

УДК 629.78

Оценка возможности использования гравитационного маневра у Луны для пролета астероида Апофис в момент его сближения с Землей

Иванюхин Алексей Викторович^{1, 2(*)}

ivanyukhinav@mai.ru

SPIN-код: 7756-9741

Ивашкин Вячеслав Васильевич^{3, 4}¹ НИИ ПМЭ Московского авиационного института, Москва, Россия² РУДН, Москва, Россия³ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия⁴ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрен вариант перелета к околоземному астероиду Апофис (99942, Apophis) в момент его сближения с Землей в 2029 г., использующий гравитационный маневр у Луны для снижения затрат топлива для сближения КА с Апофисом. Проведен анализ параметров гравитационного маневра в зависимости от параметров низкой околоземной орбиты. Приведены численные примеры расчета траекторий.

Ключевые слова: гравитационный маневр, оптимальное управление, Луна, Апофис, астероидно-кометная опасность

Введение. Важным для понимания строения и эволюции Солнечной системы является изучение малых тел, таких как астероиды и кометы. По данным Центра малых планет Международного астрономического союза известно уже около 1,5 млн таких объектов. Особый интерес для изучения представляют околоземные объекты. С одной стороны, они находятся в одной области Солнечной системы с Землей и ввиду отсутствия геологических процессов, могут содержать вещество ранних этапов формирования нашей планеты. С другой стороны, околоземные астероиды во время тесных сближений с Землей открывают возможности исследовать их с помощью космических аппаратов (КА) в рамках непродолжительных миссий непосредственно в грависфере Земли. Одним из наиболее опасных является астероид Апофис (99942, Apophis), который будет пролетать окрестность Земли на минимальном расстоянии (сопоставимом с ГСО) в 2029 г. Уже известно несколько миссий, направленных на изучение Апофиса в период его сближения с Землей в 2029 г., например в 2023 г. к нему был направлен КА OSIRIS-REx [1], новая фаза миссии по исследованию астероида Апофис получила название OSIRIS-APEx. В целом до 2050 г. прогнозируется порядка десятка подобных сближений с околоземными астероидами.

Методы и материалы; результаты. В данной работе рассматривается схема перелета КА к Апофису в окрестность перицентра пролетной гиперболы с использованием гравитационного маневра у Луны для снижения затрат

характеристической скорости. Предполагается, что КА стартует с низкой опорной орбиты и с помощью разгонного блока (РБ) переводится на траекторию перелета к Луне, в момент пролета Луны совершается гравитационный маневр и КА переходит на эллиптическую орбиту с большим эксцентриситетом, после чего происходит пролет Апофиса.

Анализ параметров гравитационного маневра у Луны проводится в рамках метода грависфер нулевой протяженности [2]. Активные маневры рассматриваются в импульсной постановке на основе решения задачи Эйлера — Ламберта [3, 4]. Проводится оптимизация траектории перелета с целью снижения затрат скорости на перелет.

Заключение. В рамках описанной методики получены оценки параметров гравитационного маневра, затрат характеристической скорости, даты старта и длительности перелета. Проведен анализ параметров гравитационного маневра и затрат характеристической скорости в зависимости от времени сближения, наклона и долготы восходящего узла низкой околоземной орбиты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-79-30009.

Список источников

- [1] Sutter B. et al. Osiris-rex extended mission trajectory design & target search. *AIAA SCITECH 2022 Forum*, 2022, pp. 1–13.
- [2] Ивашкин В.В., Баум Ф.И. Использование гравитационного маневра у Луны для полета космического аппарата к сближающемуся с Землей астероиду. *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*, 2000, № 67. <https://doi.org/10.20948/prepr-2017-41>
- [3] Ивашкин В.В. О применении метода Охоцимского — Егорова для решения задачи Эйлера — Ламберта. *Доклады Российской Академии наук. Физика. Технические науки*, 2024, т. 514, с. 58–62. <https://doi.org/10.31857/S2686740024010093>
- [4] Иванюхин А.В., Ивашкин В.В. Решение задачи Эйлера — Ламберта на основе баллистического подхода Охоцимского — Егорова. *Астрономический Вестник*, 2024, т. 58, № 6, с. 771–782. <https://doi.org/10.31857/S0320930X24060124>