

УДК 629.78

Алгоритм однопускового развертывания многоплоскостных лунных констелляций с использованием низкоэнергетических траекторий

Целоусова Анастасия Александровна^(*)

tselousova@keldysh.ru

SPIN-код: 3740-4353

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

Аннотация. Работа посвящена разработке алгоритма однопускового развертывания лунных констелляций при помощи низкоэнергетических траекторий перелета, использующих гравитацию Солнца (Sun-assisted lunar transfer trajectories, SALT). Получены зависимости между изменениями элементов финальных окололунных орбит при приложении малых корректирующих импульсов вдоль SALT-траекторий. На основании этих зависимостей реализована автоматизированная процедура развертывания двухплоскостных констелляций Уолкера — Можаяева на высоких круговых полярных орбитах вокруг Луны. Приведены примеры применения разработанного алгоритма.

Ключевые слова: лунная констелляция, констелляция Уолкера — Можаяева, однопусковая схема выведения, перелет к Луне, низкоэнергетическая траектория

Введение. В последние годы исследование окололунного пространства является одним из ключевых направлений международных космических программ [1, 2]. Растущий интерес к освоению Луны стимулирует развитие проектов лунной инфраструктуры, что, в свою очередь, увеличивает потребность в надежных системах связи и навигации. Создать подобные системы можно за счет размещения группировок космических аппаратов на окололунных орбитах различной высоты в разных орбитальных плоскостях. Из-за редкости и высокой стоимости лунных миссий запуск отдельных групп спутников для каждой орбитальной плоскости экономически нецелесообразен. Поэтому рассматривается идея запуска единой материнской платформы со всеми КА с последующим их отделением вдоль траектории перелета к Луне.

Методы и материалы; результаты. Реализация данной схемы развёртывания возможна при использовании SALT-траекторий [3], которые обладают высокой чувствительностью: малый корректирующий импульс, приложенный вблизи апогея, может значительно изменить параметры финальной орбиты вокруг Луны [4]. Было показано, что существует геометрическая зависимость между итоговыми изменениями наклона и ДВУ, что позволило разработать автоматизированную процедуру подбора моментов приложения, направлений и величин корректирующих импульсов, необходимых для развертывания требуемой многоплоскостной лунной констелляции. В рамках данного исследования были рассмотрены двухплоскостные констелляции Уолкера — Можаяева [5, 6] на высоких круговых полярных орбитах вокруг Луны (высота 10 тыс. км), обеспечивающие полное покрытие лунной поверх-

ности. Предложенная процедура показала свою эффективность применительно к различным SALT-траекториям.

Заключение. Разработанный алгоритм может использоваться в качестве практического инструмента при создании двухплоскостных констелляций Уолкера — Можаяева вокруг Луны. Он позволяет получить оценки параметров корректирующих импульсов, которые необходимо приложить вдоль заданной SALT-траектории для развертывания констелляции, без ресурсоемкого многократного численного интегрирования.

*Работа поддержана грантом Российского научного фонда
(проект № 24-11-00038).*

Список источников

- [1] В РАН обсудили реализацию российской лунной программы до 2060 года. URL: <https://new.ras.ru/activities/news/v-ran-obsudili-realizatsiyu-rossiyskoy-lunnoy-programmy-do-2060-goda/> (дата обращения 09.11.2025).
- [2] Li X. et al. A review on design and construction of the lunar launch/landing infrastructure. *Advances in Space Research*, 2024, vol. 74, pp. 4030–4049. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.07.006>
- [3] Tselousova A., Trofimov S., Shirobokov M., Ovchinnikov M. Geometric Analysis of Sun-Assisted Lunar Transfer Trajectories in the Planar Bicircular Four-Body Problem Model. *Applied Sciences*, vol. 2023, vol. 13, no. 8, 24 p. <https://doi.org/10.3390/app13084676>
- [4] Glazunova I., Trofimov S., Tselousova A. Single-Launch Deployment of Lunar Constellations from a Sun-Assisted Lunar Transfer Trajectory. *Proceedings of the 74th International Astronautical Congress*. Baku, 2023, 18 p.
- [5] Walker J.G. Some Circular Orbit Patterns Providing Continuous Whole Earth Coverage. *Journal of the British Interplanetary Society*, 1971, vol. 24, pp. 369–384.
- [6] Mozhaev G.V. The Problem of the Continuous Earth Coverage and the Kinematically Regular Satellite Networks, I, II. *Kosmicheskie Issledovaniya*, 1972, vol. 10, no. 6, pp. 833–840.