

процесса  $A_{ТКМ}$ ,  $M_{ГР}$ ,  $V_{Уч}$ ,  $J_{Псл}$ ,  $РП_{ЭПС}$ ,  $РП_{ВАГ}$ , ... - тонно-километровая работа, масса поездов, участковая скорость, межпоездной интервал попутного следования, рабочий парк ЭПС, рабочий парк вагонов и другие;  $\xi_{стэ}$ ,  $\xi_{тэ}$  - векторы стохастической составляющих.

Список использованных источников

1. Московский электромеханический завод. Структурное подразделение ДКРЭ ОАО «РЖД» <https://mez.ru/catalog/telemechanics/>

2. Автоматизированные системы разработки ООО "НПП «ЮГПА» <https://www.ugra.ru/energo>

3. Митрофанов, А.Н. Построение моделей цифровых двойников электротехнической инфраструктуры железных дорог для оценки ресурса её нагрузочной способности / А.Н Митрофанов., М.А Гаранин, С.А Окладов. // Электротехника. 2023. № 10. С. 2-7.

Митрофанов Александр Николаевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры Электроснабжение железнодорожного транспорта СамГУПС. E-mail: [almit77@mail.ru](mailto:almit77@mail.ru)

Окладов Сергей Анатольевич, ст. преподаватель кафедры Электроснабжение железнодорожного транспорта СамГУПС. E-mail: [osa-73@mail.ru](mailto:osa-73@mail.ru)

УДК 520.6.05

## **КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПРИБОРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ПОВЕРХНОСТИ КА**

К.Е. Воронов

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** факторы космического пространства, космический аппарат.

Основной целевой функцией космического аппарата (КА), любой спутниковой системы является способность выполнять поставленные целевые задачи в течение требуемого срока активного существования (САС)

В процессе натурной эксплуатации КА подвергаются воздействию широкого спектра факторов космического пространства (ФКП). Результаты воздействия на объекты (КА) в околоземном космическом пространстве [1-12]:

- Тепловое воздействие - знакопеременная температура, диапазон изменения от  $-150$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  усложняет характер процессов, протекающих в материалах и элементах оборудования КА.

- Космический вакуум. Давление среды на высотах 100-200 км от поверхности Земли порядка  $10^{-2}$  -  $10^{-4}$  Па, а в межпланетном пространстве -  $10^{-10}$  Па. Результат воздействия - отсутствие конвективного теплообмена и теплопроводности; газовыделение, потеря летучих компонентов и

сублимация материалов в вакууме; возрастание адгезии в вакууме, усиление трения и износа; изменение механических, электрических, оптических и других свойств материалов; изменение коэффициента адкомодации; утечка хранящихся на борту КА газов.

- Поверхностная электризация диэлектриков внешней оболочки КА, взаимодействие с холодной ионосферной плазмой, горячая магнитосферной плазмы, электроны с энергиями до 50–100 кэВ, токи на поверхность  $10^{-10}$ –  $10^{-8}$  А·см<sup>-2</sup>, зарядка, дифференциальная зарядка поверхности КА, электрические пробои, дуговые разряды.

- Объемная электризация – электроны РПЗ с энергиями ~2–10 МэВ, ток электронов, ~10<sup>-13</sup> – 10<sup>-11</sup> А/см<sup>2</sup>.

- Плазменные неоднородности, в области низких орбит – возмущения в ионосфере Земли. Искажение сигналов радионавигационных систем при попадании КА, затруднения в определении точного местоположения КА.

- Собственная внешняя атмосфера КА (СВА КА) (в некоторых случаях выделяют собственная внешняя атмосфера, собственная внутренняя атмосфера герметизированных отсеков, собственная атмосфера негерметизированных отсеков и полостей КА. Состав: молекулярная газовая среда, низкоскоростные микрочастицы. Воздействие за счет переосаждения молекулярной составляющей СВА: изменение свойства терморегулирующих покрытий; уменьшение выходная мощность солнечных батарей; уменьшение отношение сигнал/шум оптических систем; возрастание поверхностных токов утечек в высоковольтных устройствах, снижение электрической прочности, возникновение электрических разрядов, электромагнитных помех.

- Остаточная атмосфера (для высот 300 – 1000 км). Атомарный кислород, кинетическая энергия (~5 эВ), изменение механических, оптических и электрофизических свойств, распыление (потеря массы) материалов (полимеры). Продукты распыления источник СВА КА и пленок загрязнений на его поверхности. Нейтральная составляющая аэродинамическое торможение.

- Ионизирующее излучение. Радиационная проводимость: полупроводниковые приборы - увеличение обратных токов, снижение усиления; микропроцессоры БИС - обратимые и необратимые перемежающиеся отказы, радиационные сбои; солнечные элементы - снижение КПД Радиоломинесценция. Радиационное окрашивание: оптические стекла, волоконная оптика, полимерные материалы.

- Факторы техногенного характера. Плазма генерируемая стационарными плазменными двигателями (СПД). Интенсивное взаимодействие плазменной струи СПД с поверхностью, собственной внешней атмосферой и высоковольтным оборудованием КА. Оптические помехи, влияние на прием и передачу радиосигналов, помехи в цепях

питания и управления, тепловое, силовое, загрязняющее, эрозийное воздействие на элементы КА.

- Микрометеороиды и частицы космического мусора. Пробой, выход из строя основных систем (приводящие к отказу всего КА); повреждения после ударов высокоскоростных фрагментов КМ, изменение режимов работы поврежденного элемента во времени; поверхностная деградация от ударов.

Срок функционирования в значительной степени зависит от конструктивных особенностей КА, используемых материалов и комплектующих. Степень воздействия космической среды на материалы и компоненты КА зависит от типов используемых материалов и компонентов, компоновки, продолжительности и условий эксплуатации (длительность, параметры орбиты, ориентация относительно воздействующих факторов, солнечный цикл, степень защиты) и т.д.

Для определения того, как длительное воздействие космических условий влияет на различные материалы и, таким образом, какие материалы лучше всего подходят для конструкции космических аппаратов, наиболее эффективно проведение экспонирования образцов - реальных испытаний в космосе. Так как, при испытаниях на воздействие космической среды в наземных лабораторных условиях, наиболее часто осуществляется имитация только одного воздействия, не имитируется совокупное воздействие окружающей среды (ФКП), не всегда точно имитируют рабочие характеристики или ухудшение, наблюдаемые в космической среде.

Но экспонирование, испытания материалов и элементов бортовой аппаратуры в космическом пространстве - это отложенные испытания, результаты могут быть получены только через длительный промежуток времени. Поэтому целесообразно создание измерительных комплексов позволяющих одновременно проводить экспериментальное измерение совокупности воздействующих ФКП, для учета возможного синергетического эффекта, и разработку наземных испытательных стендов моделирующих многофакторное воздействие.

На основании проведенного анализа сформирован перечень значимых ФКП, с точки зрения воздействия на материалы и элементы КА, и измеряемых параметров для системы контроля воздействия ФКП. С нашей точки зрения, система контроля воздействия ФКП должна осуществлять: измерение температуры, параметров УФ излучения, параметров плазменной среды, потоки ионов, электронов, атомарного кислорода, молекулярной составляющей, уровня ионизирующего излучения, распределение и параметры потоков твердых микрочастиц, изменения параметров оптических элементов в условиях воздействия космического пространства, контроль процессов сублимации и десублимации тонких пленок на элементах поверхности.

Контроль воздействующих факторов обеспечивает: возможность создания профилей воздействия для наземного экспериментального моделирования; возможность прогнозирования деградации поверхности (структуры) материалов и элементов; возможность создания модели предсказания воздействия космической среды для выбранных параметров орбитального движения; Возможность управления воздействующими потоками за счет изменения ориентации и параметров орбитального движения, что позволяет усреднить воздействие и продлить сроки функционирования с заданными характеристиками.

В соответствии с представленными материалами можно определить состав приборного комплекса. Элементы приборного комплекса длительное время разрабатываются в институте космического приборостроения Самарского университета, основные технические характеристики и принцип действия приведены в публикациях [13-18].

#### Список использованных источников

1. Модель космоса, научно-информационное издание, Физические условия в космическом пространстве, в 2 томах, том 1, Под. ред. Панасюка М.И., Новикова Л.С., 2007.С. 873

2. Модель космоса, научно-информационное издание, Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов в 2 томах, том 2, Под. ред. Панасюка М.И., Новикова Л.С., 2007. С.1145

3. Miria M. FinckenorKim K. de Groh This International Space Station (ISS) Researcher's Guide is published by the NASA ISS Program Science Office. // National Aeronautics and Space Administration 2015, С. 38

4. ESA'S Annual space environment report, ESA Space Debris Office 22 April 2022 Issue/Revision 6.0, GEN-DB-LOG-00288-OPS-SD S. 120.

5. Акишин А. И., Новиков Л. С. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. – М.: Знание, 1983. – 64 с

6. Железняков А. Б. Космическая деятельность стран мира в 2017 году Инновации № 2 (232), 2018 С. 7-14.

7. А.Г. Галеев, Ю.В. Захаров, В.П. Макаров, В.В. Родченко.Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки объектов ракетно-космической техники / – М.: Издательство МАИ, 2014. – 283 с.: ил.

8. В.В. Хегай, В.П. Ким, Р.В. Широков, А.В. Карелин.Параметры плазмы околоземной космической среды в области низких спутниковых орбит для оценки её возможного влияния на ракетно-космическую технику// Вопросы электромеханики Т. 138. 2014 С. 21-24.

9. Hideto Mashidori, Minoru Iwasa, Atsushi Wada, Kumi Nitta, Masayuki Nomura and Kazuhiro Toyoda Preliminary ESD Ground Tests on Meter-Class Solar Panels in Simulated GEO Environments // 4th Space Environment Symposium, Tokyo, 2008 С. 117-120.

10. Новиков Л.С., Черник В.Н. Применение плазменных ускорителей в космическом материаловедении. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008. – 90 с.

11. П. П. Храпцов, О. Г. Пенязьков, В. А. Васецкий, В. М. Грищенко, А. И. Махнач, И. А. Ших. Двухступенчатая легкогазовая магнитоплазменная метательная установка для баллистических испытаний в условиях глубокого вакуума // Доклады Национальной академии наук Беларуси 2015 март–апрель Том 59 № 2 С. 99-104.

12. Новиков Л.С. Воздействие твердых частиц естественного и искусственного происхождения на космические аппараты. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2009. – 104 с.

13. Voronov K.E., Piyakov I.V., Kalaev M.P. etc. Investigation of the Operation of the Flight Detector of High-Speed Charged Microparticles for a Time-of-Flight Mass Spectrometer // Instruments and Experimental Techniques 2023. — Vol. 66. Issue 6. № 6. — P. 1018-1024

14. Semkin N. D. , Telegin A.M., Voronov K.E. Registering the elemental composition of micrometeoroids and debris // Astrophysics and Space Science Proceedings. — 2013. — Vol. 32. — P. 263-270.

15. Semkin N. D. , Novikov L.S., Voronov K.E. etc. Physical effects during micrometeoroid particles' high-velocity impacts on metal-dielectric-metal film structures // AIP Conference Proceedings. — 2009. — Vol. 1087. — P. 572-576.

16. Воронов К.Е., Телегин А.М., Леонович Г.И. и др. Перспективные направления построения бортовых систем контроля электризации поверхности КА // Всероссийская научно-техническая конференция "Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций". — 2023. — С. 13-18

17. Воронов К.Е., Григорьев Д.П., Телегин А.М. Экспериментальный стенд для контроля поверхности космического аппарата на базе пьезодатчиков // Всероссийская научно-техническая конференция "Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций" . — 2021. — С. 56-57

18. Авдеев В.А. , Воронов К.Е. Расчет концентрации молекул воздуха в зоне утечки из герметизированного модуля космической станции // ВНТК "Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций". — 2018. — С. 147-149

Воронов Константин Евгеньевич, к. т. н., доцент кафедры РЭС, директор института космического приборостроения. E-mail: voronov.ke@ssau.ru.

УДК 621.396.43

## **МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИНИЙ СВЯЗИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ**

А.Ю. Барабошин, Д.В. Лучин  
Филиал ФГБУ НИИР — СОНИИР, г. Самара

**Ключевые слова:** перспективные телекоммуникационные системы, тропосферная радиосвязь.

Современные телекоммуникационные решения характеризуются появлением новых информационных приложений, таких как видео высокой четкости, мультимедиа с эффектом присутствия и других, основанных на применении мобильной широкополосной связи, а также смещением тренда информационного обслуживания в сторону организации автоматического