



63-ая Научная конференция МФТИ

Переориентация космического аппарата при помощи маховиков с учетом ограничений на запас кинетического момента

¹Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет)

²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Н.А.Малышев¹, Я.В.Маштаков²



План доклада



- Введение
- Управление
- Постановка задачи
- Численное моделирование
- Выводы

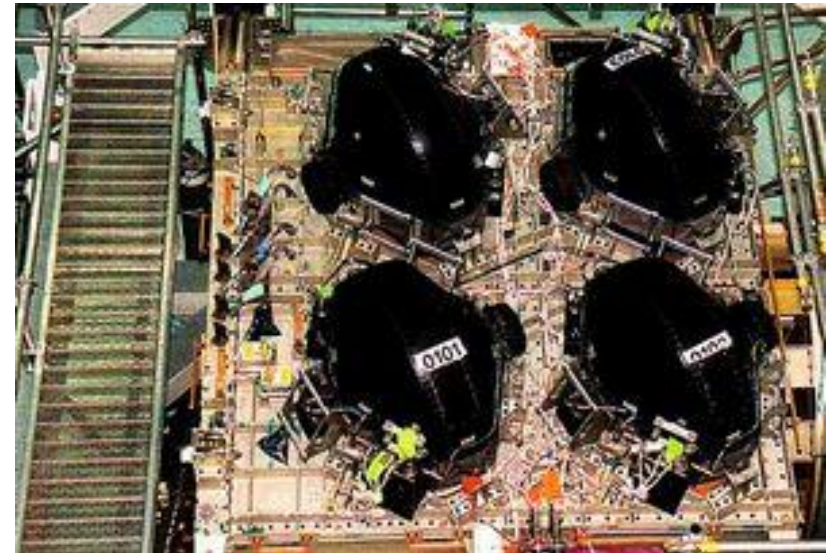


Введение



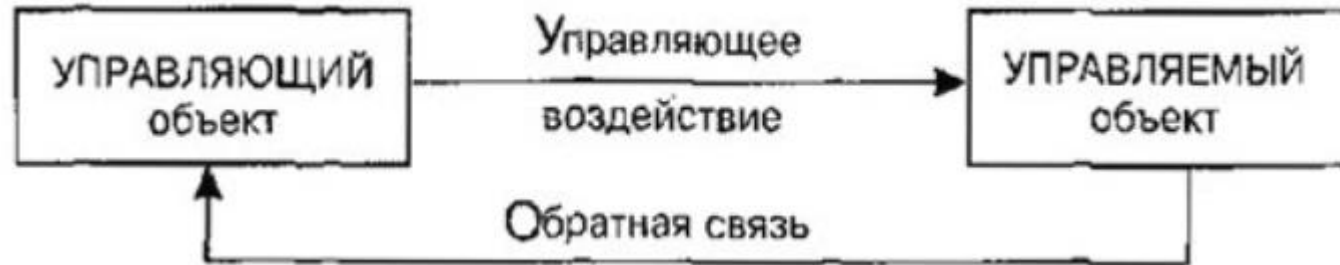
Активные системы управления

- Магнитные системы
- Гироскопические системы





Введение



Управление с обратной связью

Алгоритмы реализующие обратную связь

- Прямой метод Ляпунова
- ПИД – регулятор
- Скользящее управление



Управление



- Используем алгоритм управления на основе прямого метода Ляпунова
- Основные достоинства данного метода: асимптотически устойчивый метод, достаточно простой
- Основным недостатком данного метода является то, что он не учитывает наложенные на аппарат ограничения



Постановка задачи



Rest-to-rest переориентация, а также не насытить маховики

$$\left\{ \begin{array}{l} J \dot{\omega}_{abs} + \omega_{abs} \times J \omega_{abs} = M_{ext} + M_{ctrl} \\ \dot{H} = -M_{ctrl} - \omega_{abs} \times H \\ \dot{\Lambda} = \frac{1}{2} \Lambda \circ \omega_{abs} \end{array} \right.$$

$$\omega_{abs}(t_0 = 0) = 0$$

$$\Lambda(t_0 = 0) = \Lambda_0$$

$$\omega_{abs}(\tau) = 0$$

$$M_{ext} = 0$$

$$\Lambda(\tau) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$J = \text{diag}([210 \ 180 \ 190]) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



Функция Ляпунова



Стандартный вид

$$V = \frac{1}{2}(\omega_{abs}, J\omega_{abs}) + k_q(1 - q_0)$$

$$\dot{V} = (\omega_{abs}, J\dot{\omega}_{abs}) + \left(\omega_{abs}, \frac{k_q}{2}q\right) =$$

$$= (\omega_{abs}, -k_\omega\omega_{abs})$$

$$J\dot{\omega}_{abs} = -\frac{k_q}{2}q - k_\omega\omega_{abs}$$

$$\Lambda = [q_0 \ q]$$

Модифицированный вид

$$V = \frac{1}{2}(\omega_{abs}, J\omega_{abs}) + k_q(1 - q_0) \left(1 - \ln\left(1 - \frac{\omega_{abs}^2}{\omega_{crit}^2}\right)\right)$$

$$\dot{V} = (\omega_{abs}, J\dot{\omega}_{abs}) + \left(\omega_{abs}, \frac{k_q}{2}q\right) \left(1 - \ln\left(1 - \frac{\omega_{abs}^2}{\omega_{crit}^2}\right)\right) +$$

$$+ \frac{k_q(1 - q_0)(\omega_{abs}, 2\dot{\omega}_{abs})}{\omega_{crit}^2 - \omega_{abs}^2} = (\omega_{abs}, -k_\omega\omega_{abs})$$

$$J\dot{\omega}_{abs} = JC^{-1} \left(-\frac{k_q}{2}q \left(1 - \ln\left(1 - \frac{\omega_{abs}^2}{\omega_{crit}^2}\right)\right) - k_\omega\omega_{abs} \right)$$



Вывод закона управления



Стандартный вид

$$J\dot{\omega}_{abs} = -\frac{k_q}{2}q - k_\omega\omega_{abs}$$

$$M_{ctrl} = -M_{ext} + \omega_{abs} \times J\omega_{abs} + J\dot{\omega}_{abs}$$

Модифицированный вид

$$J\dot{\omega}_{abs} = JC^{-1} \left(-\frac{k_q}{2} \left(1 - \ln \left(1 - \frac{\omega_{abs}^2}{\omega_{crit}^2} \right) \right) q - k_\omega\omega_{abs} \right)$$

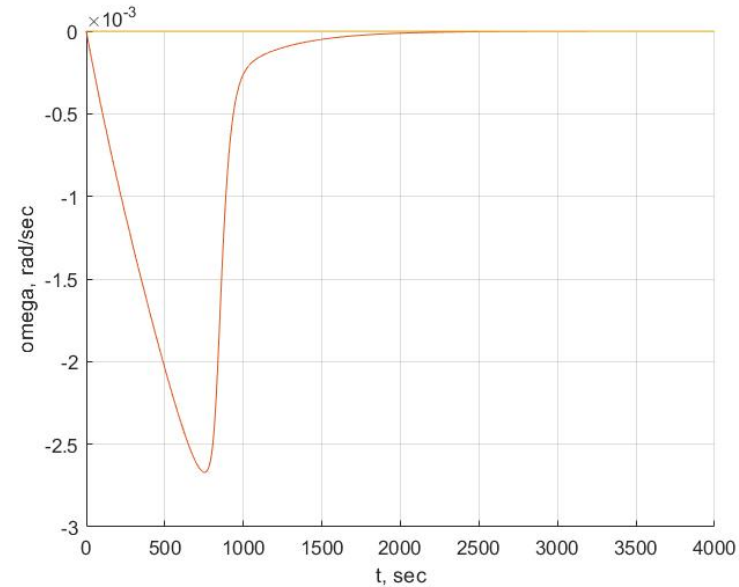
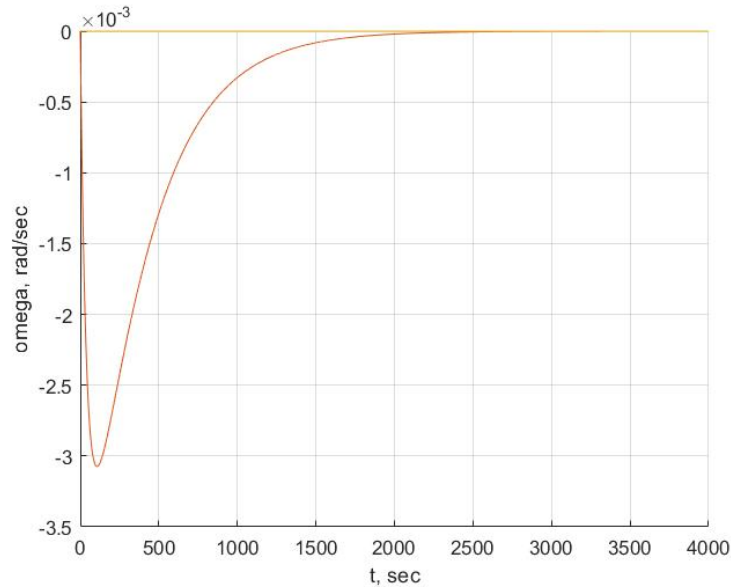
$$M_{ctrl} = -M_{ext} + \omega_{abs} \times J\omega_{abs} + J\dot{\omega}_{abs}$$

$$C = J + \frac{2k_q(1 - q_0)}{\omega_{crit}^2 - \omega_{abs}^2} E$$



Численное моделирование

$$k_q = 0.05 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad k_\omega = 5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad \omega_{crit} = 0.003 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

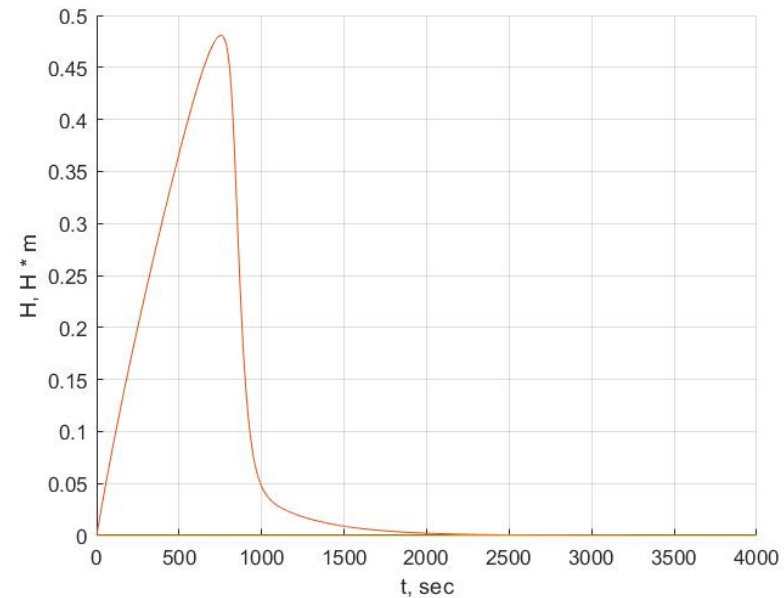
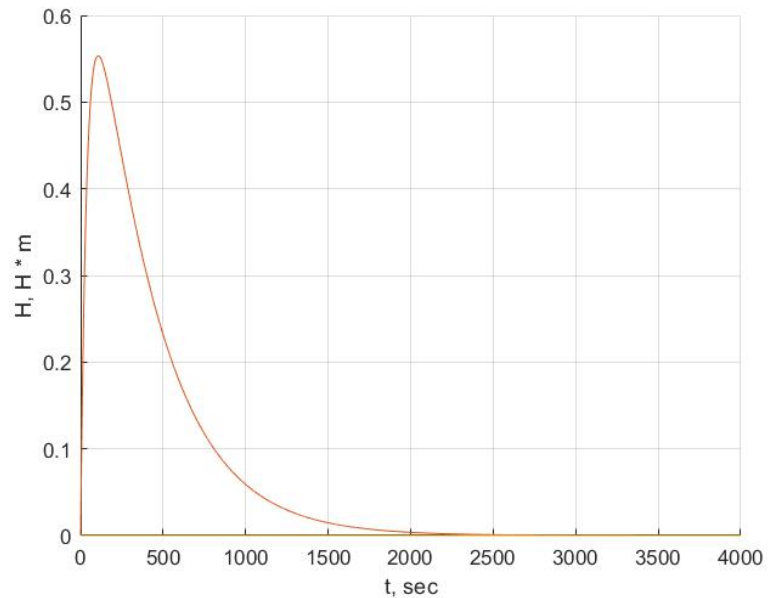


Абсолютная угловая скорость



Численное моделирование

$$k_q = 0.05 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad k_\omega = 5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad \omega_{crit} = 0.003 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

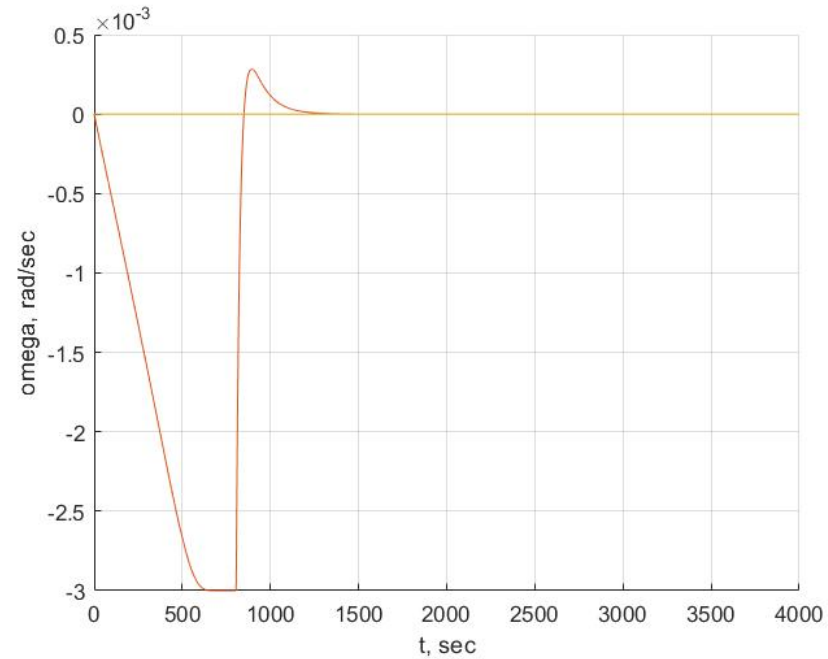
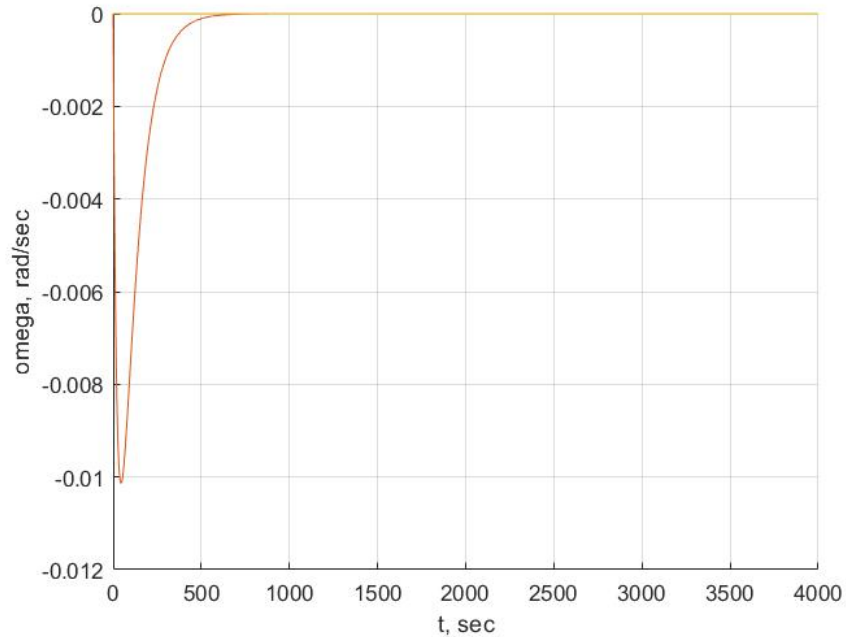


Кинетический момент маховиков



Численное моделирование

$$k_q = 0.35 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad k_\omega = 10 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad \omega_{crit} = 0.003 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

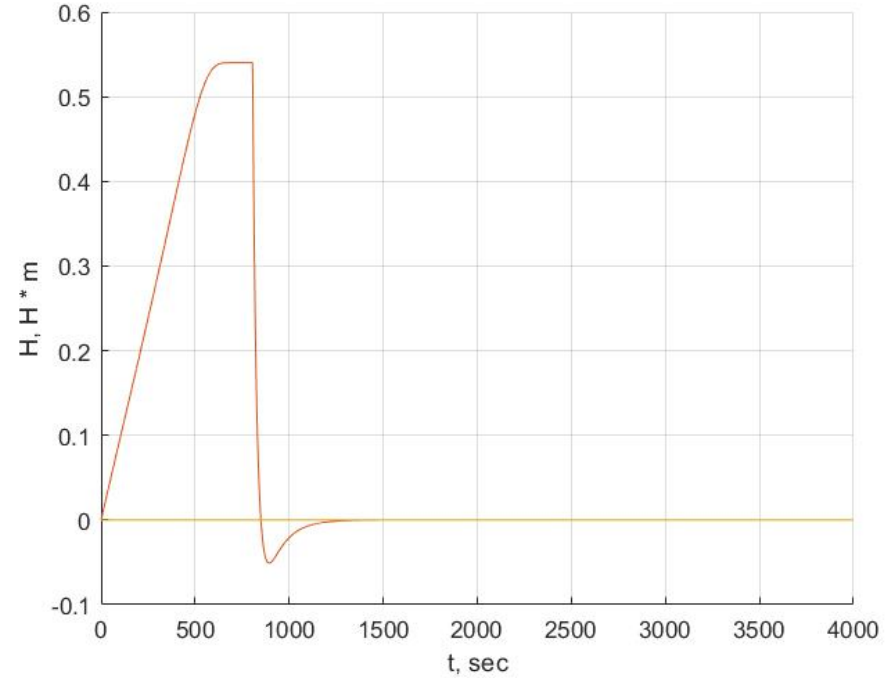
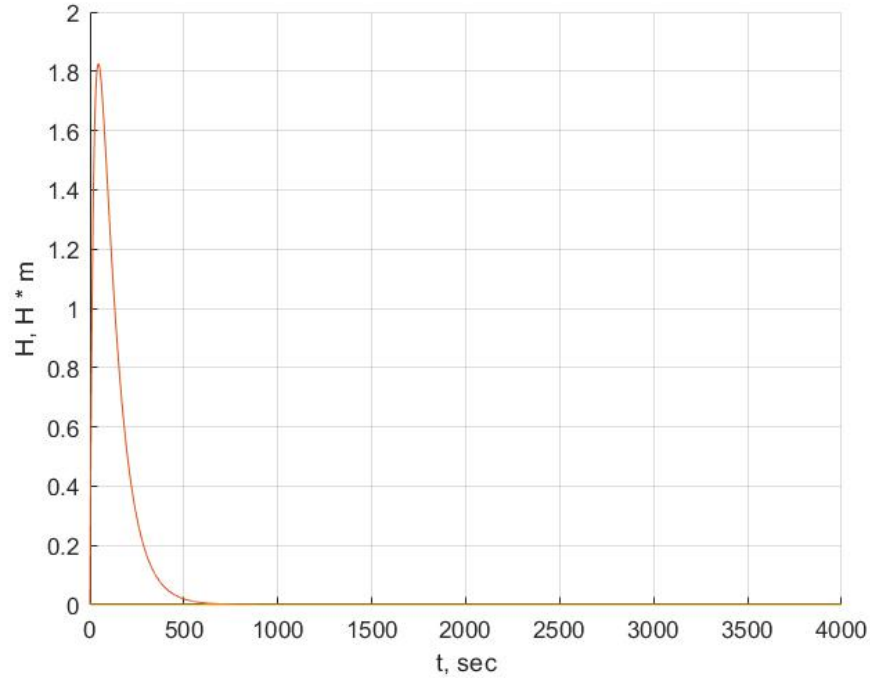


Абсолютная угловая скорость



Численное моделирование

$$k_q = 0.35 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad k_\omega = 10 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad \omega_{crit} = 0.003 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$



Кинетический момент маховиков



Выводы



- Насыщение двигателей-маховиков происходит медленнее при использовании модифицированной функцией Ляпунова
- Угловые скорости не выходят за установленные ограничения при использовании модифицированной функцией Ляпунова