

УДК 629.762.2

Анализ характеристик движения и параметров входа в атмосферу при отделении от тросовой связки

Чжан Юе

zhangyue_hit-bmstu@qq.com

Коровин Виктор Валерьевич^(*)

korovinvv@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В данной работе осуществляется анализ задачи, связанной с определением начальных условий движения тела и условий его вхождения в атмосферу после отделения от космической тросовой системы. Основное внимание уделяется движению на заатмосферном участке траектории. Перед разделением тросовая система может находиться как в состоянии гравитационного равновесия на круговой орбите, так и в режиме маятниковых движений в случае круговой или эллиптической орбиты. В работе представлен диапазон возможных начальных параметров движения, а также получены аппроксимирующие зависимости для дальности заатмосферного сегмента траектории и угла входа в атмосферу.

Ключевые слова: космическая тросовая связка, маятниковые колебания, начальные условия при разделении, заатмосферный участок траектории, параметры входа в атмосферу

Введение. Одним из перспективных направлений применения тросовых систем в космическом пространстве является осуществление транспортных операций [1, 2]. В данном исследовании рассматриваются компланарные маневры, связанные с возвращением грузов на Землю с низких орбит, а также утилизацией низкоорбитальных объектов в атмосфере нашей планеты. Эти задачи особенно актуальны, например, при обслуживании орбитальной станции или ликвидации космического мусора [2].

Материалы и методы; результаты. Проведен анализ движения и условий входа в атмосферу после отделения от космической тросовой связки. Внимание уделяется заатмосферному участку траектории. Рассматриваются такие параметры, как дальность спуска, скорость входа и диапазон возможных углов входа в атмосферу в зависимости от характеристик тросовой связки и начальных условий отделения. Угол входа является ключевым фактором, который влияет на перегрузки и тепловые потоки в атмосфере. Перед разделением тросовая связка может находиться в состоянии гравитационного равновесия на круговой орбите или в режиме маятниковых колебаний. Хотя подобные задачи изучались в ряде работ [3, 4], опубликованные результаты не являются исчерпывающими.

При разделении радиально-уравновешенной связки диапазон возможных углов входа в атмосферу оказывается весьма ограниченным. Угол входа определяется соотношением между расстоянием от центра масс связки (или ее гравитационного центра) до отделяемого объекта и расстоянием от центра

масс до границы атмосферы. Устанавливаются как минимальные значения, так и оптимальный диапазон этого параметра. Разработаны аппроксимационные формулы для расчета дальности заатмосферного участка траектории и угла входа в атмосферу. Начальные условия движения отделяемого тела могут быть заданы как с использованием точных уравнений равновесия, так и с помощью линеаризованного подхода, при котором движение центра масс тросовой связки на круговой орбите рассматривается как Кеплерово. В ходе анализа также учитываются возникающие погрешности.

Другой способ выполнения орбитального маневра заключается в отделении от тросовой связки в режиме маятниковых колебаний. При таком подходе область допустимых значений углов входа и дистанций снижения значительно расширяется, а необходимая длина троса уменьшается. Когда тело отделяется от тросовой связки в режиме либраций, начальная скорость может иметь трансверсальную и радиальную составляющие. Это приводит к необходимости определения оптимального момента разделения связки [5]. Возможные амплитуды колебаний ограничены условием, которое исключает сход конечных масс с связи. Учет нелинейности маятниковых колебаний усложняет анализ данной проблемы.

Заключение. В работе проведен анализ ряда задач, связанных с процессом возвращения грузов с низкой орбиты на Землю. Представлены и проанализированы результаты численного моделирования. Получены аппроксимирующие зависимости для основных расчетных параметров.

Список источников

- [1] Cosmo M.L., Lorenzini E.C. *Tethers in space handbook*. Cambridge, Smithsonian Astrophysical Observatory, 1997, 274 p.
- [2] Иванов В.А., Купреев С.А., Либерзон М.Р. Перспективные направления практического использования технологий космических тросовых систем. *Идеи и инновации*, 2015, № 3, с. 27–42.
- [3] Aslanov V.S., Ledkov A.S. Tether-assisted re-entry capsule deorbiting from an elliptical orbit. *Acta Astronautica*, 2017, vol. 130, pp. 180–186.
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.10.028>
- [4] 王长青, 郑光华. 空间系绳系统动力学建模与控制. 西安: 西北工业大学出版社, 2017.
- [5] Сихарулидзе Ю.Г. *Баллистика и наведение летательных аппаратов*. Москва, Бином. Лаборатория знаний, 2011, 407 с.