

Применение смазывающих щеток для снижения износа элементов узлов токосъема в электрических машинах

ИЗОТОВ А.И., МАМАЕВ Г.А., БЕСПАЛОВ В.Я., ФОМИНЫХ А.А., ТИМОШЕНКО В.Н.,
НОВИКОВ Л.И., НИКУЛИН С.В., ИЗОТОВ С.А.

Предлагается одно из решений проблемы уменьшения износа щеток и коллектора машин постоянного и переменного тока – применение смазывающих щеток (СЩ), выполненных на основе дисульфида молибдена. При оптимальной подаче смазывающего материала в зону контакта его проводимость практически не меняется, смазывающие свойства сохраняются. Исследуется эффективность применения СЩ в случае использования коллектора из разных материалов, влияния СЩ на рабочие характеристики машины, уровень радиопомех. Дается оценка влияния материала контактных колесц на износ токовых щеток при применении СЩ на основе дисульфида молибдена.

Ключевые слова: электрические машины, износ коллектора и щеток, смазывающие щетки, характеристики машины

Одной из проблем в коллекторных машинах постоянного и переменного тока является износ токоведущих щёток и коллектора. Износ щёток зависит от их марки, материала коллектора, уровня искрения, частоты вращения, давления на токоведущие щётки и т.д. Проведённые исследования позволили разработать способ снижения износа щёток за счёт применения смазывающих щёток (СЩ), выполненных на основе дисульфида молибдена [1].

Дисульфид молибдена широко используется в промышленности для снижения износа в узлах механического трения. В узлах скользящего токосъема он не применяется, поскольку является диэлектриком. Однако, как показали исследования, в случае оптимальной подачи смазывающего материала в зону контакта проводимость контакта остается практически без изменения при сохранении смазывающих свойств. Температура в зоне контакта «токоведущая щётка – коллектор» не должна превышать 400 °С, иначе дисульфид молибдена переходит в оксид, обладающий абразивными свойствами.

В табл. 1 представлены результаты оценки эффективности использования СЩ (марки Г-21А) в герметичном электродвигателе мощностью 50 Вт. Их применение снижает износ токоведущих щёток при работе в термобарокамере с температурами +120 °С и –60 °С, при давлении 15 мм рт. ст. соответственно в 5 и 7 раз. При работе в нормальных условиях износ снижается в 1,5 раза (на коллекторе была установлена одна СЩ, расположенная между токоведущими).

Установка СЩ приводит к некоторому увеличению потребляемого тока и времени поворота вала механизма, однако параметры испытываемых двигателей соответствовали ТУ на их поставку.

В табл. 2 приведены результаты оценки эффективности смазывающих щёток в случае использования коллекторов из разных материалов (медь, кадмиевая и хромовая бронза). Исследовательский цикл включал работу в нормальных условиях, а также в высотных при температурах +85 °С и –60 °С. Наибольший износ щёток наблюдается у якоря с коллектором из меди, наименьший — у коллектора, выполненного из хромовой бронзы. Установка СЩ уменьшает износ штатных щёток на коллекторах из меди, кадмиевой и хромовой бронзы соответственно в 1,8; 3,5; 3,8 раза.

Таблица 1

Условия опытов	Износ щеток за испытательный цикл, $\text{мм} \cdot 10^{-4}$ при режиме работы термобарокамеры		
	нормальные	$t=120 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t=-60 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Смазывающей щётки нет	9,74	12,18	80,4
Смазывающая щётка установлена	6,09	2,43	10,95

Была проведена оценка влияния сроков хранения на характеристики электродвигателей со сма-

Таблица 2

Материал коллектора	Условия опытов	Износ щёток, мм $\times 10^{-3}$
Медь	Смазывающей щётки нет	43
	Смазывающая щётка установлена	23,2
Кадмиевая бронза	Смазывающей щётки нет	36,7
	Смазывающая щётка установлена	10,6
Хромовая бронза	Смазывающей щётки нет	23
	Смазывающая щётка установлена	6

Таблица 3

Параметр	СЩ отсутствуют					СЩ установлены				
	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
M_2 , Нжл	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
P_1 , Вт	630	950	1400	1600	2000	640	920	1300	1700	2000
I , А	2,5	4,4	6,5	8,5	10,4	2,45	4,3	6,5	8,5	10,3
n , об/мин	21913	17654	15288	13650	13104	21891	17629	15190	13617	12900
Искрение	11/2	11/2	11/2	11/2	11/2	11/2	11/2	11/2	11/2	11/2
$t_{\text{кол}}$, °С при $P_{\text{ном}}$	—	—	—	—	125	—	—	—	—	110

Уровень радиопомех по напряжению (дБ):

Частота, МГц	0,16	0,24	0,55	1	1,4	2	3,5	6	10	22	30
По ГОСТ Р51318.14.1-99	75,5	72,1	69	69	69	69	69	74	74	74	74
Г-33И	48	48	43	36	35	38	37	41	42	30	30
Г-33И с ДМ	46	47	38	33	33	38	32	32	36	27	26

Уровень радиопомех по мощности (дБ):

Частота, МГц	30	45	60	90	150	180	220	300
По ГОСТ Р51318.14.1-99	55	55,6	56,3	57,2	59,5	60,6	62	65
Г-33И	46,4	44,4	49,4	48,4	41,9	40,5	34,3	30,8
Г-33И с ДМ	43,4	41,4	47,4	45,4	41,9	30,5	27,3	22,8

Таблица 4

Параметры	СЩ отсутствуют					СЩ установлена				
	0	10	20	30	35	0	10	20	30	35
Момент на валу M_2 , Нжл	0	10	20	30	35	0	10	20	30	35
Потребляемая мощность P_1 , Вт	1040	1500	1950	2350	2600	1060	1500	1900	2320	2520
Потребляемый ток I , А	5,2	7,5	9,7	11,7	13	5,2	7,5	9,5	11,7	12,7
Частота вращения n , об/мин	5699	5022	4671	4416	4250	5790	5130	4720	4440	4320
Уровень искрения, балл	2	2	2	11/2-2	11/2-2	11/2-2	11/2-2	11/2-2	11/2-2	11/2-2
Температура коллектора, °С	118	—	—	—	142	92	—	—	—	147

зываются щётками. Одна из групп двигателей (2 шт.), оборудованных щётками МГС-7 и Г-21А, хранилась в течение одного года, вторая – двух лет. После этого были сняты рабочие характеристики и определены износы. Параметры электромеханиз-

мов (потребляемый ток и время поворота вала) изменялись в допустимых пределах и соответствовали ТУ на поставку. Износ штатных щёток до и после хранения оставался приблизительно одинаковым. Применение смазывающих щёток на стартер-гене-

Таблица 5

Параметры	СЩ отсутствуют				СЩ установлена			
	0	10	20	30	0	10	20	30
Момент на валу M_2 , Нж	0	10	20	30	0	10	20	30
Потребляемая мощность P_1 , Вт	1050	1450	1870	2320	1070	1500	1900	2300
Потребляемый ток I , А	5	7,2	9,4	10,6	5,2	7,4	9,5	11,6
Частота вращения n , об/мин	5784	5082	4800	4482	5824	5166	4735	4448
Уровень искрения, балл	11/2	11/2	2	2	2	2	11/2	11/2
Температура коллектора, °С	112	–	–	122	84	–	–	107

Таблица 6

Частота, МГц	30	45	60	90	150	180	220	300
По ГОСТ Р51318.14.1-99	55	55,6	56,3	57,2	59,5	60,6	62,1	65
Смещение на 4 мм	38	27-31	32	36-41	33	30	28	27
Смещение на 4 мм, установлены смазывающие щётки	37	33	33	35	32	33	28	26

Таблица 7

Основные параметры узла	Материал колец и марка щетки					
	Сталь, ЭГ-4		Чугун, ЭГ-61А		Бронза, МГС-8	
	1-я щетка	2-я щетка	1	2	1	2
Сопротивление политуры пленки (СЩ отсутствуют), Ом	8,7	10,3	7,5	9,6	0,08	0,13
Сопротивление политуры пленки (СЩ установлены), Ом	9	10,5	7,7	10	0,1	0,155
Снижение износов токоведущих щеток, раз	4,0	6,0	5,8	3,1	3,0	4,4

раторе постоянного тока мощностью 12 кВт при использовании щёток МГС-7 с коллектором из хромовой бронзы позволило увеличить ресурс в 5–6 раз [2].

Широкие исследования по оценке эффективности СЩ на коллекторных машинах переменного тока мощностью 1,6; 1,8; 2; 2,2 кВт показали, что применение СЩ позволяет значительно (до 3-х раз) увеличить ресурс щёток с одновременным снижением уровня радиопомех по мощности и напряжению. Выше приведены результаты оценки влияния установки СЩ на рабочие характеристики (табл. 3) и уровень радиопомех по мощности и напряжению для щёток Г-33И на двигателях мощностью 2,2 кВт (класс приборов не менее 5). Установка СЩ практически не оказывает влияния на рабочие характеристики, снижая температуру коллектора и уменьшая по большинству значений частоты уровень радиопомех.

Получены результаты оценки эффективности СЩ на коллекторном двигателе мощностью 2,4 кВт в случае изготовления коллектора из меди

марок ПКМ и ПКМС (медь с добавкой серебра). Применение СЩ на коллекторе из меди ПКМ (табл. 4) снижает температуру коллектора только в режиме холостого хода. При номинальной нагрузке температура коллектора увеличивается. На коллекторе из меди ПКМС (табл. 5) температура коллектора в случае применения СЩ снижается как в режиме холостого хода, так и при номинальной нагрузке. Как показывают расчёты по программе «Contact», разработанной на кафедре ЭСА Псковского государственного политехнического института [3], в случае медного коллектора микротемпература в зоне контакта коллектора при номинальной нагрузке превышает 400 °С. При использовании коллектора, изготовленного из материала ПКМС, как в режиме холостого хода, так и при номинальной нагрузке температура ниже критической (400 °С). В первом случае увеличение износа токоведущих щёток происходит за счёт образования оксида, во втором – износ уменьшается в 3 раза. Вместе с этим наблюдалось уменьшение износа коллектора в 2 раза.

В спроектированном двигателе с коллектором из меди ПКМС за счёт повышенных вибраций со стороны редуктора наблюдалась высокая нестабильность уровня радиопомех, не позволяющая провести оценку их значений (в соответствии с ГОСТ Р51318.14.1-99 допустимое отклонение ± 2 дБ). В табл. 6 представлены значения радиопомех по мощности при смещении на 4 мм щёткодержателя для токоведущих щёток по направлению вращения якоря параллельно штатному положению [4] (ширина токоведущей щётки 8 мм), а также при установке смазывающей щётки. Смещение щёткодержателей позволило уменьшить нестабильность радиопомех по большинству значений частоты. Установка смазывающей щётки в сочетании со смещением щёткодержателей полностью устранила нестабильность и обеспечила уровень радиопомех в соответствии с ГОСТ. Результаты подтверждены актом промышленных испытаний.

В табл. 7 представлены данные по оценке влияния смазывающих щеток, выполненных из дисульфида молибдена, на износ токопроводящих щеток при их работе на контактных кольцах. Применение смазывающих щеток также приводит к значительному снижению износа токопроводящих элементов, увеличению сопротивления политуры пленки, что в определённой степени способствует стабилизации токораспределения в многощёточных системах.

Авторами разработана промышленная технология изготовления СЩ. Созданы физические модели второго порядка, позволяющие на стадии проектирования электрических машин прогнозировать ожидаемый износ токоведущих щёток в случае применения смазывающих, а также подбирать контактные пары «токоведущая щётка–коллектор», обеспечивающие возможность использования смазывающих щёток.

Совместно с ОАО «Электромашиностроительный завод «Лепсе» проводится работа по оценке возможности внедрения СЩ в серийное производство на двигателе привода угловой шлифовальной машины мощностью 2,4 кВт с коллектором из меди (ПКМС). Ведутся эксплуатационные испытания по оценке эффективности применения СЩ на агрегатах подвижного состава железнодорожного транспорта (двигатели, генераторы, узлы обратного тока), кольцах турбогенераторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент (RU 2162261). Узел скользящего токосъема/А.И. Изотов, Г.А. Мамаев, В.И. Катаев, В.А. Шабардин, С.А. Изотов, С.Л. Колесов. От 04.08.1999.

2. Изотов А.И., Мамаев Г.А. Применение твердой смазки для снижения износов щеток в машинах авиационного исполнения. – Тезисы докладов. VII Международной конференции «Авиация и космонавтика-2008». – СПб: Мастерская печати, 2008, 208 с.

3. Плохов И.В. Модель динамики токопередачи через скользящий контакт. – Электротехника, 2005, № 2, с. 28–33.

4. Изотов А.И., Мамаев Г.А., Беспалов В.Я., Никулин С.В., Тимошенко В.Н. Улучшение характеристик электрических машин за счёт применения смазывающих щёток, выполненных на основе дисульфида молибдена. – Электротехника, 2007, № 6, с. 33–39.

[25.12.14]

Авторы: Изотов Анатолий Иванович окончил Омский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1962 г. В 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию «Определение оптимальных параметров дополнительных полюсов машин, работающих при резкопеременных циклических нагрузках». Заведующий кафедрой электрических машин и аппаратов (ЭМА) Вятского государственного университета (ВятГУ).

Мамаев Геннадий Александрович окончил Вятский политехнический институт в 1979 г. В 2004 г. защитил кандидатскую диссертацию «Основы проектирования и организация промышленного производства медицинских озонаторных установок». Доцент кафедры электрических машин и аппаратов (ЭМА) ВятГУ, генеральный директор ОАО «Лепсе».

Беспалов Виктор Яковлевич окончил электромеханический факультет Московского энергетического института (МЭИ) в 1960 г. Докторскую диссертацию «Асинхронные машины для динамических режимов работы» защитил в МЭИ в 1992 г. Профессор кафедры электромеханики МЭИ.

Фоминых Антон Анатольевич окончил ВятГУ в 2006 г. Ассистент кафедры ЭМА ВятГУ.

Тимошенко Вячеслав Николаевич окончил ВятГУ в 2003 г. Ассистент кафедры ЭМА ВятГУ.

Новиков Леонид Игнатьевич окончил Институт стали и сплавов в 1967 г. В 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию «Изучение релаксационных процессов и факторов, определяющих нагрузочные свойства и внутренние трения сплава 50 % Fe–50 % Ni. Доцент кафедры ЭМА ВятГУ.

Никулин Сергей Викторович окончил ВятГУ в 2002 г. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Улучшение свойств щеточного контакта в электрических машинах». Декан заочного факультета ВятГУ.

Изотов Сергей Анатольевич окончил ВятГУ в 1981 г. В 1991 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка процесса электрохимического меднения многослойных печатных плат при высоком отношении толщины платы к диаметру отверстия» Доцент кафедры «Технологии защиты биосферы» ВятГУ.

Application of lubricating brushes for wear decrease of the commutator electric machines commutating devices

A.I. IZOTOV, G.A. MAMAYEV, V.YA. BESPALOV, A.A. FOMINYKH, V.N. TIMOSHENKO, L.I. NOVIKOV, S.A. NIKULIN, S.A. IZOTOV

One of problem possible solution of brushes and collector wear lowering in DC and AC commutator machines – to implement lubricating brushes (LB) made of the molibden disulphide. If to put the lubricating material optimally into a contact zone, its conductivity rests practically constant and lubricating ability, as well. LB use efficiency has been studied for collectors made of different materials, also LB influence on the machines performances and radio noise. Effect of the slip rings materials was evaluated on wearing of brushes provided with molibden disulphide.

Key words: *electric machines, collector and brushes wearing, lubricating brush, machine performance*

REFERENCES

1. **Patent RU 2161161.** *Uzel skol'zyashchego tokos'yema* (Node of sliding collector ring)/A.I. Izotov, G.A. Mamayev, V.I. Katayev, V.A. Shabardin, S.A. Izotov, S.L. Kolesov. O4.08.1999.
2. **Izotov A.I., Mamayev G.A.** *Primeneniye tverdoi smazki dlya snizheniya iznosov shchetok v mashinakh aviatsionnogo ispolneniya.* – *Tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoi konf. «Aviatsiya i kosmonavtika-2008»* (Use of solid lubricant to reduce wear of the

brushes in the performance of aircraft engines. – Proc. VII Intern. Conf. «Aerospace-2008». St. Petersburg, Publ. «Masterskaya pechati», 2008, 208 p.

3. **Plokhov I.V.** *Elektrotehnika (Power Engineering)*, 2005, No. 2, pp. 28–33.

4. **Izotov A.I., Mamayev G.A., Bepalov V.Ya., Nikulin A.V., Timoshenko V.N.** *Elektrotehnika (Power Engineering)*, 2007, No. 6, pp. 33–39.

Authors: **Izotov Anatolii Ivanovich** (Kirov, Russia) – *Cand. Techn. Sci., Head of the Department, Vyatka State University (VyatSU).*

Mamayev Gennadii Aleksandrovich (Kirov, Russia) – *Cand. Techn. Sci., Associate Professor, VyatSU.*

Bepalov Viktor Yakovlevich (Moscow, Russia) – *Doctor Techn. Sci., Professor, Moscow Power Engineering Institute.*

Fominykh Anton Anatol'yevich (Kirov, Russia) – *Assistant in the Department, VyatSU.*

Timoshenko Vyacheslav Nikolayevich (Kirov, Russia) – *Assistant in the Department, VyatSU.*

Novikov Leonid Ignat'yevich (Kirov, Russia) – *Cand. Techn. Sci., Associate Professor, VyatSU.*

Nikulin Sergei Viktorovich (Kirov, Russia) – *Cand. Techn. Sci., Head of the Department, VyatSU.*

Izotov Sergei Anatol'yevich (Kirov, Russia) – *Cand. Techn. Sci., Associate Professor, VyatSU.*