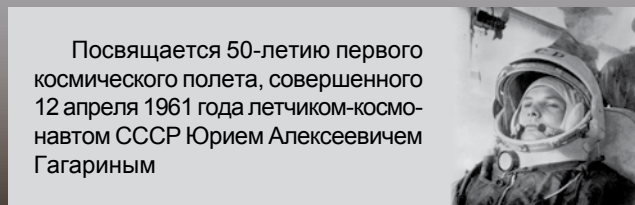


Ю.С. Капранов, начальник отдела ОАО «НПК «Системы прецизионного приборостроения»;
 Г.Э. Куфаль, канд. техн. наук, начальник сектора
 ОАО «НПК «Системы прецизионного приборостроения»;
 Ю.Т. Ларин, д-р техн. наук, директор научного направления,
 заведующий отделением, ОАО «ВНИИКП»;
 С.В. Перминов, адъюнкт Военной академии РВСН имени Петра Великого,
 начальник группы ОАО «НПК «Системы прецизионного приборостроения»

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ



Посвящается 50-летию первого космического полета, совершенного 12 апреля 1961 года летчиком-космонавтом СССР Юрием Алексеевичем Гагариным

Расширение объемов задач, решаемых современными космическими средствами при одновременном увеличении срока активного существования (САС) космических аппаратов (КА), потребовало от разработчиков космических комплексов новых подходов к организации бортовых систем информационного обмена с целью повышения надежности всего космического комплекса. По современным представлениям, масса бортовой кабельной сети (БКС) составляет от 6 до 10 % массы всего КА (без учета запаса топлива для двигателей ориентации и стабилизации), что является существенной величиной при выведении аппарата на орбиту [1].

Повышение надежности систем передачи информации на борту КА при одновременном снижении массы БКС может быть достигнуто путем широкого применения волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ).

В [2] уже рассматривались факторы, воздействующие на КА, работающие в условиях магнитосферы и плазмосферы Земли и связанные с этим проблемы. Подробно рассматривались факторы космического пространства, негативно влияющие на работоспособность радиоэлектронной аппаратуры на борту КА.

Кратко остановимся на них. Магнитосфера Земли, с учетом наличия внешнего (характеризующегося высокой концентрацией заряженных частиц, в основном, электронов) и внутреннего (образованного главным образом протонами) радиационных поясов Земли по отношению к аппаратуре КА представляет собой весьма агрессивную среду. Картина распределения протонов и электронов в плоскости геомагнитного экватора [3] представлена на рис. 1. Распределение захваченных частиц приведено в так называемых координатах Мак Илвайна (Carl McIlwain), первым предложившим их использование. В общем, классическом случае, точка в дипольном магнитном поле (например, в магнитосфере Земли) характеризуется двумя координатами (L , B), где L – так называемая магнитная оболочка, или параметр Мак Илвайна, B – магнитная индукция поля. За параметр магнитной оболочки обычно принимается величина L , равная отношению среднего удаления реальной магнитной оболочки от центра Земли в плоскости геомагнитного экватора к радиусу Земли. Иначе, на поверхности Земли параметр $L = 1$. На рис. 1 по оси ординат отложено не значение магнитной индукции (B), а плотность потока заряженных частиц N .

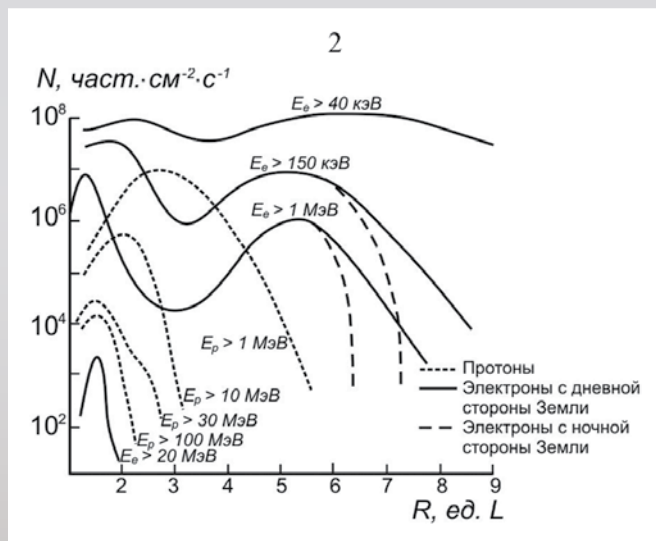
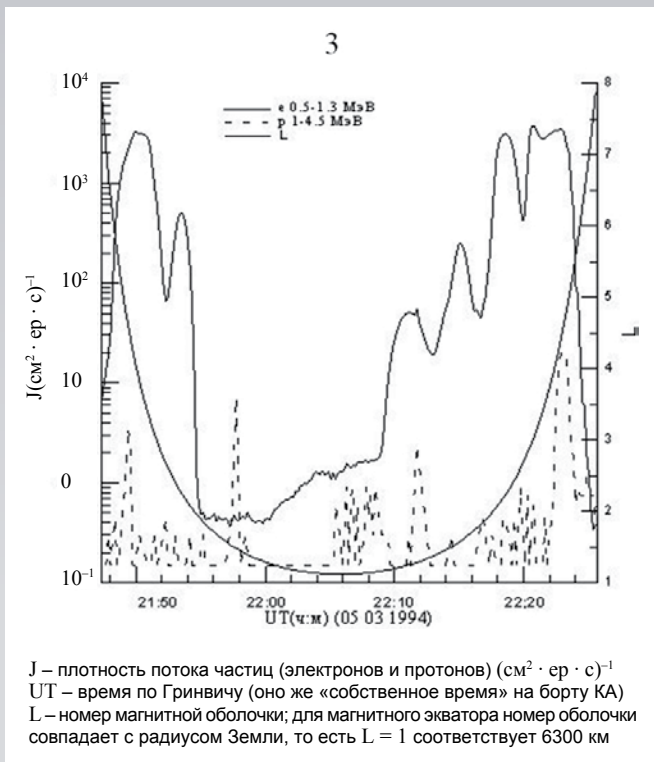


Рис. 1. Распределение захваченных частиц (N), соответствующее усредненному состоянию солнечной активности. Значения плотности потоков электронов и протонов различных энергий приведены в плоскости геомагнитного экватора. R – расстояние от центра Земли, выраженное в радиусах Земли. L – номер магнитной оболочки (параметр Мак Илвайна)

Орбиты космических аппаратов различного назначения пересекают практически все основные зоны верхней ионосферы, включая радиационные пояса планеты [2, 4]. Наиболее неблагоприятными в отношении радиационной опасности являются эллиптические высокоапогейные орбиты (для КА серии «Молния» $H_A \sim 39,6$ тыс. км, перигей ~ 500 км с наклоном 65°). H – высота орбиты над поверхностью



J – плотность потока частиц (электронов и протонов) ($\text{см}^2 \cdot \text{ер} \cdot \text{с}^{-1}$)
 UT – время по Гринвичу (оно же «собственное время» на борту КА)
 L – номер магнитной оболочки; для магнитного экватора номер оболочки совпадает с радиусом Земли, то есть $L = 1$ соответствует 6300 км

Рис. 2. Данные о потоках электронов и протонов на части высокоэллиптической орбиты КА ($L < 8$) при движении с севера на юг

Земли или расстояние от центра масс Земли до точки, в которой находится КА в данный момент времени. Здесь и далее параметр H определяет только основные точки околоземных орбит – апогей, максимальное расстояние от поверхности Земли, и перигей – минимальное расстояние от поверхности Земли, на котором пролегла орбита КА. Эти орбиты пересекают все основные структурные области внутренней магнитосферы: центр внутреннего радиационного пояса в районе геомагнитного экватора ($L = 1,5$), весь внешний радиационный пояс ($L = 3 - 7$) на средних геомагнитных широтах ($30^\circ - 50^\circ$), авроральную зону ($65^\circ - 70^\circ$) и область полярного каспа ($>70^\circ$). Рис. 2 иллюстрирует эту картину.

Исходя из существующей модели радиационных поясов Земли [2, 5–7] и зная энергетический спектр заряженных частиц, захваченных геомагнитным полем, можно оценить усредненные показатели экспозиционных и поглощенных доз облучения.

Сравнение рис. 1 и рис. 2 показывает, что при движении по сильно вытянутой эллиптической орбите КА значительную часть времени пролета одного витка находится в весьма сложных условиях радиационных воздействий на его бортовую аппаратуру.

Так как оптические кабели (ОК) будут прокладываться и по обшивке КА, вне защитных стенок корпуса, то суммарное ионизирующее излучение космического пространства (эквивалентная поглощенная доза), может составить величину $10^6 - 10^7$ рад за 10–15 лет пребывания КА на орбите.

По-прежнему остается злободневной проблема создания химически и биологически стойких ОК для применения на борту пилотируемых космических объектов, длительное время (свыше 15 лет) находящихся в условиях воздействия радиации, невесомости и химически и биологически активных продуктов жизнедеятельности космонавтов (выдыхаемый воздух) и микрофлоры жилых отсеков корабля.

Внутренние условия на борту пилотируемых объектов (космических кораблей и орбитальных станций) выдвигают дополнительный ряд требований к материалам оптических кабелей. Если для них вопрос радиационной стойкости ОК не является критичным, так как этот класс КА функционирует в областях космического пространства с низким уровнем радиации [7], то при осуществлении длительных космических полетов возникают реальные возможности для изменения микрофлоры среды обитания космического корабля.

Это обусловлено, с одной стороны, тем, что в условиях герметично замкнутой кабины (отсека) процессы удаления и рециркуляции микроорганизмов значительно изменяются по сравнению с наземными условиями. С другой стороны, длительное пребывание человека в этих условиях при одновременном воздействии ряда неблагоприятных факторов космического полета приводит к изменению внутренней среды космического корабля за счет дыхания и потоотделения космонавтов. Было установлено, что данный процесс является одним из основных источников загрязнения воздушной среды герметично замкнутых объектов, причем в состав таких загрязнений входят различные микропримеси. Этот процесс весьма изменчив и во многом зависит от внешних условий (температура, влажность и т.д.).

Установлено, что в выдыхаемом человеком воздухе содержится более 20 органических и неорганических соединений. Были идентифицированы и количественно определены следующие вещества: ацетальдегид, формальдегид, ацетон, метилэтилкетон, пропионовый альдегид, этанол, метанол, пропанол, изопропанол, муравьиная, уксусная, пропионовая, изовалериановая и валериановая кислоты, аммиак, диметилламини, метан, этан, этилен, пропан, гексан, окись углерода.

Однако человек является далеко не единственным источником образования вредных микропримесей и загрязнения ими воздушной среды. Весьма существенное влияние на формирование среды обитания могут оказывать продукты газовой выделенной полимерных конструкционных и декоративно-отделочных материалов, применяемых при конструировании внутреннего оборудования космических кораблей. К таким материалам естественно отнести и материалы, применяемые при конструировании ОК, особенно его внешних защитных оболочек.

Как уже упоминалось выше, одним из существенных факторов обитаемости кабины космического корабля является постоянный (примерно на порядок превышающий земной) фон космической радиации, который при возникновении солнечных вспышек может существенно увеличиваться. Оказалось, что повышенный фон ионизирующей радиации приводит к заметному возрастанию концентрации аэроионов (по расчетам концентрация их увеличивается примерно на два–три порядка), к появлению озона и окислов азота. Кроме того, с достаточным основанием можно предполагать, что под действием космической радиации различные химические микропримеси, загрязняющие воздушную среду кабины космического корабля, могут перейти в ионизированное состояние, что приводит к возрастанию их химической активности. Это обстоятельство увеличивает непосредственный токсический эффект действия микропримесей.

Кроме того, следует учитывать изменение микрофлоры среды обитания в герметичном замкнутом объеме. Эти данные получены как во время «камерных» наземных экспериментов, так и в условиях космических полетов. Было установлено, что в условиях пребывания человека в герметично замкнутом помещении ограниченного объема, имитирующем кабину космического корабля, происходит нарастание количества микроорганизмов в воздушной среде, а также на кожных покровах и слизистых оболочках испытателей [8].

Существенное место в этой проблеме принадлежит микрофлоре внутренних поверхностей герметичной кабины. В результате санитарно-бактериологических исследований было установлено, что в герметичном помещении на внутренних поверхностях происходит интенсивное накопление микроорганизмов. Продукты жизнедеятельности микроорганизмов в условиях невесомости будут скапливаться на внутренних поверхностях. Поскольку эти вещества проявляют высокую химическую активность, то при разработке ОК для пилотируемых космических объектов следует обращать особое внимание на химическую стойкость оболочек оптических кабелей. Вопросам радиационной и химической стойкости материалов, используемых при создании оптических кабелей, значительное внимание уделялось в работах [2, 9]. Но в этих публикациях не рассматривались вопросы абсорбции различных веществ, выдыхаемых космонавтами и выделяемых микроорганизмами в процессе жизнедеятельности и степень их взаимодействия с внешними оболочками оптических кабелей в жилых отсеках КА.

При формировании требований к кабельным изделиям, эксплуатирующимся как вне, так и внутри КА, должен быть сформулирован ряд специфических требований, которые могут не соответствовать уже существующим нормативным документам и быть гораздо конкретнее и жестче. С нашей точки зрения должны быть разработаны «Общие технические требования для кабельных изделий, применяющихся в космической технике». В них должны быть включены

испытания на стойкость к воздействию следующих негативных факторов:

- повышенной температуры среды при эксплуатации;
- пониженной температуры среды при эксплуатации;
- изменения температуры среды;
- повышенной влажности воздуха;
- акустического шума;
- атмосферного пониженного давления;
- атмосферного повышенного давления;
- атмосферных конденсированных осадков (иней, росы);
- соляного (морского) тумана;
- солнечного излучения;
- плесневых грибов;
- нераспространение горения;
- статической и динамической пыли (песка);
- рабочих растворов;
- агрессивных сред (озон, двуокись азота);
- компонентов ракетного топлива;
- испытательных сред (гелиево-воздушной и аргонно-воздушной) и пр.

Обязательно должна быть гарантирована не токсичность кабеля. При этом в проведении испытаний не должен превалировать принцип аддитивности. Только комплексное воздействие нескольких параметров может гарантировать безаварийную и надежную работу ОК и линий связи на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гущин В.Н.* Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
2. *Капранов Ю.С., Ларин Ю.Т., Перминов С.В.* Применение волоконно-оптических кабелей на основе микроструктурированных волокон на борту космических аппаратов нового поколения // Кабели и провода. – 2010, № 4 (323). – С. 6–9.
3. *Воронов С.А., Гальпер А.М., Колдашев С.В.* и др. Пространственные распределения электронов и позитронов высоких энергий под радиационным поясом Земли // Космические исследования. – 1992. – Т. 30, № 1. – С. 140–142.
4. *Власова Н.А., Верхотуров В.И., Графодатский О.С., Сосновец Э.Н.* и др. Система мониторинга радиационных условий в магнитосфере Земли на Российских космических аппаратах связи, навигации и телевидения // Космические исследования. – 1999. – Т. 37, № 3. – С. 245–255.
5. ГОСТ 25645.138–86 Пояса Земли радиационные естественные. Модель пространственно-энергетического распределения плотности потока протонов.
6. ГОСТ 25645.139–86 Пояса Земли радиационные естественные. Модель пространственно-энергетического распределения плотности потока электронов.
7. *Перминов С.В.* Анализ влияния ионизирующих излучений космического пространства на работоспособность и срок службы элементов волоконно-оптических систем передачи данных // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2003. – Т. 8, № 9. – С. 40–44.
8. *Романов С.Ю., Мухамедиева Л.Н., Гузенберг А.С., Микос К.Н.* Вредные примеси в атмосфере обитаемых космических станций // Известия РАН. Энергетика. – 2006. Т. 2, № 1. – С. 31–49.
9. *Ларин Ю.Т.* Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и стойкость к ионизирующему излучению – М.: Престиж, 2006. – 304 с.



www.gauderonline.com

GAUDER s.a. Belgium
Tel. : +32 4 367 87 87
gauder@gaudergroup.com

Moscow office
Tel. : +7 495 604 42 87
zv@gaudergroup.com

Поддержанные машины Склад и Сервис-центр

Производство Проводов,
Кабелей и Канатов



Производство
Металлических изделий



Производство Прутков из
черных и цветных металлов



Creating Solutions Together

