

УДК 629.78

Перелет космического аппарата на основе прогнозирующего управления

Ли Ханьюй

lhy_yuki@163.com

Старинова Ольга Леонардовна^(*)

starinova@ssau.ru

Самарский университет, Самара, Россия

Аннотация. Рассмотрено существование сингулярного управления в задачах оптимизации траектории перелета космического аппарата (КА) с использованием принципа максимума Понтрягина. Применен метод прогнозирующего управления на основе итеративного оптимального алгоритма на базе линеаризованной модели относительного движения для избежания сингулярности и улучшения сходимости с учетом расхода топлива КА. Представлены результаты прогнозирующего управления, позволяющие уменьшить расход топлива и времени перелета. Подтверждена эффективность предложенной методики для расчетов перелетов КА.

Ключевые слова: прогнозирующее управление, оптимизация траектории перелета, сингулярное управление, относительное движение, перелет с малой тягой

Введение. Оптимизация траектории перелета между орбитами при наличии граничных условий является решением двухточечной краевой задачи (от англ. two point boundary value problem — TPBVP) [1]. Оптимизация перелета между орбитами с помощью принципа максимума Понтрягина требует определения подходящих сопряженных множителей [2, 3], особенно для динамических систем с существенной нелинейностью из-за дискретного управления. Для повышения эффективности и сходимости численного решения в данном исследовании использовано прогнозирующее управление.

Методы и материалы; результаты. Метод прогнозирующего управления (МПУ от англ. model predictive control — MPC) основывается на прогнозировании будущих выходных управляемых значений в зависимости от бывших управлений и переменных состояния в системе. Преимущество МПУ в том, что управление зависит только от разницы между фактическими и прогнозируемыми значениями выходных переменных служащих сигналом обратной связи для блока прогнозирования. Поэтому МПУ может использоваться для непрерывного и дискретного управления [4, 5].

Путем установки заданной траектории с уравнением относительного движения, траектория перелета космического аппарата на целевую орбиту получена с использованием прогнозирующего управления и оптимальным управлением. Длительность перелета, полученная с помощью МПУ, на 31 % больше по сравнению с оптимальным быстродействием, а расход топлива на 48 % меньше (см. таблицу). В таблице приведено сравнение с результатами решения задач на минимальный расход топлива и минимальные затраты энергии.

Сравнение результатов оптимизации с результатами, полученными МПУ

Метод оптимизации	Увеличение времени	Уменьшение топлива
Критерия с минимальным времени	31,13 %	48,44 %
Метод оптимизации	Увеличение топлива	Уменьшение время
Критерия с минимальной энергией	32,27 %	43,97 %
Критерия с минимальным расходом топлива	303,82 %	208,59 %

Заключение. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных для оптимального управления по быстродействию, расходу топлива, затратам энергии и прогнозирующего управления. Показано, по сравнению с принципом максимума Понтрягина, что использование МПУ позволяет достигнуть скорейшей сходимости задачи и сократить время вычисления. Кроме того, рассматриваемый метод применим для дискретных и непрерывных форм управления, что позволяет применять разнообразные эффективные управляющие воздействия, подходящие для различных космических полетов.

Список источников

- [1] Салмин В.В., Ишков С.А., Старинова О.Л. *Методы решения вариационных задач механики космического полета с малой тягой*. Самара, Изд-во СНЦ РАН, 2006, с. 31–35.
- [2] Вернигора Л.В., Казмерчук П.В. Оптимизация траекторий КА с малой тягой методом линеаризации. *Труды МАИ*, 2019, № 106. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=105759> (дата обращения 06.11.2025).
- [3] Константинов М.С., Нгуен Д.Н. Оптимизация траектории космического аппарата с электроракетной двигательной установкой к юпитеру с гравитационным маневром в рамках задачи трех тел. *Труды МАИ*, 2014, № 72. EDN: RVWLZX
- [4] Шевлягина С.А., Торгашов А.Ю. *Управление технологическими процессами на основе прогнозирующих моделей*. Владивосток, Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2024, 80 с.
- [5] Колодин А.А., Ёлшин В.В. Разработка и исследование регулятора на основе прогнозирующей модели. *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки*, 2021, т. 29, № 1 (69), с. 36–45. <https://doi.org/10.14498/tech.2021.1.3>