

УДК 519.622.2:531.32

Об управлении движением группировки космических аппаратов с использованием силы Лоренца

Клюшин Максим Александрович^(*)

m.klyushin@spbu.ru

SPIN-код: 7474-3283

Тихонов Алексей Александрович

a.tikhonov@spbu.ru

SPIN-код: 5314-0242

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрено движение группировки космических аппаратов (КА), состоящей из незаряженного КА-цели и КА-инспектора, имеющего переменный электрический заряд, в гравитационном и магнитном полях Земли. В качестве модели магнитного поля Земли (МПЗ) выбран «наклонный магнитный диполь». На основании аналитического исследования системы дифференциальных уравнений движения КА-инспектора относительно КА-цели предложен простой алгоритм управления для перевода заряженного КА-инспектора на новые относительные орбиты за счет силы Лоренца. С помощью применения метода малого параметра получено асимптотическое решение системы дифференциальных уравнений относительного движения КА. Выполнено сравнение выбранной модели МПЗ с моделью «прямой магнитный диполь». Проведено компьютерное моделирование, продемонстрировавшее хорошую точность полученных аналитических выражений, а также недостатки более простой модели МПЗ.

Ключевые слова: группировка космических аппаратов, геомагнитное поле, сила Лоренца, управление орбитальным движением, переменный электрический заряд

Введение. Стремительное развитие аэрокосмических технологий приводит к новым космическим миссиям и возможностям для их успешного выполнения. В результате возникают актуальные задачи, связанные с управлением движением КА и обеспечением специальных режимов их функционирования. В последние годы активно развивается производство малых КА, что объясняется их низкой стоимостью и простотой изготовления. Использование группировки КА позволяет значительно расширить спектр задач по сравнению с миссиями для одиночного полета. Однако размеры малых КА затрудняют использование традиционных реактивных систем управления орбитальным движением. Поэтому исследователи прибегают к разработке новых способов управления движением, основанных на взаимодействии КА с внешними источниками сил [1]. Среди таковых существует способ, основанный на взаимодействии электрически заряженного КА с МПЗ, со стороны которого на движущийся заряд действует сила Лоренца [2–4].

Методы и материалы; результаты. Движение электрически заряженного КА-инспектора относительно незаряженного КА-цели, движущегося по круговой орбите произвольного наклона, изучается в орбитальной системе координат. В качестве модели МПЗ рассматривается «наклонный магнитный диполь». Выводится линеаризованная безразмерная система дифферен-

циальных уравнений движения КА-инспектора, обобщающая систему уравнений Хила — Клохесси — Уилтшира с учетом действующей со стороны МПЗ силы Лоренца. Полученная система рассматривается как система регулярно возмущенных дифференциальных уравнений. На основании применения метода малого параметра проводится аналитическое исследование полученной системы, в ходе которого предлагаются простые гармонические законы изменения электрического заряда КА-инспектора, основанные на резонансных эффектах, для увеличения и уменьшения расстояния до КА-цели, а также выводятся асимптотические выражения, описывающие управляемое движение КА-инспектора.

Заключение. Проведенное компьютерное моделирование демонстрирует работоспособность предложенного алгоритма управления, а также хорошую точность полученных аналитических выражений. Кроме этого, выполнено сравнение результатов для выбранной модели МПЗ с моделью «прямой магнитный диполь», выявившее количественные и качественные недостатки более простой модели.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-41-02031.

Список источников

- [1] Mashtakov Y., Ovchinnikov M., Petrova, T., Tkachev S. Two-satellite formation flying control by cell-structured solar sail. *Acta Astronautica*, 2020, vol. 170, pp. 592–600. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.02.024>
- [2] Ivanov D., Amaro G., Mashtakov Y., Ovchinnikov M., Guerman A. Formation Flying Lyapunov-Based Control Using Lorentz Forces. *Aerospace*, 2023, vol. 10, art. no. 39. <https://doi.org/10.3390/aerospace10010039>
- [3] Klyushin M.A., Tikhonov A.A. The Lorentz force-based control of a spacecraft formation flying using the harmonic charging law. *Acta Astronautica*, 2025, vol. 232, pp. 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.02.047>
- [4] Klyushin M.A., Tikhonov A.A. Satellite inspection flying using a Lorentz spacecraft. *Advances in Space Research*, 2025, vol. 77, no. 1, pp. 1010–1030. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.09.059>