

Влияние новой конструкции щеткодержателей на эксплуатационный ресурс щеток тяговых электродвигателей электровозов

Д. Н. ХОМЧЕНКО

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), Москва, 107174, Россия

Аннотация. К числу многочисленных причин, оказывающих влияние на износ щеток, следует отнести геометрическую конфигурацию контактной поверхности «щетка — коллектор». В статье проанализированы факторы, сопутствующие измененной конфигурации щетки, такие как плотность тока и нагрев в щетке новой конструкции, дано сравнение областей безыскровой работы тяговых электродвигателей со штатными и опытными щеткодержателями. Приведены результаты эксплуатационных испытаний на Северо-Кавказской железной дороге электровоза ВЛ80с № 1676, один из тяговых двигателей которого был оснащен опытными щеткодержателями. Сделаны выводы. На примере новой конфигурации щеточного контакта показано, что щеточный контакт, а именно его конструкция и геометрические размеры, оказывает существенное влияние на характер коммутации тока в коллекторных тяговых электродвигателях.

Ключевые слова: коллекторная электрическая машина; коммутируемые секции обмотки якоря; искрение щеток

Актуальность темы исследований. При организации движения поездов повышенной массы и длины и проведении работ по совершенствованию элементов и узлов подвижного состава необходимо позаботиться и о тяговых электродвигателях (ТЭД), которые уже на этапе проектирования планировались как высоконапряженные электрические машины, активные части которых эксплуатируются на пределе своих возможностей (по индукции в магнитной системе, плотности тока в обмотках, температуре нагрева). При увеличении веса поездов на сложном профиле пути режимы перегрузки могут затягиваться во времени, приближая к предельно допустимой температуре нагрева изоляцию ТЭД и ухудшая условия коммутации.

Межгосударственным стандартом ГОСТ 2582–2013 [1] ресурс работы ТЭД определен как: «Срок службы электрической машины или ее узлов по результатам испытаний или работы в эксплуатации до определенного вида ремонта или до предельного износа, по достижении которого эксплуатация запрещается». На ресурс работы ТЭД наиболее сильное влияние оказывают: износ коллектора и щеток, подшипниковых узлов, изоляции. В данной статье рассматривается

одна важная компонента износа узлов и деталей ТЭД: износ щеток.

Качество коммутации ТЭД в значительной мере определяет работоспособность электрического подвижного состава и расходы на его эксплуатацию. Замена щеток, проточка коллектора и последующая обработка его рабочей поверхности — весьма трудоемкие и дорогостоящие операции. Уже на ранних стадиях изучения коммутационных процессов в коллекторных двигателях было определено, что на износ щеток, кроме множества других факторов, влияет конфигурация контактной поверхности «щетка — коллектор» [2, 3]. Этот фактор достоин особого внимания по той причине, что можно достаточно быстро и без существенных затрат изготовить и установить на ТЭД щеткодержатели практически с любой конфигурацией щеток, не изменяя при этом присоединительных и установочных размеров щеткодержателя.

Новое техническое решение. По итогам предварительного анализа научных публикаций по коммутационному процессу в электрических машинах постоянного тока в [4] была предложена конструкция щеткодержателя для ТЭД, изображенная на рис. 1. Такие щеткодержатели установлены в ТЭД пульсирующего тока НБ-514Б, (электровозы 2ЭС5К «Ермак») и ТЭД НБ-418К (электровозы ВЛ80).

Конструкция отличается от штатного щеткодержателя уменьшенным тангенциальным размером двух крайних щеток (рис. 1). Их размер уменьшен на толщину одной коллекторной пластины. Щетки такого размера соответствуют ГОСТ 12232–89 [5] и выпускаются отечественной электропромышленностью. Тангенциальный размер штатной щетки 24 мм, а усовершенствованной — 20 мм. Поскольку средняя щетка является штатной, то коммутационный путь секции остается прежним. Часть коммутационного пути средней щетки пройдет одна, следовательно начало и завершение коммутационного пути секции будет происходить в электрической цепи с большим активным сопротивлением, чем в штатном щеткодержателе.

Основным аргументом в пользу такой конструкции послужила идея О. Г. Вегнера [2], развитая впо-

■ E-mail: dmitrij-khomchenko@yandex.ru (Д. Н. Хомченко)

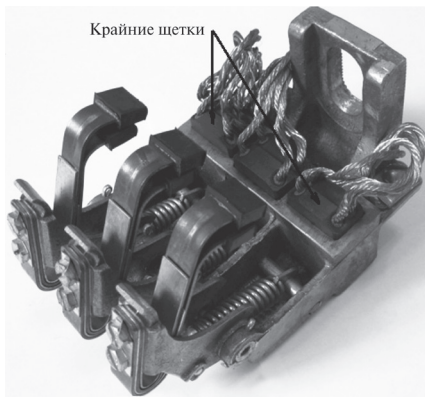


Рис. 1. Щеткодержатель с измененными крайними щетками
Fig. 1. Brush holder with modified outer brushes

следствии Р. М. Девликамовым [6], о необходимости заблаговременно установить ток секции равным току в параллельной ветви якоря, в которую она вступает, благодаря чему секция подготавливается к безыскровому размыканию в реальных условиях неустойчивости контакта у сбегающей части щетки. Таким образом, при оценке условий искрообразования следует исходить из условий обстановки разрыва остаточного тока и особенностей протекания заключительной фазы коммутационного процесса [2]. Так появилось понятие, введенное О. Г. Вегнером, «степень малого тока», которое по смыслу представляет собой пологий участок в конце кривой тока коммутации секций.

Обоснование положительного эффекта от нового технического решения. Сравним предложенный новой вариант контактной поверхности щетки с тем, что используется в настоящее время в штатном режиме с позиций классической теории коммутации Е. Арнольда.

В классической теории коммутации полагается, что переходные сопротивления «щетка — коллектор» в каждый момент времени обратно пропорциональны контактными площадкам соприкосновения щеток и коллекторных пластин. Также предполагается в пределах контактной площадки равномерное распределение тока. Для такого вида коммутации, еще его называют коммутацией сопротивлением, при равенстве нулю реактивной электродвижущей силы (ЭДС) и активных сопротивлений секции и петушков коллекторных пластин (соединительных звеньев между концами секций якорной обмотки и пластинами коллектора) классическая теория дает соотношение между током коммутируемой секции i и током якоря i_a для простой петлевой обмотки в следующем виде [7]:

$$i = \frac{r_{\text{ш2}} - r_{\text{ш1}}}{r_{\text{ш2}} + r_{\text{ш1}}} i_a, \quad (1)$$

где $r_{\text{ш1}}$ и $r_{\text{ш2}}$ — сопротивления щеточного контакта между щеткой и пластинами коллектора для случая, когда тангенциальный размер щетки равен коллекторному делению. При вращении коллектора $r_{\text{ш1}}$ и

$r_{\text{ш2}}$ являются функциями времени, так как в каждый момент времени меняются контактные площадки соприкосновения щеток и коллекторных пластин.

При указанных выше допущениях сопротивления щеточного контакта во времени записываются в виде следующих формул [7]:

$$r_{\text{ш1}} = \frac{T_k}{T_k - t} r_{\text{ш}}, \quad r_{\text{ш2}} = \frac{T_k}{t} r_{\text{ш}}, \quad (2)$$

где T_k — период коммутации; t — текущее время; $r_{\text{ш}}$ — активное сопротивление щеточного контакта, когда щетка точно совмещена с одной коллекторной пластиной: ш2 — набегающая на пластину щетка, ш1 — сбегающая с пластины щетка.

После подстановки выражений (2) в формулу (1) получается зависимость (3), которая представляет собой прямую линию, и этот тип коммутации называют прямолинейной.

$$i = \left(1 - \frac{2t}{T_k}\right) i_a. \quad (3)$$

При перекрытии щеткой нескольких (например, пяти, как в двигателях пульсирующего тока НБ-514Б и НБ-418К) пластин коллектора коммутация является также прямолинейной [7] на сбегающем и набегающем краях щеток. Сравним коммутацию сопротивлением при штатной щетке двигателя НБ418К и при усовершенствованной щетке. Контактные поверхности щеток показаны на рис. 2.

Для того чтобы воспользоваться формулой (2) в случае с двигателями НБ-514Б и НБ-418К, разделим коммутационный путь секции, например, на двадцать участков и определим активное сопротивление щеточного контакта в начале каждого участка. Это будут узловые точки. Промежуточные точки могут быть получены с помощью метода кусочно-линейной аппроксимации. Для упрощения аппроксимации функциональной зависимости контактного сопротивления щетки от положения относительно коллектора, чтобы не использовать бесконечно большое число, принято допущение: в момент, предшествующий соприкосновению щетки и коллекторной пластины, контактное сопротивление не равно бесконечности, а в 20 раз больше случая полного перекрытия щеткой коллекторной пластины. Принимаем во внимание обратно пропорциональную зависимость контактного сопротивления контактирующей поверхности коллекторных пластин и щетки от ее площади, как это трактуется в классической теории коммутации. Как следствие, если за единицу взять контактное сопротивление одной коллекторной пластины, перекрытую щеткой $r_{\text{ш}}$, то при штатных и усовершенствованных щетках процесс изменения контактного сопротивления на сбегающей щетке и набегающей щетке в узловых точках представлен соответственно в таблице.

Изменение (в относительных единицах) контактного сопротивления, контактирующей поверхности коллекторных пластин и щетки при штатном щеткодержателе (числитель) и при щеткодержателе новой конструкции (знаменатель)
Change (in relative units) of contact resistance, contacting the surface of collector plates and a brush with a standard brush holder (numerator) and with a new holder (denominator)

Значение изменения контактного сопротивления, о.е.	Номер участка коммутационного пути секции (узловые точки)														
	1	2	3	4	5	6	7	...	14	15	16	17	18	19	20
$r_{\text{нб}}$ набегающей щетки	20/20	4/12	2/6	1,41/2,4	1/1,5	1/1,2	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
$r_{\text{сб}}$ сбегающей щетки	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1,2	1/1,5	1,41/2,4	2/6	4/12	20/20

На рис. 3 изображена зависимость активного сопротивления контактной площадки с коллекторной пластиной усовершенствованной 1 и штатной 2 щеток при движении их по коллектору в пределах коммутационного пути секции. По отношению к штатной щетке у усовершенствованной активное сопротивление при ее движении изменяется более медленно. Подставим полученные зависимости $r_{\text{нб}1}$ и $r_{\text{нб}2}$ штатной и усовершенствованной щеток в формулу (1), графический результат изображен на рис. 4.

Если следовать логике О. Г. Вегнера [2], то из кривых коммутации секции (рис. 4) следует, что секция в случае с щеткодержателем новой конструкции подготавливается к безыскровому размыканию в реальных условиях неустойчивости контакта у сбегающей части щетки лучше, чем при штатном щеткодержателе, особенно учитывая механические факторы. Влияние механических факторов на взаимодействие щетки и поверхности коллектора ТЭД проявляется в изменении приложенного давления на щетку со стороны пальцев щеткодержателя. Согласно ГОСТ 2582–81 при опорно-осевой подвеске ТЭД величина максимальных динамических ускорений от внешних механических факторов может достигать $22g$, где g — ускорение свободного падения. Снижение давления на щетку приводит к росту удельного контактного сопротивления и падения напряжения под щеткой.

При некоторых условиях сбегающая щетка под действием механических факторов может потерять нормальный контакт с коллектором чуть раньше, чем включиться в следующую параллельную ветвь якоря. Это и есть различие между действительным и расчетным периодом коммутации секции. Принимая во внимание механические факторы коммутационного процесса, коммутационный путь секции может завершиться немного раньше расчетного (например, линия a – b , рис. 4), и при щеткодержателе новой конструкции ток разрыва будет почти в четыре раза меньше. Под током разрыва здесь понимается разность между током параллельной ветви якоря, в которую вступает коммутируемая секция, и током самой коммутируемой секции. В идеальном случае, если этой разницы в токах нет, то коммутация будет безыскровой [2].

В отличие от ускоренной коммутации пологий участок в кривой тока коммутации имеется не только в конце коммутационного цикла, но и в его начале. В реальных условиях эксплуатации это уменьшит степень искрения и износ щеток.

Если исключить ранее принятые допущения о равенстве нулю реактивной ЭДС и активных сопротивлений секции и петушков, то кривая тока коммутации изменится, в основном под влиянием реактивной ЭДС. Однако роль активного сопротивления контактной площадки в момент входа секции в коммутационный процесс и выхода из него безусловно останется и будет положительной.

Рассмотрим другие факторы, сопутствующие измененной конфигурации щетки. Это, прежде всего, увеличенная плотность тока, которая обратно пропорциональна контактной поверхности щетки. Известно, что увеличивая плотность тока в щеточном контакте до определенной степени, можно добиться улучшения условий коммутации и снижения износа щеток. В данном случае ток выполняет функцию «смазки» в физических процессах, проходящих на наноуровне между коллектором и щеткой при вращении коллектора. Имеется довольно обширный экспериментальный материал, доказывающий этот факт. На рис. 5 изображены кривые износа щеток в зависимости от плотности тока и частоты вращения якоря ТЭД, заимствованные из [8]. Из рисунка видно, что оптимальная плотность тока для критерия степени износа щеток существенно зависит от частоты вращения якоря

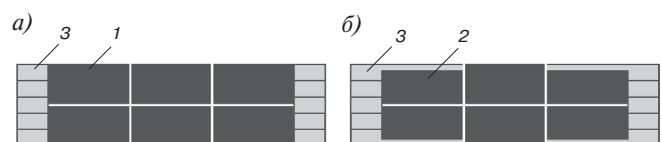
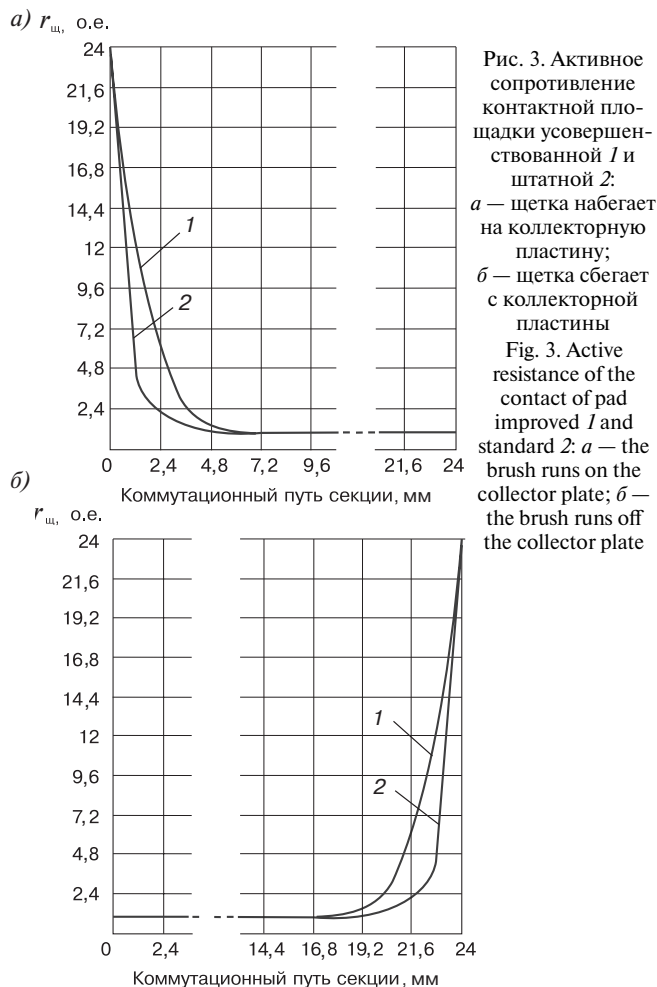


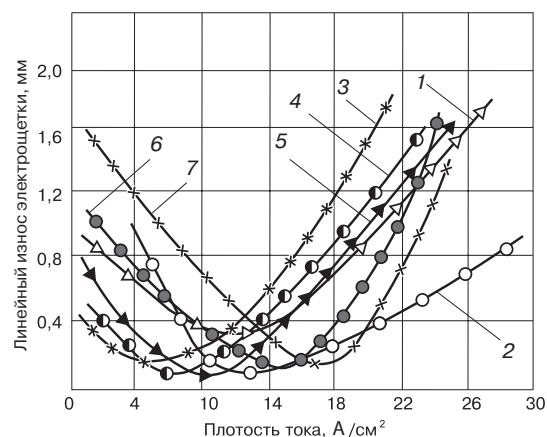
Рис. 2. Схема расположения щеток 1 (штатной) и 2 (с уменьшенным тангенциальным размером) на коллекторе 3: а — в штатном щеткодержателе с контактной поверхностью щеток 2304 мм²; б — в щеткодержателе новой конструкции с контактной поверхностью щеток 1920 мм²

Fig. 2. The arrangement of brushes 1 (standard) and 2 (with reduced tangential size) on the collector 3: а — in a standard brush holder with a contact surface of brushes 2304 mm²; б — in the brush holder of a new design with a contact surface of brushes of 1920 mm²



и с ростом частоты вращения оптимальная плотность тока имеет тенденцию к повышению. В [3] указано, что «рекомендуемая нормативно-техническими документами плотность тока в щетках имеет меньшие значения, чем определенная из условия минимума полных потерь. Поэтому существует принципиальная возможность повышения плотности тока в контакте за счет уменьшения суммарной контактной площади щеток, устанавливаемых в машине».

Увеличенная плотность тока в щетках новой конструкции также требует ответа на вопрос о тепловом состоянии щеток. Расчетным путем получить ответ с удовлетворительной точностью является затруднительным по причине значительного влияния внешних факторов на процесс нагрева щеток, учесть которые сложно. Однако имеются [3] экспериментальные исследования влияния плотности тока на нагрев щеток, где при испытаниях генератора постоянного тока с увеличенной на 50% плотностью тока изменения превышения температуры не вызвало. По данным [9], при эксплуатации мощных электрических машин с уменьшенным по сравнению с проектным количеством установленных на них щеток каких-либо ухуд-



шений в работе машины не зафиксировано, а в отдельных случаях улучшалось состояние поверхности коллектора (политура) и уменьшалась скорость изнашивания щеток.

Таким образом, можно ожидать, что увеличение плотности тока в щеточном контакте в номинальном продолжительном режиме работы ТЭД НБ-514Б с 11,7 на 14,1 А/см² не ухудшит условия коммутации и не увеличит износ щеток, скорее реальное действие будет положительным.

Рассмотрим еще один фактор — область безыскровой работы (ОБР), который необходимо проанализировать при измененной конфигурации щеток для выяснения степени влияния на искровой износ щеток электромагнитных и механических факторов. Экспериментальные данные по определению ОБР тягового электродвигателя НБ-514Б с щеткодержателями новой конструкции (далее «опытными») были сравнены с аналогичными данными электродвигателя НБ-514Б со штатными щеткодержателями. Испытания со штатными и опытными щеткодержателями были проведены на стенде ОАО «ВЭЛНИИ» (протокол испытаний ЭМА-АТ-55-2015). На рис. 6 представлены ОБР при штатных и опытных щеткодержателях.

Сравнение приведенных на рис. 6 ОБР опытных щеткодержателей и ОБР штатных щеткодержателей показывает, что их ширина не сильно отличается, если принять во внимание, что на практике даже у однотипных двигателей со всеми штатными компонентами ОБР в точности не совпадают. В приведенных ОБР различие составляет тот факт, что при подпитке дополнительных полюсов с опытными щеткодержателями верхняя кривая ОБР с ростом тока нагрузки не только не сужается, как со штатными щеткодержателями, но и несколько возрастает. Следовательно, влияние электромагнитных факторов на износ щеток примерно одинаково, за исключением режимов с большими нагрузками, где предпочтительны опытные щеткодержатели [10].

Для проверки эффективности работы опытных щеткодержателей в условиях эксплуатации, они были смонтированы на тяговом электродвигателе электроваза ВЛ80с № 1676 приписки эксплуатационного локомотивного депо Батайск. Эксплуатационные испытания были согласованы с Дирекцией по ремонту тягового подвижного состава и Дирекцией тяги — филиалами ОАО «РЖД».

Пробег электроваза за период эксплуатационных испытаний составил 35982 км. Электроваз осуществлял эксплуатационную работу на Северо-Кавказской железной дороге на участках, где встречались значительные подъемы до 12‰. Согласно данным программы АСУТ-Т-ЮГ, электроваз эксплуатировался с поездами средней массой 4026 т, максимальной 7271 т. Поезда с массой 6000 т и выше составили 40 %.

После проведения испытаний и демонтажа щеток был измерен радиальный размер всех щеток, который характеризует их износ. Опытные щеткодержатели обеспечили снижение износа щеток в среднем на 48 %.

Уменьшение износа щеток в процессе эксплуатации ТЭД с опытными щеткодержателями связано в основном со снижением влияния на искрение механических факторов, так как в процессе эксплуатации под влиянием механических факторов сбегаящие края щеток подвержены вибрации. При этом обрывается значительный ток, который вызывает

Рис. 6. Область безыскровой работы при усовершенствованных 1 и штатных 2 щетках для степени искрения 1¼ для одного направления вращения:

a — на щетке с потенциалом «плюс»; *б* — на щетке с потенциалом «минус»;

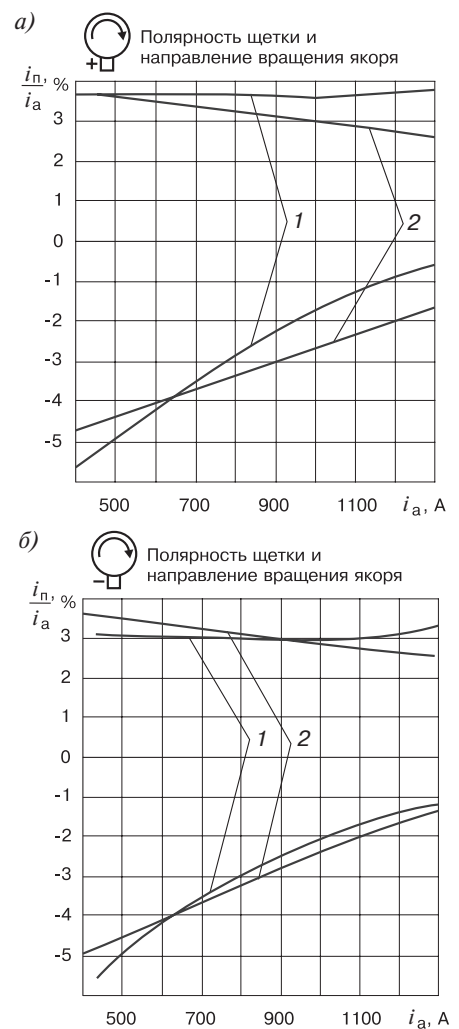
i_a — ток якоря;

i_n — ток подпитки дополнительных полюсов

Fig. 6. The area of sparking with improved 1 and regular 2 brushes for a degree of sparking 1¼ for one direction of rotation:

a — on a brush with the potential "plus"; *б* — on a brush with potential "minus";

i_a — armature current; i_n — additional poles feeding current



повышенный искровой износ щеток. Однако при опытной конструкции щеткодержателей из-за того, что в кривой тока коммутации присутствует пологий участок, на стадии завершения коммутационного процесса происходит обрыв меньшего тока, чем при штатных щеткодержателях, этим и объясняется снижение искрового износа от влияния механических факторов.

Выводы. 1. Щеточный контакт, а именно его конструкция и геометрические размеры, оказывает существенное влияние на характер коммутации тока в ТЭД. Целенаправленно изменяя параметры щеток, можно заметно улучшить качество коммутации ТЭД.

2. Эксплуатационные испытания опытной партии щеткодержателей показали, что при внедрении на электровазах с коллекторными ТЭД новых конструктивных решений по токосъемному узлу возможно улучшить условия коммутации и существенно снизить расход щеток, что важно для обеспечения работоспособности ТЭД локомотивов на руководящих подъемах и при вождении поездов повышенной массы и длины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2582–2013. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 56 с.
2. Вегнер О. Г. Теория и практика коммутации машин постоянного тока. М.: Госэнергоиздат, 1961. 272 с.
3. Лившиц П. С. Щетки электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1989. 80 с.
4. Щеткодержатель: патент на полезную модель № 2548908 Российской федерация, МПК H01R39/40 / А. Д. Петрушин, Р. М. Девликамов, Д. Н. Хомченко. № 2014103301; заявл. 31.01.2014; опубл. 20.04.2015. Бюл. № 11. 4 с.
5. ГОСТ 12232–89. Щетки электрических машин. Размеры и методы определения переходного электрического сопротивления между щеткой и токоведущим проводом и определение усилия вырывания токоведущего провода. М.: Изд-во стандартов, 1992. 51 с.
6. Девликамов Р. М. Новые элементы теории токосъема с коллектора и рекомендации по их использованию на практике. М.: Маршрут, 2011. 221 с.

7. Вольдек А. И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1974. 840 с.
8. Коротков В. М. Систематизация процесса токопрохождения в электрическом скользящем контакте тягового электродвигателя // Вестник РГУПС. 2014. № 3. С. 105–109.
9. May M. S. Current density in carbon brushes ay. Electrical Engineering. 1962. Vol. 81. № 3. P. 208–209.
10. Хомченко Д. Н., Черешенко А. Е. Новая конструкция щеткодержателей для электровозов постоянного и переменного тока // Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса юга России: тр. междунар. науч.-практич. конф. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2015. Ч. 1. С. 244–247.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ХОМЧЕНКО Дмитрий Николаевич,
начальник технической службы,
Дирекция тяги — филиал ОАО «РЖД»

Статья поступила в редакцию 30.03.2017 г., принята к публикации 22.05.2017 г.

Influence of a new design of brush holders on the service life of traction electric motor brushes of electric locomotives

D. N. KHOMCHENKO

Joint Stock Company "Russians Railways" (JSC "RZD"), Moscow, 107174, Russia

Abstract. The article is devoted to the solution of the actual task of improving the current collector unit of collector traction electric motors of electric locomotives, which currently constitute the overwhelming majority of electric vehicles of the electric rolling stock of Russia. Based on the classical theory of commutation and using O.G. Wegner's idea on the need to establish in advance the current of the switched section equal to the current in the parallel branch of the armature into which it enters, the justification is given for the application of a new design of the sliding contact for collectors of traction motors. The article analyzes the factors accompanying the changed configuration of the brush, such as the current density and heating in a new designed brush, and also reviews comparison of areas of sparkless operation of traction motors with standard and experienced brush holders. Also, the results of operational tests on the North Caucasian Railway of the VL80 electric locomotive no. 1676 are shown, one of the traction engines of which was equipped with experienced brush holders. Experienced brush holders provided a significant reduction in brush wear. On the basis of the conducted studies, it was concluded that the decrease in wear of brushes during the operation of the engine with experienced brush holders is mainly due to a decrease in the influence of mechanical factors on the sparking. During operation, under the influence of mechanical factors, the running edges of the brushes are subject to vibration, and significant current breaks off, which cause an increased spark wear of the brushes. Using the example of a new brush contact configuration, it is shown that the brush contact, namely its design and geometric dimensions, has a significant effect on the nature of current commutation in collector traction motors.

Keywords: collector electric machine; switching sections of armature windings; brush sparking

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-3-181-186>

REFERENCES

1. GOST 2582–2013. *Electric rotating traction machines. General specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 56 p. (in Russ.).
2. Vegner O. G. *Teoriya i praktika kommutatsii mashin postoyannogo toka* [Theory and practice of commutating DC machines]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1961, 272 p.

3. Livshits P. S. *Shchetki elektricheskikh mashin* [Brushes of electric machines]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989, 80 p.
4. Petrushin A. D., Devlikamov R. M., Khomchenko D. N. *Brush holder: patent for utility model no. 2548908*, Russian Federation, IPC H01R39/40, no. 2014103301, 04.20.2015. Bul. no. 11, 4 p. (in Russ.).
5. GOST 12232–89. *Brushes of electric machines. Dimensions and methods for determining the transient electrical resistance between a brush and a current-carrying wire and determining the pulling force of a current-conducting wire*. Moscow, Publishing house of standards, 1992, 51 p. (in Russ.).
6. Devlikamov R. M. *Novye elementy teorii tokos'ema s kolektora i rekomendatsii po ikh ispol'zovaniyu na praktike* [New elements of the theory of current collection from the collector and recommendations for its use in practice]. Moscow, Marshrut Publ., 2011, 221 p.
7. Vol'dek A. I. *Elektricheskie mashiny* [Electric machines]. Saint-Petersburg, Energiya [Energy] Publ., 1974, 840 p.
8. Korotkov V. M. *Sistematizatsiya protsessa tokoprokhozhdeniya v elektricheskoy skol'zhashchey kontakte tyagovogo elektrodvigatelya* [Systematization of the current transmission process in the electric sliding contact of the traction motor]. Vestnik RGUPS, 2014, no. 3, pp. 105–109.
9. May M. S. *Current density in carbon brushes ay*. Electrical Engineering. 1962. Vol. 81, no. 3. pp. 208–209.
10. Khomchenko D. N., Chereschenko A. E. *Novaya konstruktsiya shchetkoderzhateley dlya elektrovov postoyannogo i peremennogo toka* [A new design of brush holders for electric locomotives of direct and alternating current]. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Perspektivy razvitiya i effektivnost' funktsionirovaniya transportnogo kompleksa yuga Rossii. Ch.1. [Proc. of the International Scientific and Practical Conference. Prospects for Development and Efficiency of the Transport Complex of the South of Russia. Part 1]. Rostov-on-Don, RGUPS Publ., 2015, pp. 244–247.

ABOUT THE AUTHOR

Dmitriy N. KHOMCHENKO,
Director of Engineering Service, Directorate of traction — branch of the JSC "RZD"

Received 30.03.2017

Accepted 22.05.2017

■ E-mail: dmitrij-khomchenko@yandex.ru (D. N. Khomchenko)