

Управление развёртыванием космической тросовой системы при движении по окололунной орбите

Научный руководитель – Заболотнов Юрий Михайлович

Ледкова Татьяна Александровна

Аспирант

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.

Королева, Самара, Россия

E-mail: ta_ledkova@bk.ru

Космические тросовые системы являются перспективным направлением исследования в современной космонавтике. Это обусловлено возможностью использования протяжённых космических систем для решения многих практически важных задач [1, 2], в числе которых задачи исследования Луны [3, 4]. Создание окололунной станции, оснащённой тросовой системой, позволило бы сэкономить топливо при выполнении различных транспортных операций. В связи с этим, исследование динамики и разработка программ управления движением окололунных тросовых систем являются важными задачами

В работе исследуется движение космической тросовой системы, состоящей из двух малых космических аппаратов, один из которых движется по круговой окололунной орбите (Рисунок 1). Рассматривается процесс развёртывания троса для приведения системы в рабочее состояние. Целью исследования является поиск закона управления силой натяжения троса, обеспечивающего развёртывание троса на требуемую длину и его стабилизацию в вертикальном положении.

Уравнения движения космической тросовой системы, найденные с помощью уравнений Лагранжа второго рода, после линеаризации имеют вид:

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} &= -3\Omega^2 \sin \varphi \cos \varphi - 2\dot{l}l^{-1}(\Omega + \dot{\varphi}), \\ \ddot{l} &= l(3\Omega^2 \cos^2 \varphi + 2\Omega\dot{\varphi} + \dot{\varphi}^2) + T/m. \end{aligned} \quad (1)$$

где φ - угол отклонения троса, l - длина троса, T - сила натяжения троса, Ω - угловая скорость движения по круговой орбите. Заменим $u = \dot{l}l^{-1}$. Предлагается использовать следующий закон управления:

$$u = \frac{(l_{\max} - l)}{l_{\max}} \left(\frac{1}{2}\Omega - \dot{\varphi} \frac{l}{l_{\max}} \right). \quad (2)$$

Для того чтобы сила натяжения T обеспечивала управление (2), продифференцируем выражение $\dot{l} = ul$ по t и, подставим во второе выражение системы (1). Выражая из результата T , получим

$$\begin{aligned} T &= \frac{lm}{l_{\max}^4} \left((l_{\max}^4 + l^3 l_{\max} - l^4) \dot{\varphi}^2 + 2\Omega \left(l_{\max}^4 + \frac{l_{\max}^4}{4} - \frac{5l^3 l_{\max}}{4} + l^4 \right) \dot{\varphi} + \right. \\ &\quad \left. + 3\Omega^2 l_{\max} (l_{\max}^3 \cos^2 \varphi - l_{\max} l (l_{\max} - l) \sin \varphi \cos \varphi - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{12} (l_{\max} - l) (l_{\max}^2 + 2l_{\max} l - 4l^2) \right). \end{aligned}$$

Проведём численное моделирование развёртывания тросовой системы, используя следующие массово-геометрические параметры: $\mu_M = 4.9025 \cdot 10^{12}$ км³/с²- гравитационный параметр Луны, $m = 2$ кг ndash; масса КА, $r = 2237100$ км ndash; высота орбиты. Начальные условия: $l_0 = 0.1$ м, $\dot{l}_0 = 0.25$ м/с, $\varphi_0 = 0.8485$ рад, $\dot{\varphi}_0 = 0$ рад/с. Результаты, представленные графиками 2-3, показывают, что предлагаемый закон управления (2) обеспечивает развёртывание и стабилизацию тросовой системы.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.т.н., профессору Заболотнову Юрию Михайловичу.

Источники и литература

- 1) Белецкий В.В., Левин Е.М. Динамика космических тросовых систем М., 1990.
- 2) Cartmell M. P., McKenzie D. J. A review of space tether research // Progress in Aerospace Sciences. 2008. Т. 44. No. 1. С. 1 - 21.
- 3) Burns J.O., Mellinkoff B., Spydell M., Fong T., Kring D.A., Pratt W.D., Cichan T., Edwards C.M. Science on the lunar surface facilitated by low latency telerobotics from a Lunar Orbital Platform – Gateway // Acta Astronautica. 2019. Vol.154. С. 195 – 203.
- 4) Levack D. J., Horton J.F., Joyner C.R., Kokan T.S., Widman F., Guzek B.J. Mars NTP Architecture Elements Using the Lunar Orbital Platform-Gateway // 2018 AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition. 2018. С. 5105.

Иллюстрации

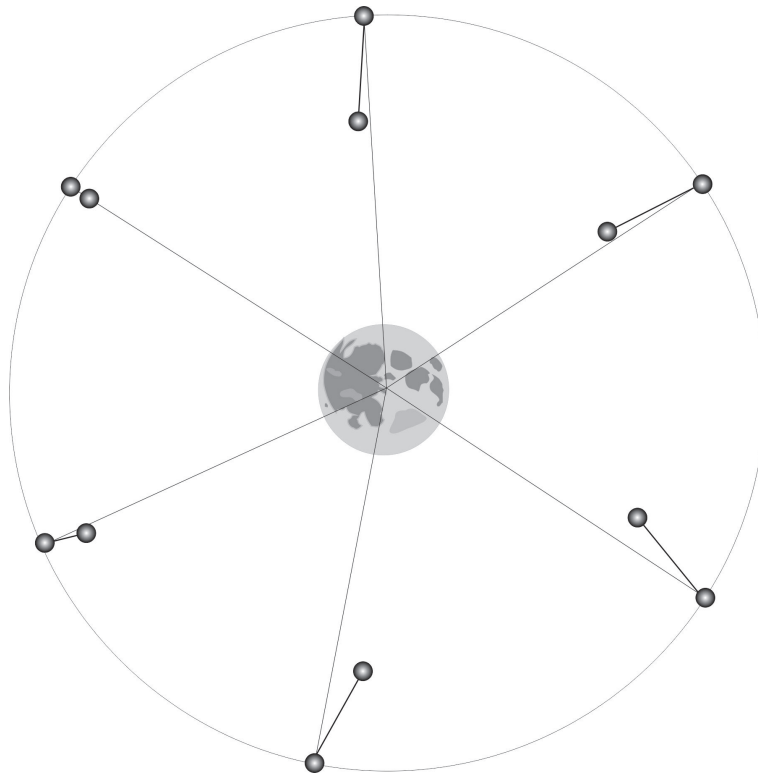


Рис. 1. Развёртывание космической тросовой системы

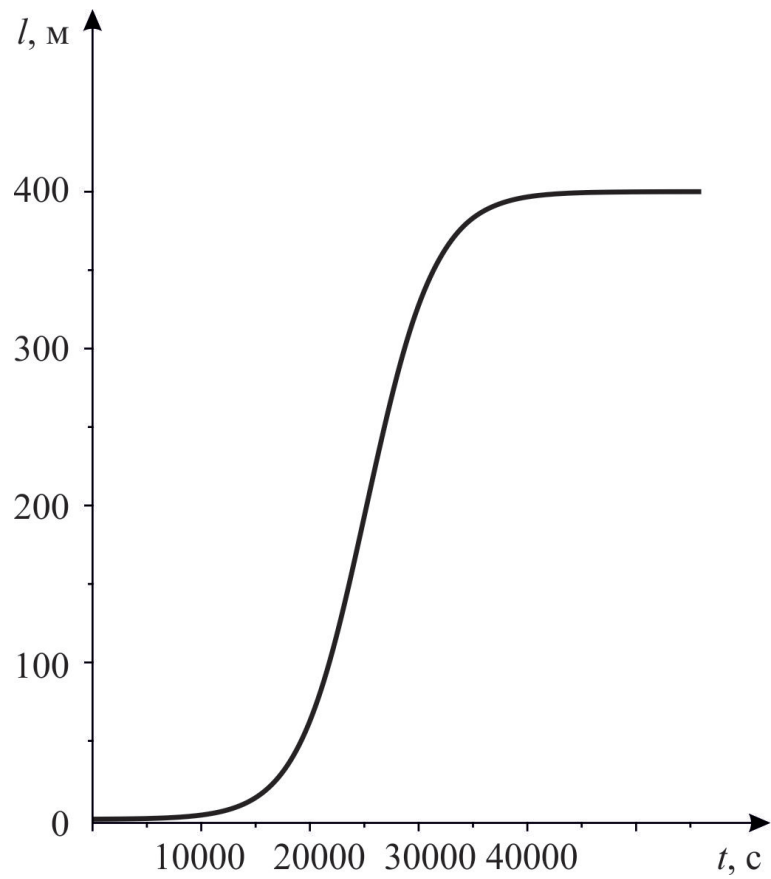


Рис. 2. График изменения длины троса $l(t)$

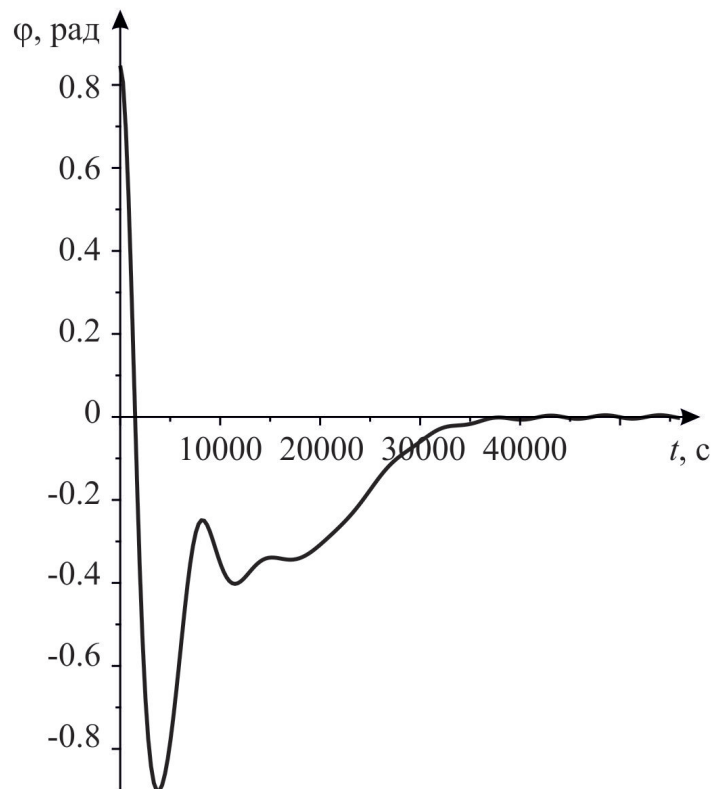


Рис. 3. График изменения угла отклонения троса от местной вертикали $\varphi(t)$