

УДК 520.607

Исследование схем облета астероидов за счет гравитационных маневров у Венеры

Зубко Владислав Александрович^(*)v.zubko@cosmos.ru
SPIN-код: 1967-6719

Эйсмонт Натан Андреевич

Пупков Максим Владимирович

SPIN-код: 2359-9030

Черненко Ольга Сергеевна

SPIN-код: 3396-7374

Федяев Константин Сергеевич

SPIN-код: 7494-6326

ИКИ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Предложена новая концепция многоцелевых космических миссий, сочетающих исследование Венеры и астероидов внутренней части Солнечной системы. В ее основе лежит использование гравитационных маневров у Венеры и вывод космического аппарата на резонансную орбиту для обеспечения периодических сближений с малыми телами. Данный подход позволяет оптимизировать ресурсы и значительно расширить научную отдачу, восполняя пробелы в изучении как астероидов, так и Венеры.

Ключевые слова: гравитационные маневры, резонансные орбиты, астероиды

Введение. Исследование астероидов остается одной из ключевых задач планетологии: при наличии более 1 млн каталогизированных малых тел спектральная классификация проведена менее чем для 3000 из них [1]. Большинство миссий по исследованию астероидов нацелены на Главный Пояс, т. е. на малые тела, находящиеся на расстояниях, близких к орбитам Марса или Юпитера, а также на сближения с околоземными астероидами при непосредственном старте с Земли. Примеры таких схем перелета рассмотрены в работах [2, 3].

Данное исследование предлагает новый подход, использующий гравитационные маневры у Венеры для обеспечения сближения с астероидами, расположенными во внутренней части Солнечной системы. Более того, для пролета астероидов предлагается использовать миссию, основной целью которой является изучение Венеры. Последнее обуславливается все возрастающим интересом к исследованию этой планеты [4, 5]. Такой подход направлен на достижение научных целей планетологии, в то же время он позволяет оптимизировать использование ресурсов и увеличить научную отдачу.

Методы. Предлагаемый подход совмещает динамику резонансных орбит с гравитационными маневрами у Венеры для обеспечения периодических сближений с астероидами. Перевод космического аппарата на орбиту, резонансную в соотношении 1:1 с орбитой Венеры (период $\approx 224,7$ сут.) дает возможность сократить время перелета к астероидам, сохраняя при этом близость к Венере для повторных научных наблюдений.

Проанализированы три сценария миссий:

- сценарий 1: перелет по схеме Земля → Венера → Астероид → Венера (однократное сближение с астероидом между двумя облетами Венеры);
- сценарий 2: многократное чередование облетов Венеры и астероидов (например, Венера → астероид → Венера → астероид);
- сценарий 3: применение сценариев 1 или 2 с последующим возвратом КА к Земле.

Результаты. Оценки затрат характеристической скорости ΔV для каждого из приведенных выше сценариев осуществлены с использованием эфемерид 20 астероидов, находящихся на орбитах, резонансных с венерианской. Расчет траекторий для запусков в 2030–2050 гг. согласуется с несколькими предстоящими миссиями по исследованию Венеры. Первоначальный поиск точек сближения выполнен с использованием модели кусочно-конических сечений, после чего построенные траектории уточнялись при помощи численного расчета и сквозной оптимизации [6].

Заключение. Применение исследованных схем перелета позволит объединить исследования атмосферы и геологии Венеры со спектральным и морфологическим анализом астероидов, восполняя пробелы в обеих областях.

*Исследование поддержано грантом Российского научного фонда
№ 25-79-00042.*

Список источников

- [1] *Small-Body Database Lookup*. URL: https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/ (accessed 01.10.2025)
- [2] Bellome A., Sánchez J.P., Mateas J.G. et al. Modified dynamic programming for asteroids belt exploration. *Acta Astronautica*, 2024, vol. 215, pp. 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.12.020>
- [3] Sukhanov A.A. Double flybys of the planet in space flights. *Cosmic Research (Kosm. Issled.)*, 2026, vol. 66, no. 2, pp. 330–335.
- [4] Workgroup T.V.E.S.S. Venus atmosphere dynamics: Recent observations and modeling. *arXiv preprint*, 2024, vol. arXiv:2412.06830.
- [5] Боровин Г.К. и др. *Баллистико-навигационное обеспечение полетов*. Химки, НПО им. С.А. Лавочкина, 2018.
- [6] Eismont N.A., Zasova L.V., Simonov A.V. et al. Venera-D Mission Scenario and Trajectory. *Sol Syst. Res.*, 2019, vol. 53, pp. 578–585. <https://doi.org/10.1134/S0038094619070062>