

УДК 629.78

Управление относительным движением космических аппаратов формата кубсат для решения задачи фазирования с помощью аэродинамической силы сопротивления

Федурина Алёна Петровна^(*)

Иванов Данил Сергеевич

fedurina.a@phystech.edu

danilivanovs@gmail.com

SPIN-код: 7865-1478

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача управления относительным движением космических аппаратов, находящихся на низкой околоземной орбите. Управление осуществляется за счет разности действующих на аппараты аэродинамических сил сопротивления без использования двигательных установок. Предложен закон управления на основе пропорционально-дифференциального регулятора, он адаптирован для решения задачи фазирования заданного числа аппаратов для равномерного распределения в плоскости орбиты после кластерного запуска. Проведено численное исследование характеристик управляемого движения в зависимости от начальной высоты орбиты аппаратов.

Ключевые слова: кубсат, управление относительным движением, PD-регулятор, аэродинамическое сопротивление

Введение. Современные группировки малых космических аппаратов (МКА) активно применяются для наблюдений и экспериментов, где требуется одновременное измерение параметров из различных точек орбиты или где необходимо обеспечить покрытие земной поверхности. Однако использование традиционных двигательных установок на МКА ограничено из-за малой массы аппаратов и высокого энергопотребления двигателей, что стимулирует применение бестопливных способов управления относительным движением [1]. Один из наиболее перспективных методов основан на использовании дифференциального аэродинамического торможения, влияющего на орбитальное движение МКА за счет управляемого изменения их эффективной площади относительно набегающего потока с помощью системы ориентации [2, 3].

Материалы и методы; результаты. Исходные данные для моделирования орбитального движения получены из актуальных двустрочных элементов орбиты, опубликованных в открытых каталогах. Атмосферная плотность рассчитывается по модели ГОСТ, учитывающей солнечную активность. Для управления используется пропорционально-дифференциальный регулятор, управление формируется с помощью изменения эффективной площади сечения МКА.

Процесс назначения требуемого углового расстояния между МКА построен на составлении матрицы текущих угловых расстояний каждого спутника относительно остальных и определении такой же матрицы для относительных требуемых угловых расстояний. Относительная угловая скорость

космических аппаратов усредняется по времени. Расчет управления производится для каждого МКА относительно остальных аппаратов, а затем усредняется. В алгоритме учтено, что связь с МКА ограничена, поэтому моделирование проводится с выполнением условия на ограничение частоты управления.

Заключение. Предложен алгоритм управления относительным движением группировки с помощью дифференциального аэродинамического торможения. Было проведено численное исследование характеристик управляемого движения для группировки, состоящей из восьми МКА формата 3U кубсат на низкой околоземной орбите. В частности, проведенное моделирование показало, что для равномерного распределения рассмотренных МКА под действием предложенного управления требуется примерно 150 дней.

Список источников

- [1] Mashtakov Y., Monakhova U., Ivanov D. Nanosatellite differential drag control for variable size triangular formation flying. *Advances in Space Research*, 2025, vol. 75, no. 12, pp. 8707–8720.
- [2] Foster C., Mason J., Vittaldev V., Leung L., Beukelaers V., Stepan L., Zimmerman R. Constellation phasing with differential drag on planet labs satellites. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2018, vol. 55, no. 2, pp. 473–483.
- [3] Ivanov D., Kushniruk M., Ovchinnikov M. Study of satellite formation flying control using differential lift and drag. *Acta Astronautica*, 2018, vol. 145, pp. 88–100.