

# К ЗАЩИТЕ ДИССЕРТАЦИЙ

УДК 621.3.047,4:629.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОЩЁТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

О.А. Филина

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия  
*olga\_yuminova83@mail.ru*

**Резюме:** В статье изложен один из возможных путей решения поставленной задачи, посредством применения составных электрощёток с повышенным ресурсом на ТЭД для городского электротранспорта и локомотивов, за счёт использования повторно неизнашиваемой части щеток.

**Ключевые слова:** эксплуатационный режим, электрощетка, электродвигатель, износостойчивость, коллектор.

## A STUDY OF THE WORKING LIFE OF THE BRUSHES OF A DC MOTOR OF ROLLING STOCK

O.A. Filina

Kazan state power engineering University, Kazan, Russia  
*olga\_yuminova83@mail.ru*

**Abstract:** This article outlines one of the possible ways to solve the problem by applying composite brushes with heightened resource on TED for municipal electric and locomotives by using re-neizlechimoj part of the brushes.

**Keywords:** maintenance mode, electro brush, motor, durability, collector

### Введение

Рассматривается задача повышения ресурса путём использования новой конструкции электрощёток. Данное конструктивное решение хорошо согласуется с конкретными типами тяговых электродвигателей (ТЭД), применяемых на городском и железнодорожном транспорте, и удовлетворяет техническим условиям (ТУ) на их эксплуатацию. Применение разработанной конструкции электрощёток ведёт к повышению ресурсных показателей скользящего контакта ТЭД, снижению коэффициента ремонтпригодности.

Проблема увеличения ресурса работы коллекторно-щеточного узла (КЩУ) наиболее остро стоит применительно к ТЭД, уровень загрузки которого в ряде случаев составляет круглосуточная работа. Например, если ресурс работы электрощеток в электродвигателях для городского электротранспорта и локомотивов, как правило, составляет пробег между TP2, то требуется неоднократная замена щеток в процессе эксплуатации. С целью повышения ресурса КЩУ разрабатываются все более совершенные марки электрощёток с повышенной надежностью, износостойчивостью и коммутационной способностью [1; 2].

### Постановка задачи

Обзор литературы по данному вопросу показал, что технический ресурс электрощёток связан с износом элементов КЩУ. Механический и электроэрозионный износ обусловлен влиянием состояния коллектора и коммутационного искрения в скользящем контакте, которые, в свою очередь, зависят от многих факторов. Следовательно, для улучшения показателей работы КЩУ электродвигателей необходимо применение таких конструктивных решений, которые позволяют снизить влияние указанных факторов. В работах [3–5] таким техническим решением является введение разреза в тело электрощётки.

Рекомендуемая составная разрезная щётка [4, 5] выполнена в соответствии требованием ГОСТ 12232-89. Она выполнена составной (введён поперечный разрез, замковая часть), в то время как существующие конструкции электрощёток или неразрезные, или продольно разрезные. Конструкция КЩУ электрической машины остаётся неизменной.

В процессе эксплуатации происходит постоянный непрерывный износ электрощёток. Изношенные щётки не восстанавливаются, подлежат замене и утилизации совместно с дорогостоящими элементами конструкции.

На рис. 1. показана серийная электрощётка с указанием основных элементов.

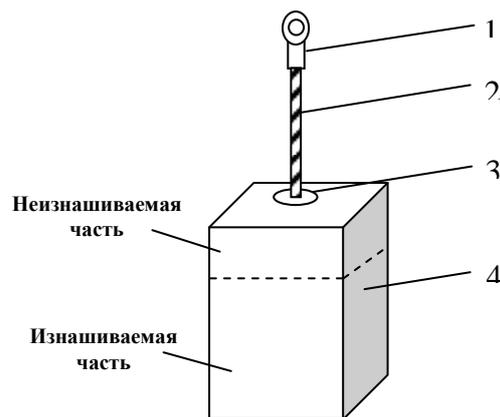


Рис. 1. Конструкция серийной (неразрезной) электрощётки:

- 1 – наконечник луженый; 2 – медный провод гибкий неизолированный плетеный;  
3 – материалы для соединения токоведущего провода с телом щетки (конопатка, электропроводящий клей, медный порошок); 4 – угольно-графитовая часть

Предлагаемая конструкция позволяет использовать верхнюю (неизнашиваемую) часть электрощётки неоднократно, что, в свою очередь, позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты электрических машин и исключить утилизацию неизношенных частей. Это связано с тем, что при замене изношенной сменной вставки не требуется полной замены щетки. Достаточно только установить новую сменную вставку. Весь процесс замены сменной вставки значительно облегчает работу обслуживающего персонала и сокращает время профилактических работ до 70%.

Составная электрощётка (рис. 2) с повышенным ресурсом функционально не отличается от серийной ни по типоразмеру, ни по технологии изготовления и эксплуатации. Основное отличие заключается в конструкции тела щетки. В гильзе щёткодержателя 1 располагается неизнашиваемая часть 2 составной электрощётки и сменная графитовая вставка 3, скользящая по коллектору 4 электрической машины. Прижим электрощётки к коллектору осуществляется пружиной 5. Данное усилие создает надежный контакт в плоскости соприкосновения 6 между основной частью составной электрощётки и сменной графитовой вставкой.

Предложенная конструкция, как показывают расчеты, также обеспечивает уменьшение коэффициента ремонтпригодности.

Ориентировочно стоимость неизношенных остатков составляет на 3 июля 2017 г. около 60% от общей стоимости электрощетки (70000 руб.): для электрощёток ЭГБ1А 1000шт. – соответственно 42000 руб.

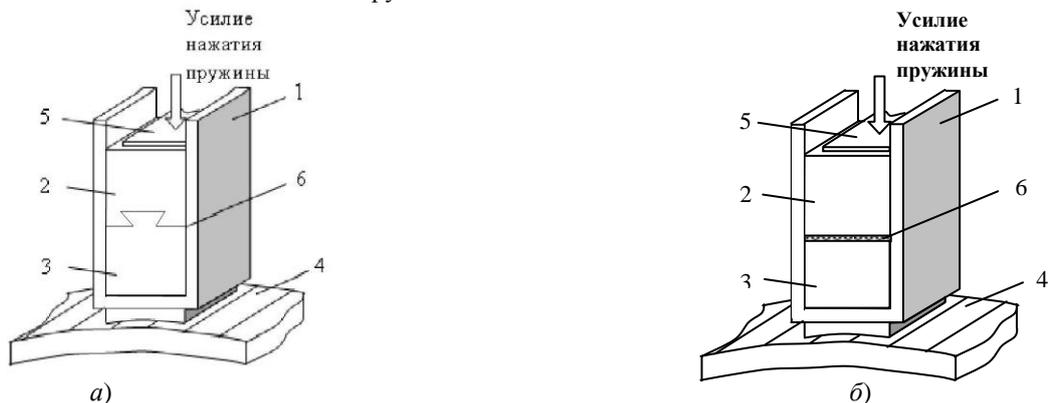


Рис. 2. Схематическое изображение КЩУ: *а* – составная электрощетка с замковой частью; *б* – составная (разрезная)

Составные разрезные щётки обеспечивают надёжный электрический контакт с вращающимися частями электрических машин и не вызывают нарушения этого контакта, как показали лабораторные измерения, проведенные на кафедре «Электротехнические комплексы и системы» КГЭУ под руководством П.П. Павлова, в статическом режиме сопротивление увеличивается на 9–13% [3].

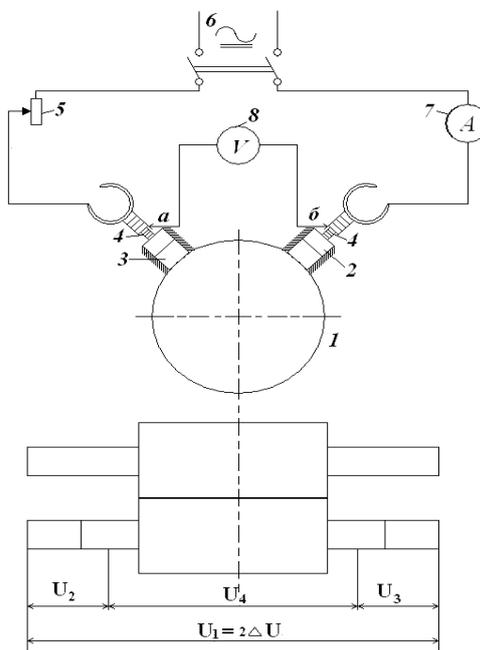


Рис. 3. Принципиальная схема короткозамкнутого коллектора и замера падения напряжения на щётках: *1* – короткозамкнутый коллектор; *2* – составные электрощётки - неизнашиваемая часть; *3* – составные электрощётки - изнашиваемая часть; *4* – токоведущие провода; *5* – реостат; *6* – источник постоянного тока 6–12 В

Испытания включали в себя проверку коллекторных характеристик: измерение величины общего падения напряжения на паре щеток ( $2\Delta U$ ), износ и коэффициент трения.

Данная схема измерения позволила, кроме замеров падения напряжения  $2\Delta U$ , измерять падение напряжения в разрезе тела электрощёток.

Результаты испытаний (неразрезной) серийной и составной разрезной электрощёток были занесены в протокол, и на его основании построены зависимости падения напряжения на пару щёток  $2\Delta U$  (усреднённые) от времени испытания (рис.4).

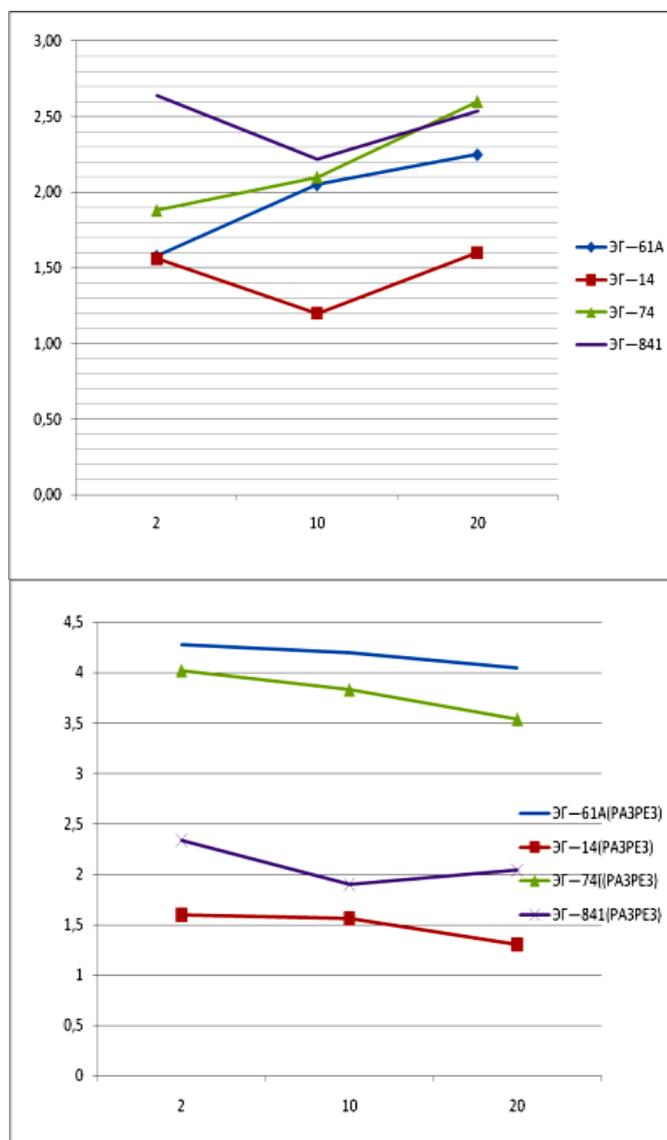


Рис. 4. Зависимости падения напряжения на пару щёток  $2\Delta U$  (усреднённые) от времени испытания: а – серийная (неразрезная); б – составная разрезная

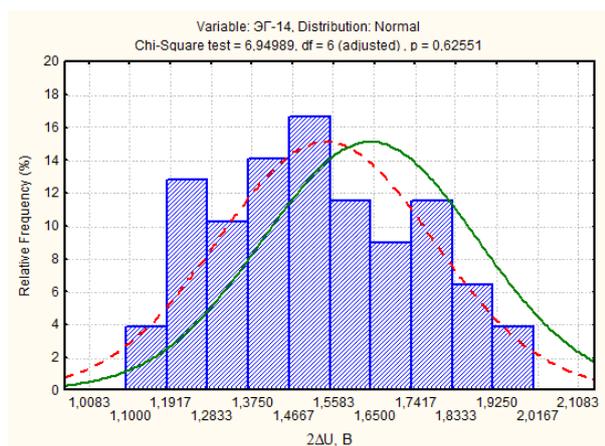
Как видно из рис 4, в начале и конце измерений для неразрезных щеток характерно увеличение падения напряжения, что можно объяснить ростом температуры КЩУ. Для составных разрезных щёток характерно уменьшение падения напряжения на 0,2–0,3 В

после завершения испытаний, что можно объяснить приработкой контактных поверхностей в разрезе тела щётки.

Проведенные экспериментальные исследования на других образцах щёток, выполненные с использованием данной методики, показали, что, несмотря на относительное увеличение падения напряжения на паре щёток  $2\Delta U$ , их можно использовать в условиях эксплуатации независимо от типа электрической машины и условий ее эксплуатации.

При испытаниях также выявлено, что остальные параметры коллекторных характеристик составных электрощеток с повышенным ресурсом находятся в пределах норм, определяемых ТУ.

Следующий этап проведения эксперимента заключался в обработке полученных статистических данных. С этой целью использовалась программа *Staitica* 6.0. На основании результатов были построены гистограммы распределения переходного падения напряжения на пару щеток  $2\Delta U$  (рис. 5, 6) всех серийных электрощёток выпуска 2005г. и составных разрезных электрощёток.



	Valid N	Mean	Median	Mode	Frequency	Sum	Variance	Std.Dev.	Standard
ЭГ-61А	78	1,55	1,50	1,50	13	118,60	0,058	0,24	0,027

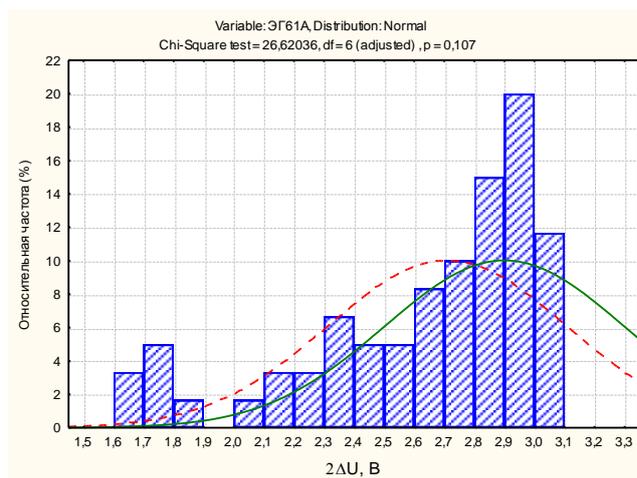
Рис. 5. Гистограмма распределения переходного падения напряжения  $2\Delta U$  на пару щеток ЭГ-14

На гистограммах рис. 5, 6 изображены усреднённые кривые: по экспериментальным данным – сплошная зелёная и по проектируемым – пунктирная. Для того, чтобы усилить благоприятное влияние падения напряжений  $u_1 + u_2$  на процесс коммутации, в машинах постоянного тока с затрудненной коммутацией применяют щетки с большим переходным сопротивлением, несмотря на то, что это увеличивает потери мощности в переходном контакте.

### Выводы

1. Результаты статистического анализа распределения величины переходного падения напряжения на пару щеток показали, что данная величина распределена по нормальному закону распределения как для неразрезных, так и для составных разрезных щеток. Кроме того, математическое ожидание значения падения напряжения на пару щёток  $2\Delta U$  для разрезных щеток в среднем на 6–10 % больше, чем для неразрезных, но это не превышает требований ТУ.

2. Большое значение дисперсии величины падения напряжения на пару щеток для электрощетки типа ЭГ-61А указывает на нестабильность её характеристик, что подтверждает неоднократные упоминания об этом в литературе.



	Valid N	Mean	Median	Mode	Frequency	Sum	Variance	Std.Dev.	Standard
ЭГ-61А	60	2,76	2,8	3,00	12	160,8	0,16	0,39	0,05

Рис. 6. Гистограмма распределения переходного падения напряжения  $2\Delta U$  на пару щеток ЭГ-61А

3. Исследования зависимости величины падения напряжения на пару щеток  $2\Delta U$  от времени показали, что для неразрезных щеток характерно увеличение  $2\Delta U$ , что связано с ростом температуры, а для составных разрезных – уменьшение падения  $2\Delta U$  из-за приработки поверхности контакта частей составных разрезной щетки. В связи с этим необходимо обеспечивать поверхность соприкосновения частей составных щеток не менее 90% контактной поверхности в поперечном разрезе тела щетки.

4. Полученные положительные результаты исследований, выполненных на установке КЗК-95, позволяют рекомендовать проведение эксплуатационных испытаний предложенного конструктивного решения составных щёток с поперечным разрезом на электроподвижном составе.

5. Существенно сокращаются расходы на эксплуатацию электрических машин в различных отраслях промышленности за счёт экономии на отходах, возникающих при эксплуатации серийных электрощёток.

#### Литература

1. Пат. 51792 РФ, МПК H01R 39/40. Щёточный узел электрической машины / Идиятуллин Р.Г. заявл. 30.06.2005, опубл. 27.02.2006. Бюл. № 6.
2. Пат. 2365005 РФ, МПК H01R 39/18. Составная разъемная щётка с замковой частью / Степанов Е.Л., Рылов Ю.А., заявл. 16.11.2007, опубл. 20.08.2009. Бюл. № 23.
3. Харламов В.В., Долгова А.В. и др. Определение диагностических параметров для оценки состояния профиля коллектора тягового электродвигателя // Омский научный вестник. Сер. «Приборы, машины и технологии». 2011. Вып. 1 (97). С. 121.
4. Харламов В.В., Шкодун П.К., Долгова А.В. Алгоритм оценки износа коллектора тягового электродвигателя // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе: Материалы науч.практ. конф. Сибирский гос. ун-т путей сообщения. Новосибирск, 2012. С. 378–380.
5. Ахмедзянов Г., Харламов В.В. Совершенствование диагностирования коллекторно-щеточного узла. Изд. LAP Lambert Academic Publishing, ISBN: 9783659380150. С. 168.
6. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: утверждена Правительством Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877р. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer\\_id=5104&STRUCTURE\\_ID=704](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704) (дата обращения: 07.11.2015).
7. Совершенствование технологии диагностирования технического состояния коллекторно-

щетоchnого узла тяговых электродвигателей электровозов: монография / В.В. Харламов, П.К. Шкодун, А.В. Долгова, Д.А. Ахунув. Омск: Омский гос. Ун-т путей сообщения, 2015. 198 с.

8. Авилон В.Д. Оптимизация коммутационного процесса в коллекторных электрических машинах постоянного тока: монография. Омск: Омский научный вестник, 2013. 356 с.

9. Trends in fault diagnosis for electrical machines: a review of diagnostic techniques / H. Henaou, G.A. Capolino, M. Fernandez Cabanas, F. Filippetti, C. Bruzzese, E. Strangas, R. Pucsa, M. Riera Guasp, S. Hedayati Kia // IEEE Industrial Electronics Magazine. 2014. V. 8, No. 2. P. 31–42.

10. Electric machines. Modeling, condition monitoring and fault diagnosis / A. Toliyat, S. Nandi, S. Choi, H. Meshgin Kelm. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2012. 272 p.

#### Автор публикации

**Филина Ольга Алексеевна** – старший преподаватель, аспирант кафедры «Электротехнические комплексы и системы» (ЭТКС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: olga\_yuminova83@mail.ru.

#### References

1. Pat. 51792 RF, МПК H01R 39/40. Shchetochnyi uzel elektricheskoi mashiny /Idiyatullin R.G. zayavl. 30.06.2005, opubl. 27.02.2006. Byul. No. 6.

2. Pat. 2365005 RF, МПК H01R 39/18. Sostavnaya raz`emnaya shchotka s zamkovoю chast'yu / Stepanov E.L., Rylov Yu.A., zayavl. 16.11.2007, opubl. 20.08.2009. Byul. No. 23.

3. Kharlamov V.V., Dolgova A.V. i dr. Opredelenie diagnosticheskikh parametrov dlya otsenki sostoyaniya profilya kollektora tyagovogo elektrodvigatelya // Omskii nauchnyi vestnik. Ser. «Pribory, mashiny i tekhnologii». 2011. Vyp. 1 (97). P. 121.

4. Kharlamov V.V., Shkodun P.K., Dolgova A.V. Algoritm otsenki iznosa kollektora tyagovogo elektrodvigatelya // Innovatsionnye faktory razvitiya Transsiba na sovremennom etape: Materialy nauch.prakt. konf. Sibirskii gos. un-t putei soobshcheniya. Novosibirsk, 2012. P. 378–380.

5. Akhmedzyanov G., Kharlamov V.V. Sovershenstvovanie diagnostirovaniya kollektornoshchetchnogo uzla. Izd. LAP Lambert Academic Publishing, ISBN: 9783659380150. P. 168.

6. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda: utverzhdena Pravitel'stvom Rossiiskoi Federatsii ot 17 iyunya 2008 g. No. 877r. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer\\_id=5104&STRUCTURE\\_ID=704](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3997&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704) (data obrashcheniya: 07.11.2015).

7. Sovershenstvovanie tekhnologii diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya kollektornoshchetchnogo uzla tyagovykh elektrodvigatelyei elektrovovozov: monografiya / V.V. Kharlamov, P.K. Shkodun, A.V. Dolgova, D.A. Akhunov. Omsk: Omskii gos. Un-t putei soobshcheniya, 2015. 198 p.

8. Avilov V.D. Optimizatsiya kommutatsionnogo protsessа v kollektornykh elektricheskikh mashinakh postoyannogo toka: monografiya. Omsk: Omskii nauchnyi vestnik, 2013. 356 p.

9. Trends in fault diagnosis for electrical machines: a review of diagnostic techniques / H. Henaou, G.A. Capolino, M. Fernandez Cabanas, F. Filippetti, C. Bruzzese, E. Strangas, R. Pucsa, M. Riera Guasp, S. Hedayati Kia // IEEE Industrial Electronics Magazine. 2014. V. 8, No. 2. P. 31–42.

10. Electric machines. Modeling, condition monitoring and fault diagnosis / A. Toliyat, S. Nandi, S. Choi, H. Meshgin Kelm. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2012. 272 p.

#### The author of the publication

**Olga A. Filina** – senior lecturer, postgraduate Department of Electro technical complexes and systems of the Kazan state power engineering University. E-mail: olga\_yuminova83@mail.ru.