

Влияние материала контактных пар на износ электрических щеток электрических машин в отсутствие токовой нагрузки

ФОМИНЫХ А.А., ИЗОТОВ А.И., НИКУЛИН С.В., ТИМОШЕНКО В.Н., ПРОКОШЕВ Д.К.

Рассмотрена работа узлов скользящего токосъема электрических машин для случая, когда на электрических щетках отсутствуют рабочие токи. Представлены результаты исследований по оценке влияния материала контактных колец на износ электрических щеток при установке и отсутствии смазывающих щеток, выполненных на основе дисульфида молибдена. Установлено, что минимальные износы щеток обеспечивает контактная пара «щетка ЭГ-4 – стальное кольцо»; наибольшее сопротивление политурной пленки – кольца, изготовленные из чугуна. Применение смазывающих щеток позволяет уменьшить износы штатных щеток более чем в два раза с увеличением равномерности их износа во времени. Созданы физические модели, позволяющие на стадии проектирования и эксплуатации прогнозировать износы щеток ЭГ-61А и МГС-7 при работе на стальном кольце в сочетании со смазывающими щетками.

Ключевые слова: узел скользящего токосъема, электрическая щетка, контактное кольцо, материал контактных пар, износ

Узлы скользящего токосъема (УСТ), работающие при отсутствии токовой нагрузки, находят широкое применение. Такой режим функционирования контактных пар характерен для узлов снятия потенциала подвижного состава электропоездов и электровозов, систем снятия статического электричества синхронных турбо- и гидрогенераторов, а также в случае работы турбоагрегатов в режиме разбега турбины, когда на штатных электрических щетках (ШЩ) отсутствуют рабочие токи. Особенность их функционирования—повышенный износ пар трения «щетка — контактная поверхность». Причины износа могут быть обусловлены неоптимальным подбором материалов контактных поверхностей, а также условиями и режимами работы (повышенные вибрации, высокие температуры, агрессивная среда и т.д.), что активно способствует образованию на поверхности коллекторов, контактных колец политурной пленки («политуры»), которая значительно снижает коэффициент трения взаимно перемещающихся поверхностей [1].

Задача исследований состояла в том, чтобы оценить влияние материала щеток, контактных колец (КК) и смазывающих щеток (СЩ), выполненных на основе дисульфида молибдена, на износ электрических щеток (ЭЩ) узлов скользящего токосъема, работающих при отсутствии токовой нагрузки.

Для оценки влияния материала контактных колец на износ электрических щеток был разработан и проведен монтаж шести установок на базе одноякорного преобразователя ПО-250 А, выпускаемого АО «Электромашиностроительный завод «ЛЕП-

СЕ», с материалами контактных колец: сталь 12Х18Н10Т, чугун СЧ-18, латунь Л63, бронза БрХ08.

Каждое кольцо оборудовано двумя штатными щёткодержателями, предназначенными для установки электрических щеток, а также дополнительным щёткодержателем для смазывающей щетки, выполненной на основе дисульфида молибдена (рис. 1).

Тангенциальный размер смазывающей щетки составлял половину соответствующего размера одной ШЩ; аксиальный размер щеток одинаков.

В процессе проведения исследований измерялся износ щеток и сопротивление политурной плёнки [4]. Стабильность износов и сопротивления поли-

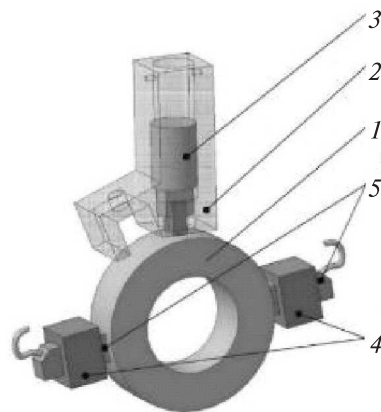


Рис. 1. Модернизированный щеточно-контактный узел преобразователя ПО-250 А: 1 – контактное кольцо; 2 – дополнительный щёткодержатель под смазывающую щетку; 3 – смазывающая щётка; 4 – штатный щёткодержатель; 5 – испытываемые щетки

турной пленки во времени контролировалась показателем среднего квадратичного отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2},$$

где n — объем выборки; x_i — значение i -го элемента выборки; x_{cp} — среднее арифметическое выборки.

В табл. 1 представлены усредненные результаты исследований по влиянию материала контактных колец (бронза, сталь, чугун, латунь) на износ ШЩ при работе в обесточенном состоянии, из которых видно, что наибольшие износы наблюдались в случае их работы на контактных кольцах из латуни, наименьшие износы ШЩ имели машины со стальными и чугунными КК. Наряду с этим использование стальных КК позволяет получить более стабильные значения износов ШЩ во времени: среднее квадратичное отклонение износов $\sigma_h = 0,006$. При оценке стабильности сопротивления политушной плёнки наилучшие показатели наблюдаются у латунного КК (среднее квадратичное отклонение сопротивления пленки $\sigma_R = 0,055$).

Таблица 1

Оценка влияния материала колец на износ электрических щеток МГС-7 при частоте вращения 11500 об/мин

Материал КК	Средняя интенсивность износов ЭЩ, мкм/км	Коэффициент наглядности износов ЭЩ, отн. ед.	Сопротивление пленки, Ом	Среднее квадратичное отклонение износов/сопротивления политушной пленки, σ_h/σ_R
Бронза	0,107	0,419	0,264	0,013/0,092
Сталь	0,083	0,325	4,225	0,006/1,276
Чугун	0,085	0,335	4,575	0,017/1,73
Латунь	0,254	1,0	0,236	0,026/0,055

В дальнейшем были проведены опыты по оценке влияния смазывающих щеток, выполненных из дисульфида молибдена (ДМ), на уменьшение износов штатных щёток. Применение СЩ при $n = 11500$ об/мин привело к увеличению износов штатных щеток. Наблюдаемый повышенный износ ШЩ, как показали расчеты, обусловлен высокими значениями микротемпературы в зоне контакта «щетка-кольцо», превышающими 400°C [5]. Это приводит к переходу ДМ в оксид и появлению в зоне контакта абразивных частиц. Исследования позволили определить рабочий диапазон частоты вращения,

при котором температура в зоне точек непосредственного контакта не превышала 400°C ; проведена серия повторных испытаний с использованием щеток марок ЭГ-4, ЭГ-2А, применяемых в узлах заземления валопровода турбогенератора, ЭГ-61А, МГС-7, используемых в узлах снятия потенциалов электроподвижного состава железнодорожного транспорта. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка влияния установки смазывающих щеток, выполненных на основе дисульфида молибдена, на износ щеток в диапазоне частот вращения

Материал ЭЩ (КК)	Средняя интенсивность износов ЭЩ, мкм/км		Эффективность снижения износов ЭЩ, отн. ед.
	СЩ отсутствуют	СЩ установлены	
ЭГ-61 А (сталь)	0,054	0,025	2,15
МГС-7 (сталь)	0,083	0,043	1,95
ЭГ-2А (сталь)	0,062	0,027	2,28
ЭГ-4 (сталь)	0,046	0,018	2,61

Наименьшие износы при отсутствии СЩ наблюдались в случае применения щеток ЭГ-4, наибольшие — при применении щёток МГС-7.

Применение СЩ помимо снижения износов ШЩ привело к значительному увеличению равномерности их износов во времени. В табл. 3 представлены результаты исследования нестабильности износов ШЩ ЭГ-61А во времени, работающих на стальном кольце, и их зависимость от использования СЩ.

В случае отсутствия СЩ износы ШЩ носят нестабильный характер на протяжении всего эксперимента (максимальное отклонение от среднего значения износов ШЩ составляет 36%). Наблюдаемое явление, по всей вероятности, обусловлено нестабильностью дуги контактирования «щет-

Износ ЭЩ, мкм/км

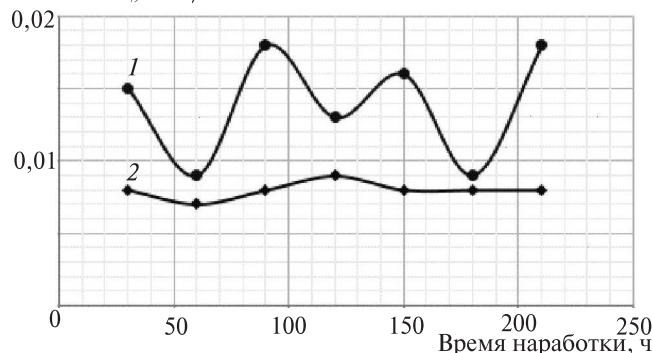


Рис. 2. Влияние установки СЩ на стабильность износов ЭЩ ЭГ-61: 1 — СЩ отсутствуют; 2 — СЩ установлены

Таблица 3

Влияние СЩ на стабильность износов ШЩ

Параметр режима	Длительность наработки, ч						
	30	60	90	120	150	180	210
Материал КК	Сталь						
Материал электрической щетки	ЭГ-61 А						
Удельное давление, кПа	50						
Износы, мкм/км	0,015/0,008	0,009/0,007	0,010/0,008	0,013/0,009	0,016/0,008	0,009/0,008	0,010/0,008
Среднее значение износов ШЩ, мкм/км	0,014/0,008						

ка—кольцо», которая, по данным [6], может значительно отличаться от кажущейся. Установка СЩ (рис. 2) приводит к снижению неравномерности износов ШЩ. Максимальное отклонение от среднего значения износов ШЩ в случае использования СЩ составило 12,5%. Наблюдаемый эффект можно объяснить влиянием смазки на стабилизацию дуги контактирования.

По результатам исследований созданы четыре математические модели износов электрических щеток марок ЭГ-61 А и МГС-7 первого порядка в случае работы на стальных кольцах и отсутствия токовой нагрузки, которые позволяют прогнозировать износы щеток на стадии проектирования и эксплуатации.

Полиномы износов имеют следующий вид:

для щеток МГС-7 (смазывающие щетки отсутствуют)

$$I_h = 0,0758 + 0,0092x_1 + 0,0056x_2 + 0,0051x_3, \quad (1)$$

где x_1 — коэффициент, определяемый частотой вращения; x_2 — коэффициент, определяемый удельным давлением пружин; x_3 — коэффициент, определяемый шириной щетки;

для щетки ЭГ-61 А (смазывающие щетки отсутствуют)

$$I_h = 0,0488 + 0,0046x_1 + 0,0067x_2 + 0,0022x_3; \quad (2)$$

для щетки МГС-7 (смазывающие щетки установлены)

$$I_h = 0,0392 + 0,0046x_1 + 0,0036x_2 + 0,0048x_3 + 0,0049x_4 + 0,0009x_3x_4, \quad (3)$$

где x_4 — коэффициент, определяемый толщиной смазывающего покрытия; x_3x_4 — коэффициент, учитывающий взаимное влияние ширины щетки и толщины смазки;

для щетки ЭГ-61 А (смазывающие щетки установлены)

$$I_h = 0,0239 + 0,002x_1 + 0,0027x_2 + 0,0008x_3 + 0,0027x_4. \quad (4)$$

Достоверность разработанных моделей была проверена в ходе промышленных испытаний совместно с представителями АО «Электромашиностроительный завод «ЛЕПСЕ» (г. Киров). Результаты исследований совпадали с математическими ожиданиями, полученными по расчетным моделям с погрешностью, не превышающей 10%. Установка смазывающих щеток при работе на стальных кольцах в случае отсутствия токовой нагрузки позволяет снизить износы штатных электрических щеток МГС-7 в 2,1 раза, ЭГ-61 А — в 2,4 раза. Результаты исследований, а также достоверность разработанных моделей подтверждены двумя актами промышленных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лившиц П.С. Скользящий контакт электрических машин. — М.: Энергия, 1974, 321 с.
2. Патент 2162261 (РФ). Узел скользящего токосъема электрических машин/А.И. Изотов. — БИ, 2001, № 16, 3 с.
3. Патент 112513 (РФ). Узел скользящего токосъема (варианты)/А.И. Изотов. — БИ, 2012, № 1, 8 с.
4. Патент № 1468346 (СССР). Способ определения времени формирования политуры пленки на коллекторе электрической машины/А.И. Изотов, 1988.
5. Плохов И.В. Комплексная диагностика и прогнозирование технического состояния УСТ турбогенераторов: Автореф. дис.... докт. техн. наук. С. Петербургский государственный технический университет, 2002, 36 с.
6. Деева В.С., Слободян М.С., Слободян С.М. «Живучесть» щеточного контакта электрических машин. — Электричество, 2013, № 4, с. 45—49.

[01.03.2017]

Авторы: **Фоминых Антон Анатольевич** окончил Вятский государственный университет (ВятГУ) в 2006 г. Защитил в 2016 г. кандидатскую диссертацию «Оценка влияния твердой смазки на трибохарактеристики узлов скользящего токосъема». Доцент ВятГУ.

Изотов Анатолий Иванович окончил Омский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1962 г. Защитил в 1974 г. кандидатскую диссертацию «Определение оптимальных параметров дополнительных полюсов машин, работающих при резкопеременных циклических нагрузках». Заведующий кафедрой электрических машин и аппаратов ВятГУ.

Никулин Сергей Викторович окончил ВятГУ в 2002 г. Защитил в 2007 г. кандидатскую диссертацию «Улучшение свойств щёточного контакта в электрических машинах». И.о. проректора по образованию ВятГУ.

Тимошенко Вячеслав Николаевич окончил Вятский государственный университет в 2003 г. Аспи-

рант кафедры электрических машин и аппаратов ВятГУ.

Прокошев Дмитрий Константинович окончил Вятский государственный университет в 2011 г. Аспирант кафедры электрических машин и аппаратов ВятГУ.

Elektrichestvo (Electricity), 2017, No. 8, pp. 61–64

DOI:10.24160/0013-5380-2017-8-61-64

The Influence of Contact Pair Material on the Wear of Electrical Machine Brushes Operating in the No-Load Mode

FOMINYKH Anton A. (*Vyatskii gosydarstvennyi universitet (VyatGU), Kirov, Russia*) — Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

IZOTOV Anatolii I. (*VyatGU, Kirov, Russia*) — Head of the Department, Cand. Sci. (Eng.)

NIKULIN Sergei V. (*VyatGU, Kirov, Russia*) — Acting Pro-Rector for Education, Cand. Sci. (Eng.)

TIMOSHENKO Vyacheslav N. (*VyatGU, Kirov, Russia*) — Assistant in the Department

PROKOSHEV Dmitrii K. (*VyatGU, Kirov, Russia*) — Ph. D. Student

The performance of electrical machine slip ring units is considered for the case when the brushes operate under no-load conditions. The article presents the results from investigations aimed at determining the effect the slip ring material has on the wear of electric brushes with and without using the lubricating brushes made on the basis of molybdenum disulfide. It has been found that the minimal brush wear is achieved in case of using “EG-4 brush—steel ring” contact pairs. It has also been determined that the highest brush film resistance is obtained in case of using cast iron rings. The use of lubricating brushes allows the wear of main brushes to be decreased by more than a factor of two with simultaneously making their wear more uniformly distributed in time. Physical models have been developed that allow the wear of EG-61A and MGS-7 brushes to be predicted at the design and operation stages for their operation on a steel slip ring in combination with lubricating brushes.

Key words: *slipringunit, electric brush, slip ring, contact pair material, wear*

REFERENCES

1. **Livshits P.S.** *Skol'zyashchii kontakt elektricheskikh mashin* (Sliding contact of electrical machines). Moscow, Publ. «Energiya», 1974, 321 p.

2. **Patent RF No. 2162261.** *Uzel skol'zyashchego tokos'yema (varianty)* (Sliding current collector unit (variants)/A.I.Izotov. Bulletin of inventions, 2001, No. 16.

3. **Patent RF No. 112513.** *Uzel skol'zyashchego tokos'yema (varianty)* (Sliding current collector unit (variants)/A.I. Izotov. Bulletin of inventions, 2012, No. 1.

4. **Patent No.1468346 (SSSR).** *Sposob opredeleniya vremeni formirovaniya politurnoi plenki na kollektore elektricheskoi mashiny* (A

method for determining the time taken for a brush film to form on the electrical machine collector)/A.I. Izotov, 1988.

5. **Plokhov I.V.** *Kompleksnaya diagnostika i prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya UST turbogeneratorov: Avtoref. diss.... dr. tekhn. nauk* (Comprehensive diagnostics and technical state prediction of turbine generators slip ring units). Authors abstract of Dr. Sci. (Eng.). St. Petersburg. State Technical University, 2002, 36 p.

6. **Deyeva V.S., Slobodyan M.S., Slobodyan S.M.** *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 2013, No. 4, pp. 45–49.

[01.03.2017]