

ВОЗДЕЙСТВИЕ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Анастасия Александровна Елисеева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, тел. (953)770-88-68, e-mail: enastusiya@gmail.com

Елизавета Геннадьевна Бобылева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

Данная работа посвящена выявлению наиболее опасных факторов влияния космического пространства на оптические материалы, используемые в летательных аппаратах. Путем сбора и синтеза информации составлена информационная модель системы «фактор-оптика-противодействие». Полученные знания структурированы и приведены в упрощенной, понятной и доступной форме.

Ключевые слова: космическое пространство, факторы воздействия, оптические материалы

AFFECT OF OUTERSPACE ON OPTICAL MATERIALS

Anastasiya A. Eliseeva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (953)770-88-68, e-mail: enastusiya@gmail.com

Elizabeth G. Bobyleva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

This paper is devoted to identification of the most dangerous factors of outer space influence on optical materials used in aircraft. By collecting and synthesizing information, an information model of the "factor – optics – counteraction" system is compiled. The acquired knowledge is structured and presented in a simplified, understandable and accessible form.

Keywords: outer space, impact factors, optical materials

Введение

Идет шестьдесят третий год космической эры: люди вышли за пределы атмосферы и успешно осваивают все новые космические территории. Но космос непредсказуем, поэтому ученым перед отправкой космических аппаратов (КА) за пределы атмосферы Земли нужно проводить специальные технологические операции с оптическими материалами, используемыми в этих аппаратах. В ста-

ть, как синоним понятия «Оптические материалы», будет использоваться термин «Стекло».

На сегодняшний день стекло несет не только защитную функцию, оно является универсальным материалом, гибким и прочным, но, в то же время, остается хрупким. Стекло способно перемещать информацию на высоких скоростях, позволяет создавать устройства, которые настолько же сложны, насколько красивы. Стекло преобразует повседневные поверхности и обеспечивает исключительные преимущества. Взаимодействие перечисленных характеристик стекла и факторов космоса обуславливает актуальность рассматриваемой темы.

Основным источником информации для данной работы является пособие по космическому материаловедению Л. С. Новикова, в котором приведены сведения об условиях функционирования КА в разных областях космического пространства, описаны характеристики различных составляющих космической среды, проанализированы физические механизмы их воздействия на материалы и элементы оборудования. Эта информация также подкрепляется работами по космическому материаловедению А. И. Акишина и по оптическому материаловедению В. С. Постникова. Задействована информация из множества статей журнала «Космическая техника и технологии» [7–10].

Целью работы является определение видов воздействия факторов космического пространства на оптические материалы иллюминаторов КА.

Задачи:

- изучить литературу, собрать базовую информацию по исследуемой теме;
- провести анализ влияния факторов космического пространства на оптические материалы;
- классифицировать факторы космической среды;
- провести аналогии и синтезировать факторы космического пространства, как комплекс при воздействии на материалы.

Методы и материалы

Методологическая основа работы включает сбор данных, их анализ, классификацию, синтез, аналогию и моделирование.

Первый этап подготовки к написанию статьи – набор информационной базы, сбор данных. Сведения, на которых базируется данная работа, взяты из печатных текстов (книг, научных работ), электронных ресурсов. Проведена выборка достоверной информации.

Вторым этапом следует анализ всего объема информации и его структурирование, классификация факторов космического пространства по признаку вызываемого эффекта.

Следующий этап – синтез полученных знаний в общность факторов воздействия путем сравнения факторов по различным признакам.

Заключительным этапом выступает информационное моделирование действующих КА и воздействие на них факторов космического пространства.

Теоретические сведения

Оптические материалы – это кристаллические или аморфные материалы, предназначенные для передачи или преобразования света на различных участках спектрального диапазона [5, с. 10].

Они могут быть как конструкционными (несущими механические нагрузки), так и функциональными (имеющими определенные характеристики). Последние можно назвать «интеллектуальными» материалами, способными изменять свои свойства с изменением окружающего пространства, что актуально для космоса [3, с. 61].

Факторы космического полета можно классифицировать по охвату изменений на глобальные, из-за которых происходят изменения потоков во всем космическом пространстве, и локальные, которые зависят от особенностей траектории и конструкции КА [6].

Возможна классификация по природе воздействующих частиц: твердые (микрометеороиды и космический мусор), частицы высокой энергии (позитроны, протоны [2, с. 15]), элементарные частицы (фотон, квант). По вызываемому эффекту: радиационные (радиационное окрашивание), механические (трещины, царапины), электрические (заряжение материалов, объемные разряды), энергетические (нагрев, фотоэлектронная эмиссия). Факторы воздействия также можно классифицировать по локализации и происхождению: в атмосфере Земли, в межпланетном пространстве, в магнитосфере, в собственной атмосфере КА и в околоземном пространстве.

По Л.С. Новикову выделяется 11 факторов космического пространства: потоки нейтральных атомов, электромагнитное солнечное излучение, холодная плазма, плазма межпланетного пространства, горячая магнитосферная плазма, электроны и ионы радиационных поясов Земли (РПЗ), протоны солнечных вспышек, потоки ядер высоких энергий, потоки твердых частиц и тел, вторичные (индуцированные) факторы [3, с. 48]. Данная работа опирается на оптические материалы, потому далее рассматриваются наиболее агрессивные факторы по отношению к стеклу.

Первым фактором являются потоки твердых частиц. Твердые частицы в космосе могут быть естественными (газопылевые оболочки ядер комет) и искусственными (космический мусор). Искусственные потоки наиболее опасны для оптических материалов, которые являются твердыми, но хрупкими. Поэтому функциональные возможности иллюминаторов КА напрямую зависят от качества поверхности стекла, которую может повредить или разрушить столкновение с твердыми частицами.

Второй фактор – объемные разряды в радиационно-заряженных диэлектриках (в рассматриваемом случае – в стекле). При облучении стекла заряженными частицами может возникать их радиационное заряджение [1, с. 45]. Источником таких частиц может стать ионизированный газ, частицы РПЗ. Если напряженность электрического поля, создаваемого в объеме облученного диэлектрика внедренным зарядом, превысит электрическую прочность диэлек-

трика, то произойдет электрический пробой диэлектрика на его поверхности с образованием разветвленного разрядного канала – фигуры Лихтенберга. Электрический разряд может способствовать пробое, который ведет к разрушению стекла [1, с. 67].

В случае бомбардировки твердыми частицами диэлектриков, подвергшихся облучению электронами, удары частиц могут инициировать электрические разряды в объеме диэлектрика, сопровождающиеся образованием характерных разрядных фигур. Такое совместное, причем не обязательно одновременное воздействие на диэлектрики электронов радиационных поясов и твердых микрочастиц может являться причиной значительного ускорения ухудшения их механических и оптических характеристик.

К третьему фактору можно отнести корпускулярные излучения. При воздействии космических ионизирующих излучений происходит деградация оптических материалов, возникают радиолюминесценция, радиационные центры окраски [8] и внедренный заряд.

Завершающий основной фактор – это электромагнитное солнечное излучение. Излучение с длинами волн менее 200 нм называется вакуумным ультрафиолетовым излучением (ВУФ). ВУФ распространяется только в вакууме и способствует разрыву молекулярных связей в материалах, что приводит к изменению свойств материалов, потере массы и фотоэлектронной эмиссии.

Какие предпринимаются меры для снижения воздействия вышеперечисленных факторов на стекла КА на практике?

Действующий модуль Международной космической станции (МКС) «Купол» представляет собой панорамный вид из семи объединенных иллюминаторов: одного круглого иллюминатора в центре и шести иллюминаторов в форме трапеций вокруг него. Для защиты модуля от метеороидных потоков иллюминаторы оборудованы крышками из сплава алюминия и нейлоновой ткани. На иллюминаторы нанесено многослойное изоляционное покрытие из позолоченного каптона. Стекла для иллюминаторов изготовлены из плавленого кремнезема и боросиликатного стекла [11].

В российский сегмент МКС «Звезда», отвечающий за жизнеобеспечение космонавтов в открытом пространстве, встроены 13 иллюминаторов из стекла марки КВ [7]. Снаружи корпус рабочего отсека закрыт многослойной экранно-вакуумной теплоизоляцией. На цилиндрических частях установлены радиаторы, которые выполняют также функции противометеоритных экранов. Незащищенные радиаторами участки закрыты углепластиковыми экранами сотовой конструкции.

Результаты

В результате выполненной работы выявлены основные факторы космического пространства и вызываемые ими дефекты, представленные в табл. 1.

Таблица 1

**Агрессивные факторы космического пространства
и вызываемые ими дефекты**

Фактор воздействия космического пространства	Вызываемые дефекты
Потоки твердых частиц и тел	Образование кратеров, трещин, царапин, эрозия поверхности, сквозные пробои стенок
Электромагнитное солнечное излучение	Потери массы, изменение свойств, нагрев материалов. Фотоэлектронная эмиссия
Заряженные частицы: частицы РПЗ, галактические космические лучи, солнечные космические лучи	Радиационное окрашивание, заряджение материала, возникновение объемных разрядов и образование фигур Лихтенберга
Плазма	Заряджение материалов, радиационные эффекты, свечение в окрестности КА (люминесценция), возникновение токов утечки, снижение прозрачности, сублимация материала
Потоки нейтральных атомов	Сублимация, эрозия и потеря массы материалов
Вторичные факторы	Электрические разряды, паразитные сигналы, загрязнение поверхности, окисление и коррозия элементов оборудования

В табл. 2 смоделирована информационная система пролонгации оптического материала иллюминатора КА.

Таблица 2

Меры противодействия агрессивным факторам

Фактор воздействия космического пространства	Меры противодействия
Потоки твердых частиц и тел	<ul style="list-style-type: none"> – закалка; – травление; – нанесение противоударных покрытий; – использование заслонок / крышек
Электромагнитное солнечное излучение	<ul style="list-style-type: none"> – введение в состав материалов оксидов и нитридов металлов, бора, кремния, свинца; – нанесение пленок из вольфрама, молибдена; – нанесение светоделительных покрытий;
Воздействие заряженных частиц	<ul style="list-style-type: none"> – добавление церия; – проведение отжига при подготовке; – использование радиационно-устойчивых, боро- и силиконофосфатных стекол

Заключение

Основные результаты работы – классификация факторов воздействия космического пространства и предложенная модель по продлению срока эксплуатации иллюминатора КА.

Детально рассмотрено воздействие спектра факторов на реально применяемые оптические материалы в КА. Данные работы можно применять в качестве справочного материала и ссылаться на них при анализе оптических систем в агрессивной космической среде, при подготовке КА к полету в космос. Впоследствии результаты исследования могут быть использованы в качестве базиса для работы более детального характера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акишин А. И. Космическое материаловедение : учеб. пособие. – М. : НИИЯФ МГУ, 2007. – 209 с.
2. Арбузов В. И. Основы радиационного оптического материаловедения : учеб. пособие. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2008. – 284 с.
3. Новиков Л. С. Космическое материаловедение : учеб. пособие. – М. : Макс Пресс, 2014. – 448 с.
4. Немилов С. В. Оптическое материаловедение: Оптические стекла : учеб. пособие. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2011. – 175 с.
5. Постников В. С. Оптическое материаловедение : курс лекций. – Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2013. – 280 с.
6. Кузнецов Н. В. Радиационная опасность на околоземных орбитах и межпланетных траекториях космических аппаратов [Электронный ресурс]. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/crd/crd3.htm> (дата обращения: 04.05.2021)
7. Воробьев Ю. А., Магжанов Р. М., Семенов В. И., Устинов В. В., Фельдштейн В. А., Чернявский А. Г. Влияние высокоскоростных ударов метеороидов и частиц космического мусора на прочность стекол иллюминаторов модулей Международной космической станции [Электронный ресурс] / Журнал «Космическая техника и технологии». – 2015. – URL: <https://www.energia.ru/ktt/archive/2015/01-2015/01-05.pdf> (дата обращения: 04.05.2021)
8. Кузнецов В. Д. Космическая погода и риски космической деятельности [Электронный ресурс] / Журнал «Космическая техника и технологии». – 2014. – URL: <https://www.energia.ru/ktt/archive/2014/03-2014/03-01.pdf> (дата обращения: 04.05.2021)
9. Белоногов Г. В., Воробьев Ю. А., Гукало А. А., Магжанов Р. М., Соколова С. П., Цыганков О. С. Первый опыт очистки внешней поверхности остекления иллюминатора космического пилотируемого аппарата [Электронный ресурс] / Журнал «Космическая техника и технологии». – 2017. – URL: <https://www.energia.ru/ktt/archive/2017/02-2017/02-09.pdf> (дата обращения: 04.05.2021)
10. Марков А. В., Коношенко В. П., Беглов Р. И., Соколов В. Г., Горбенко А. В. Основные направления и результаты работ по защите российского сегмента МКС от метеороидов и космического мусора [Электронный ресурс] / Журнал «Космическая техника и технологии». – 2018. – URL: <https://www.energia.ru/ktt/archive/2018/04-2018/04-02.pdf> (дата обращения: 04.05.2021)
11. Cupola [Электронный ресурс] / The european space agency. – Режим доступа: <http://www.esa.int/>. – Загл. с экрана. (дата обращения: 04.05.2021)

© А. А. Елисеева, Е. Г. Бобылева, 2021