УДК 629.78

Е. О. ЛАПХАНОВ, О. С. ПАЛІЙ

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДВЕДЕННЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ З НАВКОЛОЗЕМНИХ ОРБІТ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЛАСНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І МАГНІТНИХ ПОЛІВ

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: Ernando@i.ua

Мета статті – аналіз ефективності застосування двигунних установок з постійними магнітами у якості альтернативного способу відведення об'єктів космічного сміття з низьких навколоземних орбіт.

У роботі розглянуто поточні завдання, пов'язані з розробкою методів і створенням засобів відведення космічних апаратів, термін активного існування яких закінчився, з робочих орбіт за допомогою власних електромагнітних і магнітних полів, що генеруються за допомогою різних магнітних пристроїв. Проведено огляд сучасних систем відведення космічних апаратів з низьких навколоземних орбіт, що базуються на генерації власного електромагнітного поля, що при взаємодії з динамічним потоком іоносферної плазми і магнітним полем Землі створює силу гальмування і таким чином здійснює відведення космічного апарату з орбіти. Виявлено недоліки та переваги електромагнітних систем відведення космічних апаратів. Запропоновано альтернативний метод і систему відведення об'єктів космічного сміття за допомогою пристроїв з постійними магнітами. Представлено конструктивну схему пристрою з постійними магнітами і запропоновано алгоритм принципу її дії. Проведено аналіз екранів для магнітних і електромагнітних полів і обрано найбільш відповідний екрануючий матеріал. Обраний екрануючий матеріал являє собою багатошаровий екран, що складається з алюмінієвих, мідних і магнітних шарів. Розроблено математичну модель орбітального руху космічного апарату з пристроєм на постійних магнітах. За допомогою пакету прикладних програм SciLab розраховано час відведення для різних космічних апаратів і висот орбіт. Виходячи з отриманих результатів розрахунку зроблено висновок, що ефективність впливу сили гальмування залежить від співвідношення між інерційними характеристиками космічних апаратів та об'ємами постійних магнітів, що встановлюються на дані апарати. Було визначено, що для великих космічних апаратів, масою понад 2 т, використання двигунних пристроїв з постійними магнітами в якості систем відведення є неефективним. Це обумовлюється непропорційністю між зростанням сили гальмування в залежності від об'єму постійного магніту та зростанням інерційних характеристик космічного апарата при збільшенні його маси. Спираючись на дані результати визначено межі ефективного застосування двигунних пристроїв з постійними магнітами.

Ключові слова: *постійні магніти, космічний апарат, систем відведення космічних апаратів, магнітне поле, електромагнітне поле, електричне поле, динамічний потік іоносферної плазми.*

1. The Orbital Debris Quarterly News. NASA JSC Houston. 2018. Iss 2. Vol. 22. P. 8
2. *Christophe Bonnal, Jean-Marc Ruault, Marie-Christine Desjean.* Active debris removal: Recent progress and current trends. Acta Austronautica. April – May 2013, Vol. 85, P. 51–60.
3. The clean space blog. European Space Agency. 2018. URL: http://blogs.esa.int/cleanspace/2018/04/27/active-debris-removal-to-enable-space-servicing-vehicles/ (date of access 03.09.2018).
4. *Палий А.С.* Методы и средства увода космических аппаратов с рабочих орбит (состояние проблемы). Техническая механика. 2012. №1. С. 94 – 102.
5. *Палий А.С., Скорик А.Д.* Анализ возможности использования аэродинамических систем для увода модульных крупногабаритных космических объектов с низких околоземных орбит. Техническая механика. 2014. №2. С. 43 – 51.
6. *Winglee R.M., Slough J., Ziemba T., Goodson A.* Mini-Magnetospheric Propulsion: Tapping the energy of the solar wind for spacecraft propulsion. Journal of geophysical research. 2000. Vol. 105. NO. A9. P 21067 – 21077.
7. *Ikkoh Funaki, Hiroshi Yamakawa*. Solar Wind Sails, Exploring the Solar Wind, Dr. Marian Lazar (Ed.). ISBN: 978-953-51-0339-4. InTech. 2012. P. 439 – 463. URL: https://www.intechopen.com/books/exploring-the-solar-wind/solar-wind-sails (date of access 03.09.2018).
8. *Hoyt R., Forward R*. Performance of the Terminator Tether for Autonomous Deorbit of LEO Spacecraft. AIAA-99-2839 35-th Join Propulsion Conference & Exhibit. 20 – 24 June. Los Angeles. 1999. P. 1 – 10.
9. *Hoyt R., Forward R*. Application of the terminator tether™ electrodynamic drag technology to the deorbit of constellation spacecraft. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. 1998. P. 1 – 19. URL: http://www.tethers.com/papers/TTPaper.pdf (date of access 03.09.2018).
10. *Carmen Pardini, Toshiya Hanada, Paula H. Krisko*. Benefits and Risks of using electrodynamic tethers to deorbit spacecraft. IAC-06-B6.2.10. URL: https://www.iadc-online.org/Documents/IADC-06-08.pdf (date of access 03.09.2018).

11. *Yasumasa Ashida*. Study on propulsive characteristics of magnetic sail and magneto plasma sail by plasma particle simulations: PhD dissertation. Kioto. 2014. P. 7 – 50. URL: https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/185206/2/dkogk03813.pdf (date of access 03.09.2018).
12. *Шувалов В. А., Кучугурный Ю. П.* Экспериментальное обоснование концепции искусственной мини-магнитосферы как средства управления движением космических аппаратов в ионосфере Земли. Космическая наука и технология. 2018. Т.24 №2. С. 43 – 46.
13. *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.
14. *Shuvalov V. A., Tokman N.A., Pis'mennyi N.I., Kochubei G.S.* Dynamic Interaction of a Magnetszed Body with a Rarefied Plasma Flow. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2016. r.57. №1. P. 145 – 152.
15.. Патент України на корисну модель № 125265, МПК B64G 1/00, B64G 1/10, B64G 1/24. Спосіб орбітального перельоту космічного об'єкта. *Шувалов В. О., Дегтяренко П. Г., Симанов В. Г., Хорольський П. Г., Лобода П. І.* u2017 09603 ; заявл. 02.10.2017 ; опубл. 10.05.2018.
16. *Лапханов Э. А., Палий А. С.* Современные задачи связанные с созданием и уводом с орбиты группировок космических аппаратов класса нано и пико. Авиационно-космическая техника и технология. 2018, № 4 (148). С. 20 – 35.
17. *Лапханов Э. О., Палий А. С.* Анализ возможности применения двигательной установки с постоянным магнитом для космических аппаратов на околоземную орбиту. Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. Днепр, 2018. Выпуск 4 (117). С.24 – 35.
18. Заявка на патент України на винахід № a201801742, МПК B 64 G 1/62. Спосіб очищення навколоземного простору від об'єктів космічного сміття шляхом відведення їх з орбіти за допомогою власного магнітного поля [Текст] / *Шувалов В. О., Палій О. С., Лапханов Е. О*. № a201801742, заявл. 21.02.2018.
19. *Абасов Р. К.* Применение углеродных материалов в экранировании электромагнитных полей. Политехнический молодежный журнал. 2016. №5. С. 1 – 9.
20. *Островский О. С., Одаренко Е. Н., Шматько А. А.* Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн. ФИП. 2003. Том. 1 №2. С. 161 – 173.
21. *Сафонов А. Л., Сафонов Л. И.* Электрические прямоугольные соединители. Многослойные металлизированные экраны защиты от ЭМП и способы их получения. Технологии в электронной промышленности. 2015. №1. С. 64 – 69.
22. *Dmitrenko V. V., Phyo Wai Nyunt, Vlasik K. F., Grachev V. M., Grabchikov S. S., Muravyev-Smirnov S. S., Novikov A. S., Ulin S. E., Uteshev Z. M., Chernysheva I. V., Shustov A. Y.* Electromagnetic Shields Based on Multilayer Film Structures. Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2015 Vol 42. № 2. P. 43 – 47.

Отримано 14.09.2018,
в остаточному варіанті 10.12.2018.