

**ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ З
ПОТОКАМИ ПЛАЗМИ Й ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В
ІОНОСФЕРІ ЗЕМЛІ***Інститут технічної механіки**Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: yu.kuchugurnyi@gmail.com*

Дан короткий аналіз результатів досліджень, виконаних у відділі механіки іонізованих середовищ Інституту технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, з проблем фізичного моделювання взаємодії космічних апаратів (КА) з іоносферною плазмою і впливу на КА комплексу факторів космічного простору (ФКП). Фізичне моделювання є ефективним засобом для відтворення спектру основних процесів і явищ, супроводжуючих експлуатацію КА на орбіті і ініційованих впливом комплексу ФКП, особливо впливом гіперзвукових потоків розрідженої плазми, атомарного кисню і ультрафіолетового сонячного випромінювання. Для моделювання умов функціонування КА в іоносфері Землі на висотах від 150 км до 40000 км розроблено і створено плазмоелектродинамічний стенд, що поєднує властивості плазмової аеродинамічної труби і вакуумної безлунової камери. На стенді проведено дослідження в рамках виконання наукових програм і робіт по створенню і експлуатації ряду виробів ракетно-космічної техніки. Досліджено спотворення радіовідбиттів від елементів конструкцій КА штучними плазмовими утвореннями. Вивчені процеси радіаційної електризації елементів конструкції КА. Розроблено методики проведення прискорених ресурсних випробовувань полімерних і композитних матеріалів при дії потоків атомарного кисню і вакуумного ультрафіолетового випромінювання. Проведено моделювання дії комплексу факторів навколосупутникового середовища на сонячні батареї, внаслідок якої відбувається втрата електричної потужності і скорочення ресурсу батарей. Фізичне моделювання на основі прискорених ресурсних випробовувань дозволяє відтворювати умови тривалої експлуатації КА: процеси деградації, зміни електрофізичних, термооптичних, енергетичних і масогабаритних характеристик матеріалів і покриттів елементів конструкції КА. Отримані в результаті моделювання залежності темпів деградації властивостей матеріалів і робочих систем КА від часу впливу ФКП на орбіті дозволяють прогнозувати стан матеріалів та елементів конструкцій, технічних систем КА в будь-який момент часу експлуатації і можуть бути використані на етапі проектування КА.

Ключові слова: космічний апарат, іоносфера, плазма, фізичне моделювання, плазмоелектродинамічний стенд.

1. Shuvalov V. A., Churilov A. E., Bystritskii M. G. Distortion radio reflections from spacecraft construction elements by plasma jets and structures: Physical Modeling. *Cosmic Research*. 2004. V. 42, No. 3. P. 228–237.
2. Shuvalov V. A., Pis'mennyi N. I., Kochubei G. S., Tokmak N. A. The mass loss of spacecraft polyimide films under the action of atomic oxygen and vacuum ultraviolet radiation. *Cosmic Research*. 2014. V. 52, No. 2. P. 99–105. doi: 10.1134/S0010952514020063.
3. Shuvalov V. A., Tokmak N. A., Reznichenko N. P. Physical simulation of the action of atomic oxygen and vacuum ultraviolet radiation on polymer materials in the Earth's ionosphere. *Instruments and Experimental Techniques*. 2016. V. 59, No. 3. P. 442–450. doi: 10.1134/S0020441216020263.
4. Shuvalov V. A., Reznichenko N. P., Tsokur N. P., Nosikov S. V. Synergetic effects of atomic oxygen and vacuum ultraviolet radiation on polymer materials in the Earth's ionosphere. *High Energy Chemistry*. 2016. V. 50, No. 3. P. 171–176. doi: 10.1134/S0018143916030140.
5. Shuvalov V. A., Kochubei G. S., Gubin V. V., Tokmak N. A. Power losses of solar arrays under the action of an environment in a geosynchronous orbit. *Cosmic Research*. 2005. V. 45, No. 4. P. 259–267.
6. Shuvalov V. A., Kochubei G. S., Priimak A. I., Pis'mennyi N. I., Tokmak N. A. Changes of properties of the materials of spacecraft solar arrays under the action of atomic oxygen. *Cosmic Research*. 2007. V. 45, No. 4. P. 294–394. doi:10.1134/S001095250704003X.
7. Шувалов В. А., Письменный Н. И., Кочубей Г. С., Носиков С. В. Потери мощности солнечных батарей космического аппарата в полярной ионосфере и в магнитосфере Земли. *Космична наука і технологія*. 2011. Т. 17. № 3. С. 5–15. doi: 10.15407/knit2011.03.005.
8. Shuvalov V. A., Priimak A. I., Gubin V. V. Radioactive electrization of spacecraft construction elements: physical modeling of charge accumulation and neutralization. *Cosmic Research*. 2001. V. 39, No. 1, P. 15–22. doi: 10.1023/A:1002879626515.
9. Shuvalov V. A., Kochubei G. S., Priimak A. I., Gubin V. V., Tokmak N. A. Radioactive elektrization of spacecraft leeward surfaces by aurora electrons in the ionosphere. *Cosmic Research*. 2003. V. 41, No. 4. P. 413–423. doi: 10.1023/A:1025018029138.

10. Shuvalov V. A., Priimak A. I., Bandel K. A., Kochubei G. S. Charge transfer by high-energy electrons onto the leeward surfaces of a solid in a supersonic rarefied plasma flow. *Journal Applied Mechanics and Technical Physics*. 2008. V. 49, No. 1. P. 9–17. doi: 10.1007/s10808-008-0002-x.
11. Авторское свидетельство на изобретение (СССР) № 845672 (Для сл. польз.). Многоэлектродный электрический зонд. Шувалов В. А., Губин В. В., Резниченко Н. П.; опубл. 06.03.1981.
12. Авторское свидетельство на изобретение (СССР) № 299889. Многоэлектродный преобразователь плотности потока частиц. Гадион В. Н., Гужва Е. Г., Никитский В. П., Шувалов В. А., Донской Л. А., Пылев В. П.; опубл. 01.08.1989.
13. Shuvalov V. A., Priimak A. I., Churilov L. E., and Reznichenko N. P. Inverse-Magnetron Converter for the Diagnostics of a Partially Ionized Gas Flow. *Instruments and Experimental Techniques*. 2001. V.44. N.2. P. 229–231. doi: 10.1023/A:10175755322138.
14. Shuvalov V. A., Priimak A. I., Gubin V. V., Lazuchenkov N. M., Tokmak N. A. A Gas-Discharge Plasma Source for the Modification of the Potential on Surface of an Insulator. *Instruments and Experimental Techniques*. 2002. V.45. N.2. P. 277–280. doi: 10.1023/A:1015337206427.
15. Патент Российской Федерации. № 2022053. Устройство для ионно-плазменной очистки диэлектрических поверхностей. Антипов А. Т., Медников Б. А., Григорьев Ю. И., Шувалов В. А., Лавренюк С. Л., Хохлов Г. Г.; опубл. 1994, бюл. № 20.
16. Патент України на винахід №103452. Пристрій для вимірювання параметрів потоків розрідженого газу. Шувалов В.О., Кулагін С. М., Письменний М. І., Семенов Л. П., Скорік О. Д., Авдеев А. М. ; опубл. 10.10.2013.
17. Shuvalov V. A., Lazuchenkov D. N., Gorev V.B., Kochubei G. S. 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. No. 61. P. 355–366. doi: 10.1016/j.asr.2017.08.001.

Отримано 07.08.2018,
в остаточному варіанті 01.10.2018