

УДК 629.787

Проектирование низкоэнергетических резонансных траекторий околоземных астероидов в системе Земля – Луна

Черненко Ольга Сергеевна^(*)

o.chernenko@cosmos.ru

SPIN-код: 3396-7374

Эйсмонт Натан Андреевич

neismont@iki.rssi.ru

ИКИ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача перенаправления малых околоземных астероидов на резонансные орбиты в системе Земля – Луна с использованием комбинированной схемы гелиоцентрических перелетов и гравитационных маневров. Предлагается трехэтапная архитектура миссии: перелет Земля – астероид, выход на резонансную орбиту 1:1 с Землей и поиск лунных окон для возможности последующего захвата астероида на орбиту спутника Земли. Для ряда конкретных околоземных астероидов проведен анализ по датам приложения импульса и времени перелета, построены резонансные решения и выполнен поиск удачных лунных окон с оценкой изменения геоцентрической скорости. Полученные результаты демонстрируют реализуемость предложенного профиля миссии и возможность использования схемы для изучения малых тел Солнечной системы, планетарной защиты и ресурсного освоения.

Ключевые слова: околоземные астероиды, гравитационный маневр, резонансные орбиты

Введение. Околоземные астероиды представляют научный и практический интерес с точки зрения изучения эволюции Солнечной системы, освоения редкоземельных элементов и в контексте обеспечения планетарной защиты. Одним из перспективных направлений исследований является построение схем перенаправления малых околоземных астероидов на заданные в рамках различных миссий орбиты в системе Земля – Луна при ограниченных энергетических затратах [1]. Особый интерес представляют резонансные траектории, обеспечивающие многократные возвраты в окрестность Земли и расширяющие число благоприятных окон для гравитационных маневров и последующего захвата [2]. В работе рассматривается класс миссий, в которых малый околоземный астероид с помощью ограниченного импульса и гравитационного маневра у Земли переводится на гелиоцентрическую орбиту, резонансную с земной, а затем многократно возвращается в сферу влияния Земли, что создает условия для последующих лунных маневров.

Методы и материалы; результаты. На первом этапе для каталога околоземных астероидов выполняется предварительный отбор по геометрическим и энергетическим критериям: минимальному расстоянию пересечения орбиты Земли, абсолютной звездной величине и резонансной достижимости. После выбора лучших кандидатов строятся оптимальные перелеты с низкой околоземной орбиты 200 км.

На втором этапе задается диапазон возможных дат приложения импульса и времени перелета к Земле, после чего моделируется гравитационный маневр как поворот вектора гиперболического избытка скорости в плоскости гелиоцентрических скоростей Земли и астероида. Условие сохранения модуля гелиоцентрической скорости после пролета задает близость периода орбиты к одному году, что является одним из самых важных критериев, так как гарантирует ежегодные возвращения астероида в окрестность Земли.

На третьем этапе выполняется численное интегрирование движения астероида на интервале нескольких лет вперед. На основе эфемерид Земли и Луны оцениваются расстояния до них и геоцентрическая относительная скорость при каждом возврате астероида в окрестность Земли. Локальные минимумы расстояния до Земли, попадающие внутрь сферы Хилла, идентифицируются как земные сближения; среди них выделяются лунные окна — сближения, удовлетворяющие дополнительным ограничениям по расстоянию до Луны. Для этих кандидатов выполняется модель движения в системе Солнце – Земля – Луна, и на удалении, превышающем радиус сферы Хилла, сравниваются параметры орбиты до и после лунного гравитационного маневра.

Для нескольких околоземных астероидов показано, что предложенная схема позволяет формировать гелиоцентрические резонансные орбиты с периодом, отличающимся от земного менее чем на сутки, и выявлять последовательность сближений в сфере Хилла, часть из которых удовлетворяет критериям лунных окон, что может служить исходной точкой для дальнейшей оптимизации миссий по захвату астероидов на орбиты спутников Земли.

Заключение. Предложен и реализован подход к проектированию низкоэнергетических миссий по перенаправлению околоземных астероидов на резонансные орбиты в системе Земля – Луна с последующим использованием земных и лунных гравитационных маневров. Дальнейшее развитие работы связано с учетом возмущений, более детальной оптимизацией последовательностей лунных пролетов и анализом чувствительности траекторий к ошибкам навигации и маневров.

Список источников

- [1] Эйсмонт Н.А. О возможности наведения малых астероидов на опасные небесные объекты с использованием гравитационного маневра. *Астрономический вестник*, 2013, т. 47, с. 352–360.
- [2] Ледков А.А. Управление движением околоземных астероидов. *Письма в астрономический журнал*, 2015, т. 41, с. 72–89.