

## ВЫВОДЫ

В ходе математического моделирования было выявлено, что кварцевые микровесы с большой точностью измеряют унос массы вещества с поверхности кварцевой пластины, а, следовательно, была подтверждена обоснованность выбора данного метода. Так же было выявлено, что атомарный кислород в долгосрочных космических миссиях агрессивно влияет на полиимиды - в частности каптон, что ставит задачу поиска новых защитных материалов.

Список использованных источников

1. Verker, R. Residual stress effect on degradation of polyimide under simulated hypervelocity space debris and atomic oxygen [Текст]/R. Verker//Polymer. - 2007. - №48. - С. 19-24.
2. Silverman, Edward M. Space environment effects on spacecraft: LEO materials selection guide [Текст]/Edward M. Silverman/NASA Contractor report 4661 - 1995.
3. Kurtz, O. Quartz crystal microbalance used to characterize electrochemical metal deposition[Текст]/Olaf Kurtz//JEPT. - 2010. - №5.
4. Bousser, E. In situ, real-time solid particle erosion testing methodology for hard protective coatings[Текст]/Etienne Bousser//Surface&Coating, Technology. - 2013. - №237.

УДК 621.78:621.311:621.317

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТОВ ЭВТИ ПРИ ЗАЩИТЕ БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ФАКТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

Р.А. Помельников, А.В Костин, В.С. Бозриков  
АО «РКЦ «Прогресс»

Установлено, что во время полета на космических аппаратах (КА) накапливаются электрические заряды. Опыт эксплуатации отечественных и американских геостационарных спутников показал, что в работе бортовой аппаратуры наблюдаются аномалии и сбои.

Так, на искусственном спутнике Земли (ИСЗ.) DSCS-2 имели место самопроизвольные срабатывания генераторов напряжения логических схем блоков управления. На ИСЗ «Интелсат-3» возникали сбои в системах управления антенной. На ИСЗ «Радуга» происходили нарушения в работе электроники датчика системы ориентации инфракрасного построителя местной вертикали. Известны и другие случаи нарушения нормальной

работы бортовых систем ИСЗ, большая часть которых эксплуатировалась на геостационарных и высоких эллиптических орбитах.

Электростатический заряд на изделиях РКТ возникает не только при движении КА на геостационарной орбите, но и в первые минуты старта, когда КА находится на начальном участке траектории, т.е. в плотных слоях атмосферы.

В результате изучения и анализа причин наблюдавшихся нарушений и сбоев в работе бортовой аппаратуры КА было установлено, что причиной этих нарушений является образование электростатических зарядов на поверхности КА, и возникновение электростатических пробоев (разрядов) между элементами конструкции КА, что приводит к сбоям в работе аппаратуры. В дальнейшем были поставлены специальные исследования электризации на ИСЗ ATS-5 и ATS-6 и было экспериментально показано, что на КА действительно возникают электростатические заряды с разностью потенциалов до 20 кВ. Из анализа, имеющихся в литературе данных следует, что космические аппараты заряжаются статическим электричеством практически на всей траектории полета.

Электростатические разряды (ЭСР) вызывают электромагнитные помехи (ЭМП). Основным рецептором этих помех является бортовая кабельная сеть (БКС) КА. ЭМП наводят ЭДС помех в БКС, которые воздействуют на входы бортовой аппаратуры (БА) КА и могут вызвать неправильную работу последней или даже отказ.

В ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» были проведены исследование помех наводимых в кабелях типовой конструкции, а именно:

- неэкранированная двухпроводная не витая линия;
- экранированная двухпроводная не витая линия;
- экранированная с двойным экраном не витая линия;
- неэкранированная двухпроводная витая линия;
- экранированная двухпроводная витая линия.

Измерения проводились на активной нагрузке 50 Ом, подключаемой к вышеуказанным линиям. Длина типовых кабелей составляла 2,5 м. Кабели изготавливались из провода МС16-33-ОС-0,35, как наиболее часто применяемые в космическом аппаратостроении. Экраны кабелей были изготовлены из плетёнки ПМЛ. При измерении помех в экранированных кабелях экраны кабелей заземлялись через перемычки металлизации кабелей на пластину заземления (медный лист). Пластина заземления подключалась к общему контуру заземления.

Одним из способов дополнительного экранирования БКС на КА это применение металлизированной ткани арт.56041М, входящей в состав ЭВТИ. По этой причине измерения проводились сначала без металлизированной ткани, затем с укрытием кабелей тканью

металлизированной. Металлизированная ткань заземлялась на пластину заземления непосредственным контактом.

Для обеспечения чистоты эксперимента измерения проводились в безэховой камере. В качестве источника ЭСР использовался генератор электростатического разряда (ГЭР). Амплитуда разрядного импульса 20 кВ. Частота разрядов 50 Гц. Расстояние между электродами разрядника 1 см. Минимальное расстояние между кабелем и разрядником 3 см. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что напряжения помех в БКС расположенного на внешне поверхности КА может достигать существенных значений (до 280 В). При полученных длительностях импульсов может привести не только к сбою в работе БА, но и даже к необратимым отказам. Однако, даже неэкранированный кабель проложенный по внешней поверхности КА и закрытый матами ЭВТИ оказывается достаточно защищённым от помех. Это видно из результатов проведённого эксперимента, напряжение помехи в кабелях закрытых матами ЭВТИ существенно ниже (до 33,4 дБ.), чем в таких же не закрытых кабелях (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Кабель	Напряжение помехи, В (верхний предел)	Напряжение помехи, В (нижний предел)	$t_n$ , нс	$t_3 + t_n$ , нс
Линия неэкранированная не закрываемая ЭВТИ	280	-280	100	1000
Линия неэкранированная закрываемая ЭВТИ	6	-6	100	1000
Линия экранированная не закрываемая ЭВТИ	72	-72	100	1000
Линия экранированная закрываемая ЭВТИ	5,2	-5,2	100	1000
Витая экранированная линия не закрываемая ЭВТИ	216	-216	100	1000
Витая экранированная линия закрываемая ЭВТИ	5,8	-5,8	100	1000
Витая линия неэкранированная не закрываемая ЭВТИ	236	-236	100	1000
Витая линия неэкранированная закрываемая ЭВТИ	18,4	-18,4	100	1000

Последнее говорит о том, что маты ЭВТИ обладают значительным экранирующим эффектом и позволяют защитить БКС помех вызванных

факторами ЭСР. Из этого следует, что желательно прокладывать все внешние кабели под матами ЭВТИ и избегать незащищённых участков.

Полученные в процессе исследования значения помех можно также использовать для грубой оценки уровня помех наводимых в БКС, но для этого необходимо учитывать, что на реальных КА разности потенциалов электризуемых поверхностей могут быть меньше 20 кВ. Тогда напряжение наведённой помехи определяется по формуле

$$U = E \frac{C_2}{C_2 + C_1},$$

где  $U$  – напряжение помехи наведённой в кабеле,  $E$  – ЭДС источника помехи,  $C_1$  – ёмкость между кабелем и пластиной заземления,  $C_2$  – ёмкость между источником помехи и кабелем. Если конфигурация системы сохраняется, то  $C_1$ ,  $C_2$  не изменяются.

УДК 621.78:629.7.05

### **АНАЛИЗ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ, НАВЕДЁННЫХ В БОРТОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ**

А.В. Костин, В.С. Бозриков

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

Космическая техника развивается в сторону увеличения срока активного существования, расширения функциональных возможностей, снижение габаритов и массы. Такая тенденция привела к необходимости применения полупроводниковых приборов с высоким быстродействием. В отличие от электромагнитных реле, программных механизмов и полупроводниковых приборов с низких быстродействием они более чувствительны к помехам, вызванным различными явлениями (как природного, так и антропогенного характера). Одним из таких явлений природы является электризация космического аппарата (КА). В результате электризации неметаллизированные элементы конструкции заряжаются таким образом, что между ними образуются разности потенциалов [1-3]. Эти разности потенциалов достигают значений 20 кВ [3]. Последнее приводит к возникновению электростатических разрядов (ЭСР). ЭСР порождают импульсное электромагнитное поле, которое воздействует как на бортовую аппаратуру (БА), так и на бортовую кабельную сеть (БКС), вызывая наводки. Наводки в БКС также воздействуют на входы БА КА и