

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕЛІТІВ МІЖ НИЗЬКИМИ ОРБІТАМИ З СУТТЄВОЮ РІЗНИЦЕЮ ДОВГОТ ВИСХІДНИХ ВУЗЛІВ

Інститут технічної механіки

Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: jura_gold@meta.ua

В даний час на низьких орбітах розгортаються і плануються до розгортання супутникові системи, кожна з яких складатиметься з сотень супутників. Окрім того відбувається поповнення існуючих супутникових систем. З'явилася тенденція до розробки модульних супутників, що приведе до розробки зручних в обслуговуванні космічних апаратів, що складаються з багатьох невеликих структурних модулів зі стандартизованими інтерфейсними механізмами. Для збільшення терміну існування всіх цих систем та зменшення витрат на підтримку їхнього функціонування є доцільним створення системи їх технічного обслуговування. Незважаючи на відносно велику кількість робіт, що присвячені задачі зустрічі на орбіті, в них ця задача розглядається в дещо спрощеній постановці порівняно з тим, що потрібно для обслуговування космічних апаратів на низьких орбітах. Як правило, обмежуються компланарними задачами зустрічі в імпульсній постановці. У реальних умовах маневри зустрічі на низьких орбітах мають нетривіальний характер. Як відомо, орбітальні параметри низьких орбіт космічних апаратів можуть суттєво відрізнятися і досягати за довготою висхідного вузла (ДВВ) десятків і навіть сотень градусів. Це призводить до неприпустимо великих для сучасних сервісних космічних апаратів (СКА) енергетичних витрат для повороту площини їх вихідної орбіти. Зменшення енергетичних витрат на поворот площини вихідної орбіти СКА можна досягти за рахунок використання прецесії лінії вузлів внаслідок нецентральної гравітаційного поля Землі. Маневр очікування СКА на вдало обраній орбіті дозволяє усунути неузгодженість ДВВ орбіт очікування та призначення СКА і тим самим суттєво скоротити енергетичні витрати для реалізації міжорбітального перельоту СКА. Однак за рахунок тривалого очікування СКА на орбіті суттєво зростає час виконання міжорбітального перельоту. Метою статті є розробка математичної моделі двокритеріальної оптимізації перельоту СКА з двигуном малої постійної тяги між низькими близькими до кругових орбітами з істотно відмінними ДВВ. Методами розв'язку задачі є усереднення рівнянь динаміки за швидким параметром та генетичний алгоритм глобальної Парето-оптимізації. Новизна отриманих результатів полягає у формулюванні двокритеріальної задачі оптимізації та розробці математичної моделі для вибору оптимальної орбіти очікування СКА. Розроблена математична модель може бути використана при плануванні перельотів СКА між низькими близькими до кругових орбітами з істотно відмінними ДВВ.

Ключові слова: оптимізація, орбіта очікування, границя Парето, орбітальне сервісне обслуговування, мала тяга, метод усереднення.

1. Marec J. P. Optimal Space Trajectories. Elsevier, 2012. 356 p.
2. Razoumny Yu. N., Razoumny V. Yu., Spencer D. B., et al. The concept of on-orbit-servicing for next generation space system development and its key technologies. Proceedings of the 68th International Astronautical Congress IAC. 2017. Vol. 16. P. 10486–10499.
3. Alpatov A. P., Holdstein Y. M. On the choice of the ballistic parameters of an on-orbit service spacecraft. Технічна механіка. 2019. № 1. С. 25–37. <https://doi.org/10.15407/itm2019.01.025>
4. Cerf M. Low-thrust transfer between circular orbits using natural precession. J. Guid. Contr. Dynam. 2016. Vol.39, №10. P. 232–239. <https://doi.org/10.2514/1.G001331>
5. Zhang S., Han C., Sun X., New solution for rendezvous between geosynchronous satellites using low thrust, J. Guid. Contr. Dynam. 2018. Vol.41, № 3. P.1–10. <https://doi.org/10.2514/1.G003270>
6. Labourdette P. A software for rendezvous between near-circular orbits with large initial ascending node difference. Proceedings of the 17th International symposium on space flight dynamics. 2003. P. 130–142.
7. Chen H., Ho K. Integrated space logistics mission planning and spacecraft design with Mixed-Integer Non-linear Programming. Journal of Spacecraft and Rockets. 2018. Vol. 55, №. 2. P. 365–381. <https://doi.org/10.2514/1.A33905>
8. Legge Jr. Optimization and valuation of reconfigurable satellite constellations under uncertainty. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2014. 320 p.
9. Li H., Chen S., Baoyin H., J2-perturbed multitarget rendezvous optimization with low thrust. J. Guid. Control Dyn. 2018. Vol.41, № 3. P. 802–808. <https://doi.org/10.2514/1.G002889>
10. Гольдштейн Ю. М. Про вибір орбіти базування сервісного космічного апарата. Технічна механіка. 2020. № 3. С. 30–38. <https://doi.org/10.15407/itm2020.03.030>
11. Popovici N. Pareto reducible multicriteria optimization problems. A Journal of Mathematical Programming and Operations Research. 2005. Vol. 54, Is. 3. P. 253–263. <https://doi.org/10.1080/02331930500096213>
12. Kim I. Y., de Weck O., L. Adaptive weighted-sum method for bi-objective optimization: Pareto front generation. Structural and multidisciplinary optimization. 2005. Vol. 29. P. 149–158. <https://doi.org/10.1007/s00158-004-0465-1>

Отримано 20.07.2022,
в остаточному варіанті 12.08.2022