

Т.Н. Куница, ведущий инженер;
Б.С. Романов, начальник лаборатории;
ФГУП «ОКБ кабельной промышленности»

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В НЕСТАНДАРТНЫХ УСЛОВИЯХ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

При эксплуатации проводов и кабелей в различных изделиях спецтехники возможны четыре ситуации:

1 – условия эксплуатации в разрабатываемом изделии полностью укладываются в требования технических условий на провод или кабель;

2 – условия эксплуатации по одному или нескольким параметрам выходят за рамки требований ТУ;

3 – срок службы разрабатываемого изделия превышает гарантийный срок службы применяемого провода или кабеля, указанный в ТУ;

4 – срок службы провода или кабеля в эксплуатируемом много лет изделия необходимо продлить в связи с решением продления срока службы изделия.

Случаи 2 и 3 решаются в рамках ГОСТ 2.124-85/95 «Порядок применения покупных изделий». По нему потребитель направляет организации, на которую возложена обязанность по выдаче разрешения применения покупных изделий, «Протокол разрешения применения» (ПРП) и техническое обоснование. В части кабельных изделий своего профиля такой организацией с 1978 г. является ОКБ кабельной промышленности.

СОГЛАСОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

За 5 лет с 2005 по 2009 год от различных организаций в ФГУП «ОКБ КП» поступило 146 ПРП на 94 кабельных изделия. Больше всего – 47 ПРП поступило на провода из серии традиционных герметичных проводов с фторопластовой изоляцией марки МС 16-13. На различные радиочастотные кабели приходится 28 протоколов, 15 ПРП приходится на провод марки МГГФ – один из самых первых с фторопластовой изоляцией, разработанный еще в 60-х годах прошлого века. На провода с изоляцией из полиимидного лака поступило 10 ПРП и 7 на кабели для компьютерных сетей КВСФ и КВСФМ.

По числу отклонений требований при эксплуатации проводов и кабелей от технических условий лидируют отклонения по сроку службы и наработке. За 5 лет их было 57. На втором

месте отклонения по температуре эксплуатации и повышенной влажности – 25 случаев. В 16 случаях отклонения касались механических воздействий, 13 – пониженного атмосферного давления, 12 – дозы радиации.

Основная часть обращений по ПРП относится к использованию проводов и кабелей в ракетно-космической технике (РКТ), особенно в космических аппаратах (КА). Рассмотрим сравнительные характеристики кабельных изделий, применяемых в КА, более подробно.

РАДИОЧАСТОТНЫЕ КАБЕЛИ

В КА применялось и применяется около 50 марок радиочастотных кабелей с диаметрами по изоляции от 0,6 до 11 мм. В табл. 1 приведены типовые представители широко применяемых в КА радиочастотных кабелей.

Перечисленные в табл. 1 кабели были разработаны еще в 60-е и 70-е годы. Следует отметить, что гибкие кабели используются как для фиксированного монтажа, так и для подключения раскрывающихся и подвижных антенн, в том числе в КА, функционирующих на геостационарных орбитах. При этом высокие дозы радиации мало влияют на электрические характеристики кабелей, что подтверждено соответствующими наземными испытаниями и исследованиями [1].

В 1990 г. в ОКБ КП была разработана серия из четырех кабелей, предназначенных специально для антенно-фидерных устройств (АФУ) КА в видовом исполнении ГОСТ В 20.39.404. Это особо гибкие кабели РК 50-2-214, РК 50-4-49, РК 50-7-415 и РК 50-7-416. Для трех последних кабелей нормированное число изгибов составляет 50 000, из них 15 000 при минус 200 °С. РК 50-2-214 и РК 50-7-416 отличаются повышенной радиационной стойкостью, соответствующей группе 14В по ГОСТ В 20.39.404. Используемые в серии материалы не выделяют конденсируемых продуктов. Стойкость к пониженному атмосферному давлению по ТУ составляет 10⁻⁹ мм рт. ст. Минимальная наработка при максимальной рабочей температуре плюс 200 °С

Таблица 1

Марка	Изоляция	Оболочка	Гибкость	Диаметр, мм	Особенности в открытом космосе
РК 50-0,6-22	Сплошная: Пленка Ф-4	Ф-4МБ	Гибкий	1,2	Стоек
РК 50-1-21	Сплошная: Пленка Ф-4	Ф-4МБ	Гибкий	1,7	Стоек
РК 50-2-22	Сплошная: Пленка Ф-4	Ф-4МБ	Гибкий	3,2	Стоек
РК 50-3,7-41	Полувоздушная: Кордель Ф-4Д	Гофрированная медная трубка	Полужесткий	5,2	Стоек
РК 50-4-21	Сплошная: Пленка Ф-4	Стеклооплетка с пропиткой кремнийорганич. лаком	Гибкий	6,6	Выделение конденсируемых продуктов
РК 50-7-22	Сплошная: Пленка Ф-4	Стеклооплетка с пропиткой кремнийорганич. лаком	Гибкий	9,0	Выделение конденсируемых продуктов
РК 50-7-47	Полувоздушная: Кордель Ф-4Д	Гофрированная медная трубка	Полужесткий	9,25	Стоек
РК 75-9-42	Полувоздушная: Кордель Ф-4Д	Стеклооплетка с пропиткой кремнийорганич. лаком	Гибкий	10,6	Выделение конденсируемых продуктов

составляет 10 000 ч (у РК 50-7-416 20 000 ч). Срок службы у всех кабелей 20 лет. Кабели применялись в ряде аппаратов дальнего космоса.

ПРОВОДА

Первые монтажные провода для КА имели изоляцию в виде обмотки пленкой фторопласта-4 (МГТФ, СФ, ГФ). Однако такая изоляция негерметична и не защищает проводник от паров и влаги. В конце 60-х годов были разработаны герметичные провода типа ФД (МС 16-13, МС 26-13) с изоляцией на основе спекаемой пленки СКЛФ из фторопласта-4Д. Эти провода являлись длительные время основными монтажными и бортовыми проводами КА. Широко применяются они и сейчас. Впоследствии, начиная с 80-х годов, для бортовой кабельной сети КА стали применять провода серии МК 26-11(12). Их изоляция изготавливается путем намотки полиимидно-фторопластовой пленки ПМФ между двумя слоями СКЛФ с последующей запечкой. В результате получается герметичная монолитная дугостойкая изоляция с высокой стойкостью к истиранию, продавливанию и проколам. Вес этих проводов на 12 % меньше, чем у проводов МС 26-13 при одинаковом наружном диаметре. В редких случаях, когда требовалась более высокая радиационная стойкость, применялись провода МС 26-12 с изоляцией из фторопласта-40Ш, но они проигрывают МС 26-13 по габаритно-весовым характеристикам.

С конца 80-х годов в КА стали применяться провода МС 16-12 с изоляцией из полиимидного лака. Эти провода имеют преимущество перед проводами МС 16-13 по габаритам, весу, механическим характеристикам и радиационной стойкости, однако обладают таким недостатком, как трудное снятие изоляции при монтажных работах из-за высокой адгезии полиимиды к металлу. Этот недостаток был частично устранен путем введения под изоляцию подслоя из канифоли (МС 16-15) или суспензии фторопласта-4Д (МС 26-15). Последним вариантом подобных проводов являются провода МС 26-14, в которых фторсуспензия заменена на обмотку пленкой Ф-4Д. Сравнительные характеристики перечисленных проводов сечением 0,12 мм² приведены в табл. 2. В ней приведены также данные по стойкости к воздействию открытого космоса на орбитах полета космических станций, полученные из натурных экспериментов на станциях «Салют-7» и «Мир». На этих высотах отсутствуют мощные потоки заряженных частиц, но присутствует агрессивный атомарный кислород.

Видно, что в настоящее время нет проводов, отвечающих всем требованиям в полной мере. Однако, если провода на основе полиимидного лака укрыть с помощью многослойной экрановакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) от прямого воздействия открытого космоса, то можно получить почти идеальные провода. Их недостаток лишь в повышенной жесткости и в заметно более высоком, чем у фторопластовых проводов, газовыделении при нагреве в вакууме. Неплохие перспективы у новых проводов с изоляцией из сшиваемого фторопласта Ф-40С – хорошие габаритно-весовые показатели, хорошая радиационная стойкость, малое газовыделение и более высокая гибкость по сравнению с полиимидными проводами.

Для внутрприборного монтажа разработано несколько видов ленточных проводов – ЛЛПС, ЛФС, ЛФ, ЛПФО, ЛПФП. Из высоковольтных кабельных изделий в КА нашли применение монтажные провода ВНМ с изоляцией из фторопласта-4МБ, ПВМФО с изоляцией из пленки Ф-4 с промазкой кремнийорганической жидкостью для заполнения пустот, провода зажигания ВЗМ-155 с изоляцией из Ф-4 и оболочкой из Ф-4МБ и провода ПМВКС с изоляцией из кремнийорганической резины. Высоковольтные провода в КА применяются редко.

УЧЕТ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Работоспособность проводов и кабелей в условиях РКТ, как правило, более жестких, чем условия, указанные в ТУ, подтверждена многочисленными испытаниями, проводившимися в рамках многих НИР и ОКР. По их результатам оформлено несколько руководящих документов – решений, перечней. Эти документы при анализе условий эксплуатации в изделии используются в первую очередь. В некоторых случаях проводятся испытания на стойкость к воздействию факторов, имеющих место в конкретном изделии и превышающие по уровню ранее достигнутые значения.

При рассмотрении ПРП проводов и кабелей в конкретном аппарате принимаются во внимание особенности эксплуатации в КА:

– *размещение кабельных изделий преимущественно внутри КА при фиксированном монтаже, а если вне КА, то под защитой ЭВТИ;*

– *отсутствие кислорода в окружающей среде, вследствие чего радиационная стойкость фторопластов повышается на 2 порядка из-за отсутствия радиационно-окислительных реакций;*

– *после вывода КА на орбиту механические воздействия практически отсутствуют, кроме изгибов в АФУ;*

– *максимальная рабочая температура намного ниже, чем допустимая по ТУ, что позволяет увеличить наработку до 150 000 часов;*

– *отсутствие для большинства случаев применения провода или кабеля воздействия атомарного кислорода и солнечного излучения;*

– *малая глубина проникновения протонов и основной массы электронов радиационных поясов Земли, что приводит к значительному уменьшению дозы радиации под ЭВТИ по сравнению с поверхностью КА.*

С учетом перечисленных особенностей дано разрешение на применение в Международной космической станции, например, фторопластовых проводов МС 16-13 при давлении 10⁻¹¹ мм рт. ст., в диапазоне температур от минус 125 до плюс 125 °С, наработке 150 000 ч, дозе радиации 5,3 10⁶ рад и сроке службы 23 года (по ТУ 10⁻⁶ мм рт. ст.; минус 60... плюс 200 °С; 10 000 ч при +200 °С или 25 000 ч при 125 °С; 10⁴ рад и 20 лет – соответственно). По тем же причинам для традиционного фторопластового радиочастотного кабеля РК 50-4-21 допустимую дозу в спутнике «Молния» разрешено увеличить с 10⁴ рад по ТУ до 2·10⁷ рад.

При рассмотрении ПРП принимаются во внимание и испытания, проведенные потребителем, как правило, в составе

Таблица 2

Марка провода	Изоляция	Стойкость в открытом космосе (низкие орбиты) [2]	Радиационная стойкость	Макс. нрж. диам., мм	Масса, кг/км
МГТФ	Пленка Ф-4	–	–	0,87	1,95
МС16-13	Спеченная пленка Ф-4Д	+++	+	0,81	1,85
МС26-13	Спеченная пленка Ф-4Д	+++	+	1,05	2,36
МС26-12	Ф-40Ш	+	++	1,20	2,49
МК26-12	Ф-4Д + ПМФ + Ф-4Д	+++	++	1,05	2,08
МС16-15	Канифоль, полиимидный лак	–	+++	0,65	1,35
МС26-15	Суспензия Ф-4Д, полиимидный лак	–	+++	0,70	1,51
МС26-14	Пленка Ф-4Д, полиимидный лак	–	+++	0,85	1,79
МС15-18	Ф-4МБ	+++	+	0,89	1,85
В разработке МС16-18	Ф-40С	не испытывался	++	0,74	1,58

+++ «отлично»; ++ «хорошо»; + «посредственно»; – «плохо»

изделия или узла, в котором используется рассматриваемый провод или кабель.

Помогают в работе по рассмотрению ПРП специальные Решения, принятые в период с 1976 по 1984 год, в которых подтверждается стойкость проводов и кабелей к воздействию механических факторов, пыли, плесневых грибов, соляного тумана – без проведения испытаний, по данным, накопленным за предшествующие годы. В 1990 г. принято Решение об увеличении срока сохраняемости теплостойких кабельных изделий до 23 лет и 18 лет для проводов и кабелей на основе полиэтилена и поливинилхлоридного пластика.

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ

При рассмотрении случая 3 используется то обстоятельство, что при эксплуатации провода или кабеля в конкретном изделии электрические режимы и уровни многих воздействий, как правило, слабее, чем допустимо по ТУ (низкое рабочее напряжение, невысокая рабочая температура, фиксированный монтаж, отсутствие механических воздействий и т.п.). Это означает, что ресурс провода и кабеля расходуется медленнее, чем в условиях по ТУ. Невысокая рабочая температура позволяет увеличить наработку за счет пересчета по закону Аррениуса наработки при максимальной рабочей температуре. Другая составляющая срока службы – срок сохраняемости, подтверждается прямыми ускоренными испытаниями в форсированном режиме с контролем безотказности на последней стадии.

Возможность продления срока службы провода или кабеля в составе эксплуатирующегося изделия, либо хранившегося на складе длительное время (случай 4), подтверждается испытаниями образцов, демонтированных из изделия, подвергнутого разборке, или взятых со склада. По результатам работы оформляется Заключение по ГОСТ РВ 15.702-94 «Порядок установ-

ления и продления назначенных ресурса, срока службы, срока хранения». По ГОСТ необходимую работу по составлению Заключения на комплектующее изделие проводит разработчик этого изделия и направляет его разработчику аппаратуры или изделия в целом. При этом учитываются облегченность условий хранения и эксплуатации. Испытания в таких случаях проводятся на необходимый дополнительный срок службы. К настоящему времени для ряда проводов и кабелей с фторопластовой изоляцией согласованы в условиях конкретных изделий заказчиков сроки службы от 25 до 30 лет. Появилась потребность в сроках до 35 лет и более.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетний опыт работ по разрешению применения и продления назначенных показателей надежности проводов и кабелей позволяет для проводов с фторопластовых и полиимидной изоляцией приступить к оформлению нормативной документации по увеличению срока службы до 25 лет, наработки до 150 000 часов в диапазоне температур ± 125 °С, снижению пониженной температуры среды до минус 200 °С, давления до 10^{-13} мм рт. ст. и включению этих показателей в ТУ. Это в определенной мере облегчит потребителям работу при разработке новых изделий и объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Костромин, Б.С. Романов, М.Ф. Попов, В.Н.Егоров, В.Ф. Матвейчук. Новые методы измерения диэлектрических характеристик электроизоляционных материалов // Кабели и провода. – 2006. – № 5. – С. 16.
2. Б.С. Романов, Н.С. Куприянов. Результаты натурной экспозиции кабельных изделий и материалов на внешней поверхности орбитальных станций. / Труды V Международной конференции «Электротехнические материалы и компоненты». Алушта, 2004. С. 124.



www.gaudergroup.com
info@gaudergroup.com



**МИРОВОЙ ЛИДЕР В ОБЛАСТИ ОБРУДОВАНИЯ
ДЛЯ КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**



КРУТИЛЬНЫЕ МАШИНЫ



**ПРОДАЖА БЫВШЕГО В
УПОТРЕБЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ**



**РАЗНООБРАЗНЫЕ
УСЛУГИ ДЛЯ КЛИЕНТОВ**