UDC 629.7

А. П. АЛПАТОВ, Ю. М. ГОЛЬДШТЕЙН

ДО ВИБОРУ БАЛІСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОРБІТАЛЬНОГО СЕРВІСНОГО АПАРАТА

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

В даний час спостерігається суттєве зростання вартості космічних апаратів (КА). У зв'язку з цим зростають вимоги до збільшення тривалості строків їх активного існування, надійності функціонування й зниженню експлуатаційних витрат. Багатообіцяючим шляхом задоволення цих вимог є впровадження технології орбітального сервісного обслуговування (ОСО). ОСО дозволяє вирішувати технічні та економічні проблеми за рахунок виконання сервісних операцій у космосі. Впровадження ОСО сприяє збільшенню строків активного існування КА, підвищенню надійності їх функціонування, зниженню витрат на підтримку в експлуатації орбітальних супутникових систем різного призначення. Програми ОСО з усунення КА, що завершили активне існування, або ушкоджених КА з робочих орбіт допомагають зм'якшити проблему нагромадження космічного сміття. Склад системи ОСО залежить від плануємих до виконання сервісних завдань і балістичних можливостей одноразових або багаторазових сервісних космічних апаратів (СКА). Реалізуємість і характер балістичних маневрів СКА багато в чому визначаються типом і характеристиками їх маршових двигунів. Метою статті є оцінка балістичного потенціалу сучасних і перспективних орбітальних сервісних апаратів і розробка методики планування раціональних маршрутів ОСО. Розглянуто й проаналізовано різні системи ОСО наземного та космічного базування. Проведено оцінку доцільності їх використання в залежності від плануємих для виконання сервісних завдань. Виявлено найбільш перспективні схеми ОСО. Запропоновано методику планування раціонального маршруту послідовного обходу орбіт КА, що обслуговуються, й наведено тестовий приклад розрахунку. Методика базується на розв'язанні багатокритеріальної задачі комівояжера. Багатокритеріальна задача комівояжера сформульована в термінах целочисельного лінійного програмування й приведена до однокритеріальної задачі методом адитивної згортки. Новизна запропонованої методики полягає у приведенні вихідної задачі до виду багатокритеріальної задачі комівояжера. Отримані результати можуть знайти застосування при обґрунтуванні, плануванні й здійсненні сервісних космічних операцій.

Ключові слова: *задача комівояжера, космічний апарат, багатокритеріальна оптимізація, орбітальне сервісне обслуговування, планування маршруту.*

1 *Иванов В. М.* Основные положения концепции орбитального обслуживания перспективных автоматических космических аппаратов. Ракетно-космическая техника: вестник МАИ. 2008. Т. 15. № 3. С. 5–7.
2 *Barbee B.* Design of Spacecraft Missions to Remove Multiple Orbital Debris Objects. Specialist Conference, Paper AAS 15-598, August. 2015.
3 *Stephen J.* Design for on-orbit spacecraft servicing. Specialist Conference Paper AAS 14-374. October. 2014.
4 *Кейвни Л.* Космические двигатели: состояние и перспективы. М. : Мир, 1988. 454 с.
5 *Сердюк В. К., Толяренко Н. В., Хлебников Н. Н.* Транспортные средства обеспечения космических программ. Ракетостроение и космическая техника: ВИНИТИ. 1990. Т. 11.
6 *Гусев Ю. Г., Пильников А. В.* Роль и место электроракетных двигателей в Российской космической программе. Электронный журнал "Труды МАИ". Вып. 60. URL: https:// www.mai.ru/science/trudy/.
7 *Васин А. И. Коротеев А. С., Ловцов А. С.* Обзор работ по электроракетным двигателям в Государственном научном центре ФГУП "Центр Келдыша". Электронный журнал "Труды МАИ". Вып. 60. URL: https:// www.mai.ru/science/trudy/.
8 *Ким В.* Стационарные плазменные двигатели в России: проблемы и перспективы. Электронный журнал "Труды МАИ". Вып. 60. URL: https:// www.mai.ru/science/trudy/.
9 *Горшков О. А., Муравлев В. А., Шагайда А. А.* Холловские и ионные плазменные двигатели для космических аппаратов. М: Машиностроение, 2008. 280 с.
10 *Нариманов Г. С.* Основы теории полета и проектирования космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1972. 607 с.
11 *Петухов В. Г.* Робастное квазиоптимальное управление с обратной связью для перелета с малой тягой между некомпланарными эллиптической и круговой орбитами. Ракетно-космическая техника: вестник МАИ. 2010. Т. 17, № 3. С. 50–58.
12 *Лебедев В. Н.* Расчет движения космического аппарата с малой тягой. М.: ВЦ АН СССР, 1968. 105 с.
13 *Гришин С. Д., Захаров Ю. А., Одолевский В. К.* Проектирование космических аппаратов с двигателями малой тяги. М.: Машиностроение, 1990. 223 с.
14 *Ильин В. А., Кузмак Г. Е.* Оптимальные перелеты космических аппаратов. М.: Наука, 1976. 740 с.
15 *Гродзовский Г. Л., Иванов Ю. Н. , Токарев В. В.* Механика космического полета (проблемы оптимизации). М.: Наука, 1975. 704 с.

16 *Салмин В. В.* Методы решения вариационных задач механики космического полета с малой тягой. Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2006. 127 с.
17 *Петухов В. Г.* Оптимизация межпланетных траекторий космических аппаратов с идеально-регулируемым двигателем методом продолжения. Космические исследования. 2008. Т. 46. № 3. С. 224–237.
18 *Григорьев И. С.* Выбор перспективных последовательностей астероидов. Автоматика и телемеханіка. 2013. Выпуск 8. С. 65–67.
19 *Пападимитриу Х., Стайглиц К.* Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. М.: Мир, 1982. 510 с.
20 *Сигал И. Х.* Алгоритмы для решения бикритериальной задачи коммивояжера большой размерности. ЖВММФ. 1994. Т. 34. № 1. С. 44–57.

Отримано 10.10.2018,
в остаточному варіанті 26.11.2018