

Стратегия и оценка эффективности удержания космического аппарата около лунных точек либрации в случае нештатной задержки коррекции

М.Г. Ширококов^{1,2}, С.П. Трофимов^{1,2}

¹Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

За последние сорок лет к коллинеарным точкам либрации системы Солнце–Земля было запущено более десятка миссий. Практический интерес здесь представляют периодические траектории вокруг точек либрации, так как они создают удобную платформу для размещения в космосе научных обсерваторий и радиотелескопов, способных вести наблюдения за Солнцем, солнечным ветром, космической погодой, межпланетной средой. Несмотря на то, что подавляющее большинство проектов касается запуска аппаратов к точкам либрации системы Солнце–Земля, сейчас центр внимания исследователей сместился в сторону лунных коллинеарных точек либрации. Действительно, в перспективе орбиты вокруг L_1 могут служить платформой для размещения космической станции между Землей и Луной, а периодические орбиты вокруг L_2 подходят для размещения телекоммуникационного оборудования и позволяют устанавливать постоянную связь между Землей и обратной стороной Луны.

Одной из важных особенностей периодических орбит вокруг коллинеарных точек либрации является их неустойчивость, что выражается в необходимости осуществлять периодическую коррекцию движения космического аппарата (КА) и точно определять параметры орбиты [1–4]. Любая нештатная ситуация, связанная, например, с временным отказом двигателя или потерей связи, может привести к задержке коррекции и тем самым – к существенному отклонению траектории КА от номинальной орбиты. Таким образом, возникает задача возвращения КА на исходную номинальную орбиту или на более подходящую в смысле затрат топлива и с учетом ограничений миссии.

В работе рассматриваются пространственные периодические орбиты вокруг коллинеарных точек либрации L_1 и L_2 системы Земля–Луна. В случае большой длительности задержки возврат КА на исходную периодическую орбиту может оказаться слишком затратным: для подобного маневра может не хватить имеющегося топлива. Поэтому в работе предлагается исследовать перелеты на другие периодические орбиты, близкие к исходной и приемлемые с точки зрения целей и ограничений миссии. В результате для каждого значения

длительности задержки можно вычислить затраты характеристической скорости на перелет и, зная общий запас топлива на борту, оценить оставшееся время жизни КА на орбите.

В работе вводится понятие эффективности перелета на новую орбиту:

$$\rho = \frac{\Delta V_{ref} - \Delta V_{best}}{\Delta V_{ref}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где ΔV_{ref} – затраты характеристической скорости при перелете на исходную номинальную орбиту, ΔV_{best} – затраты при перелете на наилучшую орбиту в смысле затрат топлива. Эффективность (1) исследуется для трех случаев начальных отклонений КА от исходной орбиты. Вначале смещение выбирается вдоль неустойчивого многообразия и на наиболее вероятном эллипсоиде рассеивания. Далее, эффективность перелета исследуется в случае, когда начальное смещение выбирается вдоль осей фазового пространства. Наконец, в третьем случае отклонение моделируется как нормально распределенный случайный вектор с нулевыми математическими ожиданиями и диагональной матрицей ковариации, а по серии испытаний Монте–Карло для каждого значения длительности задержки строится диаграмма размаха значений эффективности перелета. Диаграмма размаха наглядно показывает медиану, а также верхний и нижний квантили, и тем самым позволяет оценить возможности перевода КА на подходящую орбиту в условиях траекторной неопределенности и сильно неустойчивой динамики.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-11-00621.

Литература

1. *Keeter T.M.* Station-Keeping Strategies for Libration Point Orbits: Target Point and Floquet Mode Approaches. – Master's thesis, School of Aeronautics and Astronautics, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1994.
2. *Gomez G. [et al.]*. Dynamics and Mission Design Near Libration Point Orbits — Volume I: Fundamentals: The Case of Collinear Libration Points. – World Scientific, 2001. – V. 2. – P. 443.
3. *Renault C.A., Scheeres D.J.* Statistical Analysis of Control Maneuvers in Unstable Orbital Environments. – Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 2003. – V. 26, N 5. – P. 758–769.
4. *Gustafson E.D., Scheeres D.J.* Optimal Timing of Control-Law Updates for Unstable Systems with Continuous Control. – Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 2009. – V. 32, N 3. – P. 878–887.