УДК 533.9

В. А. ШУВАЛОВ, С. Н. КУЛАГИН, А. Г. ЦОКУР, Ю. П. КУЧУГУРНЫЙ, Н. П. РЕЗНИЧЕНКО, С. В. НОСИКОВ

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПОТОКАМИ ПЛАЗМЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: yu.kuchugurnyi@gmail.com

Дан краткий анализ результатов исследований, выполненных в отделе механики ионизированных сред Института технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, по проблемам физического моделирования взаимодействия космических аппаратов (КА) с ионосферной плазмой и воздействия на КА комплекса факторов космического пространства (ФКП). Физическое моделирование является эффективным средством для воспроизведения спектра основных процессов и явлений, сопровождающих эксплуатацию КА на орбите и инициированных воздействием комплекса ФКП, особенно воздействием гиперзвуковых потоков разреженной плазмы, атомарного кислорода и ультрафиолетового солнечного излучения. Для моделирования условий функционирования КА в ионосфере Земли на высотах от 150 км до 40000 км разработан и создан плазмоэлектродинамический стенд, совмещающий свойства плазменной аэродинамической трубы и вакуумной безэховой камеры. На стенде проведены исследования в рамках выполнения научных программ и работ по созданию и эксплуатации ряда изделий ракетно-космической техники. Исследовано искажение радиоотражений от элементов конструкций КА искусственными плазменными образованиями. Изучены процессы радиационной электризации элементов конструкции КА. Разработаны методики проведения ускоренных ресурсных испытаний полимерных и композитных материалов при воздействии потоков атомарного кислорода и вакуумного ультрафиолетового излучения. Проведено моделирование воздействия комплекса факторов околоспутниковой среды на солнечные батареи, вследствие чего происходит потеря электрической мощности и сокращение ресурса батарей. Физическое моделирование на основе ускоренных ресурсных испытаний позволяет воспроизводить условия длительной эксплуатации КА: процессы деградации, изменения электрофизических, термооптических, энергетических и массогабаритных характеристик материалов и покрытий элементов конструкции КА. Полученные в результате моделирования зависимости темпов деградации свойств материалов и рабочих систем КА от времени воздействия ФКП на орбите позволяют прогнозировать состояние материалов и элементов конструкций, технических систем КА в любой момент времени эксплуатации и могут быть использованы на этапе проектирования КА.

Ключевые слова: *космический аппарат, ионосфера, плазма, физическое моделирование, плазмоэлектродинамический 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.* Phisical 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. Космічна 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., Авдєєв 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.

Получено 07.08.2018,
в окончательном варианте 01.10.2018