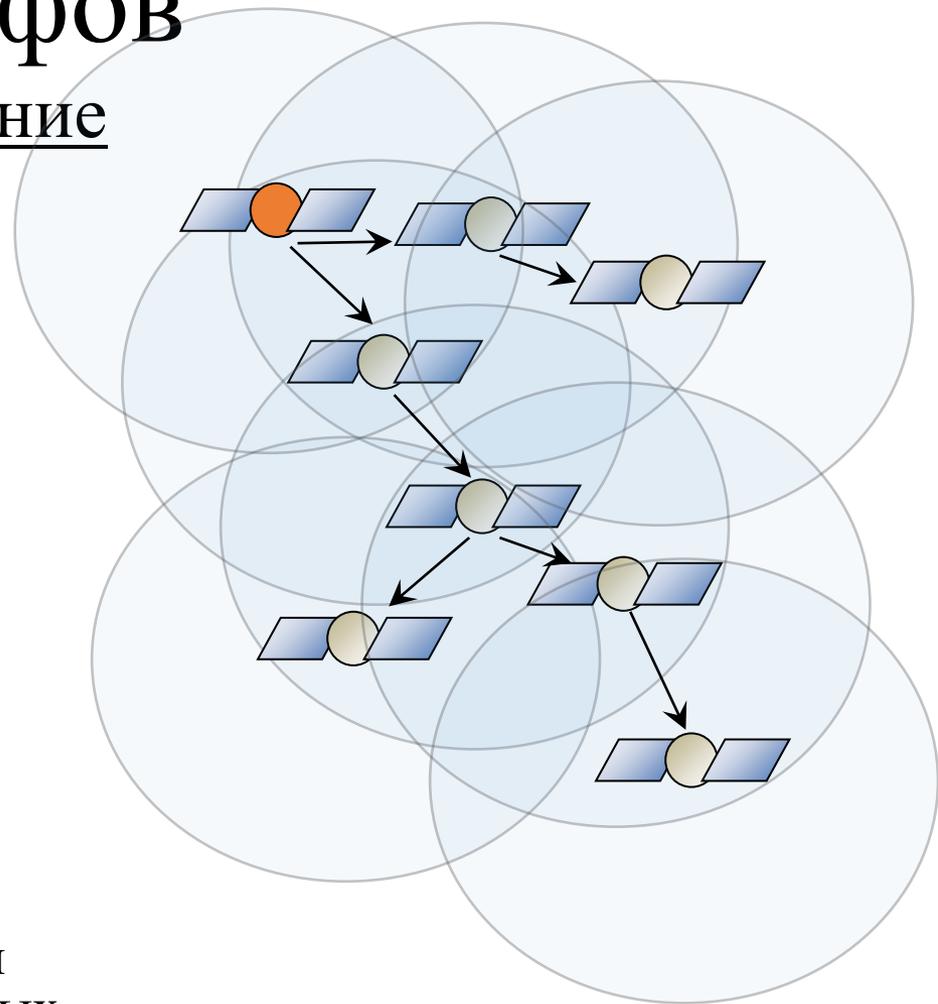
$$\begin{cases} x = -3C_1\omega t + 2C_2 \cos(\omega t) - 2C_3 \sin(\omega t) + C_4 + \frac{4u}{\omega^2} - \frac{3}{2}t^2u \\ y = C_5 \sin(\omega t) + C_6 \cos(\omega t) \\ z = 2C_1 + C_2 \sin(\omega t) + C_3 \cos(\omega t) + \frac{2tu}{\omega} \end{cases}$$

где u - ускорение, приложенное к спутнику по оси Ox . Чтобы относительный дрейф был равен нулю, нужно приложить $u = -\frac{C_1\omega}{\Delta t}$, где Δt продолжительность импульса.

Стратегии по выравниванию дрейфов

Централизованное управление роом:

- 1) Выбор “главного” спутника, относительно которого будет происходить выравнивание
- 1) Применение импульсного управления к аппарату при его попадании в зону видимости “главного”
- 1) Применение импульсного управления к спутникам, попадающим в зону видимости “главного” или уже выровненных аппаратов



Траектория относительного движения спутников без управления

Параметры моделирования :

Высота орбиты ~ 400 км

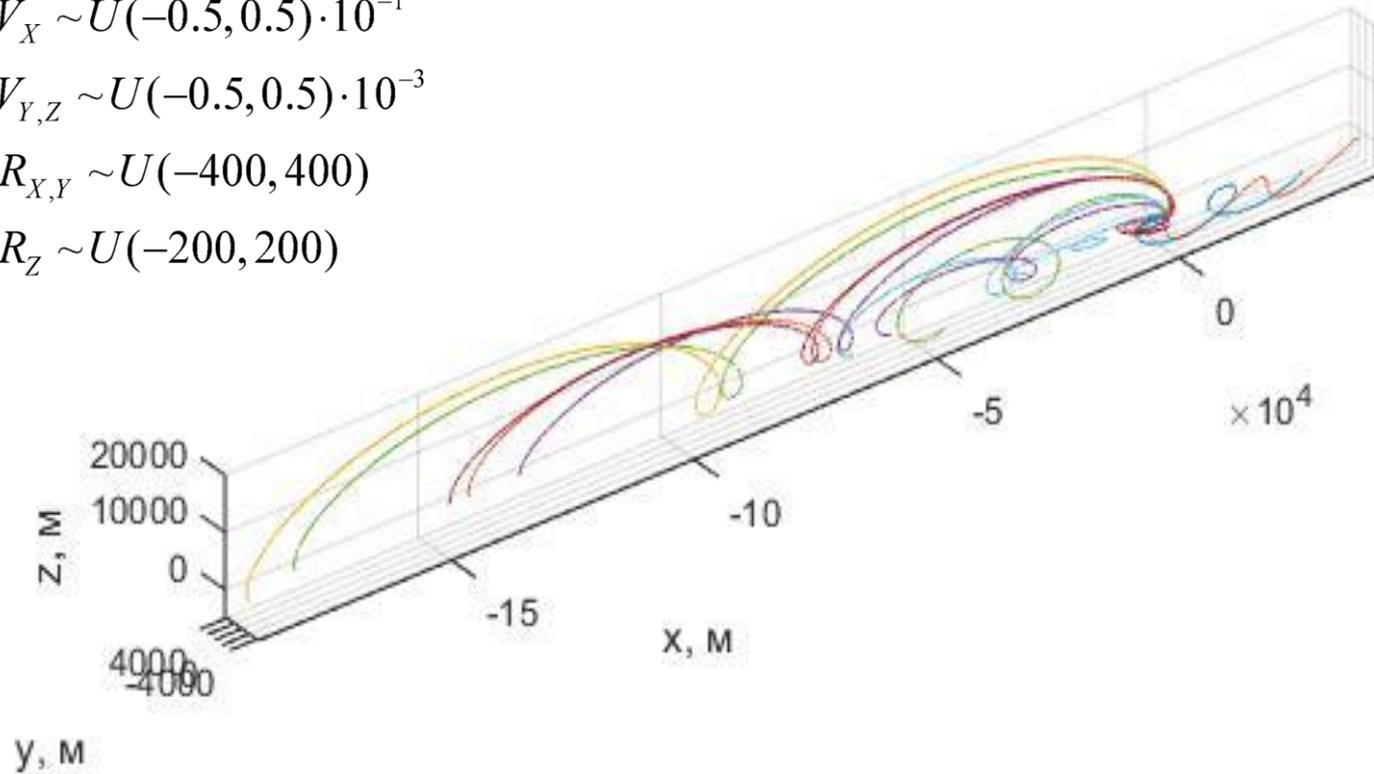
$R_{\text{связи}} = 500$ м

$V_X \sim U(-0.5, 0.5) \cdot 10^{-1}$

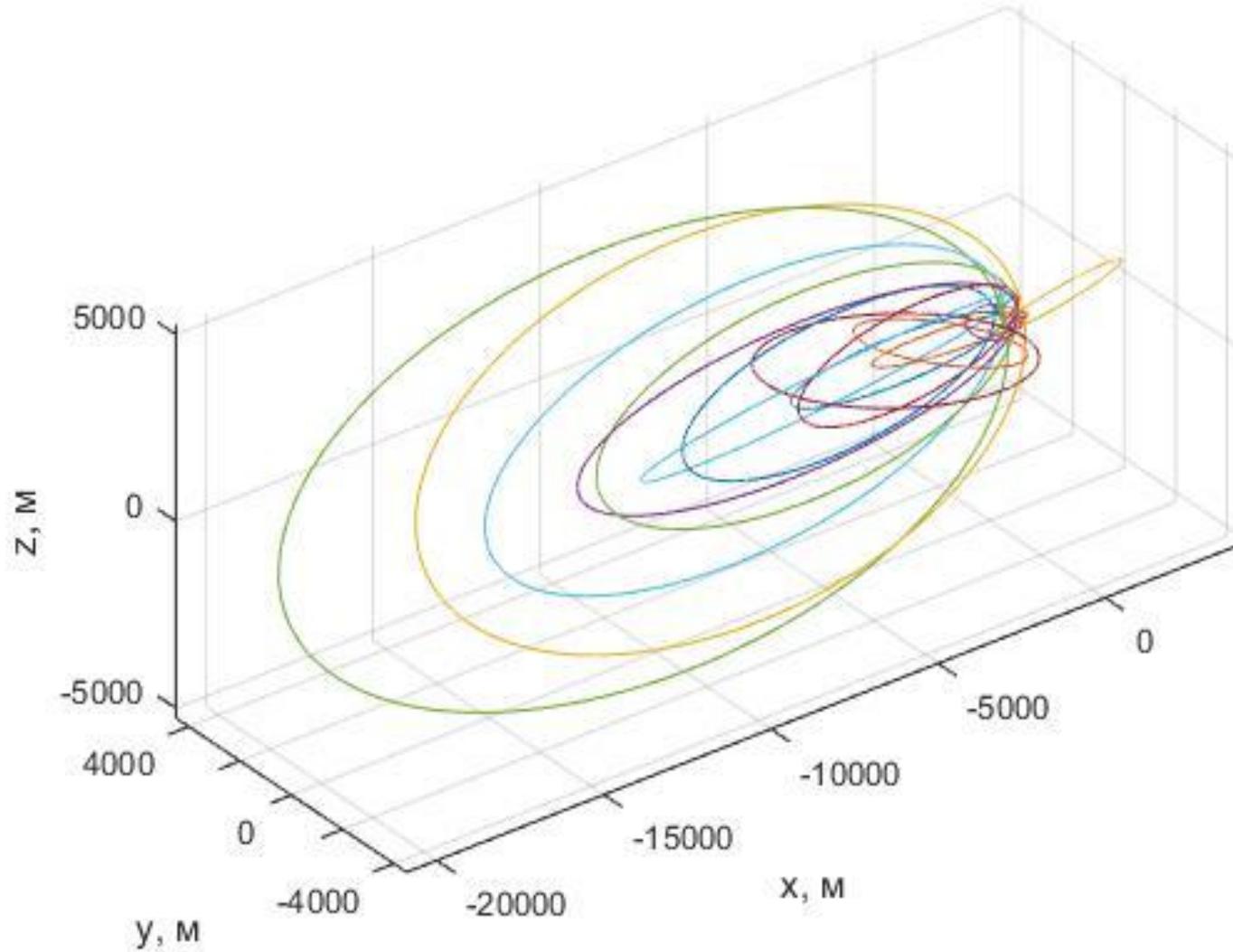
$V_{Y,Z} \sim U(-0.5, 0.5) \cdot 10^{-3}$

$R_{X,Y} \sim U(-400, 400)$

$R_Z \sim U(-200, 200)$



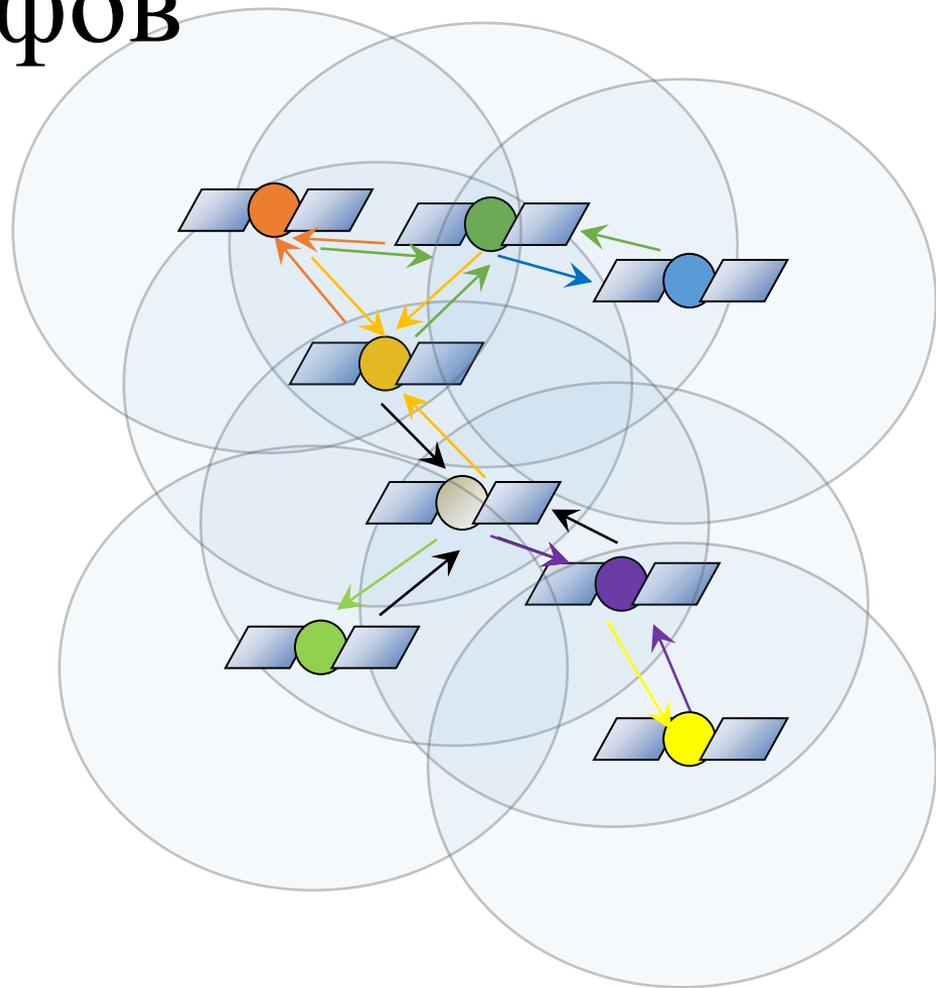
Траектория относительного движения спутников после реализации централизованного управления



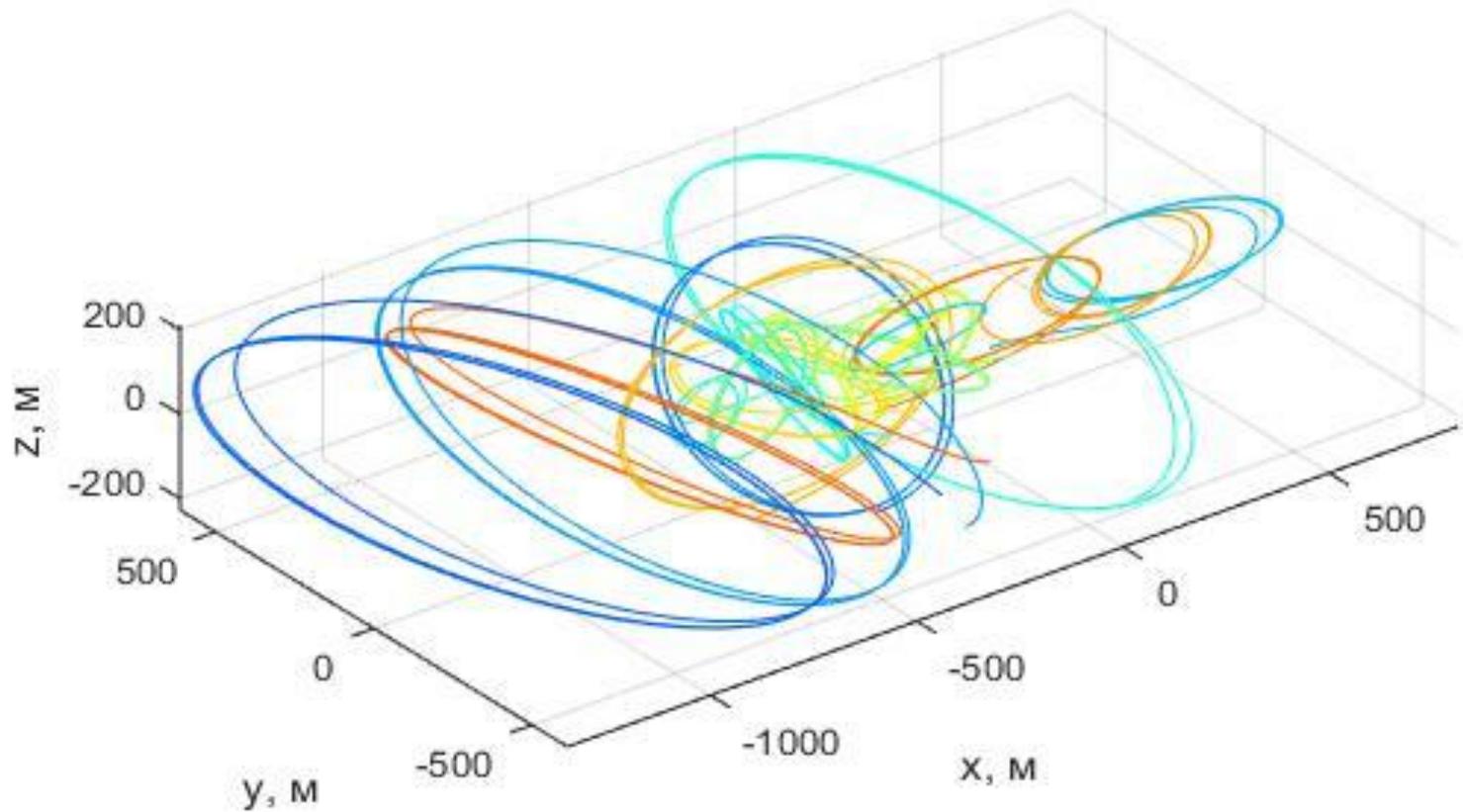
Стратегии по выравниванию дрейфов

Децентрализованное управление роём:

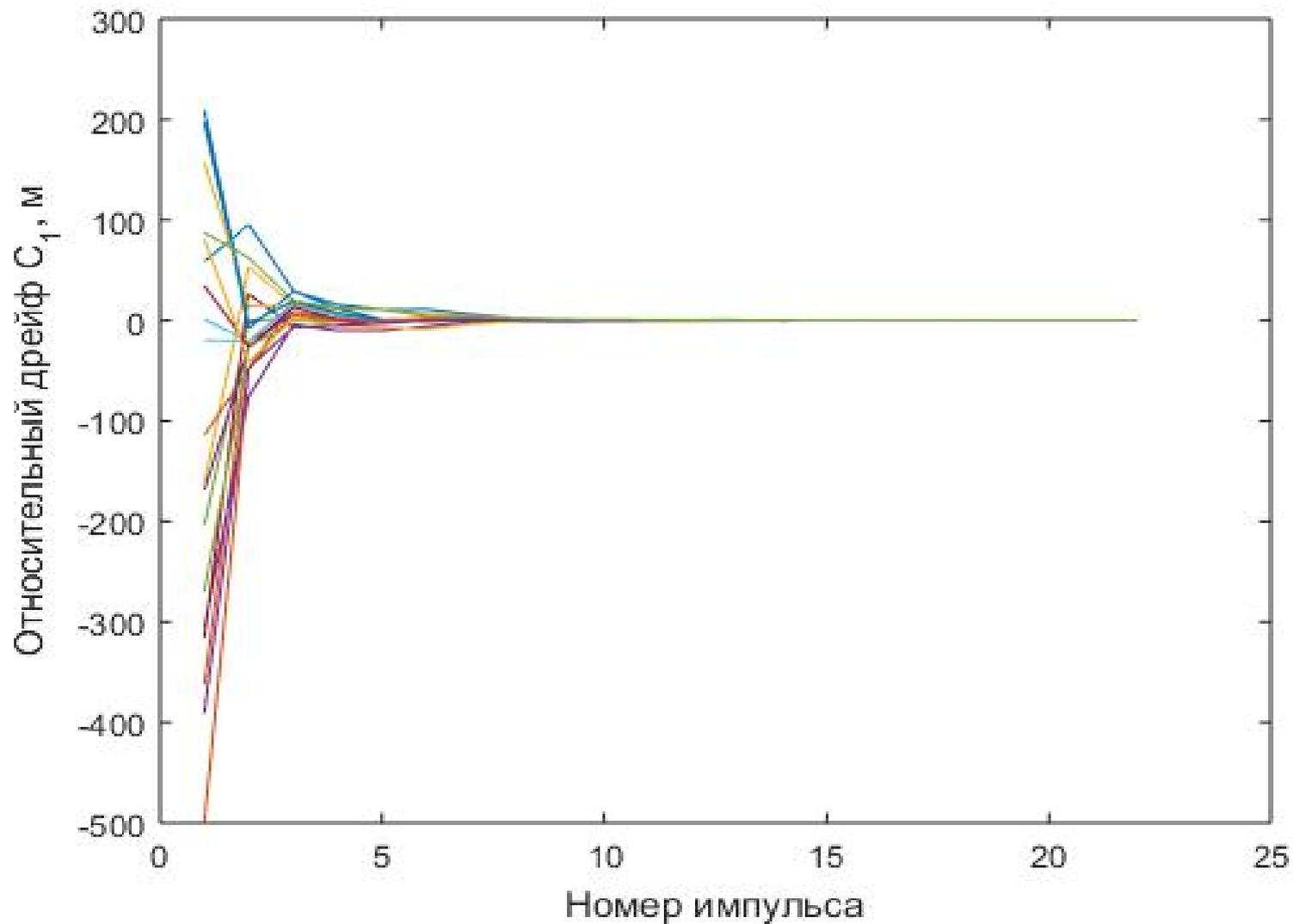
- 1) В зоне видимости каждого спутника вычисляется средний относительный дрейф аппаратов, попавших в эту область
- 1) Применение импульсного управления к аппарату, относительно которого был вычислен средний дрейф
- 1) Применить такое управление ко всем спутникам
- 1) Повторить управление через некоторый промежуток времени



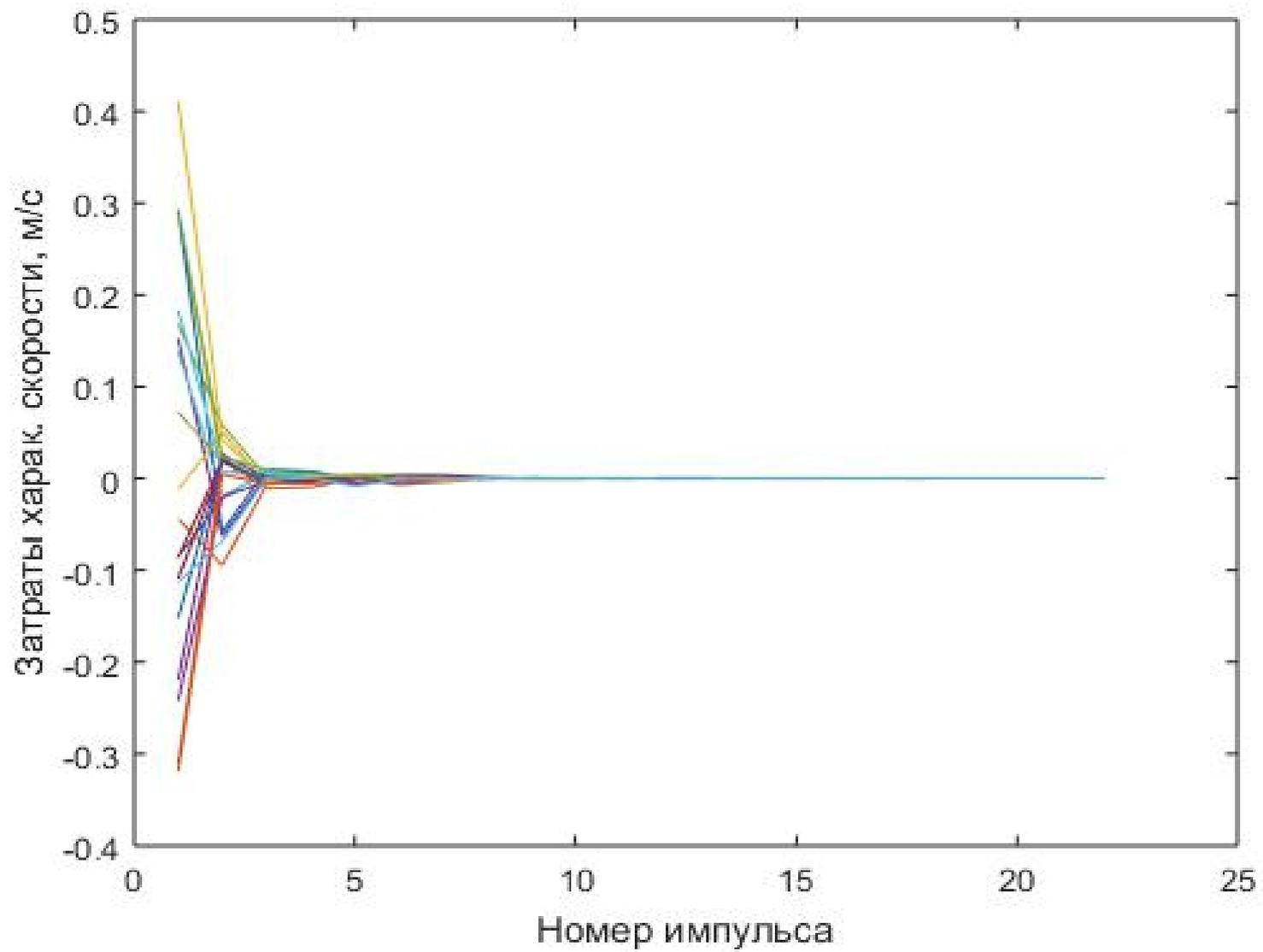
Траектория относительного движения спутников после реализации децентрализованного управления



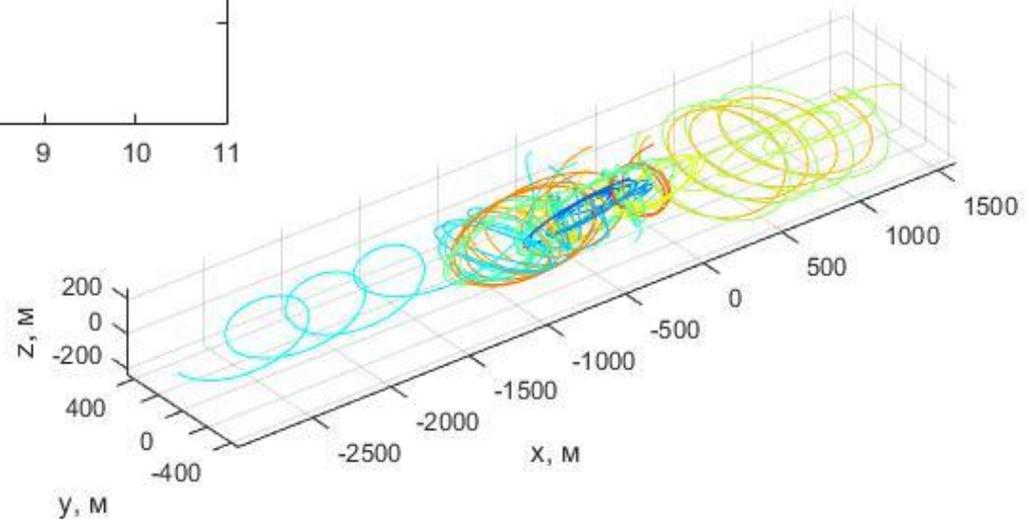
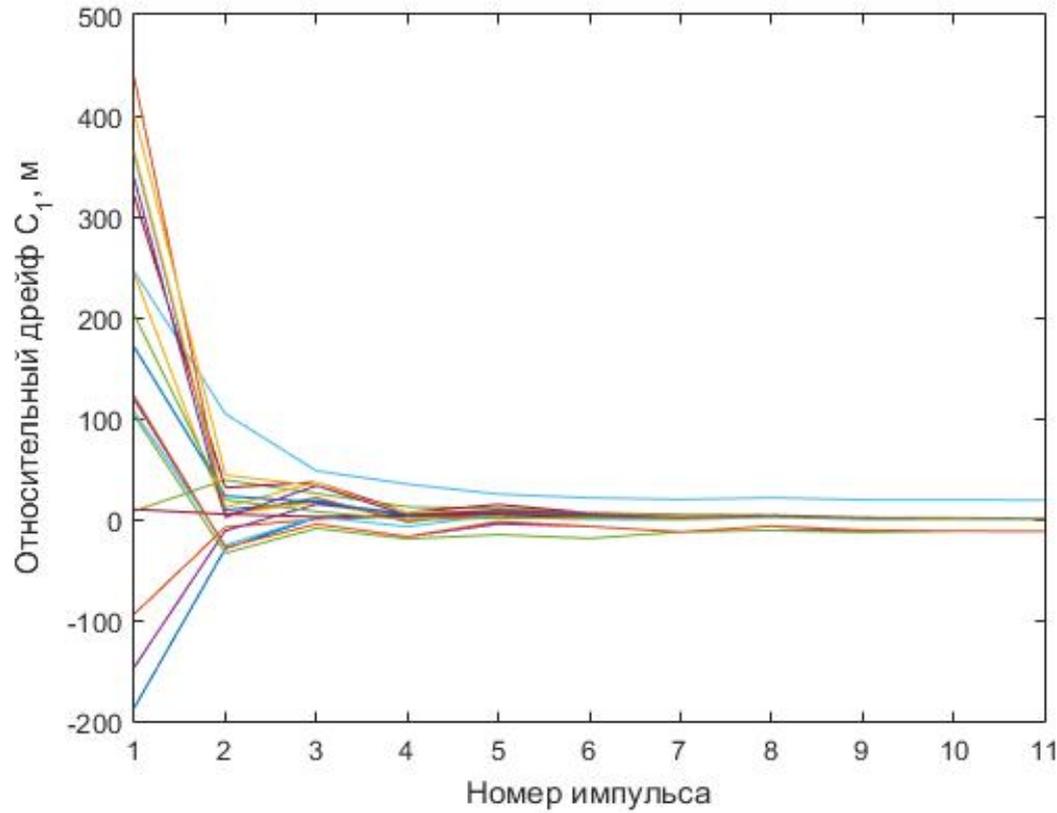
Изменение величины относительного дрейфа в процессе децентрализованного управления



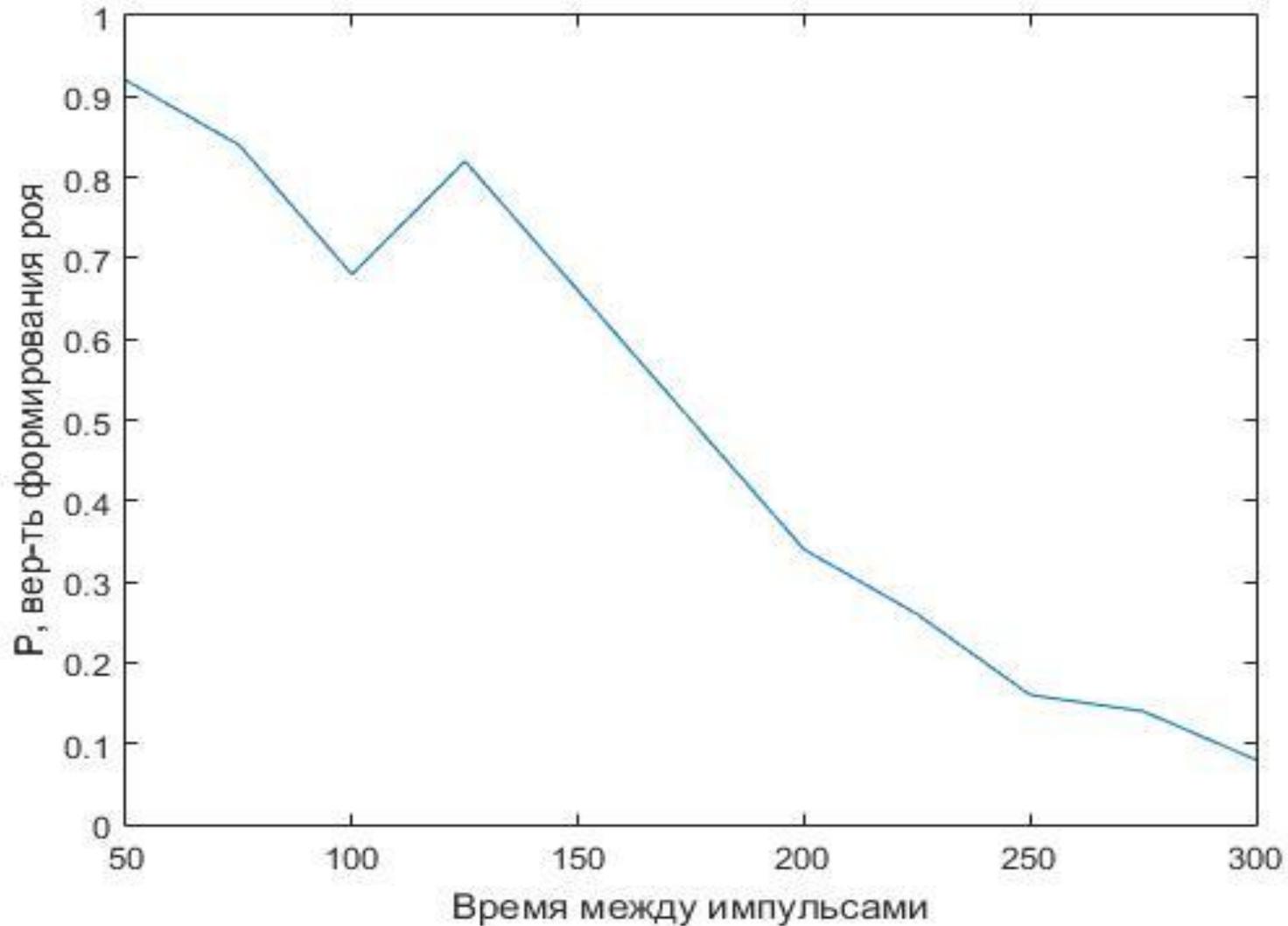
Затраты характерной скорости на устранение относительных дрейфов



Относительные траектория и дрейф при кластеризации



Вероятность формирования роя в зависимости от частоты управления



Заключение

- Применение импульсного децентрализованного управления при ограничении на размер связи позволяет сформировать рой спутников после отделения
- Увеличение времени между импульсами приводит к увеличению вероятности кластеризации роя

Направления дальнейшей работы

- Добавление ограничений на количество связей со спутниками внутри сферы видимости
- Рассмотрение непрерывного и ограниченного децентрализованного управления, например, с помощью аэродинамического сопротивления в верхних слоях атмосферы
- Исследование эффекта кластеризации роя при добавлении «правил» в стратегии управления

Спасибо за внимание!