

Влияние окружающей среды на характеристики электрических контактных пар для вращающихся контактных устройств спутников дистанционного зондирования Земли

Е. В. Буслова, К. А. Гамыгин, Ю. Н. Прохоров

Научно-исследовательский институт электроугольных изделий,
г. Электроугли Московской области, Россия

Приведены результаты сравнительных испытаний контактных пар Ag—Co—MoS₂ (щетка) — твердое серебро (контактное кольцо) в вакууме, аргоне и на воздухе. Установлено, что на воздухе по сравнению с вакуумом и аргоном износостойкость щеток падает в 5—20 раз, контактных колец — в 1,5—5 раз.

Ключевые слова: вращающееся контактное устройство, контактная пара, щетка, контактное кольцо, удельный износ, контактное сопротивление, коэффициент трения.

Настоящее сообщение относится к области космической электромеханики и, в частности, касается скользящего слаботочного контакта, функционирующего в условиях среднего вакуума и невесомости. На протяжении последних 15 лет НИИЭИ занимается разработкой контактных пар щетка—контактное кольцо для многоканальных вращающихся контактных устройств (ВКУ), осуществляющих электрическую связь между космическим аппаратом (КА) и внешними вращающимися агрегатами типа сканеро-зондировщиков спутников дистанционного зондирования Земли.

Первый в мировой практике сканер-зондировщик, работающий в СВЧ-диапазоне (рис. 1), разработан в Центре Космического Мониторинга Земли (г. Москва) и был запущен в составе КА “Метеор-3М” в 2001 году.

О контактной паре для ВКУ этого сканера-зондировщика было сообщено в работе [1]. Следующий сканер-зондировщик, оптико-микровол-



Рис. 1. СВЧ сканер-зондировщик МТВ 3А.

новой, входил в комплект КА “Січ-1М” производства Южного машиностроительного завода (г. Днепропетровск, Украина) (запущен в 2004 г.). Вращающееся контактное устройство сканера-зондировщика было снабжено модифицированной контактной парой КП-А750 (щетка)/КП-А783М (контактное кольцо) с установленным ресурсом 7 лет (13 000 км пробега щеток). Этой контактной парой было также укомплектовано ВКУ сканера-зондировщика КА “Метеор-М” производства НПП “ВНИИЭМ” (г. Москва) (запущен в 2009 г.). В настоящее время ведутся работы по созда-

© Е. В. Буслова, К. А. Гамыгин, Ю. Н. Прохоров, 2010

Т а б л и ц а 1. Условия эксплуатации и электрические параметры контактной группы

Высота, км	500—1000
Температура, °С	от -40 до +130
Атмосферное давление, Па	10^{-4} — 10^{-2}
Скорость вращения, об/мин	24
Электрические параметры:	
1. В каналах питания	
Напряжение, В	24—35
Сила тока, А	0,1—3,0
Род тока	Постоянный
2. В каналах информации	
Напряжение, В	$\pm 5,0$
Сила тока, мА	$1,0 \pm 0,1$
Частота импульсов, МГц	1
Форма импульса	Прямоугольная

нию ВКУ и, соответственно, контактной пары с ресурсом автономной работы не менее 15 лет (25 000 км пробега щеток).

Единичная контактная группа ВКУ (канал) включает две запараллеленные щетки и контактное кольцо. В табл. 1 приведены условия эксплуатации и электрические параметры контактной группы.

На рис. 2 представлена фотография штатного 9-канального ВКУ со снятым защитным кожухом после проведения ускоренных ресурсных испытаний; видны контактные кольца, щеточные узлы, магнитная камера для сбора продуктов износа. Камера практически заполнена. Назначение камеры — предотвращение образования паразитных цепей в условиях высокой плотности компоновки и невесомости [1].

Как следует из табл. 1, штатной рабочей средой для ВКУ является средний вакуум (10^{-4} — 10^{-2} Па). Однако ряд наземных испытаний и проверок ВКУ и изделия в целом проводится на воздухе длительностью до 500 ч. С целью формирования базы данных для разработки и эксплуатации ВКУ нами исследовано влияние окружающей среды на интенсивность износа щеток, контактных колец, контактное сопротивление, коэффициент трения и интенсивность выделения продуктов износа. Последний параметр наряду с износостойкостью контактных деталей непосредственно определяет ресурс изделия, что обусловлено конечной емкостью магнитной системы. Сравнительные испытания проводили в составе 2-канального макета ВКУ при последовательно коммутированных каналах. Окружающая среда: инертная (вакуум, аргон), воздух комнатной температуры (15—25 °С), холодный воздух (0—10 °С). Основной объем испытаний в инертной среде, по согласованию с заказчиком, выполнен в атмо-

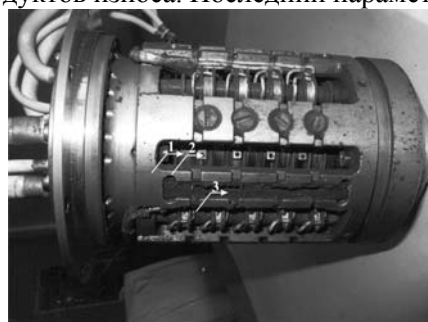


Рис. 2. 9-канальное ВКУ со снятым защитным кожухом после ресурсных испытаний: 1 — контактное кольцо; 2 — щеточный узел; 3 — магнитная камера.

сфере чистого аргона. Основанием этому послужили результаты предшествующих испытаний и опыт разработки антифрикционных изделий космического назначения [2]. Правомерность распространения результатов испытаний в чистом аргоне на вакуум для рассматриваемой группы материалов была также подтверждена дублированием их отдельных циклов в аргоне.

Условия испытаний:

Сила тока	— 0—3 А
Напряжение	— 30 В
Род тока	— постоянный
Скорость вращения	— 240 об/мин
Скорость скольжения	— 0,6 м/с
Длительность испытаний в каждой среде	— 700—1000 ч (1400—2000 км пробега щеток)

Объект испытаний — щетки из порошковых композиций системы Ag—Co—MoS₂ и контактные кольца из порошкового твердого серебра.

По результатам испытаний контактной пары КП-А750/КП-А783М в среде аргона установлено, что темп износа контакт-деталей монотонно растет с повышением контактного нажатия: при 0,2 Н — 0,03 мкм/км для щеток и 0,003 мкм/км для колец, при 0,6 Н — 0,09 мкм/км для щеток и 0,007 мкм/км для колец (рис. 3).

При этом минимум описываемых в литературе U-образных кривых [3] в условиях испытаний достигнут не был, что указывает на устойчивый характер контактирования и отсутствие электроэрозионных явлений вплоть до полного износа щеток.

Наиболее представительный объем данных по влиянию окружающей среды на характеристики контактной пары получен при испытаниях экспериментальной контактной пары КП-А787/КП-А783М. Данные по износу щеток и контактных колец при контактном нажатии 0,4 Н представлены на рис. 4. В среде аргона темп износа (удельный износ) щеток составляет 0,4—2,7 мг/1000 км (0,004—0,03 мкм/км), темп износа колец — 3,2—9,4 мг/1000 км (0,001—0,003 мкм/км) независимо от полярности и силы тока в диапазоне 0—2 А. Вольт-амперная характеристика контактного перехода носит линейный характер. Контактное сопротивление составляет 5—30 мОм, коэффициент трения — 0,27—0,34.

При переходе к испытаниям на воздухе комнатной температуры (15—25 °С) темп износа щеток возрастает в 5 раз по сравнению с испытаниями

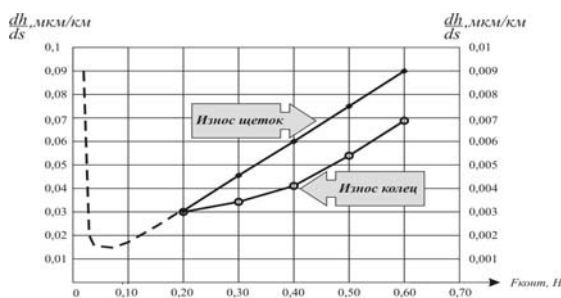


Рис. 3. Темп износа щеток КП-А750 в паре с контактными кольцами КП-А783М в зависимости от усилия контактного нажатия. Среда — аргон, $I = 0—2$ А, ----- — теоретическая кривая. Штатное значение начального усилия контактного нажатия — 0,4 Н.

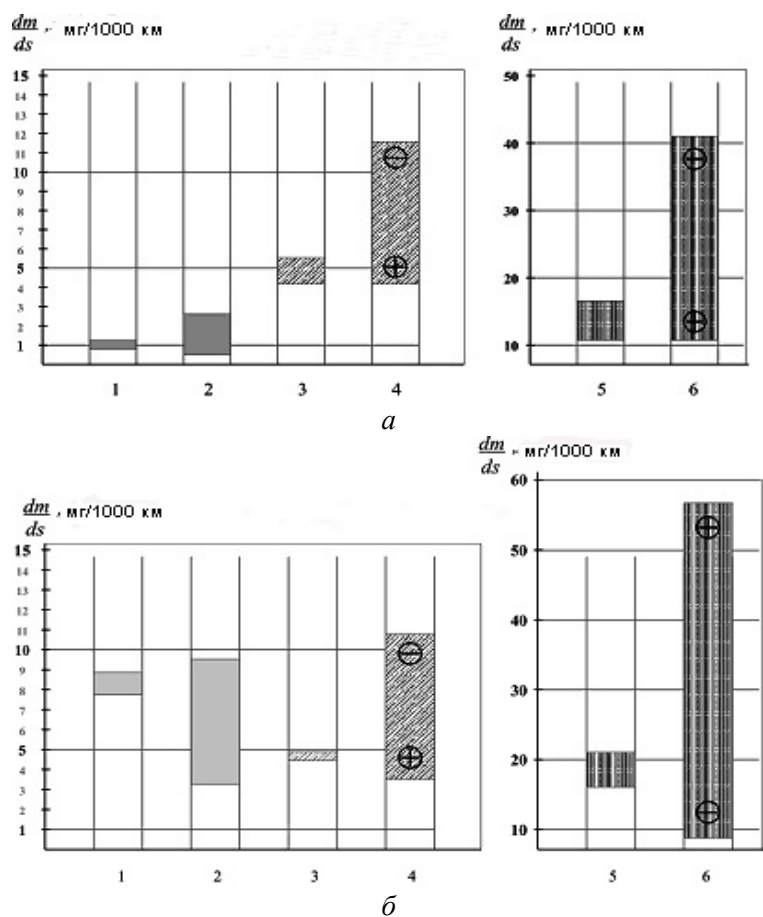


Рис. 4. Темп износа щеток КП-А787 в паре с контактными кольцами КП-А783М (а) и контактных колец КП-А783М в паре со щетками КП-А787 (б) в зависимости от окружающей среды, токовой нагрузки и полярности: 1, 2 — аргон, $I = 0$ и 2 А соответственно; 3, 4 — воздух, $t = 15-25$ °С, $I = 0$ и 2 А соответственно; 5, 6 — воздух, $t = 0$, $I = 0$ и 2 А соответственно.

Т а б л и ц а 2. Расчетный ресурс контактной пары КП-А787/КП-А783М в зависимости от окружающей среды

Среда	Ресурс, лет		
	щеток	контактных колец	по массе продуктов износа
Аргон, средний вакуум	54	25	56
Воздух, $t = 15-25$ °С	12	20	17
Воздух, $t = 0-10$ °С	3,5	4	6

в аргоне. Износ щеток характеризуется полярностью (катодные щетки изнашиваются в 2 раза интенсивнее анодных) и зависит от силы тока. Темп износа колец в среднем не меняется, однако анодные кольца изнашиваются в 1,5—2 раза интенсивнее катодных. Контактное сопротивление повышается до 20—60 мОм, коэффициент трения — до 0,3—0,4.

При испытаниях на холодном воздухе (0—10 °С) темп износа щеток возрастает в 20 раз, колец — в 5 раз, усиливается “полярность” износа и его

зависимость от силы тока. Величины контактного сопротивления и коэффициента трения составляют 20—60 мОм и 0,3—0,4 соответственно.

В табл. 2 приведены расчетные значения ресурса контактной пары по допустимым техническими требованиями значениям износа щеток, контактных колец, массы продуктов износа. Расчетный ресурс контактной пары КП-А787/КП-А783М составляет: в инертной среде — 25 лет (по износу колец), на воздухе комнатной температуры — 12 лет (по износу щеток), на холодном воздухе — 3,5 года (по износу щеток). Ухудшение эксплуатационных характеристик контактных пар при замене инертной среды на воздух, по-видимому, обусловлено прохождением химических и электрохимических реакций в межконтактной области в присутствии кислорода и влаги, содержащихся в воздухе.

В результате проведенных в различных средах сравнительных стендовых испытаний контактных пар щетка—контактное кольцо для вакуумных вращающихся контактных устройств установлено следующее. В среде аргона темп износа щеток, выполненных из порошковых композиций системы Ag—Co—MoS₂, составляет 0,4—2,7 мг/100 км, темп износа контактных колец из порошкового твердого серебра — 3,2—9,4 мг/1000 км. На воздухе при комнатной температуре (15—25 °С) темп износа щеток возрастает в 5 раз по сравнению с испытаниями в аргоне, темп износа контактных колец — в 1,5—2 раза. На холодном воздухе (0—10 °С) темп износа щеток возрастает в 20 раз по сравнению с испытаниями в аргоне, темп износа контактных колец — в 5 раз. Изменения контактного сопротивления и коэффициента трения при замене одной среды на другую незначительны. Расчетный ресурс экспериментальной контактной пары КП-А787 (щетка)/КП-А783М (контактное кольцо) составляет: в аргоне и вакууме — 25 лет, на воздухе комнатной температуры — 12 лет, на холодном воздухе — 3,5 года. Полученные данные следует учитывать при разработке и эксплуатации вращающихся контактных устройств.

1. Авербух В. Я., Гамыгин К. А., Глускин Я. А. и др. Ферромагнитные электроконтактные материалы для многоканальных вращающихся контактных устройств // Электрические контакты. — С.-Петербург: Санкт-Петербургский гос. политехн. Ун-т, 2002. — С. 148—150.
2. Глускин Я. А., Мемелов В. Л. Самосмазывающиеся материалы с твердыми смазками для деталей трения электрических устройств. — М.: Информэлектро, 1977. — С. 44.
3. Мижнев В. П., Сидоров О. А., Саля И. Л. Исследование и прогнозирование износа контактных пар устройств токосъема // Изв. вузов. Электромеханика. — 2003. — № 5. — С. 74—79.

Вплив оточуючого середовища на характеристики електричних контактних пар для обертових контактних пристроїв супутників дистанційного зондування Землі

Е. В. Буслова, К. А. Гамігін, Ю. М. Прохоров

Наведено результати порівняльних випробувань контактних пар Ag—Co—MoS₂ (щітка) — тверде срібло (контактне кільце) у вакуумі, аргоні і в повітрі. Встановлено, що в повітрі у порівнянні з вакуумом та аргонном зносостійкість щіток знижується у 5—20 разів, контактних кілець — у 1,5—5 разів.

Ключові слова: обертовий контактний пристрій, контактна пара, контактне кільце, питомий знос, контактний опір, коефіцієнт тертя.

The effect of ambient on performance of electrical contact pairs for rotating contact devices of satellites for remote sounding of Earth

E. Buslova, K. Gamigin, Yu. Prohorov

The brushes of powder composites of the Ag—Co—MoS₂ system and slip rings of hard silver were tested in vacuum, argon and air. The test conditions: current — 0—3 A, voltage — 30 V DC, speed — 240 rev./min, test times — 700—1000 hours. In air wear resistance of the parts falls in 5—20 times (brushes) and in 1,5—5 times (slip rings) in comparison with vacuum and argon, distinctions of other parameters are insignificant.

Keywords: *rotating contact devices, contact pairs, brush, slip ring, specific wear, contact resistance, friction coefficient.*