

УДК 629.78

Анализ рациональных схем маневрирования в спутниковых системах планет-гигантов с гравитационными маневрами и малой тягой

Иванюхин Алексей Викторович^{1, 2(*)}

ivanyukhinav@mai.ru

¹ НИИ прикладной механики и электродинамики Московского авиационного института, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Аннотация. Рассматривается задача построения карты Тиссерана, дополненной возможностью включения двигательной установки малой тяги между гравитационными маневрами. Движение космического аппарата рассматривается в рамках задач двух- и трех- тел. Для анализа маневров с малой тягой используются простые законы управления наискорейшей коррекции одного из орбитальных элементов (радиуса перигентра и апоцентра, большой полуоси т. д.). Вход в грависферу планеты-гиганта предполагается с использованием траектории баллистического захвата в окрестности точки либрации L_1 .

Ключевые слова: малая тяга, гравитационные маневры, спутниковые туры, критерий Тиссерана, низкоэнергетические перелеты

Введение. На современном этапе исследований солнечной системы большой интерес вызывают задачи исследования спутниковых систем планет-гигантов. Одной из ключевых трудностей их реализации является большой гиперболический избыток скорости на входе в грависферу планеты-назначения присущий большинству вариантов траектории перелета. Решить эту проблему можно организовав спутниковый тур с гравитационными маневрами [1, 2]. Однако гравитационный тур не может привести к выходу на орбиту у спутника планеты, имеет ограниченные возможности по выбору дат гравитационных маневров и обладает значительной продолжительностью что приводит к необходимости использования реактивного двигателя космического аппарата для проведения дополнительных маневров [3].

Материалы и методы; результаты. Наиболее эффективным методом предварительного анализа траектории с многократными гравитационными маневрами в системе с несколькими массивными телами, у которых можно совершать гравитационные маневры, является использование инвариантных кривых параметра Тиссерана [1, 2], представляющего из себя записанный через оскулирующие элементы орбиты интеграл Якоби (в предположении значительного удаления от массивных тел).

В данной работе предлагается дополнить карту изолиний параметра Тиссерана активными динамическими маневрами космического аппарата (аналогично работе [3]) для обеспечения большей гибкости траектории при совершении тура, сокращения его длительности и в результате выхода на орбиту у одного из спутников планеты-гиганта. Использовать для этого предлагается

двигатель малой тяги. При этом, для предварительного анализа таких траекторий и оптимизации схемы перелета (последовательности гравитационных маневров) целесообразно использовать упрощенную постановку, предполагающую постоянную работу двигателя, и простые квазиоптимальные законы управления [4], позволяющие быстро изменять заданные орбитальные параметры.

Для снижения общих энергетических затрат при анализе конкретных задач маневрирования в спутниковой системе с подлетной траектории на орбиту у естественного спутника планеты-гиганта для входа в систему планеты и подлета к спутнику рассматриваются варианты использующие низкоэнергетические траектории баллистического захвата, образованные инвариантами многообразиями точек либрации L_1 и L_2 .

Заключение. Предложен подход для построения карты Тиссерана с малой тягой для проектирования спутниковых туров. В качестве примера приводятся анализ рациональных схем маневрирования КА с ЭРДУ в спутниковых системах Юпитера и Сатурна.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10206, <https://rscf.ru/project/22-79-10206/>.

Список источников

- [1] Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Корянов В.В., Тучин А.Г. Гравитационные маневры космического аппарата в системе Юпитера. *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*, 2014, № 3, с. 149–167. <https://doi.org/10.7868/S0002338814030081>
- [2] Sangra D. Fantino E., Flores R., Lozano O.C., Estelrich C.G. An automatic tree search algorithm for the Tisserand graph. *Alexandria Engineering Journal*, 2021, vol. 60, no. 1, pp. 1027–1041. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.10.028>
- [3] Campagnola S., Boutonnet A., Schoenmaekers J., Grebow D.J., Petropoulos A.E., Russell R.P. Tisserand-leveraging transfers. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2014, vol. 37, no. 4, pp. 1202–1210. <https://doi.org/10.2514/1.62369>
- [4] Лебедев В.Н. *Расчет движения космического аппарата с малой тягой*. Москва, ВЦ АН СССР, 1968.