

ВПЛИВ ТИСКУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА РУХ СУПУТНИКІВ НА МАЙЖЕ КОЛОВИХ ОРБІТАХ

¹ Інститут технічної механіки

Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: alex.pirozhenko@ukr.net
² <https://www.dnu.dp.ua/eng> LLC "Atlas Industry", пр. О. Поля, 72, Дніпро, 49054, Україна

Розглянуто вплив тиску сонячної радіації на рух супутника майже круговими низькими навколоземними орбітами. Постановка задачі зумовлена необхідністю визначення впливу сил тиску сонячної радіації на рух легких комерційних супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з великими площами їх поверхонь (сонячні батареї, антени). Задача полягає у визначенні основних закономірностей цього впливу, побудові досить простих і достатньо точних оцінок зміни параметрів орбіт для орбіт, що розглядаються, і з'ясуванні фізики (причинно-наслідкових зв'язків) змін параметрів. Новизна дослідження також полягає у використанні змінних, що спеціально введено для опису руху майже круговими орбітами.

Дослідження проводяться в припущенні постійності сили тиску сонячного випромінювання по всій орбіті і безпосередньо пов'язані з орбітами «світанок–захід», які часто використовуються для супутників ДЗЗ із системами радіолокаційного спостереження.

У результаті дослідження були побудовані прості аналітичні вирази, що описують основні закономірності короточасних (декількоденних) змін параметрів орбіти. Показано, що зміна орієнтації площини орбіти визначається дією гіроскопічного моменту. Цей момент врівноважує дію моменту зовнішніх сил, спрямованих на зміну орієнтації, і зміну орієнтації перпендикулярно напрямку прикладеного моменту зовнішніх сил. Основним ефектом дії сил тиску сонячної радіації є збудження вимушених коливань радіуса орбіти з амплітудою, що лінійно зростає з часом. Максимуми цих коливань (апогеї) припадають на точку, де сили світлового тиску максимально сповільнюють рух супутника (спрямовані проти швидкості), а мінімуми (перигеї) – у точці максимального прискорення руху.

Показано, що річний рух Сонця може якісно змінити картину еволюції параметрів орбіти. Для сонячно-синхронних орбіт «світанок–захід» побудовано компактні аналітичні розв'язки для зміни параметрів орбіти та показано, що річний рух схилення Сонця призводить до зміни напрямку еволюції форми орбіти на протилежний.

Проведені розрахунки показали достатньо високу точність аналітичних рішень на початковому інтервалі часу. Отримані чисельні оцінки дають змогу оцінити вплив сонячного тиску на зміну параметрів орбіти.

Ключові слова: тиск сонячної радіації, супутник дистанційного зондування Землі, основні закономірності, аналітичні рішення, зміна форми орбіти.

1. Rosengren M. Improved Technique for Passive Eccentricity Control, Proceedings of the AAS/NASA International Symposium, Greenbelt, MD, Apr. 24–27, 1989. P. 49–58.
2. Musen P. The Effect of the Solar Radiation Pressure of the Motion of an Artificial Satellite. Journal of Geophysical Research. 1960. Vol. 65, № 5. P. 1391–1396. <https://dx.doi.org/doi:10.1029/JZ065i005p01391>
3. Cook G. E. Luni-Solar Perturbations of the Orbit of an Earth Satellite. The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. 1962. Vol. 6, № 3 P. 271–291. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1962.tb00351.x>
4. Van der Ha J. C., Modi V. J. Orbital Perturbations and Control by Solar Radiation Forces. Journal of Spacecraft and Rockets. 1978. Vol. 15, № 2. P. 105–112. <https://doi.org/10.2514/3.57293>
5. Ferraz Mello S. Analytical Study of the Earth's Shadowing Effects on Satellite Orbits. Celestial Mechanics. 1972. Vol. 5, № 1. P. 80–101. <https://doi.org/10.1007/BF01227825>
6. Mengali G., Quarta A. Near-Optimal Solar-Sail Orbit-Raising from Low Earth Orbit. Journal of Spacecraft and Rockets. 2005. Vol. 42, № 5. P. 954–958. <http://dx.doi.org/10.2514/1.14184>
7. Alessi E. M., Colombo C., Rossi A. Phase Space Description of the Dynamics due to the Coupled Effect of the Planetary Oblateness and the Solar Radiation Pressure Perturbations. Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. 2019. Vol. 131, № 9. P. 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10569-019-9919-z>
8. Yousef M. A., El-Safty M. I., Mostafa A. Balancing the Effects of Solar Radiation Pressure on the Orbital Elements of a Spacecraft Using Lorentz Force. Scientific Reports. 2022. Vol. 12, № 15819. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20166-y>
9. Chao Chia-Chun. Applied orbit perturbation and maintenance. Aerospace Press. 2005. 264 pp. <https://doi.org/10.2514/4.989179>
10. Vallado D. A. Fundamentals of Astrodynamics and Applications. Fourth Edition. Space Technology Library. 2013. 1106 p.
11. Pirozhenko A. V., Maslova A. I., Vasilyev V. V. About the effect of second zonal harmonic on the motion of satellite in almost circular orbits. Space science and technology. 2019. Vol. 25, № 2. C. 3–14. <https://doi.org/10.15407/knit2019.02.003>
12. Pirozhenko A., Maslova A., Khranov D., Volosheniuk O., Mischenko A. Development of a new form of equations of disturbed motion of a satellite in nearly circular orbits. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 4, N 5 (106). P. 70–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.207671>

13. *Aksenov E. P.* Theory of Motion of an Artificial Earth Satellite. M.: Science, 1977. 360 p. [in Russian].
14. *Zhang Y., Wang X., Xi K., Li Z.* Comparison of shadow models and their impact on precise orbit determination of BeiDou satellites during eclipsing phases. *Earth, Planets and Space*. 2022. Vol. 74, № 126. P. 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01684-5>
15. *Nugnes M., Colombo C.* Analytical determination of eclipse entry and exit points considering a conical shadow and oblate Earth. *Acta Astronautica*. 2023. Vol. 211, № 7. P. 655–663. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.07.004>
16. *Pirozhenko A. V., Maslova A. I., Vasyliov V. V.* Analytical model of satellite motion in almost circular orbits under the effect of zonal harmonics of geopotential. *Space Science and Technology*. 2022. 28, № 4 (137). P. 18–30. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.018>

Отримано 24.05.2024,
в остаточному варіанті 19.06.2024