

УДК 520.607

Применение тросовых систем для лунных орбитальных миссий

Дьяков Павел Александрович¹

dyakov_pavel@bk.ru

SPIN-код: 6397-4789

Малашин Алексей Анатольевич^{1,2}

malashin_a@mail.ru

SPIN-код: 8845-9502

Храмов Дмитрий Александрович^{1,3}

diman3366@mail.ru

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия³ НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается задача по перемещению полезной нагрузки с орбиты на поверхность Луны при помощи тросовой системы. Разработана математическая модель процесса размотки троса с грузом на конце с учетом влияния внешних сил на орбите Луны и волновых процессов в тросе. На основании представленной математической модели получены условия управления и характерных размеров составных частей системы (длина троса, величина нагрузки на конце троса), при которых процесс размотки является устойчивым. Полученные результаты являются теоретическим заделом, который, в совокупности с проработкой программно-аппаратных средств может лечь в основу реальных орбитальных миссий по доставке полезной нагрузки, как на поверхность Луны, так и других небесных тел.

Ключевые слова: тросовые системы, устойчивость, полезная нагрузка, орбитальные миссии

Введение. В настоящее время освоение и колонизация ближайших к Земле небесных тел является одним из наиболее бурно развивающихся направлений научно-технической деятельности человечества. За последнее время запущено несколько миссий, предполагающих посадку на поверхность Луны. При этом возникали серьезные проблемы с процессом посадки на поверхность Луны, приводящие к частичной реализации целей миссии, или же к ее полной неудаче. В данной работе способом упрощения процесса прилунения является применение тросовой системы на данном этапе. Для подобного рода задач применение тросовых систем является нестандартным и перспективным направлением исследований. В качестве основных преимуществ можно выделить оптимизацию топливных затрат, упрощение информационного взаимодействия между спускаемой полезной нагрузкой и центром управления. Допускается возможность смотки троса и повторное прилунение в случае неудачной предыдущей попытки.

Методы и материалы; результаты. В рамках исследования была построена математическая модель системы с гибкой связью на окололунной орбите с массой на конце разматывающегося троса. Аналогичная модель и процесс размотки для геостационарной орбиты рассмотрены в [1–3]. Тросовая система

состоит из головного (орбитального) КА, расположенного на опорной орбите, разматывающегося троса и полезной нагрузки на его конце. Отличительной чертой подхода является моделирование гибкой связи (троса) методами механики деформируемого твердого тела. Таким образом, трос рассматривается как гибкая упругая нить в поле внешних сил с динамическими условиями на границах: механизмы управления (верхняя точка троса, расположенная на орбитальном КА) и динамика спускаемой на тросе полезной нагрузки (нижняя точка троса).

Проведенные аналитические исследования и математическое моделирование процесса размотки и прилунения показали, что устойчивость системы, как к внешним, так и внутренним возмущениям достигается путем выполнения граничных условий управления точкой выхода троса с орбитального КА первого и второго рода [2].

В результате были получены траектории размотки троса с полезной нагрузкой на конце с учетом выполнения граничных условий управления. Показана возможность приближения фактической траектории размотки к эталонной при изменении начальных условий размотки, возможность стабилизации троса вдоль местной вертикали в завершающей стадии размотки (когда влияние продольно-поперечных колебаний троса наиболее существенно).

Заключение. В работе проведено аналитическое исследование и математическое моделирование процесса доставки полезной нагрузки на поверхность Луны с КА, размещенного на лунной орбите при помощи тросовой системы. В результате были получены условия управления, обеспечивающие устойчивость процесса и характерные величины составных частей системы, при которых процесс доставки нагрузки на поверхность возможен. Полученные результаты могут являться теоретической основой проектирования реальной лунной орбитальной миссии.

Список источников

- [1] Smirnov N.N., Demyanov Yu.A., Zvuaguin A.V., Malashin A.A., Luzhin A.A. Dynamical simulation of tether in orbit deployment. *Acta Astronautica*, 2010, vol. 67, pp. 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2010.02.020>
- [2] Malashin A., Smirnov N.N., Bryukvina O.Y., Dyakov P.A. Dynamic control of the space tethered system. *Journal of Sound and Vibration*, 2017, vol. 389, pp. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2016.11.026>
- [3] Diakov P.A., Malashin A.A., Smirnov N.N. Estimation of parameters of the space tethered system for stable load transportation along the tether. *Acta Astronautica*, 2021, vol. 181, pp. 602–605.