

отношения между параметром корреляции L и глубиной H . Если положить $A(L/H) \sim 1$, то справедлива оценка

$$\langle \nabla \eta^2 \rangle \sim H^2 \langle a^2 \rangle / c^2.$$

Положив $H \sim 10^3$ м, $c \sim 5 \cdot 10^3$ м/с, $\langle a \rangle \sim 10^{-4} g^2 \sim 10^{-2}$ м²/с⁴, получаем по порядку величины:

$$\langle \nabla \eta^2 \rangle \sim 4 \cdot 10^{-4}.$$

Полученный результат не противоречит данным наблюдений [1—3], свидетельствуя в пользу предложенной интерпретации существования отличного от нуля значения $\langle \nabla \eta^2 \rangle$.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Cox С., Munk W. // *J. Marine Res.* 1954. 13, N 2. P. 198. [2] Пелевин В. Н., Бурцев Ю. Г. Оптические исследования в океане и атмосфере над океаном. М., 1975. С. 202. [3] Калинин С. А., Лейкин И. А. // *Изв. АН СССР, ФАО.* 1988. 24, № 11. С. 1210.

Поступила в редакцию
25.03.91

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1991. Т. 32, № 5

АСТРОНОМИЯ

УДК 521.135

ОПТИМАЛЬНЫЕ ДВУХИМПУЛЬСНЫЕ ПЕРЕЛЕТЫ В ТОЧКУ ЛИБРАЦИИ L_2 СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ—ЗЕМЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСИМПТОТИЧЕСКИХ ТРАЕКТОРИЙ

И. А. Субаев

(ГАИШ)

Показано, что возможно уменьшение энергетических затрат на перелет с околоземной круговой орбиты ИСЗ в точку либрации L_2 системы Солнце—Земля, если используются асимптотические траектории.

Современные исследования космического пространства характеризуются переходом от отдельных экспериментов к широким программам. Космос становится лабораторией, в которой ведется систематическое изучение физических процессов, — от физики элементарных частиц до гигантских источников энергии, какими являются квазары, радиогалактики, взрывы Сверхновых. Для проведения таких исследований весьма удобны коллинеарные точки либрации. К настоящему времени выдвинуто много предложений по размещению космических аппаратов (КА) в районах точек либрации систем Земля—Луна, Солнце—Земля [1—3] и некоторые из них уже осуществлены (в окрестность точки либрации L_1 системы Солнце—Земля в 1978 г. был выведен американский спутник *ISEE-3*). Изучение Солнца, астрономические наблюдения, астрофизические измерения, исследования межпланетной материи, поиск реликтовых излучений — вот некоторые научные задачи, которые предлагается решать с помощью станций-лабораторий, дислоцированных в окрестности либрационных точек. Выведение в точки либрации космических ретрансляторов может быть использовано при создании глобальной системы связи. Сказанное выше показывает перспективность коллинеарных точек либрации системы Солнце—Земля для дислокации КА научного и народнохозяйственного назначения. В данной работе рассматривается задача попадания КА в точку либрации L_2 системы Солнце—Земля с круговой околоземной орбиты ИСЗ высотой 185,2 км, используя подходящую асимптотическую траекторию. Через L_2 обозначена точка либрации, располагающаяся в противоположной стороне от направления с Земли на Солнце. Аналитический вид асимптотических решений в окрестности точки либрации получен методом Ляпунова в работах [4, 5]. Для получения асимптотической траектории на больших расстояниях от точки либрации использовалось численное интегрирование методом Рунге-Кутты—Мерсона.

В работе решена задача определения оптимальных двухимпульсных траекторий перелета: непосредственно в точку L_2 и с выходом на асимптотическую траекторию. Проведено сравнение энергетических затрат на такие перелеты. Для описания движения КА в системе Солнце—Земля используется модель ограниченной плоской круговой задачи трех тел. Движение КА исследуется во вращающейся системе координат Oxy с началом в барицентре системы Солнце—Земля:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} - 2 \frac{dy}{dt} = \frac{\partial \Omega}{\partial x}, \\ \frac{d^2y}{dt^2} + 2 \frac{dx}{dt} = \frac{\partial \Omega}{\partial y}, \end{cases}$$

где

$$\Omega = \frac{1-\mu}{r_1} + \frac{\mu}{r_2} + \frac{x^2 + y^2}{2},$$

r_1 и r_2 — расстояние до Солнца и Земли соответственно: $r_1 = \sqrt{(x+\mu)^2 + y^2}$, $r_2 = \sqrt{(x-1+\mu)^2 + y^2}$. Ось Ox направлена по прямой, соединяющей Солнце и Землю, в сторону Земли. Единицы измерения выбраны так, что сумма масс Солнца и Земли, угловая скорость линии, соединяющей их, равны единицам. За единицу расстояния принято среднее расстояние между Солнцем и Землей — 149 600 000 км. Тогда единица времени равна 1395,1224 ч, а единица скорости — 29,7848 км/с.

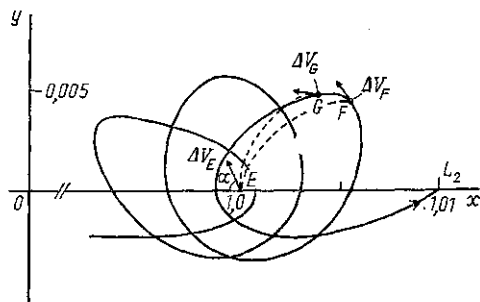


Рис. 1. Асимптотическая траектория, входящая в точку либрации L_2 , и перелетные траектории в точки F и G

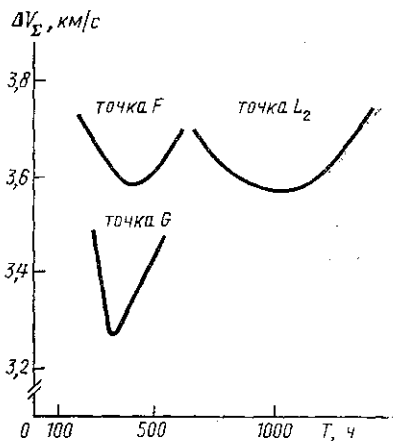


Рис. 2. Суммарные энергетические затраты на перелеты в точки F и G асимптотической траектории и на прямой перелет в точку либрации L_2

Рассматривается задача определения энергетических затрат для оптимального двухимпульсного перелета КА. Первый импульс (приращение скорости ΔV_E) сообщается аппарату на исходной круговой околоземной орбите, а второй — в одной из точек асимптотической траектории. Поиск точки, перелет в которую характеризуется минимальными энергетическими затратами, проводился путем варьирования ее положения на асимптотической траектории. За начальную точку на асимптотической траектории бралась точка F с координатами $x=1,005\ 514$, $y=0,004\ 275$, близкая к апогею (рис. 1). Попав в эту точку и приобретая в ней скорость, соответствующую асимптотическому решению, после приложения импульса аппарат далее станет двигаться лишь под действием гравитационных сил Солнца и Земли и достигнет через некоторое время точки либрации L_2 .

Путем вариации точки схода с круговой околоземной орбиты определяется оптимальный угол отлета α (см. рис. 1), при котором сумма разгонного импульса (ΔV_E) и импульса торможения (ΔV_F) на асимптотической траектории минимальна. Следует

отметить, что сход КА с круговой орбиты для всех двухимпульсных траекторий попадания в точку асимптотической траектории происходит по касательной к орбите. Минимальные затраты соответствуют перелету за 398,4 ч, для которого угол $\alpha=306,5^\circ$. При этом $\Delta V_E=3196,8$ м/с, а $\Delta V_F=378,2$ м/с. Таким образом, суммарные затраты составят 3575,0 м/с (см. рис. 2).

Энергетические затраты двухимпульсного перелета на асимптотическую траекторию могут быть снижены путем выбора точки прибытия на асимптотической траектории. Численные расчеты показывают, что оптимальной точкой в этом смысле является точка G с координатами $x=1,003\ 936$, $y=0,004\ 809$ (см. рис. 1). Минимальные затраты соответствуют перелету за 334,2 ч, для которого угол $\alpha=297,2^\circ$. При этом $\Delta V_E=3193,5$ м/с, а импульс в точке G , $\Delta V_G=73,0$ м/с. Таким образом, суммарные затраты составят 3266,5 м/с (см. рис. 2). Если вместо точки на асимптотической траектории взять самую точку L_2 , то получим прямой двухимпульсный перелет (рис. 3).

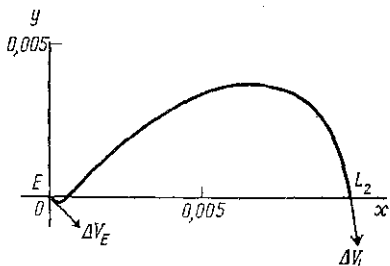


Рис. 3. Траектория прямого перелета к точке либрации L_2 за 1029,3 ч

В этом случае минимальные энергетические затраты соответствуют перелету за 1029,3 ч, для которого угол $\alpha=310,3^\circ$. При этом $\Delta V_E=3198,0$ м/с, а импульс в точке L_2 , $\Delta V_L=362,0$ м/с. Следовательно, суммарные затраты составят 3560,0 м/с (см. рис. 2). Таким образом, проведенные вычисления показывают, что путем использования асимптотических траекторий для перелета в L_2 можно снизить энергетические затраты по сравнению с прямым перелетом примерно на 9%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Проблемы дислокации космических аппаратов в окрестности точек либрации системы Земля—Луна/Под ред. Г. С. Титова и А. В. Брыкова. М., 1979. [2] Farquhar R. W.//Smithsonian Astrophys. Observatory Special Report. 1968. N 350. [3] Лео С.//Астронавтика и ракетодинамика. 1967. № 41. С. 14. [4] Lukjanov L. G.//Celest. Mech. 1977. 46. P. 489. [5] Лукьянов Л. Г.//Астрон. журн. 1985. 62, № 1. С. 153.

Поступила в редакцию
25.02.91