УДК 629.78 https://doi.org/10.15407/itm2022.04.035

О. С. ПАЛІЙ, Е. О. ЛАПХАНОВ, Д. С. СВОРОБІН

МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ КОСМІЧНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, України; e-mail: jerr_5@ukr.net

Метою статті є розробка узагальненої математичної моделі керування рухом космічних апаратів розподіленої енергетичної системи космічної індустріальної платформи. Індустріалізація космосу є одним із перспективних напрямків розвитку промисловості в світі. Розробка технологій космічної індустрії дозволить вирішити низку проблем виробництва унікальної продукції, що не була доступна в земних умовах. До основних типів цієї продукції можна віднести: напівпровідникові матеріали, матеріали, які виготовлено за допомогою 3D друку в умовах мікрогравітації, космічні модулі системи затемнення поверхні Землі, вироби космічної металургії, продукція, що виробляється з переробки космічного сміття та високочисті речовини космічної біології. Для виготовлення тієї чи іншої продукції необхідна певна кількість електроенергії. З огляду на те, що деякі технологічні процеси космічної індустрії можуть споживати значну кількість електроенергії, власних систем генерації енергії космічної індустріальної платформи може не вистачати. Так, було запропоновано концепцію застосування додаткових енергетичних ресурсів шляхом розробки розподіленої системи живлення космічної індустріальної платформи. Передбачається наявність угруповання енергетичних космічних апаратів, що збирають, акумулюють і передають безконтактним шляхом електроенергію на апарати-приймачі космічної індустріальної платформи.

В роботі представлено математичну модель для аналізу орбітального, кутового і відносного руху енергетичних космічних апаратів та космічних апаратів приймачів. Запропоновано алгоритми для розрахунку параметрів системи орієнтації і стабілізації енергетичних космічних апаратів. Сформовано узагальнену модель для визначення максимальної відстані та довжини часового інтервалу передачі електроенергії від енергетичного космічного апарата до платформи за допомогою мікрохвильового випромінювання.

Розроблена модель дозволяє проводити вибір проєктних параметрів енергетичних космічних апаратів на етапі концептуального проєктування систем живлення космічної індустріальної платформи.

Ключові слова: *космос, концептуальне проєктування, індустріальна платформа, модель функціонування, розподілена система, безконтактна передача енергії.*

1. *Волошенюк О. Л., Пироженко А. В., Храмов Д. А.* Космические тросовые системы — перспективное направление космической техники и технологии. Космічна наука і технологія. 2011. Т. 17. № 2. С. 32–44. https://doi.org/10.15407/knit2011.02.032
2. *Bergsrud C., Straub J.* A space-to-space microwave wireless power transmission experiential mission using small satellites. Acta Astronautica. 2014. Vol. 103. P.193–203. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.06.033
3. *Fuglesang C., Miciano M.* Realistic sunshade system at L1 for global temperature control. Acta Astronautica. 2021. No. 186. P. 269–279. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.04.035
4. *Алпатов А. П., Горбулин В. П.* Космические платформы для орбитальных промышленных комплексов: проблемы и перспективы. Вісн. НАН України. 2013. № 12. С. 26–39. https://doi.org/10.15407/visn2013.12.026
5. *Палій О. С.* Класифікація технологічних процесів за їхньою реалізацією на космічній індустріальній платформі. Технічна механіка. 2022. № 2. С. 123–136. https://doi.org/10.15407/itm2022.02.123
6. *Glaser P. E.* Power from the Sun: its future. Science. 1968. 168. P. 857–886. https://doi.org/10.1126/science.162.3856.857
7. *Landis G. A.* Solar Power Satellites. Comprehensive Renewable Energy. 2012. Vol. 1. P. 767–774. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00137-2
8. *Wie, B., Roithmay C. M.* Integrated Orbit, Attitude, and Structural Control Systems Design for Solar Power Satellites, NASA/TM-2001-210854, June, 2001. URL: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20010071579/downloads/20010071579.pdf (last accessed 05.09.2022).
9. Space-Based Solar Power as an Opportunity for Strategic Security. Phase of Architecture Feasibility Study: Report to the Director. National Security Space Office. October 10, 2007. URL: https://space.nss.org/wp-content/uploads/Space-Based-Solar-Power-Opportunity-for-Strategic-Security-assessment.pdf (last accessed 05.10.2022).
10. Патент США № US 8132762, МПК B64G 1/44. Space based rotating film solar battery array. *Shangli Huang*. US12/508989; заявл. 24.06.2009; опубл. 13.03.2012.
11. *Mankins Y. C.* A technical overview of the “suntower” solar power satellite concept. Acta Astronautica. 2002. V. 50, No 6. P.369–377. https://doi.org/10.1016/S0094-5765(01)00167-9
12. *Shinohara N.* Beam Control Technologies with a High Efficiency Phased Array for Microwave Power Transmission in Japan. Proceedings of the IEEE. 2013. Volume 101, Issue 6. P. 1448–1463. https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2253062
13. *Sasaki S. and JAXA Advanced Mission Research Group.* SSPS development road map. IAC- 09.C3.1.4. 2009. URL: http://www13.plala.or.jp/spacedream/PDFSPSENG12.pdf (last accessed 05.10.2022).

14. *Yang Y., Zhang Y., Duan B., Wang D., Li X.* A novel design project for space solar power station (SSPS-OMEGA). Acta Astronautica. 2016. Vol. 121. P. 51–58. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.12.029
15. Space Based Solar Power. De-risking the pathway to Net Zero. September 2021. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1020631/space-based-solar-power-derisking-pathway-to-net-zero.pdf (last accessed 05.10.2022).
16. *Лапханов Е. О., Палій О. С.* Математична модель для визначення проєктних параметрів космічної надувної платформи з корисним навантаженням. Технічна механіка. 2021. №4. С. 66–78. https://doi.org/10.15407/itm2021.04.066
17. *Решетнев М. Ф., Лебедев А. А., Бартенев В. А. и др.* Управление и навигация искусственных спутников Земли на околокруговых орбитах. М.: Машиностроение, 1988. 336 с.
18. National geospatial-intelligence agency (NGA) standardization document. Department of defense, World Geodetic System 1984. 2008. 208 p. URL: https://nsgreg.nga.mil/doc/view?i=4085 (last accessed 05.10.2022).
19. *Fortescue P., Stark J., Swinerd G.* Spacecraft systems engineering. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 2011. 724 p. https://doi.org/10.1002/9781119971009
20. *Shuvalov V. A., Gorev N. B., Tokmak N. A., Pis'menny N. I., Kochubei G. S.* Control of the drag on a spacecraft in the Earth's ionosphere using the spacecraft's magnetic field. Acta Astronautica. 2018. Vol. 151. P. 717–725. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.06.038
21. *Curtis H.* Orbital Mechanics for Engineering Students (4th Edition). Butterworth-Heinemann, 2019. 692 p. ISBN 978-0-08-102133-0
22. *Alpatov A. P., Khoroshylov S. V., Maslova A. I.* Contactless de-orbiting of space debris by the ion beam. Dynamics and control. Kyiv: Akademperiodyka, 2019. 170 p. https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.383.170
23. *Фоков О. А., Хорошилов С. В., Своробін Д. С.* Відносний рух космічного апарата з аеродинамічним компенсатором у перпендикулярному до площини орбіти напрямку при безконтактному видаленні космічного сміття. Космічна наука і технологія. 2021. Т. 27. №2. С. 15–27. https://doi.org/10.15407/knit2021.02.015
24. *Raussen M.* Elementary Differential Geometry: Curves and Surfaces. 2008. URL: https://people.math.aau.dk/~raussen/INSB/AD2-11/book.pdf (last accessed 10.09.2022).
25. *Aditya, B., Hongru C., Yasuhiro Y., Shuji N., Toshiya H.* Verify the Wireless Power Transmission in Space using Satellite to Satellite System. International Journal of Emerging Technologies. 2021. Vol. 12. No. 2. P. 110–118.

Отримано 03.11.22,
в остаточному варіанті 28.11.2022