

УДК 531

## Раскачивание и стабилизация тросовой системы, закрепленной в точке либрации L1, в круговой ограниченной задаче трех тел

Нерядовская Дарья Владимировна

neryadovskayadv@yandex.ru

SPIN-код: 8754-3576

Московский авиационный институт, Москва, Россия

**Аннотация.** Исследована динамика раскачки и стабилизации тросовой системы, закрепленной в точке либрации L1 системы Марс – Фобос, в рамках круговой ограниченной задачи трех тел. Предложен закон раскачки и стабилизации тросовой системы, который позволяет управлять динамикой троса, изменяя амплитуду колебаний.

**Ключевые слова:** раскачивание, стабилизация, тросовая система, точка либрации

**Введение.** Использование тросовых систем в космических программах открывает новые возможности при исследовании небесных тел. Необходимость в точном моделировании динамических процессов является важным аспектом разработки. Модели должны учитывать все возможные воздействия для обеспечения безопасной работы. Основными проблемами при использовании космических тросов являются нестационарные колебания и сложные динамические взаимодействия, возникающие при управлении ими. По этой причине особое внимание необходимо уделять исследованию динамики тросовой системы. В работе [1] представлен обзор контроллеров развертывания для тросовой системы в космосе. В ряде современных исследований уделяется особое внимание моделированию хаотических режимов и анализу устойчивости движения тросовой системы, что необходимо для повышения надежности управления и исключения возникновения нештатных ситуаций в ходе выполнения космических программ [2].

Ключевым преимуществом использования тросовой системы в исследовании Фобоса является близость расположения точек либрации к его поверхности (около 3,5 км). Это позволяет получить более четкие снимки и провести измерения вблизи поверхности спутника, в то время как использование автоматической межпланетной станции на таком расстоянии в целях безопасности невозможно. Например, Марс-Экспресс пролетал над поверхностью Фобоса при самых близких пролетах на расстоянии около 500 км [3].

Целью настоящей работы является разработка закона раскачивания и стабилизации тросовой системы, позволяющего управлять ей в необходимых целях.

**Методы и материалы; результаты.** Исследуется модель тросовой системы, в которой невесомый и нерастяжимый трос одним концом закреплен на орбитальном КА, расположенном в точке либрации L1 системы Марс – Фобос, а на другом конце троса размещается блок с измерительной аппарату-

рой. Рассматривается развертывание троса, на этапе достижения заданной длины обеспечивается нулевая скорость разворачивания. На этом этапе алгоритм на основе обратной связи используется в качестве закона натяжения троса. При численном моделировании безразмерные коэффициенты, входящие в разработанный закон, определяются исходя из требуемых конечных условий. Так как расстояние от поверхности Фобоса до точки либрации L1 составляет примерно 3,5 км, то максимально допустимая длина троса не должна превышать этого значения.

**Заключение.** Расчеты, выполненные численным методом, показали, что с течением времени угол отклонения троса и его длина стабилизируются или раскачиваются в зависимости от применяемых параметров.

### Список источников

- [1] Teik Hong A.A., Varatharajoo R., Chak Y.-Ch. Review of deployment controllers for space tethered system. *Advances in Space Research*, 2025, vol. 75, pp. 3933–3949, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.11.061>
- [2] Yu B.S., Zhu Z.H. Characterization of out-of-plane libration of tethered satellite systems in elliptical orbits. *Acta Astronautica*, 2024, vol. 219, pp. 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2024.02.047>
- [3] Pätzold M., Andert T.P., Cardesín-Moinelo A. et al. Investigations of the Moon Phobos by Mars Express and Implications towards Its Origin. *Space Science Reviews*, 2025, vol. 221, pp. 1–34, <https://doi.org/10.1007/s11214-025-01165-7>