

УДК 531

Свертывание тросовой системы, закрепленной в точке либрации L_1/L_2 в системе Марс — Фобос

Нерядовская Дарья Владимировна^(*)

neryadovskayadv@yandex.ru

Московский авиационный институт, Москва, Россия

Аннотация. Определен закон управления свертыванием троса, который обеспечивает выполнение втягивания без его колебаний и предотвращает наматывание на орбитальную станцию, находящуюся в точке либрации L_1 или L_2 . Получен угол отклонения троса, при котором происходит наиболее быстрое свертывание троса. Результаты работы могут быть полезны при подготовке космических программ по исследованию Фобоса с использованием тросовой системы.

Ключевые слова: Тросовая система, процесс свертывания, управление, угол отклонения, точка либрации

Введение. Актуальной проблемой при разработке космических программ с применением тросов является увеличение амплитуды колебаний троса при его втягивании или разматывании. Подробный обзор существующих методов и законов управления представлен в статье [1]. В этих работах изучается движение тросовой системы в гравитационном поле планеты. В настоящем исследовании тросовая система находится под воздействием гравитационных полей Марса и Фобоса, и центробежной силы от вращения этой системы. Исследование проводится в рамках задачи трех тел системы Марс — Фобос. Цель работы — определение закона управления свертыванием тросовой системы, позволяющего уменьшить отклонения троса.

Материалы и методы; результаты. Данное исследование является развитием работы [2], поэтому уравнения движения тросовой системы, выведенные ранее, используются при разработке закона управления. В основу закона управления положена идея, предложенная в работе [3]. Получен управляющий параметр следующего вида:

$$u = \frac{1}{2(n + \dot{\varphi})} \left(\frac{A}{\ell} \sin \varphi + B(\varphi - \varphi_* - \sin \varphi \cos \varphi) + C\dot{\varphi} \right) + k_{\omega} \dot{\varphi} + k_{\varphi} (\varphi - \varphi_*),$$

$$A = -n^2 a_i + G \left(\frac{m_1}{(d\mu + a_i)^2} + \frac{m_2}{(d(\mu - 1) + a_i)^2} \right), \quad (i = 1, 2)$$

$$B = 3G \left(\frac{m_1}{(d\mu + a_i)^3} + \frac{m_2}{(d(\mu - 1) + a_i)^3} \right),$$

где n — среднее вращение; a_1, a_2 — расстояние от начала координат до точки либрации L_1 или L_2 , соответственно; d — расстояние между центрами Марса

и Фобоса; $\mu = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$ — массовое соотношение; m_1 — масса Марса; m_2 — масса Фобоса; G — гравитационная постоянная; k_φ, k_ω — управляющие коэффициенты; l — длина троса; φ — угол отклонения троса; φ_* — асимптотически устойчивое положение равновесия.

Закон управления позволяет свернуть трос до расстояния около 10 м, поэтому процесс свертывания троса предлагается разбить на три последовательных этапа. На первом и последнем этапах втягивание троса происходит с постоянной скоростью, на втором — по заданному закону. Второй этап начинается после выполнения следующего условия для скорости свертывания троса:

$$\dot{l} = \frac{1}{2(n + \dot{\varphi})} (A \sin \varphi + B l (\varphi - \varphi_* - \sin \varphi \cos \varphi) + C \dot{\varphi} l).$$

Начало третьего этапа происходит в тот момент, когда система стабилизировалась и длина троса стала равной 9,7 м. Численное моделирование показало, что угол отклонения троса, закрепленного в точке либрации L_1 или L_2 , в конце процесса свертывания равен 0,237 и 0,229 рад, соответственно, (рис. 1, 2).

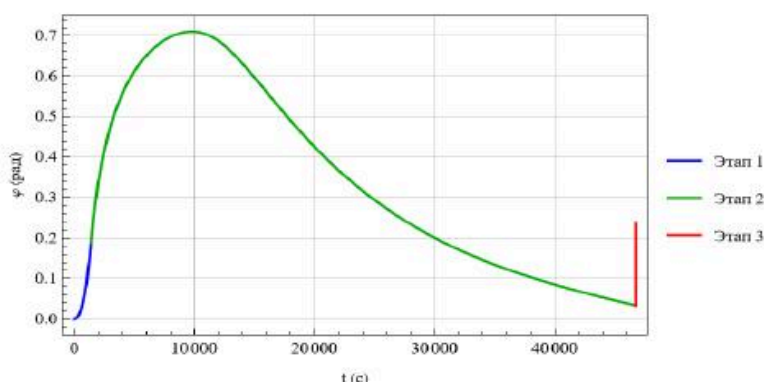


Рис. 1. Зависимость угла отклонения троса, закрепленного в точке либрации L_1 , от времени

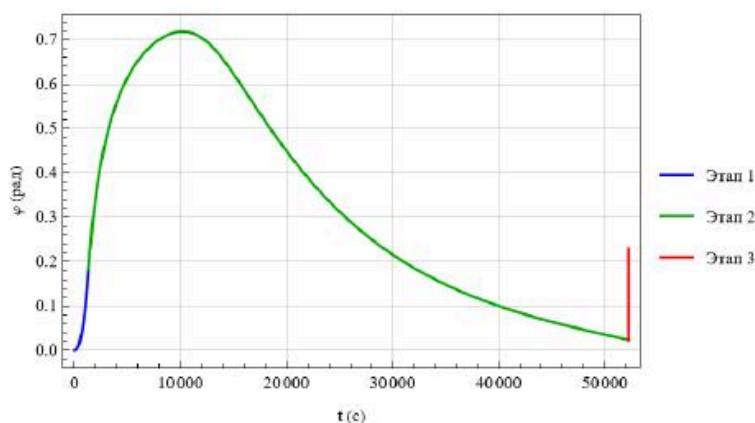


Рис. 2. Зависимость угла отклонения троса, закрепленного в точке либрации L_2 , от времени

Заключение. Разработан закон свертывания тросовой системы, зафиксированной в точке либрации L_1 или L_2 в системе Марс — Фобос с помощью орбитальной станции. Для реализации наиболее быстрого втягивания троса, закрепленного в точке L_1 , необходимо сначала развернуть систему в сторону Марса.

Список источников

- [1] Yu B.S., Wen H., Jin D.P. Review of deployment technology for tethered satellite systems. *Acta Mech. Sin.*, 2018, vol. 34, pp. 754–768.
<https://doi.org/10.1007/s10409-018-0752-5>
- [2] Aslanov V.S., Neryadovskaya D.V. A Tether System at the L_1 , L_2 Collinear Libration Points of the Mars–Phobos System: Analytical Solutions. *Aerospace*, 2023, vol. 10 (6), art. no. 541. <https://doi.org/10.3390/aerospace10060541>
- [3] Ledkov A.S., Pikalov R.S. Nonlinear Control of Tether Retrieval in an Elliptical Orbit. *Russ. J. Nonlinear Dyn.*, 2023, vol. 19, pp. 201–218.
<https://doi.org/10.20537/nd230401>