

УДК 621.313

ВРАЩАЮЩИЕСЯ КОНТАКТНЫЕ УСТРОЙСТВА С ДЛИТЕЛЬНЫМ РЕСУРСОМ РАБОТЫ

В.Я. Авербух, К.А. Гамыгин, Е.М. Гнутов,
Ю.Н. Прохоров, В.В. Федоров
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Рассматриваются вопросы конструирования вращающегося контактного устройства с длительным ресурсом работы в составе сканера радиометра для космического аппарата метеорологического назначения. Приводятся описание конструкции и результаты испытаний.

Ключевые слова: вращающееся контактное устройство, ресурс.

Задача создания вращающихся контактных устройств (ВКУ) с длительным ресурсом работы возникла в процессе разработки Центром Космических Наблюдений микроволновых сканеров/зондировщиков (радиометров), предназначенных для дистанционного зондирования Земли [1]. Функцией ВКУ, входящего в состав электромеханического привода сканирующей платформы радиометра, является обеспечение электрической связи между спутником и вращающимся объектом. ВКУ содержит 9 – 10 каналов, одни из которых обеспечивают электропитание сканирующей платформы (каналы питания), другие – поступление закодированной информации с радиометра на борт спутника (информационные каналы).

Технические характеристики

Температура	минус 50 – плюс 50°C
Атмосферное давление	$10^{-4} - 10^{-2}$ Па
Частота вращения	24 об/мин
Электрические параметры в каналах питания:	
род тока	Постоянный
напряжение	24 – 35 В
сила тока	0,1 – 3 А
в информационных каналах:	
род тока	Переменный
напряжение	± 5 В
сила тока	1 мА
частота сигналов	2 МГц
форма сигнала	Прямоугольная
Ресурс непрерывной работы	27000-63000 ч (3 – 7 лет)

Внешний вид ВКУ, разработанного НПП ВНИИЭМ, представлен на рис.1. В конструктивном отношении ВКУ включает коллектор (рис. 2), содержащий 9 – 10 контактных колец, разделенных изолирующими кольцами, корпус (рис. 3), содержащий 4 блока подпружиненных щеточных узлов (щетка-щеткодержатель) и 4 магнитных камеры, предназначенные для сбора и

локализации продуктов износа деталей с целью предотвращения возможного образования «паразитных» цепей [2].

Основу магнитных камер составляют высокоэнергетические постоянные магниты системы железо-неодим-бор [3]. В схемном отношении контактное кольцо и две запараллеленные щетки образуют контактную группу, вместе с монтажными проводами коллектора и корпуса составляющую канал. Масса 9-канального ВКУ – 1,5 кг, габаритные размеры – $\varnothing 80 \times 139$ мм.

Материалы щеток и контактных колец разработаны НИИЭИ. За основу материалов щеток взяты разработанные ранее для токосъемников современных приводов ориентации солнечных батарей [4] материалы КП-А04 и КП-А04М [5], содержащие серебро и дисульфид молибдена – наиболее проверенную на настоящее время вакуумную твердую смазку [6 – 9]. Материалы щеток представляют композицию матричного типа и помимо серебра и дисульфида молибдена содержат ферромагнитный кобальт – добавку, упрочняющую материал и придающую магнитные свойства продуктам износа [10]. Марки щеток и их физико-механические свойства приведены в табл.1. Здесь же представлены свойства материалов контактных колец КП-А783, КП-А783М.

Таблица 1

Физико-механические свойства электроконтактных материалов для ВКУ

Марка материала	Изделие	Плотность, г/см ³	Твердость по Виккерсу	Удельное электросопротивление, мкОм·м, не более
КП-А736	Щетки	8,6	70	0,050
КП-А736М		8,8	60	0,050
КП-А750		7,6	37	0,055
КП-А783	Контактные кольца	9,3	95	0,035
КП-А783М		10,2	90	0,030

Материал КП-А783 представляет собой композицию системы серебро-никель-графит, контактные кольца КП-А783М выполнены из дисперсно-упрочненного твердого серебра. И щетки, и контактные кольца изготавливаются методом порошковой металлургии. Щетки имеют размеры $5,2/4,3 \times 5 \times 2,5$ мм, контактные кольца – $\varnothing 46 \times \varnothing 42 \times 4$ мм. Для присоединения к щеткодержателю методом пайки щетки снабжены серебряным подслоем.

В табл. 2 приведены эксплуатационные характеристики контактных пар «щетка–контактное кольцо», полученные в результате стендовых испытаний в составе 2-канального макета ВКУ. Конструкция макета полностью разборная и помимо электрических характеристик позволяет периодически количественно определять степень износа контакт-деталей. В табл. 2 представлены значения максимально зафиксированного темпа износа щеток и контактных колец в микрометрах на километр пробега щеток, электрическое сопротивление контактного перехода щетка–контактное кольцо, расчетный ресурс контактной пары. Определялся также коэффициент трения, значения которого для всех контактных пар составляли 0,25 – 0,35. Испытания проводились при 10-кратном ускорении в атмосфере аргона, имитирующего вакуум по действию на поверхности трения [11]. Базовая токовая нагрузка составляла 2 А, значения переходного сопротивления определялись также при силе тока 1 мА. Для определения качества работы контактных пар в информационных каналах при помощи специально разработанного прибора также фиксировалось наличие разрывов цепи длительностью более 0,1 мкс. Для всех представленных материалов указанных нарушений цепи не наблюдалось.

Таблица 2

Эксплуатационные характеристики контактных пар для ВКУ

Контактная пара	Темп износа, мкм/км		Переходное электрическое сопротивление, мОм	Расчетный ресурс, лет
	щет-ки	контактно-го кольца		
КП-А736 КП-А783	0,35	0,16	3 – 5	3
КП-А736М КП-А783М	0,2	0,015	20 – 25	5
КП-А750 КП-А783М	0,07	0,005	15 – 30	10

Примечание. В числителе – щетка, в знаменателе – контактное кольцо

Разработка контактных пар № 1, 2 и 3 проводилась последовательно. Первой контактной парой КП-А736/КП-А783 было укомплектовано 10-канальное



Рис. 1 Вращающееся контактное устройство (ВКУ)

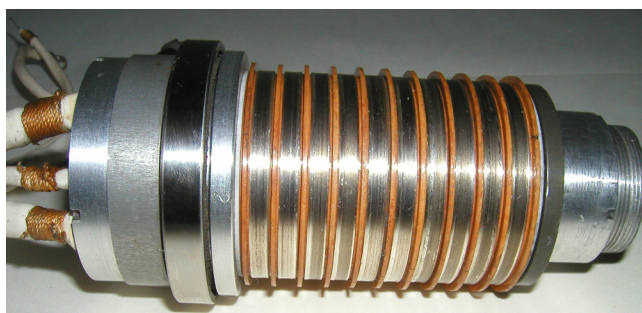


Рис. 2. Коллектор ВКУ. Контактные кольца

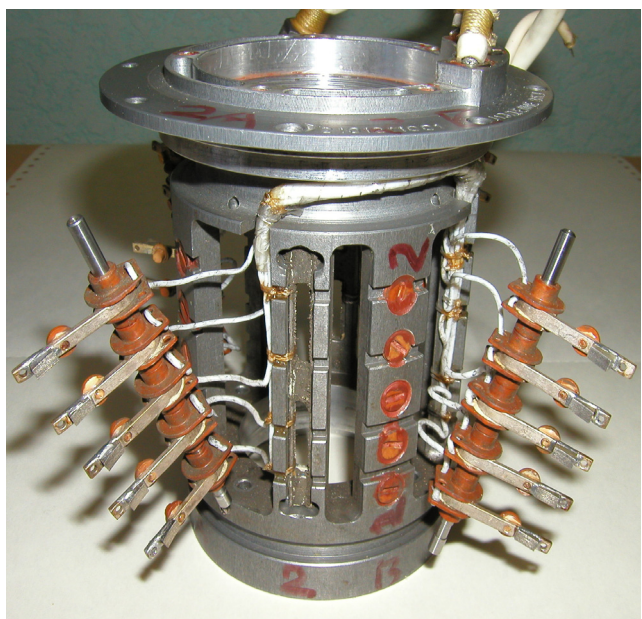


Рис. 3. Корпус ВКУ. Блоки щеточных узлов

ВКУ, предназначенное для СВЧ-сканера /зондировщика МТВЗА. ВКУ содержало две цепи питания (четыре канала), две информационной цепи (четыре канала), один канал металлизации и один резервный канал. Плановый ресурс радиометра составлял три года, однако на летных испытаниях через 3000 ч работы в штатном режиме стали наблюдаться остано-

ки привода, после чего режим сканирования был прекращен. Для установления причин отказов было принято решение о проведении наземных ресурсных испытаний технологического образца ВКУ в ускоренном режиме в атмосфере аргона. Через 8 месяцев испытаний в пересчете на штатную скорость вращения ситуация, наблюдавшаяся в ходе летных испытаний, стала воспроизводиться – в результате периодического возрастания момента сопротивления вращению антенного блока начались остановки привода. Через 1,2 года испытаний в цепи питания сканирующей платформы начал наблюдаться «паразитный» ток силой до 2 А. В результате разборки ВКУ было установлено, что причиной отказов является значительное количество продуктов износа контактных деталей, превышающее возможности магнитной системы. Неуловленные магнитной системой продукты износа попадали в подшипники, вызывая значительный рост момента сопротивления, а также создавали «паразитные» цепи.

По результатам проведенных испытаний была проведена доработка ВКУ. Контактная пара №1 была заменена на вновь разработанную пару №2 – КП-А736М/КП-А783М, обладающую большей износостойкостью, но и большим переходным сопротивлением. Для предотвращения продвижения продуктов износа в зону трения подшипников было откорректировано осевое усилие их поджатия. Доработанное ВКУ было подвергнуто ускоренным стендовым ресурсным испытаниям в течение 7 лет в перерасчете на штатную скорость вращения. По результатам испытаний было установлено, что доработанное ВКУ способно выполнять свои функции в отношении электрических потерь, механических характеристик и качества передачи информационных сигналов в течение указанного периода, хотя при разборке ВКУ был обнаружен практически полный износ двух щеток – контактирование частично осуществлялось по латуни – материалу щеткодержателя. Подавляющая часть продуктов износа находилась в магнитных камерах, нарушения состояния подшипников не наблюдалось. Момент сопротивления вращению ВКУ составлял 800 – 1050 г·см, электрическое сопротивление одного канала 50 – 70 мОм. Доработанным ВКУ был укомплектован сканер/зондировщик МТЗВА-ОК, запущенный в составе КА «Сич-1М» в декабре 2004.

Очередной вариант ВКУ, рассчитанный на 7-летний ресурс, содержащий 9 каналов предназначен для комплектации КА «Метеор-М». В данном

ВКУ применена контактная пара повышенной износостойкости КП-А750/КП-А783М. Предусмотрена дополнительная защита подшипников от попадания продуктов износа контакт-деталей. В настоящее время новый ВКУ проходит ресурсные испытания.

Литература

1. Сканирующий микроволновой радиометр-зондировщик МТВЗА космического аппарата «Метеор-3М» №1 / Н.Н. Горобец, А.Н. Зазинов, В.П. Наконечный [и др.] // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами». – Муром, 2001. – С. 527 – 530.
2. Патент № 2147151 РФ. МПК H01 R 39/00. Способ токоосема и устройство для его осуществления [Текст] / Ю.Н. Прохоров, В.Я. Авербух, В.М. Ярцев [и др.]. – Опубл. 27.03.2000 г.
3. Шереметьевский Н.Н. Высокоэнергетические постоянные магниты в электротехнике / Н.Н. Шереметьевский, С.А. Стома, В.В. Сергеев // Электротехника. – 1989. – №11. – С. 2 – 10.
4. Стома С.А. Электрические системы ориентации солнечных батарей искусственных спутников земли / С.А. Стома, В.Я. Авербух, Э.А. Лещинский // Электротехника. – 1996. – №5. – С. 14 – 19.
5. Электрические контакты для приводов ориентации солнечных батарей космических аппаратов / В.Я.Авербух, К.А. Гамыгин, Я.А. Глушкин [и др.] // Электрические контакты и электроды. – Киев: ИПМ НАНУ, 1999. – С. 44 – 50.
6. Ярош В.М. Исследование материалов на трение в открытом космическом пространстве на орбите вокруг Луны / В.М. Ярош, А.А. Моисеев, М.А. Броневец // Трение и износ. – 2003. – Т. 3. – №6. – С. 626 – 635.
7. Вилькин М. А. Исследование структуры и электросопротивления коллекторных пленок, образованных щетками на основе твердых смазок с различной электропроводностью / М. А. Вилькин, Ю. И. Семенов, Ю. Н. Никифоров // Электротехника. – 2003. – № 12. – С. 24 – 27.
8. Neuschutz D. Development and performance of a new power slip-ring system for space applications / D.Neuschutz, G.Tomalla // Lubrication engineering. – 1985. – V. 41. – № 1. – P. 15 – 21.
9. Ватанабэ М. Материалы скользящего контакта, используемые в космосе / М. Ватанабэ // Мицубиси дэнки гихо. – 1987. – Т. 61. – № 8. – С. 619 – 622.
10. Ферромагнитные электроконтактные материалы для многоканальных вращающихся контактных устройств. / В.Я. Авербух, К.А. Гамыгин, Я.А. Глушкин [и др.] // Электрические контакты. Сборник докладов международной конференции. «Электрические контакты «ЭК-2002». – СПб.: СПб ГПУ, 2002. – С.148 – 150.
11. Глушкин Я.А. Самосмазывающиеся материалы с твердыми смазками для деталей трения электрических устройств / Я.А. Глушкин, В.Л. Мемелов. – М.: Информэлектро, 1977. – 44 с.

Владимир Яковлевич Авербух, канд.техн.наук, зам.главного конструктора, т. 366-32-44.

Константин Алексеевич Гамыгин, канд.техн.наук, начальник отдела, т. 366-20-61.

Юрий Николаевич Прохоров, ведущий конструктор, т. 994-53-23.

Владимир Васильевич Федоров, канд.техн.наук, начальник лаборатории, т.366-20-56.

E-mail: vniiem@vniiem.ru.