

В. О. ШУВАЛОВ, Ю. П. КУЧУГУРНИЙ, М. І. ПИСЬМЕННИЙ, С. М. КУЛАГІН

**МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ  
З ІОНОСФЕРНОЮ РОЗРІДЖЕНОЮ ПЛАЗМОЮ**

Інститут технічної механіки

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

Розроблено принципи моделювання фізико-хімічної і електромагнітної взаємодії космічного апарата (КА) з навколосупутниковим середовищем в іоносфері Землі та зондової діагностики потоків розрідженої плазми з борту КА. Сформульовано критерії еквівалентності взаємодії КА з навколосупутниковим середовищем і гіперзвуковими потоками розрідженої плазми на спеціалізованих стендах, зокрема, на плазмо-електродинамічному стенді Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, який має статус «науковий об'єкт – національне надбання України». Дослідження особливостей взаємодії КА з навколосупутниковим середовищем виконано за трьома напрямками:

– деградація матеріалів і функціональних характеристик елементів конструкцій КА при тривалій експлуатації на орбіті;

– магнітогідродинамічна взаємодія КА з гіперзвуковими потоками розрідженої плазми;

– зондова діагностика потоків розрідженої плазми на борту КА.

В рамках першого напрямку досліджень розроблено розрахунково-експериментальну процедуру оцінки спаду електричної потужності кремнієвих сонячних батарей космічного апарата при тривалій дії (~10 років) комплексу факторів космічного простору і навколосупутникового середовища на кругових орбітах. Розроблено принципи прискорених ресурсних випробувань на стійкість полімерних матеріалів КА до тривалої дії потоків атомарного кисню (АК) і вакуумного ультрафіолетового випромінювання (ВУФ). Синхронне опромінювання полімерів потоками АК+ВУФ створює синергетичний ефект втрати маси матеріалами, що містять в структурі мономер групи (СН)<sub>2</sub>.

В рамках другого напрямку сформульовано моделі магнітогідродинамічної взаємодії в системі «намагніченого» КА з іоносферною плазмою. Показано, що при взаємодії власного магнітного поля КА (індукція ~ (0,8 – 1,5) Тл) з іоносферною плазмою виникає електромагнітна сила, придатна для примусового гальмування КА, зокрема, об'єкта космічного сміття, відведення його на низьку орбіту для утилізації при згоранні в щільних шарах атмосфери Землі.

В рамках третього напрямку розроблено процедури зондової діагностики іоносферної плазми з використанням бортової наукової апаратури, яка включає взаємно ортогональні електричні циліндричні зонди і двоканальний детектор нейтральних частинок. Показано, що бортовий комплекс такої наукової апаратури з використанням алгоритмів і процедур інтерпретації вихідних сигналів (розроблених в інституті) дозволяє ідентифікувати локалізацію джерел просторово-часових збурень параметрів іоносферної плазми, обумовлених природними і техногенними катастрофічними явищами на підсупутниковій трасі.

**Ключові слова:** космічний апарат, іоносферна плазма, моделювання, взаємодія, деградація, сила опору, діагностика.

1. Крейнин Л. Б., Григорьева Г. М. Солнечные батареи в условиях воздействия космической радиации. Итоги науки и техники. Т. 13. Исследование космического пространства. М.: ВИНТИИ, 1979. 128 с.
2. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
3. Shuvalov V., Kuchugurnyi Yu., Lazuchenkov D. Modeling the interaction of spacecraft with plasma flow, electromagnetic radiation, electric and magnetic fields in the Earth's ionosphere. Space research in Ukraine. 2018–2020 / Ed. by O. Fedorov. Kyiv: Akademperiodyka, 2021. P. 29–31.
4. Shuvalov V. A., Pismennyi N. I., Reznichenko N. P., Kochubey G. S. Simulation of the physicochemical effect of atomic oxygen of the Earth's ionosphere on polymers. High Energy Chemistry. 2021. V. 55, № 1. P. 52–58. <https://doi.org/10.1134/S0018143921010124>
5. Shuvalov V. A., Reznichenko N. P., Tsokur A. G., Nosikov S. V. Synergetic effect of the action of atomic oxygen and vacuum ultraviolet radiation on polymers in the earth's ionosphere. High Energy Chemistry. 2016. V. 50, № 3. P. 171–176. <https://doi.org/10.1134/S0018143916030140>
6. Shuvalov V. A., Tokmak N. A., Kuchugurnyi Yu. P., Reznichenko N. P. Braking of a magnetized body at the interaction of its magnetic field with a rarified plasma flow. High Temperature. 2020. V. 58, № 2. P. 151–161. <https://doi.org/10.1134/S0018151X20020182>
7. Shuvalov V. A., Gorev N. B., Tokmak N. A., Kuchugurnyi Y. P. Drag on a spacecraft produced by the interaction of its magnetic field with the Earth's ionosphere. Physical modelling. Acta Astronautica. 2020. V. 166. P. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.10.018>
8. *Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2020 році*. Київ: Академперіодика, 2021. 593 с.
9. Shuvalov V., Lazuchenkov D., Gorev N., Kochubei G. Identification of seismic activity sources on the subsatellite track by ionospheric plasma disturbances detected with the Sich-2 onboard probes. Advances in Space Research. 2018. № 61. P. 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.08.001>

Отримано .21.05.2021,  
в остаточному варіанті 08.06.2021