



Использование магнитных катушек для разгрузки маховиков КА, движущегося по высокоэллиптической орбите

Я.В. Маштаков

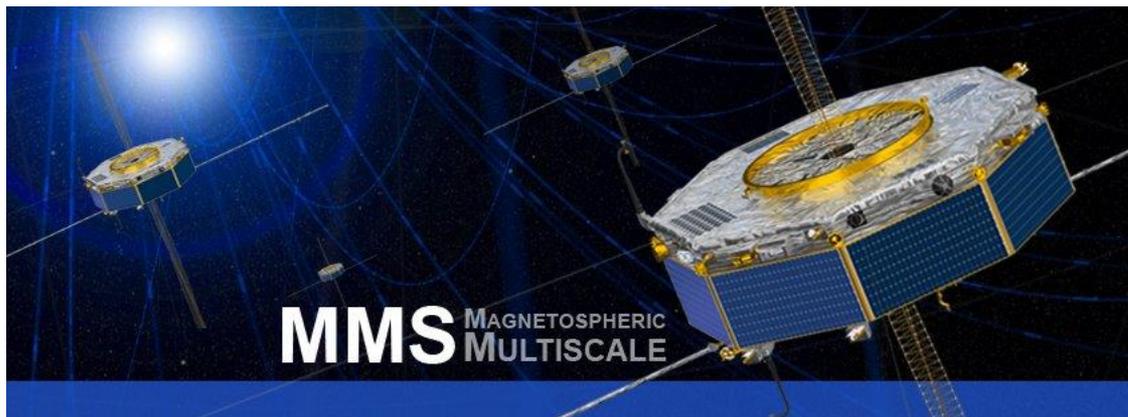
С.С. Ткачев



Актуальность

Примеры миссий

- Magnetospheric MultiScale (MMS)
- INTEGRAL (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory)





Мотивация

- Требования по ориентации



- Маховики



- насыщение маховиков



- Разгрузка



- Расход топлива



- Уменьшение массы полезной нагрузки/времени миссии



Постановка задачи

- Высокая эллиптическая орбита:
перигей 10 000 км, апогей 200 000 км
- Ориентация на Солнце
- Маховичная система ориентации
- Магнитные катушки для разгрузки
- Внешние моменты: гравитационный и солнечный



Накопление кин.момента

- Солнечное давление

$$\mathbf{M}_{sol} = \mathbf{r}_a \times \left[-S \frac{\Phi_0}{c} (\mathbf{e}_1, \mathbf{Dn}_{ref}) \left((1 - \alpha) \mathbf{Dn}_{ref} + 2\alpha\mu(\mathbf{e}_1, \mathbf{Dn}_{ref})\mathbf{e}_1 + \alpha(1 - \mu) \left\{ \mathbf{Dn}_{ref} + \frac{2}{3}\mathbf{e}_1 \right\} \right) \right]$$

- Парирование гравитационного момента

$$\mathbf{M}_{grav} = 3 \frac{\mu_E}{|\mathbf{r}_s|^5} \mathbf{r}_s \times (\mathbf{Jr}_s)$$



Разгрузка маховиков

Эволюция кин.момента маховиков (во время разгрузки пренебрегаем влиянием Солнца):

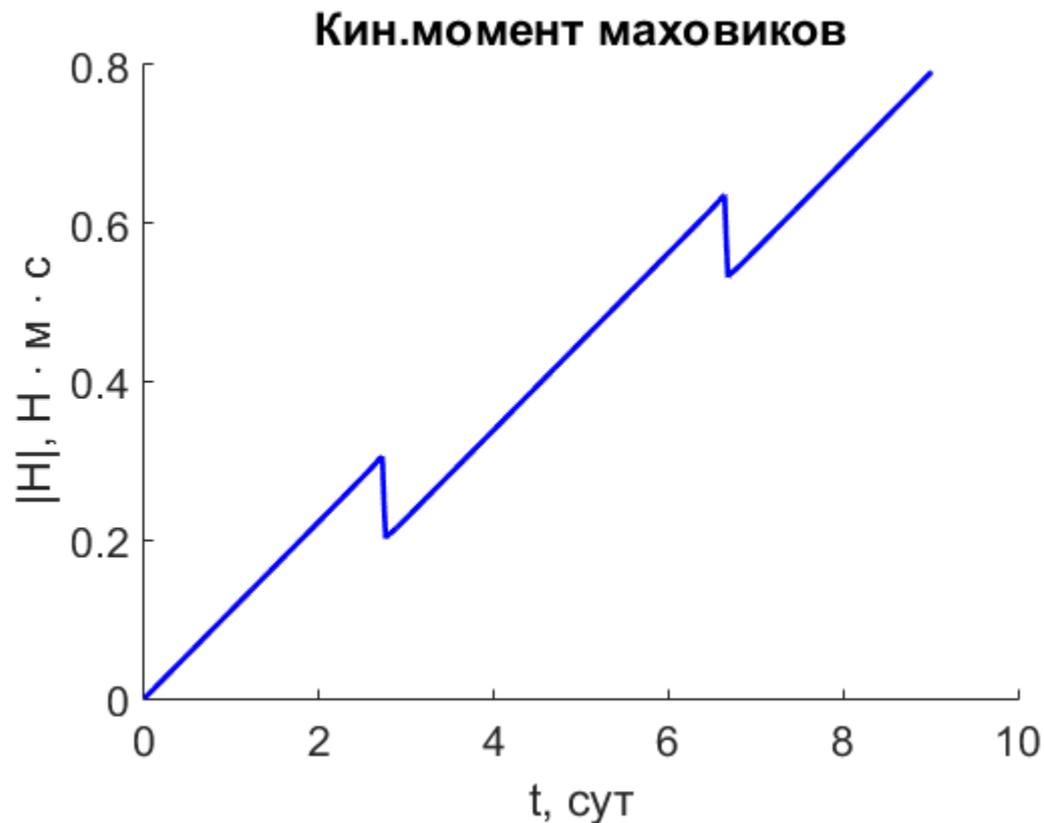
$$\dot{\mathbf{H}} = \mathbf{m} \times \mathbf{B} + 3 \frac{\mu_E}{|\mathbf{r}_s|^5} \mathbf{r}_s \times (\mathbf{J} \mathbf{r}_s) - (\mathbf{D} \boldsymbol{\omega}_{ref}) \times \mathbf{H} - (\mathbf{D} \boldsymbol{\omega}_{ref}) \times \mathbf{J} (\mathbf{D} \boldsymbol{\omega}_{ref}) - \mathbf{J} \mathbf{D} \dot{\boldsymbol{\omega}}_{ref}$$

Дипольный момент катушек:

$$\mathbf{m} = \begin{cases} m_{max} \frac{\mathbf{H} \times \mathbf{B}}{|\mathbf{H} \times \mathbf{B}|}, & \frac{|\mathbf{H} \times \mathbf{B}|}{B} > H_0 \\ k \mathbf{H} \times \mathbf{B}, & \frac{|\mathbf{H} \times \mathbf{B}|}{B} \leq H_0 \end{cases}$$



Моделирование



Кин.момент растёт, значит нужна модификация

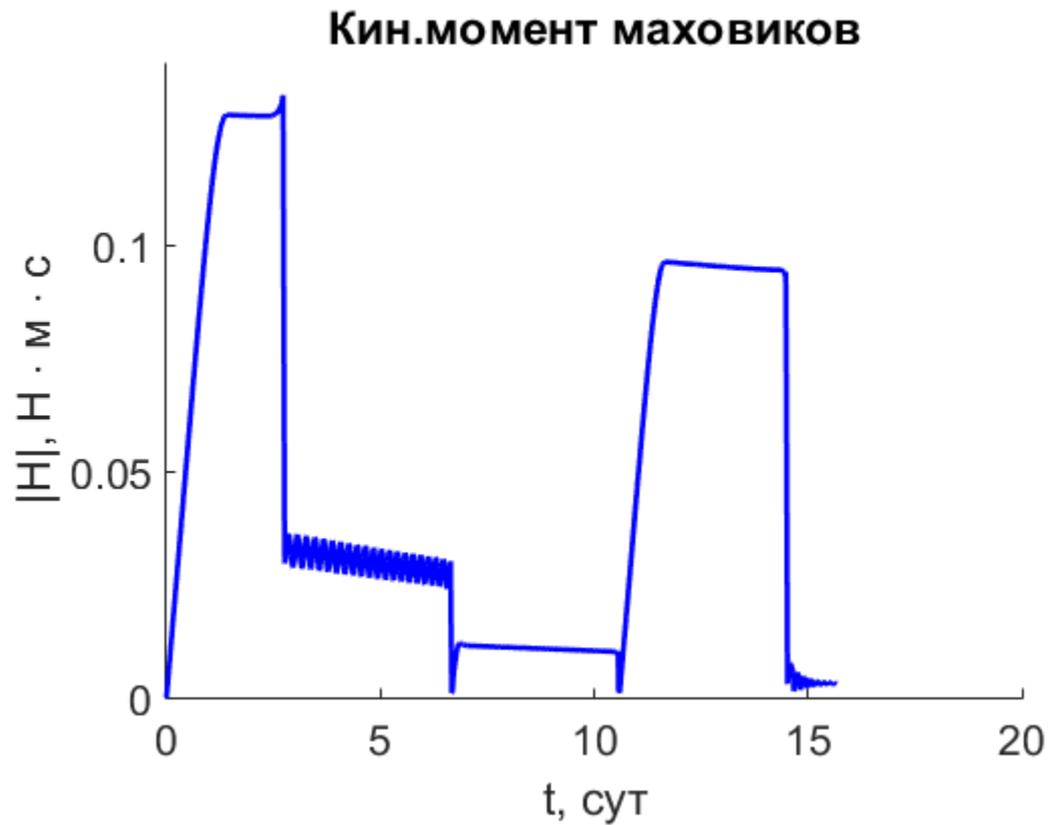


«Жадная» закрутка

- Скорость закрутки можно менять
- Выбираем ее изменение таким образом, чтобы кин. момент маховиков уменьшался



Моделирование





Закрутка

- При постоянной скорости закрутки практически полностью исключается влияние Солнца:

$$h_1 = \left(h_1(0) - \frac{s_2}{\omega_3} \right) \cos(\omega_3 t) + \left(h_2(0) + \frac{s_1}{\omega_3} \right) \sin(\omega_3 t) + \frac{s_2}{\omega_3}$$

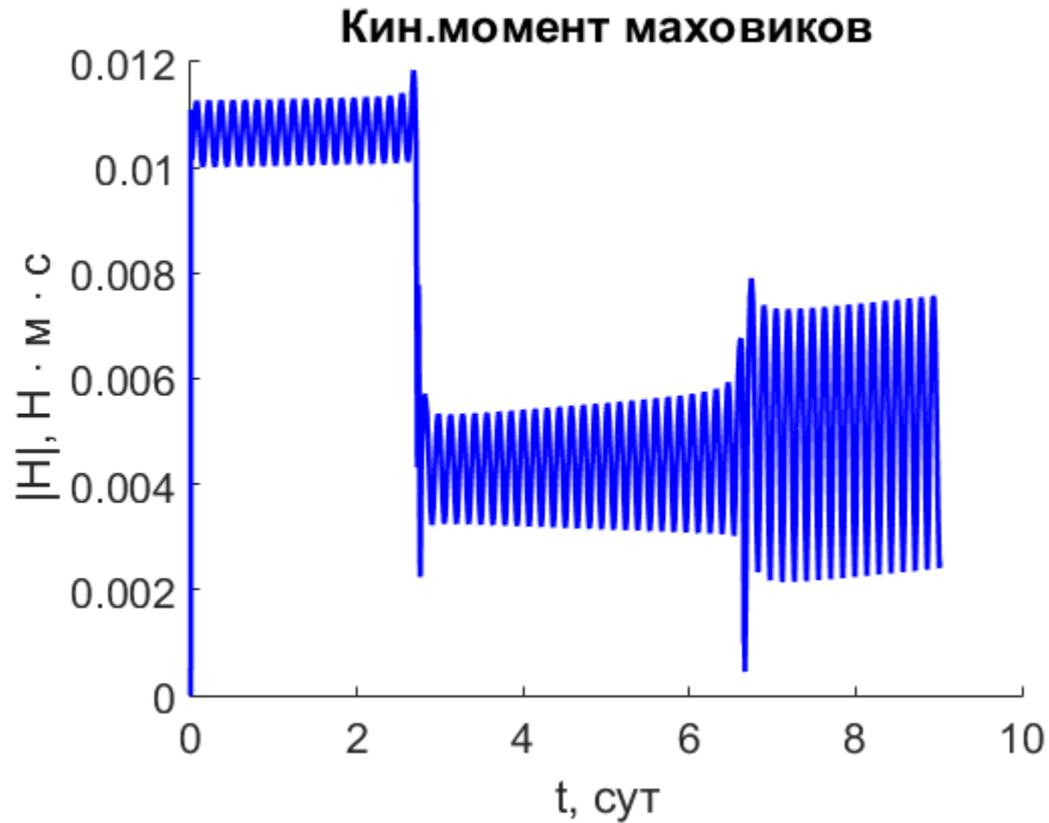
$$h_2 = - \left(h_1(0) - \frac{s_2}{\omega_3} \right) \sin(\omega_3 t) + \left(h_2(0) + \frac{s_1}{\omega_3} \right) \cos(\omega_3 t) - \frac{s_1}{\omega_3}$$

$$h_3 = h_3(0)$$

Третья ось совпадает с направлением на Солнце



Моделирование



Заключение

- Рассмотрена задача разгрузки маховиков при помощи магнитных катушек на высоких эллиптических орбитах
- Предложено два различных подхода к построению опорного движения: постоянная закрутка и «жадный» алгоритм