

УДК 521.1

Динамика тросовой системы, закрепленной на космическом аппарате, находящемся на квазиспутниковой орбите Фобоса

Асланов Владимир Степанович

aslanov_vs@mail.ru

Романенко Анастасия Владимировна^(*)

a-v-romanenko28@yandex.ru

Самарский университет, Самара, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются разворачивание и свертывание тросовой системы, закрепленной на космическом аппарате. КА находится на квазиспутниковой орбите Фобоса. Анализируются четыре квазиспутниковые орбиты разной высоты. Предложены законы управления разворачиванием и свертыванием тросовой системы, на основе которых выполнено численное моделирование движения полезной нагрузки, закрепленной на тросе, в рамках эллиптической ограниченной задачи трех тел. Показывается возможность использования тросовой системы при изучении поверхности Фобоса.

Ключевые слова: эллиптическая задача трех тел, тросовая система, квазиспутниковые орбиты, законы управления, численное моделирование

Введение. Целью настоящей работы является исследование поведения тросовой системы, закрепленной на космическом аппарате (КА), находящемся на низкой квазиспутниковой орбите Фобоса. для исследования поверхности Фобоса. Данная работа является продолжением исследования [1], где рассмотрен случай разворачивания и свертывания тросовой системы с квазиспутниковой орбиты в рамках круговой задачи трех тел.

Материалы и методы; результаты. В работе описывается движение системы «КА — трос — полезная нагрузка» в рамках плоской эллиптической ограниченной задачи трех тел (рис. 1) [2]. Уравнения, описывающие движение КА и полезной нагрузки, закрепленной на тросе следующие [2]:

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1 &= -\frac{\partial W}{\partial x_1} + 2\dot{v}\dot{y}_1 + \ddot{v}y_1 + \dot{v}^2 x_1; \\ \ddot{y}_1 &= -\frac{\partial W}{\partial y_1} - 2\dot{v}\dot{x}_1 - \ddot{v}x_1 + \dot{v}^2 y_1; \\ \ddot{x}_2 &= -\frac{\partial w}{\partial x_2} + 2\dot{v}\dot{y}_2 + \ddot{v}y_2 + \dot{v}^2 x_2 - \frac{1}{m_2}T_x; \\ \ddot{y}_2 &= -\frac{\partial w}{\partial y_2} - 2\dot{v}\dot{x}_2 - \ddot{v}x_2 + \dot{v}^2 y_2 - \frac{1}{m_4}T_y; \\ \ddot{v} &= -\frac{2c^2 e}{p^4}(1 + e \cdot \cos v)^3 \sin v,\end{aligned}$$

где (x_1, y_1) и (x_2, y_2) — координаты КА и полезной нагрузки соответственно, v — истинная аномалия, e — эксцентриситет орбиты Фобоса, W и w — силовые функции КА и полезной нагрузки соответственно, $T = (T_x, T_y)$ — сила натяжения троса. Используются следующие полярные СК: (ρ, φ) и (l, α) , где ρ — расстояние между центром Фобоса и КА, φ — угол между ρ и осью Ox , l — расстояние между КА и полезной нагрузкой (длина троса), α — угол между ρ и l .

Рассматриваются четыре низкие квазиспутниковые орбиты разной высоты (см. таблицу), на которых находится КА.

Рассматриваемые орбиты

Название квазиспутниковой орбиты	Величина большой и малой полуоси, км
QSO-LA	30×49
QSO-LB	22×31
QSO-LC	20×27
QSO-LD	16×19

Предполагается, что на тросе, в качестве полезной нагрузки, закреплен аппарат с камерой для получения изображений поверхности спутника, которому необходимо сделать полный оборот вокруг Фобоса на малой высоте. Для управления движением аппарата сформулирован закон управления силой натяжения троса с обратной связью, применяемый для каждой из анализируемых орбит:

$$T = \begin{cases} k_d (f - R(\psi) - h) + k_v \frac{d(f)}{dt} + k_s \left(\frac{d(f)}{dt} \right)^2, & \text{if : } f - R(\psi) - h < 0 \\ 0, & \text{if : } f - R(\psi) - h > 0 \end{cases} \quad (1)$$

где k_v , k_d , k_s — коэффициенты закона управления, $R(\psi)$ — расстояние между центром Фобоса и точкой съемки на его поверхности, h — заданная высота, на которой находится камера, f — расстояние между центром Фобоса и полезной нагрузкой. Под действием закона (1) полезная нагрузка имеет траекторию полета, изображенную на рис. 1.

По окончании съемки необходимо вернуть аппарат с камерой на КА, для этого построен закон управления для свертывания троса, позволяющий устранить наматывание троса на аппарат:

$$u = k_\alpha (\alpha - \alpha_0) + k_\omega \frac{d\alpha}{dt}, \quad (2)$$

где u — сила, приложенная перпендикулярно тросу, k_α и k_ω — коэффициенты закона управления. Процесс свертывания троса под действием закона (2) показан на рис. 2.

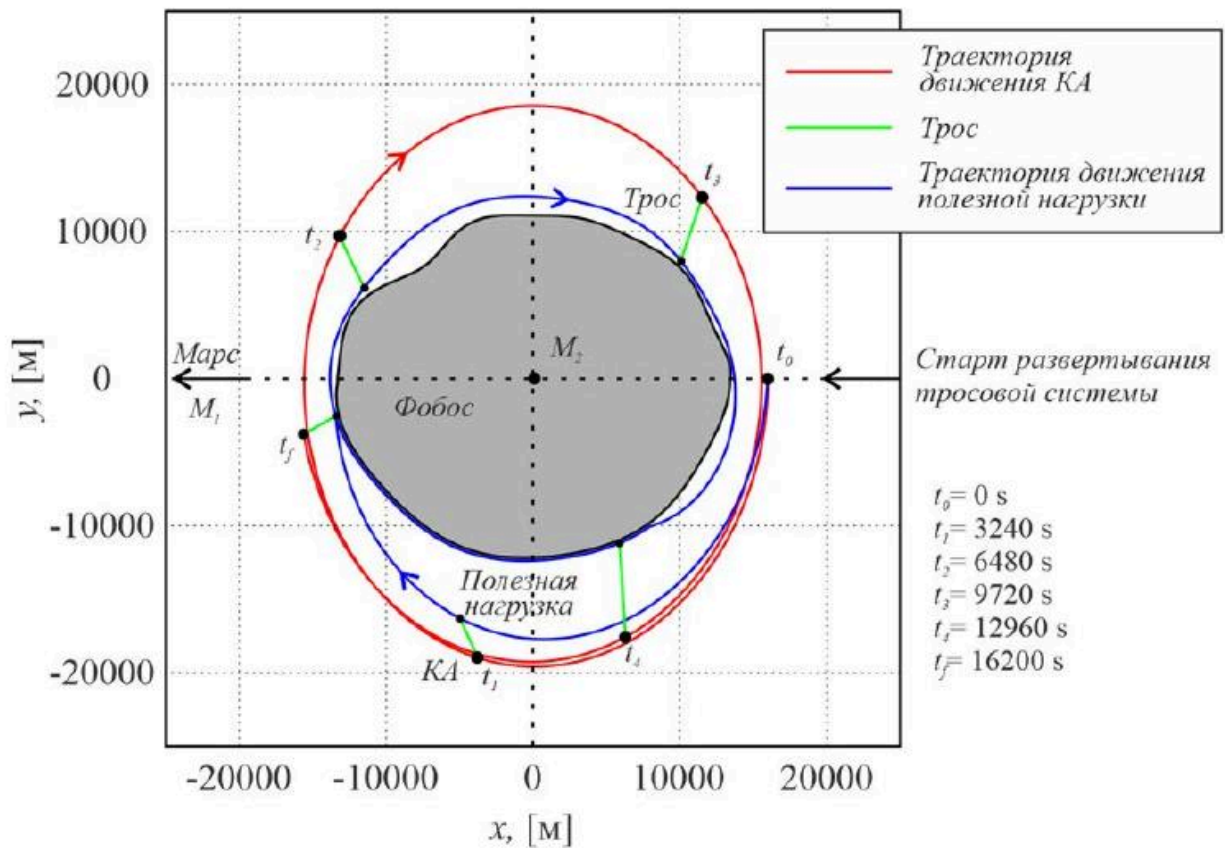


Рис. 1. Развертывание тросовой системы

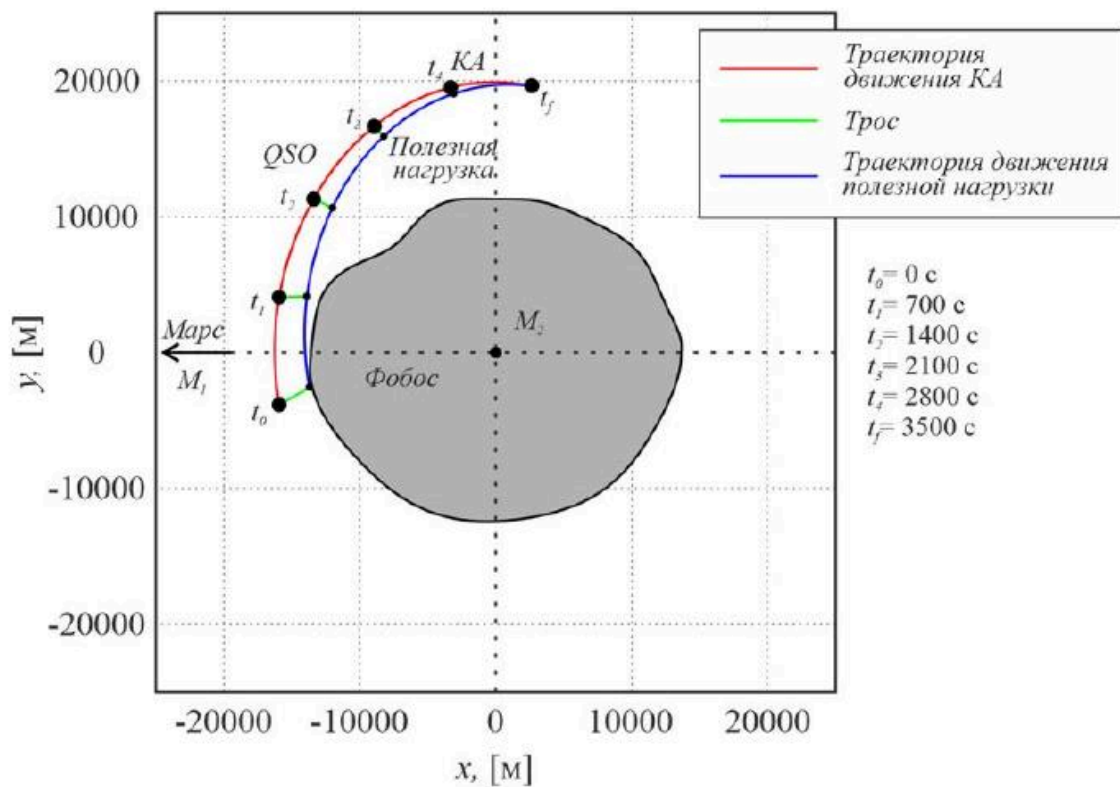


Рис. 2. Свертывание тросовой системы

Заключение. В результате исследования построены законы управления развертыванием и свертыванием тросовой системы, позволяющие совершить полный оборот полезной загрузки на заданной высоте вокруг поверхности Фобоса, а затем вернуть ее на КА. Развитие работы заключается в рассмотрении пространственного случая задачи.

Список источников

- [1] Aslanov V.S. Tether System in Martian-Moons-eXploration-Like Mission for Phobos Surface Exploration. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2024, vol. 61, no. 1, pp. 319–326.
- [2] Маркеев А.П. *Точки либрации в небесной механике и космодинамике*. Москва, Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978, 312 с.