

УДК 629.783

Анализ резонансов космической тросовой связки на орбите с теневым участком

Чжан Юе

zhangyue_hit-bmstu@qq.com

SPIN-код: 8106-1273

Коровин Виктор Валерьевич^(*)

korovinvv@bmstu.ru

SPIN-код: 5947-3452

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается динамика связки двух материальных точек, соединенных невесомой упругой или упруго-диссипативной связью (нитью) на круговой орбите, имеющей теневой участок. Пересечение границы теневого участка орбиты (линии терминатора) приводит к изменению температуры нити и ее тепловому деформированию. Тепловое деформирование тросовой связки анализируется в динамической постановке. Повторяемость характера изменения температуры на последовательных витках орбиты означает воздействие на исследуемый объект периодического негармонического нагружения. Анализируются амплитуды возникающих продольных и маятниковых колебаний связки. Показана возможность возникновения резонансных режимов.

Ключевые слова: космическая тросовая связка, орбита с теневым участком, динамика при тепловом деформировании, продольно-маятниковые колебания, периодическое негармоническое воздействие, резонанс при негармоническом воздействии

Введение. Анализу динамики связки орбитальных объектов (космической тросовой системы, КТС) посвящено большое количество статей и научных монографий [1]. Ряд авторов исследовали возможность динамической неустойчивости КТС [1, 2]. В качестве причины неустойчивости в известных работах указывается действие неконсервативных сил аэродинамической и электромагнитной природы. Однако, существует возможность непосредственного возбуждения резонансных колебаний в результате периодического воздействия на КТС при тепловом деформировании нити на последовательных витках орбиты с теневым участком. Анализ такого явления выполнен в работе [3]. Подобная задача рассмотрена в [4], но применительно к космическому лифту, динамика которого имеет ряд существенных отличий от КТС. В работе [3] использовалась модель КТС с распределенными параметрами. Для выявления основных закономерностей целесообразна более простая модель в виде двух связанных материальных точек.

Методы и материалы; результаты. Математическая модель КТС представляет собой дифференциальные уравнения движения двух связанных концевых масс в проекциях на оси инерциальной системы отсчета и уравнение теплового баланса нити. Начальные условия соответствуют вертикальному, статически уравновешенному положению связки на круговой орбите. Пересечение линии терминатора приводит к изменению температуры нити и ее

тепловому деформированию. Вследствие малой теплоемкости, время изменения температуры нити имеет порядок секунд. При этом, для космической тросовой связки характерны величины периода продольных колебаний порядка минут и более. Такое соотношение периодов приводит к необходимости рассматривать задачу с учетом сил инерции, действующих на концевые массы. Повторяемость характера изменения температуры на последовательных витках орбиты означает воздействие на исследуемый объект периодической негармонической нагрузки. В этом случае, при совпадении собственной частоты продольных колебаний тросовой связки с одной из гармонических составляющих внешнего воздействия, возникает резонансный режим. Действующие в плоскости орбиты кориолисовы силы связывают продольные и маятниковые колебания КТС, что порождает ее сложное движение относительно центра масс.

Заключение. Выполнен анализ продольных и маятниковых колебаний КТС, получены частотные характеристики. Показана возможность резонансного роста амплитуд продольных колебаний. Исследованы скорость развития резонансного режима, максимальные амплитуды колебаний в зависимости от упруго-диссипативных и теплофизических свойств соединительной нити, а также характеристик орбиты:

Список источников

- [1] Belet'skiy V.V., Levin E.M. *Dynamics of space tether systems. Advances in the astronautical sciences*. San Diego, American Astronautical Society, 1993, vol. 83.
- [2] Ghosh J., Kumar S. Space Tether Dynamics and Stability of Equilibrium Positions under Different Perturbative Forces of General Nature in the Central Gravitational Field of Earth. *Journal of Scientific Research*, 2025, vol. 17 (1), pp. 9–19.
- [3] Коровин В.В. *Динамика орбитальной тросовой системы при воздействии возмущающих факторов космического полета*. Дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2001, 162 с.
- [4] Otsuka K., Ishikawa Y., Yamagiwa Y. et al. Space elevator cable's oscillation caused in space thermal environment. *Acta Astronautica*, 2020, vol. 177, pp. 446–456.