

ВЛИЯНИЕ ЭЛЛИПТИЧНОСТИ ОРБИТЫ ИНСПЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА НА ВЫБОР ИНСПЕКЦИОННОЙ ТРАЕКТОРИИ

В настоящее время микро- и наноспутники приобретают большую популярность благодаря тому, что по сравнению с обычными космическими аппаратами (КА) их создание не требует существенных временных и финансовых затрат. Основное преимущество при использовании КА микро- и нанокласса заключается в запуске сразу нескольких аппаратов для совместного выполнения целевых задач, то есть для группового полёта. Групповой полёт применим для решения различных прикладных и научных задач космонавтики, например, стыковка модулей, мониторинг космического мусора, исследование параметров атмосферы в пространстве, а не в одной точке и т.д. Множество работ [1, 2] посвящены управлению КА для борьбы с возмущениями, которые разрушают структуру группировки. Таким образом, можно сделать вывод о том, что исследование группового полёта КА является актуальной задачей.

Частным случаем группового полёта КА является инспекционное движение. В работах [3, 4] рассматриваются методы управления КА для борьбы с влиянием нецентральности гравитационного поля на инспекционное движение. При этом под инспекционным движением понимается периодически повторяющийся облёт одного спутника другим с целью его наблюдения, фотографирования, оценки формы или других качеств. Аппарат, осуществляющий облёт называется инспектором, а его траектория представляет собой эллипс, в центре которого располагается инспектируемый объект. Орбиты рассматриваемых объектов компланарны. Большая полуось инспекционного эллипса в два раза больше малой. Инспектируемый объект, относительно которого строится инспекционная траектория в орбитальной системе координат (ОСК), называется опорным.

Важным вопросом является выбор начальных условий полёта инспектора. При выборе начальных условий обычно применяется условие равенства орбитальных энергий инспектора и опорного КА для замкнутой относительной траектории в центральном гравитационном поле [5]:

$$V_{x_u} = -\omega_{orb} \cdot y_0 - V_n + \sqrt{V_0^2 - (\omega_{orb} \cdot x_0 - V_r - V_{y_u})^2}, \quad (1)$$

где ω_{orb} – орбитальная угловая скорость движения опорного КА, V_n, V_r – нормальная и радиальная составляющие скорости опорного КА, $x_0, y_0, V_{x_u}, V_{y_u}$ – координаты и проекции скорости инспектора в ОСК, V_0 – модуль орбитальной скорости инспектора.

Условия (1) зависят от двух проекций скорости инспектора в ОСК, что определяет семейство замкнутых относительных траекторий. Из этого семейства необходимо выбрать одну траекторию, которая будет удовлетворять определению инспекционного движения. Однако, с увеличением эксцентриситета траектория все больше отклоняется от формы эллипса, что представлено на рис. 1 для следующих условий: $x_0 = 400\text{ м}, y_0 = 200\text{ м}, \vartheta = 90^\circ$.

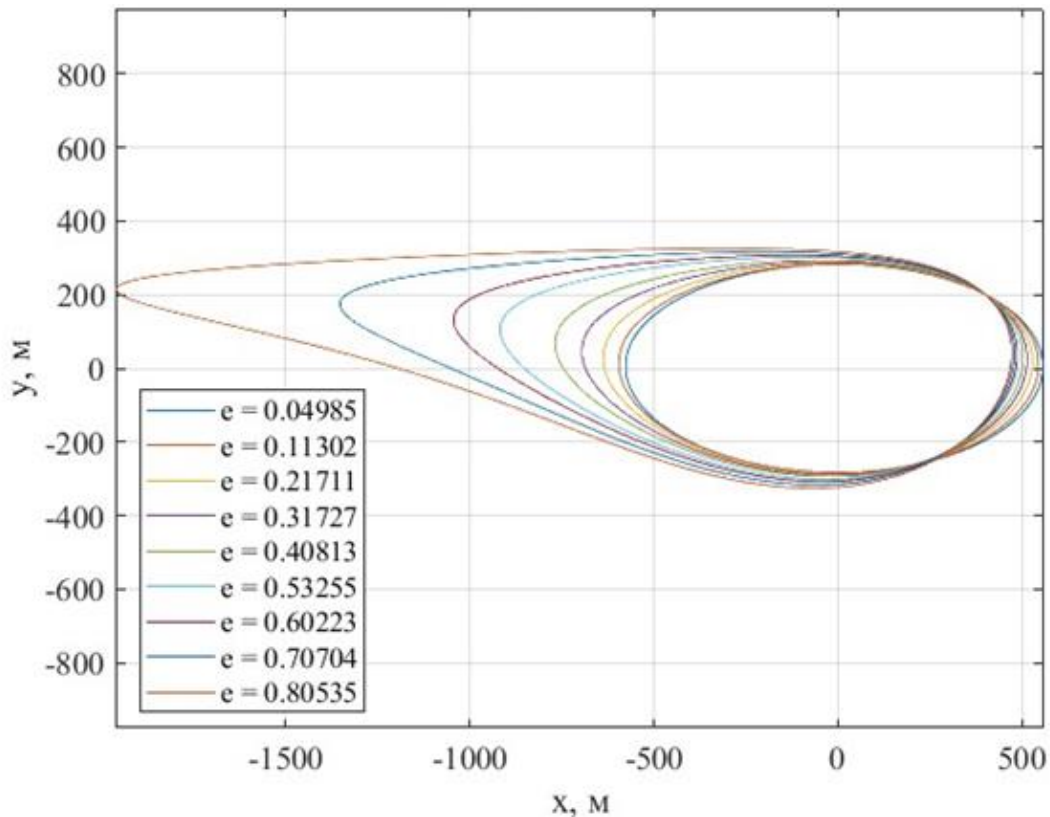


Рис. 1. Влияние эксцентриситета опорного КА на замкнутую относительную траекторию инспектора

На рис. 2 для наглядности представлен случай, когда орбита опорного КА имеет эксцентриситет порядка 0,8 – орбиты типа «Молния» ($x_0 = 400\text{ м}, y_0 = 200\text{ м}, \vartheta = 90^\circ$). Для этого случая было построено семейство замкнутых относительных траекторий, полученных из условия (1). На рисунке видно, что для такого эксцентриситета невозможно добиться траектории в виде эллипса. В связи с этим представленное ранее определение инспекционного движения неприменимо к случаю эллиптических орбит опорного КА.

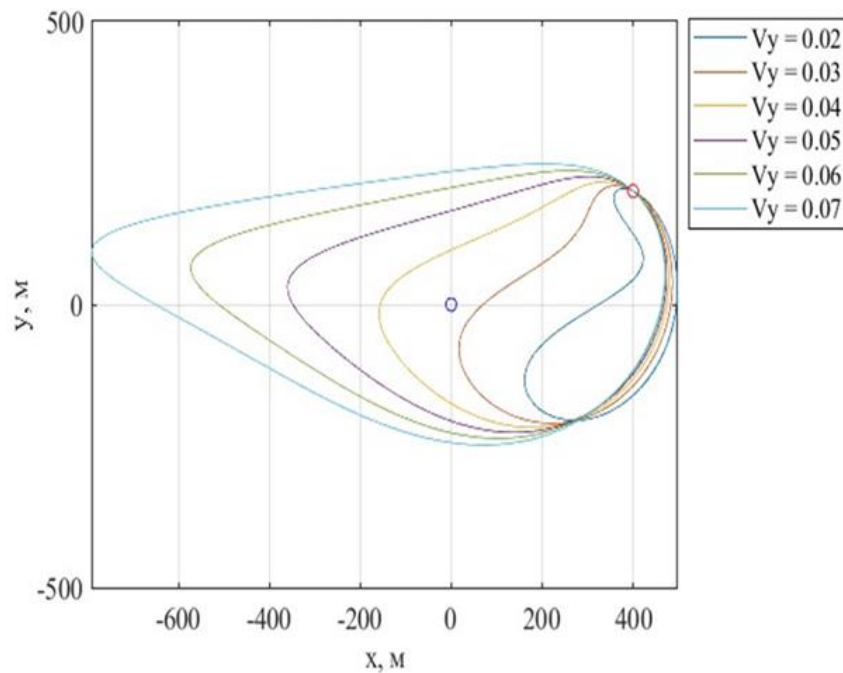


Рис. 2. Семейство замкнутых относительных траекторий при $e = 0,80$

Исследование показало, что на относительную траекторию инспектора влияют следующие параметры опорного КА: эксцентриситет орбиты опорного КА, положение опорного КА на орбите, определяемое углом истинной аномалии.

Из рис. 1 видно, что при увеличении эксцентриситета орбиты опорного КА отклонение замкнутой траектории от формы эллипса становится более заметным.

Для исследования влияния на замкнутую траекторию инспектора положения опорного КА на орбите, задаваемое углом истинной аномалии ϑ , зафиксируем остальные влияющие параметры ($x_0 = 400\text{ м}$, $y_0 = 200\text{ м}$, $e = 0,8$).

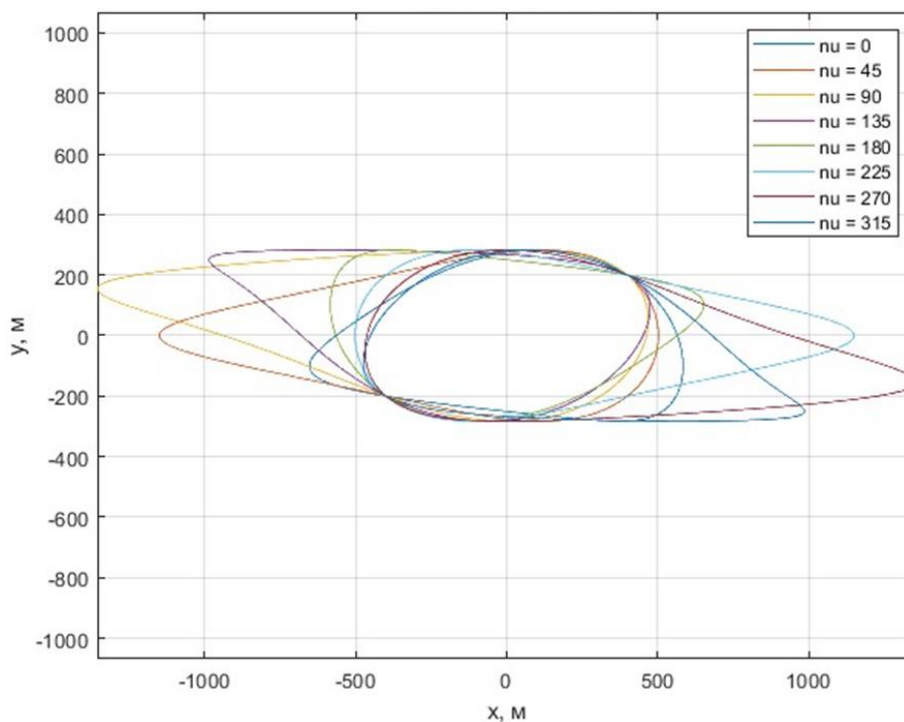


Рис. 3. Влияние положения опорного КА на орбите

Из рис. 3 видно, что максимальное удаление инспектора получается при положении опорного КА $\vartheta = 90^\circ$ и $\vartheta = 270^\circ$, так же изменения угла истинной аномалии сопровождается поворотом траектории.

Таким образом, в работе рассмотрено влияние параметров опорного КА на инспекционные траектории.

Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.

Библиографический список

1. Sabol, C. Satellite Formation Flying Design and Evolution / C. Sabol, R. Burns, A. C. McLaughlin // *Journal of Spacecraft and Rockets*. – 2001. – Vol.38. – No. 2.
2. Xing, J. Satellite Formation Design and Optimal Stationkeeping Considering Nonlinearity and Eccentricity / J. Xing, G. Tang, X. Xi, H. Li // *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. – 2007. – Vol.30, No. 5.
3. Shcherbakov, M.S. Studying problems on choosing stable orbits of nanosatellites to provide passive and periodic relative trajectories / M.S. Shcherbakov, D.P. Avariaskin // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Volume 1536, Issue 1, (International Workshop Navigation and Motion Control 2019, NMC 2019; Ladoga Lake; Russian Federation; 16 – 19 September 2019). – doi:10.1088/1742-6596/1536/1/012001.
4. Аваряскин, Д. П. Синтез закона управления инспекционным движением наноспутников на базе SDRE-технологии / Д. П. Аваряскин, М. С. Щербаков, А. В. Ананьев // *Навигация и управление движением: сб. тез. докл. Междунар. семинара (Самара, 28 сент. – 2 окт. 2020 г.)*. – Текст: электронный / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т имени академика С. П. Королева (Самар. ун-т); под общ. ред. И. В. Белоконова. – 2020. – С. 109-110.
5. Gurfil, P. Relative Motion Between Elliptic Orbits: Generalized Boundedness Conditions and Optimal Formationkeeping / P. Gurfil // *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. – 2005. – Vol. 28, No. 4. – p. 761–767.