

УДК 629.7.087

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

© Назарова А.А., Заболотнов Ю.М.

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: anazarova63@gmail.com

Орбитальные электродинамические тросовые системы (ЭДТС) привлекают постоянное внимание из-за возможности их взаимодействия с магнитным полем Земли, что обуславливает их перспективность с точки зрения экономии энергетических затрат в задачах управления космическими аппаратами (КА) и системами. В частности, сочетание двух режимов работы ЭДТС (генерации электроэнергии и тяги) позволяет периодически аккумулировать энергию в системе и использовать ее для изменения параметров орбиты центра масс системы с помощью электромагнитных сил. За последние три десятилетия уже проведено более десятка реальных тросовых экспериментов на орбите с проводящими тросами различными странами мира [1–4]. Эти эксперименты доказали возможность практического использования ЭДТС для генерации электроэнергии, маневрирования КА на орбите, удаления с орбиты отработавших свой ресурс спутников и космического мусора и т. д.

В данной работе предлагается метод формирования вращающейся ЭДТС, которая состоит из двух малых КА и проводящего троса. Процесс формирования системы включает в себя два этапа. На первом этапе происходит развертывание системы с использованием программы изменения силы натяжения троса, близкой к релейной. Использование релейной программы позволяет получить в конечном положении системы отклонения троса от вертикали, близкие к максимально возможным, при рассматриваемом способе управления (силой натяжения троса). Это в свою очередь ведет к существенному уменьшению требуемой величины тока (почти на порядок) по сравнению со случаем, когда перевод системы во вращение осуществляется из вертикального положения равновесия. На втором этапе с помощью управления током система переводится в заданное конечное состояние вращения с постоянной угловой скоростью. Вращение системы возникает под действием распределенной нагрузки от сил Ампера в магнитном поле Земли.

Для обоснования предлагаемого комбинированного метода управления используются две математических модели. Одна – это модель для нерастяжимого прямолинейного и невесомого троса, полученная с помощью уравнений Лагранжа. Другая – модель движения тросовой системы с распределенными параметрами, в которой трос представляется как совокупность материальных точек. Последняя модель позволяет учесть изгиб весомого троса под действием распределенных электромагнитных сил, действующих на проводящий трос в магнитном поле Земли.

Использование предлагаемого метода управления для рассматриваемой задачи иллюстрируется численными примерами для ЭДТС, состоящей из двух малых КА, соединенных проводящим изолированным тросом.

Библиографический список

1. Zhong R., Zhu Z.H. Dynamics of Nanosatellite Deorbit by Bare Electrodynamic Tether in Low Earth Orbit // *J. of Spacecraft and Rockets*. 2013. Vol. 50. № 3. P. 691–700.
2. Iñarrea M., Lanchares V., Pascual A.I., Salas J.P. Attitude stabilization of electrodynamic tethers in elliptic orbits by time-delay feedback control. 2014. Vol. 96. P.280–295.
3. Fuhrhop K.R. Theory and Experimental Evaluation of Electrodynamic Tether Systems and Related Technologies // PhD Dissertation. University of Michigan. 2007. 307 p.
4. Ohkawa Y. Review of KITE – Electrodynamic Tether Experiment on HTV-6 / Y. Ohkawa, S. Kawamoto, T. Okumura, K. Iki, H. Okamoto, K. Inoue, T. Uchiyama, D. Tsujita, KITE Team // *The Sixth International Conference on Tethers in Space*, Department of Bioengineering and Aerospace Engineering Universidad Carlos III de Madrid, Spain – 2019.