

УДК 629.785; 004.942

## РАСЧЕТ ПЕРЕЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА К СИСТЕМЕ ЮПИТЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ

© Ковалев В.В., Старинова О.Л.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: vadkovalev97@mail.ru

Целью настоящей работы является расчет баллистической схемы перелета к системе Юпитера космического аппарата с применением бортовых двигательных установок малой тяги. Для расчета перелета от Земли к системе Юпитера используется модель расчета оптимального по расходу рабочего тела компланарного движения КА с заданной длительностью маневра, представленная в [1]. Предполагается, что после выхода из сферы действия Земли КА совершает гравитационный маневр Земля – Земля.

На основании применения в [1] принципа максимума Понтрягина решается задача оптимального по расходу рабочего тела перелета к системе Юпитера с фиксированной длительностью. Система сопряженных уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_r}{dt} &= \frac{\psi_\varphi V_\varphi}{r^2} + \psi_{V_r} \left( \frac{V_\varphi^2}{r^2} - \frac{2}{r^3} \right) - \frac{\psi_{V_\varphi} V_r V_\varphi}{r^2}, \\ \frac{d\psi_\varphi}{dt} &= 0, \\ \frac{d\psi_{V_r}}{dt} &= -\psi_r + \frac{\psi_{V_\varphi} V_\varphi}{r}, \\ \frac{d\psi_{V_\varphi}}{dt} &= \frac{\psi_{V_\varphi} V_r - 2\psi_{V_r} V_\varphi - \psi_\varphi}{r}, \\ \frac{d\psi_m}{dt} &= -\frac{a_0 \delta}{(1-m)^2} (\psi_{V_r} \cos \lambda + \psi_{V_\varphi} \sin \lambda). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $r$  – длина радиус-вектора КА относительно гелиоцентрической системы координат;  $\varphi$  – угловая дальность КА;  $t$  – момент времени, в котором рассматривается перелет КА;  $V_r$  и  $V_\varphi$  – радиальная и тангенциальная составляющие скорости КА;  $\lambda$  – угол между проекцией вектора тяги на мгновенную скорость орбиты и радиус-вектором гравитационный центр – КА;  $a_0$  – номинальное управляющее ускорение от ЭРД;  $\delta$  – функция включения-выключения тяги двигателя;  $m$  – относительный расход рабочего тела.

Оптимальная программа изменения угла  $\lambda$  и функции включения-выключения двигателей  $\delta$  имеет вид

$$\sin \lambda = \frac{\psi_{V_\varphi}}{\sqrt{\psi_{V_\varphi}^2 - \psi_{V_r}^2}}, \cos \lambda = \frac{\psi_{V_r}}{\sqrt{\psi_{V_\varphi}^2 - \psi_{V_r}^2}}, \delta = \begin{cases} 0, & \Delta < 0 \\ 1, & \Delta > 0 \end{cases}, \Delta = \frac{\psi_m}{c} + \frac{\sqrt{\psi_{V_r}^2 + \psi_{V_\varphi}^2}}{1-m}. \quad (2)$$

Используются начальные значения, представленные в таблице.

Таблица 1 – Начальные значения

Наименование параметра, ед. измерения	Значения параметра
Стартовая масса КА, кг	500
Тяга двигателя, Н	0,092
Скорость истечения, м/с	80000
Время перелета, сут.	850
Гиперболический избыток скорости на границе сферы действия Земли [2] после гравитационного маневра, м/с	38497

Результатом расчетов являются программа управления и соответствующая траектория перелета космического аппарата к системе Юпитера, представленные на рисунке.

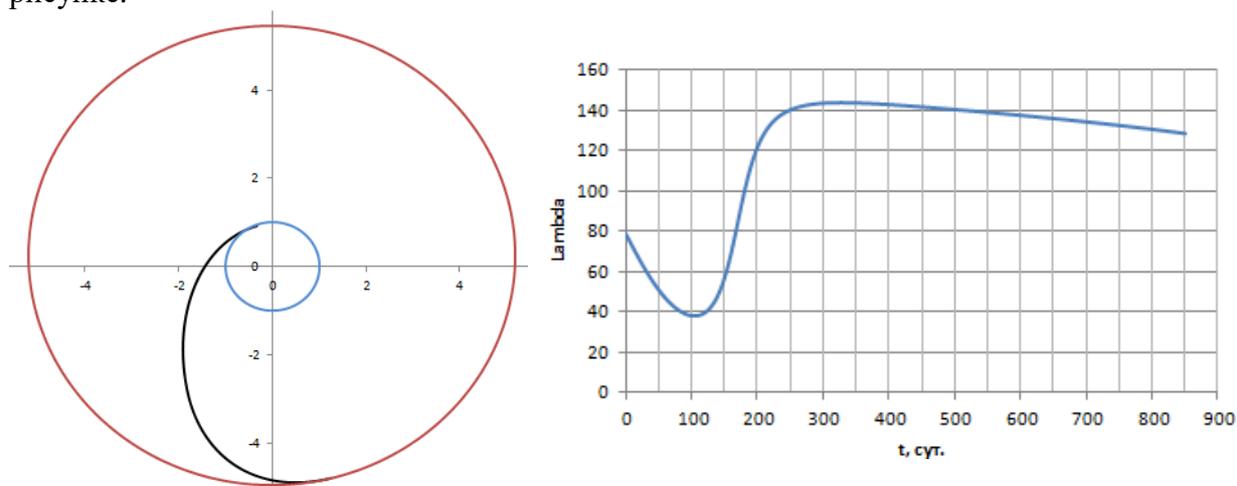


Рисунок – Траектория перелета космического аппарата к системе Юпитера и соответствующая ей программа управления

### Библиографический список

1. Старинова О.Л. Расчет межпланетных перелетов космических аппаратов с малой тягой. Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2007. 196 с.
2. Старостина Т.В., Ковалев В.В. Баллистический анализ межпланетного перелета космического аппарата к спутнику Юпитера – Каллисто с посадкой // Сборник аннотаций конкурсных работ XIV Всероссийский межотраслевой молодежный конкурс научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики». М.: Перо, 2022. 230 с.