

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОСМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОБСТВЕННОЙ ВНЕШНЕЙ АТМОСФЕРЫ АППАРАТА

А.И. Акишин

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцина
(119889, Москва, Воробьевы горы,
E-mail: akishin@hep.sinp.msu.ru)

The optical equipment can be degraded when molecular films and particles are deposited on mirrors and windows. The main element of contamination is silicon. It is observed on all samples. The contamination environment of spacecraft can give the illumination.

При функционировании в околоземном и межпланетном пространстве космические аппараты (КА) создают вокруг себя собственную внешнюю атмосферу (СВА), образуемую из-за дегазации и сублимации конструкционных материалов, особенно внешних поверхностей, неизбежных утечек газа из гермоотсеков, выхлопных продуктов реактивных двигателей, а также различного рода пылевых частиц. Причем часть молекул, атомов и пылинок собственной атмосферы КА находится в заряженном состоянии. Характеристики ионно-газо-пылевой атмосферы зависят от активности различных агрегатов КА, работа которых связана с выбросом массы или механическими возмущениями обшивки корабля. Продукты СВА КА довольно долго сопровождают его в полете, образуя облако газа и частиц, которое рассеивает солнечный свет, что может мешать ориентации КА, наблюдениям неярких источников света, а также наблюдениям рассеянного ультрафиолетового излучения Солнца. Пылевые частицы (10-100мкм) могут рассеивать свет Солнца и иметь яркость, сравнимую с яркостью звезд первой величины. Помимо этого ионы, атомы и молекулы СВА КА, осаждаясь на внешних поверхностях, сильно изменяют физические свойства последних. Особенно чувствительны к загрязнению оптические поверхности (иллюминаторы, внешние линзы телескопов, бленды, терморегулирующие покрытия и др.), электрические устройства, солнечные элементы. СВА КА превратилась в серьезную проблему физики и техники космических полетов [1-5].

На частицы СВА КА действуют силы аэрокосмического торможения остаточной атмосферы Земли, давление солнечного ветра, давление света, электростатические и электромагнитные, а также гравитационные силы. В системе



координат, связанной с КА, эжектируемая сферическая частица радиуса r может быть охарактеризована двумя компонентами скорости: в направлении против тормозящей силы V и в направлении перпендикулярной ей W (рис. 1) [1,2].

При полете КА на низких орбитах (300-500 км.) доминирует аэродинамическое торможение частиц СВА, а на синхронных ($h = 3,6 \times 10^4$ км) и межпланетных орбитах важно давление солнечного света и солнечного ветра. При начальной скорости выброса частиц с $v_0 = 7$ м/с и радиуса $r = 100$ мкм характерное время пребывания ее в СВА КА, на высоте $h = 160$ км, $t \sim 17$ с, а на $h = 320$ км, $t \sim 400$ с, при $h = 3,6 \times 10^4$ км, $t \sim 2 \times 10^5$ с. Характерные размеры облака частиц СВА могут достигать сотни метров [1,2].

При использовании на борту КА плазменных и ионных ракетных двигателей возникают условия для загрязнения внешних поверхностей соседних устройств, например солнечных батарей, продуктами распыления материалов от струй двигателей. Одновременно эти продукты будут попадать в облако СВА [1-5].

При космическом полете и при испытании в имитационных установках на поверхности оборудования КА (зеркальные поверхности, оптические элементы и т.д.) оседают потоки молекул и твердых микрочастиц, выделяющихся из конструкционных материалов, оборудования, которые загрязняют поверхности, изменяют их рабочие характеристики. Образующаяся вокруг КА СВА, имеет состав, резко отличающийся от состава верхней невозмущенной атмосферы Земли.

Состав СВА различен в условиях космического полета и при испытании в имитационной вакуумной камере из-за технологических загрязнений последней. Это обстоятельство необходимо учитывать при оценке влияния воздействия продуктов СВА на работоспособность аппаратуры.

Для анализа загрязняющих соединений СВА, применяются разнообразные методы [1,2,5,6]. Перенос газообразных загрязнений от источника на внешние поверхности корабля может определяться их фотоионизацией с последующим отклонением ионов электростатическими полями, присутствующими как на всем КА, так и локально на его внешних диэлектрических поверхностях.

На борту КА «ОГО-6» измерялась скорость загрязнения поверхностей при дегазации, а также скорости их очищения за счет распыления и десорбции от ионосферных частиц в течение шести месяцев пребывания станции на орбите с высотой от 400 до 1100 км) [1,2]. Измерения осуществлялись с помощью кварцевых микровесов. Постоянная времени экспоненциального уменьшения дегазации низколетучих материалов составляет около 1000ч. Максимум загрязнения, адсорбированного поверхностями, не защищенными от прямого потока дегазации, достигался после пяти месяцев пребывания станции на орбите и составлял 10^{-4} кг/м² для алюминиевой поверхности (больше 50 монослоев загрязнений) и 5×10^{-5} кг/м² для золота. Поверхностные загрязнения очищались десорбцией со скоростью $\sim 10^{-12}$ кг/м².с и распылялись под ударами атомов и ионов верхней атмосферы Земли со скоростью 2×10^{-12}

кг/м².с [1,2]. Основным источником загрязнения внешних поверхностей КК «Скайлэб» служила дегазация неметаллических покрытий и продукты выхлопа ракетных двигателей [1,2].

Наибольшие загрязнения от продуктов выхлопа ракетных двигателей имело место во время стыковки транспортного КК «Аполлон» с космической станцией «Скайлэб». При этом скорость нарастания осадений на датчиках космической станции, обращенных в сторону источника загрязнений, т.е. в сторону «Аполлона», оказалась $6,8 \times 10^{-11}$ кг/м².с. Ракетные двигатели корабля работали на жидком двухкомпонентном топливе – монометилгидразине (ММГ) с окислителем – четырехокисью азота (N₂O₄). Деграция белых терморегулирующих покрытий, связанная с увеличением их коэффициента поглощения солнечного излучения, α_s , объясняется главным образом взаимодействием ультрафиолетового излучения Солнца со слоем загрязнения, толщина которого была около 0,5 мкм за 131 день экспозиции. Наблюдения астронавтов [1,2] подтверждают, что все облученные Солнцем белые краски на внешней стороне КК «Скайлэб» изменяли свой цвет на различные оттенки желтого и коричневого.

Поверхностное загрязнение 60 образцов различных материалов было исследовано на космической станции «Мир» в течение 997 суток в период 21.09.1993 – 13.06.1996 [8]. Основные результаты эксперимента следующие:

Исследована скорость оседания загрязнений на образцы разных материалов с помощью высокочастотных кварцевых резонаторов: $0,5 \times 10^{-10}$ г/см².с - в период 31.08.1995 – 08.09.1995; 1×10^{-12} г/см².с - в период 08.09.1995 – 26.12.1995; $0,1 \times 10^{-12}$ г/см².с - в период 26.12.1995 – 26.12.1996. Толщина загрязнений колебалась от 2 нм до 100 мкм, площадь загрязнений составляла от нескольких десятков квадратных см. до сотен квадратных мкм. Основным элементом загрязнений является кремний [8].

Нарушения работоспособности оптических приборов КА могут вызываться увеличением светового фона из-за свечения СВА КА при срабатывании реактивных двигателей ориентации и стабилизации, часто работающих на сжатом газе, который, выходя из сопла двигателя, расширяется в вакуум. При этом могут возникать условия, когда часть расширяющегося газа превращается в жидкие капли или кристаллики.

На молекулы газовой струи ракетного двигателя падает световое излучение Солнца, электроны, протоны солнечного ветра или радиационных поясов Земли, в результате молекулы газа в струе возбуждаются, а поскольку плотность газа в струе мала и столкновений почти не происходит, то это возбуждение снимается в основном при переизлучении возбужденных молекул газа в виде света. Хотя прямой свет Солнца и не попадает на объектив какого-либо прибора, но переизлученный молекулами газовой струи свет может попасть на него. На рис.2 показано рассеяние солнечного света на СВА «Аполлон», а на

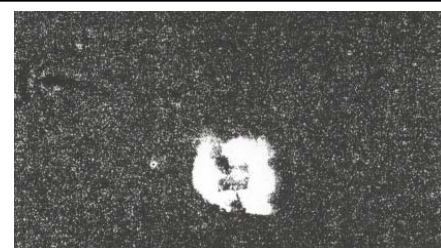


Рис. 2. Рассеяние света Солнца на СВА КК «Аполлон» [1,2]

рис.3 изображено рассеяние солнечного света на частицах выхлопных струй двигателей ориентации КК «Аполлон» [1,2].

В виде примера приведена оценка свечения струи азота от реактивного двигателя со сжатым газом. Расход газа в двигателе $R = 10^{-2}$ кг/с, ось зрения телескопа и ось газовой струи параллельны; расстояние между соплом и объективом телескопа $b = 1$ м. Расчет дает [1,6,7] следующие величины относительной яркости V/V_0 свечения струи газообразного азота в спектральном диапазоне 300-600 нм: 8×10^{-16} – от молекулярного рассеяния света от струи азота под углом 90° ; 5×10^{-13} – от флуоресценции струи азота; 5×10^{-14} – от свечения азота под воздействием протонов солнечного ветра; 5×10^{-13} – от свечения азота под воздействием электронов солнечного ветра. Здесь V_0 – средняя яркость солнечного диска. Общая относительная яркость свечения струи газообразного азота при выбранных параметрах и его расположении на КА соответствует: $V/V_0 = 10^{-12}$ [1,6,7]. В работах [1,6,7] оценено рассеяние света от капель или кристалликов, зарожденных в расширяющейся струе азота.



Рис.3. Рассеяние света Солнца на частицах выхлопных струй двигателей ориентации КК «Аполлон» [1,2]

В этом случае максимальный радиус последних оценивается в 8×10^{-9} м и конденсируется примерно 10% общей массы азота, при этом масса капли будет равна $1,7 \times 10^{-21}$ кг. Средняя относительная яркость рассеянного солнечного света на сконденсировавшихся каплях азота в спектральном интервале 300-600 нм с углом $\theta=90$ составляет: $V/V_0 = 4 \times 10^{-12}$

Суммируя относительные яркости молекулярного свечения азота и рассеянного солнечного света от капель, получаем в направлении, перпендикулярном к направлению на Солнце: $V/V_0 = 5 \times 10^{-12}$ [1, 6, 7].

Приведенный пример ясно показывает, что при постановке экспериментов на борту КА по спектральному определению плотности межпланетных или межзвездных элементов необходимо учитывать влияние СВА КА.

1. А.И.Акишин, Н.М.Дунаев., В.В.Константинова., В.А.Расторгуев, С.А.Савченко., А.Н.Симонов, С.А.Камышков, Л.В.Конаныкин, Ю.А.Попов,С.В.Яшин. Атмосфера, создаваемая космическим аппаратом, и ее влияние на работоспособность бортовой аппаратуры. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н.Вернова, т.2, М., НИИЯФ МГУ, 1983, с.244-309
2. А.И.Акишин, Н.М.Дунаев,В.В.Константинова. Собственная атмосфера космических аппаратов и ее влияние на бортовые приборы, и технологию в космосе. Космическое материаловедение и технология. М, Наука.1977,с.65-77.
3. А.И.Акишин, Л.С.Новиков. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. М., Знание, 1983/4, с.64
4. А.И.Акишин, Л.С.Новиков, В.Н.Черник. Воздействие на материалы и элементы оборудования космических аппаратов вакуума, частиц ионосферной плазмы и солнечного у/ф - излучения. В кн. Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия под ред. Л.С.Новикова, М.И.Панасюка, М., ЭНЦИТЕХ.: 2000, с.100-138
5. А.И.Акишин, В.С.Зазулин, Контроль толщины пленок, получаемых в вакууме, кварцевым резонатором // Приборы и техника эксперимента. 1963, №1, с.152-154.

6. Н.М.Дунаев, А.И.Акишин, В.В.Константинова. Рассеяние света средой, создаваемой космическим аппаратом // Космические исследования, 1972, т.Х, вып.4, с.580-588
7. А.И.Акишин. Воздействие собственной внешней атмосферы космических аппаратов на их материалы и оборудование.// Перспективные материалы, 2007, №2, с.14-22.
8. V.E.Scurat., G.D.Tansyrev , N.G.Beriozkina , A.V.Volkov A.N.Jigatch , I.O.Leipuksky , P.A.Pshenichnikov ,P.V.Samsonov , V.P.Toropov ,S.A. Demigod., S.F.Naumov , S.P.Sokolova . Surface Contamination of Some Materials of the Space Station “MIR” // High Performance Polymers, 2001, v.13, p.337-353.