

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИННОВАЦИОННОГО ЩЕТОЧНОГО КОНТАКТА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Петров П.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения ОмГУПС (ОмИИТ)», Омск, Россия (644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35), e-mail: petrovomgups@mail.ru

Результаты исследования воздействия совокупности факторов неидентичности коммутационных циклов на условия коммутации указывают на необходимость разработки более совершенных методов оценки коммутационной напряженности как на стадии проектирования и создания машин, так и в условиях эксплуатации. В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований работы инновационных щеток с тефлоновым покрытием на коллекторах машин постоянного тока, отмечается некоторое улучшение условий коммутации, при этом выявлены некоторые замечания технологического плана. Комплексно решен ряд задач, позволяющих характеризовать коммутационную способность машины на стадии проектирования, разработана математическая модель описания безыскровой зоны коммутации на стадии проектирования на основе предложенной аппроксимации вольт-амперных характеристик щеток, получены результаты исследования работы электрических машин с новым скользящим контактом – тефлоновым покрытием.

Ключевые слова: щетка, коммутация, безыскровая зона, коллектор, тефлон, вольт-амперная характеристика.

## RESEARCH WORK ON INNOVATION BRUSH CONTACTS DC ELECTRICAL MACHINES

Petrov P.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia (644046, Omsk, Marx avenue, 35), e-mail: petrovomgups@mail.ru

The results of studies of the impact a combination of factors are not identical operating cycles on the switching conditions point to the need to develop better methods to estimate switching voltage at the stage of designing and building machines and in the field. This article presents the results of experimental studies of innovative work brushes with Teflon coating on the collectors dc machines, there has been some improvement in terms of switching, with some observations revealed the technology plan. Complex solution of a number of tasks that allow to characterize the switching capacity of the machine at the design stage, the mathematical model describing the sparkless zone switching at the design stage on the basis of the proposed approximation of the current-voltage characteristics of the brushes obtained results of the study of electric machines with the new sliding contact - Teflon coating.

Keywords: brush, switching, sparking area, collector, Teflon, the current-voltage characteristic.

Одним из способов улучшения токосъема, уменьшения износа щеток и повышения их стабильности в работе является применение тефлона. Особенностью этого материала, отличающего его от других полимеров, является устойчивость к температуре, практически ко всем химически агрессивным средам, к свету, погодным условиям, к горячему водяному пару. Тефлон характеризуется высокой антифрикционной способностью, он не горюч и не гигроскопичен, обладает хорошими диэлектрическими свойствами. При этом у тефлона низкая износостойкость и плохая склеивающая способность.

На данный момент разработана технология нанесения тефлона на щеточный материал и щеткодержатели и представлена на экспериментальных щетках [1].

Были проведены экспериментальные исследования инновационных щеток. Изучалось влияние тефлонового покрытия на вольт-амперные характеристики щеточного контакта (ВАХ). Также исследовались коммутационные свойства щеток при работе на коллекторе.

Исследования показали, что применение тефлонового покрытия положительно воздействует на работу щеток коллекторных электрических машин. Но нет четкого объяснения механизма влияния тефлона на работу коллекторно-щеточного узла [2].

Были проведены исследования ВАХ металлографитных щеток Н7 и электрографитированных щеток ЭГ-54 с покрытием из тефлона на сбегающем крае и без него при различных скоростях вращения коллектора и температурах щеточного контакта.

На рис. 1 приведены ВАХ для щеток с тефлоном и без него (добавление буквы Т к марке щетки указывает покрытие тефлоном). Одним из факторов, влияющих на колебание значений падения напряжения, является неоднородность структуры политуры.

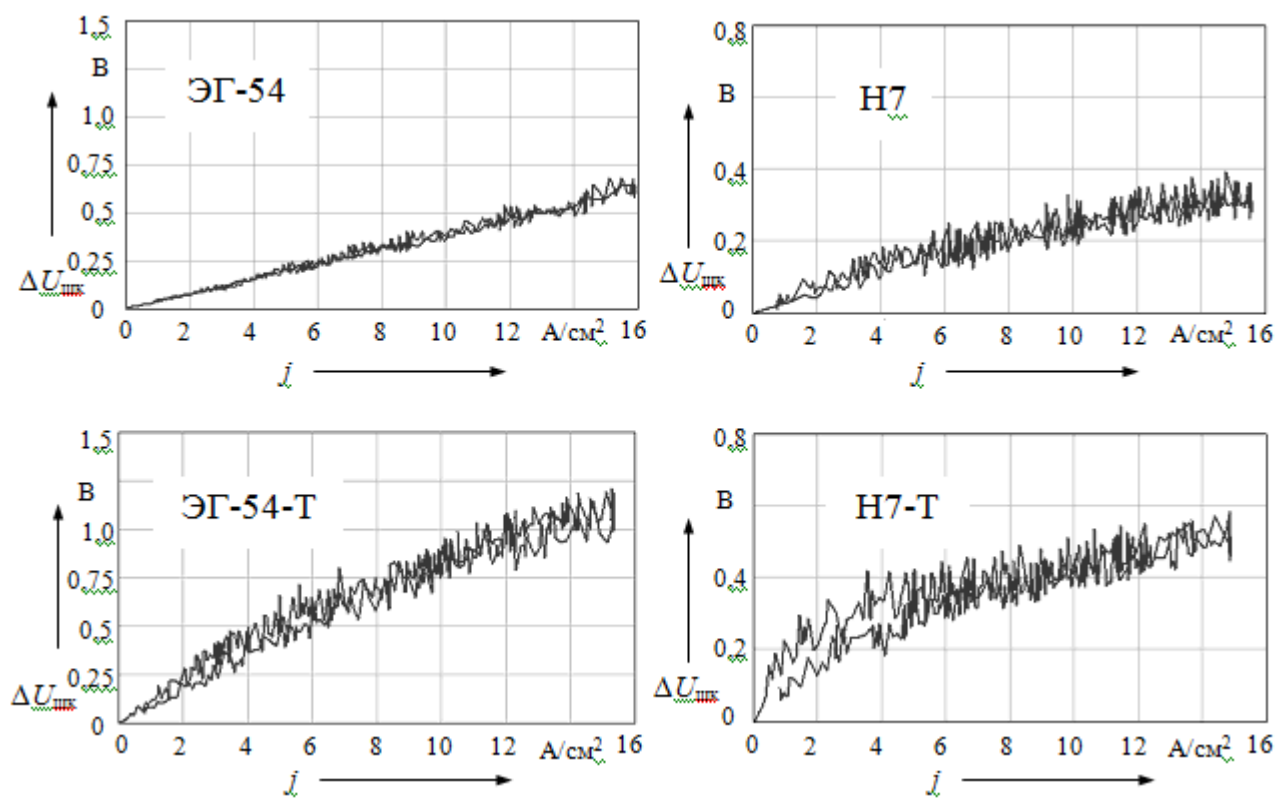


Рис. 1. ВАХ катодных щеток при  $t = 50^\circ\text{C}$  и  $n = 1500$  об/мин.

При теоретических исследованиях коммутации влияние щеточного контакта учитывается на основе ВАХ. Более высокой коммутирующей способностью обладают щетки, которые обеспечивают большие значения падения напряжения при высоких плотностях тока на сбегающем крае щетки.

Важное значение для исследования коммутационного процесса имеют величина падения напряжения в контакте и крутизна начальной части ВАХ, которая зависит от сопротивления щетки.

Для удобства и наглядности сравнения параметров щеток на основе полученных ВАХ были построены диаграммы значений падения напряжения  $\Delta U_{щ}$  и величин сопротивления  $r_{щ}$  анодных и катодных щеток при различных температурах контакта. Пример таких диаграмм приведен на рис. 2 (1 – 30 °С, 2 – 50 °С, 3 – 80 °С), из которого видно, что нанесение тефлона на сбегающий край щетки оказывает положительное влияние на их вольт-амперные характеристики.

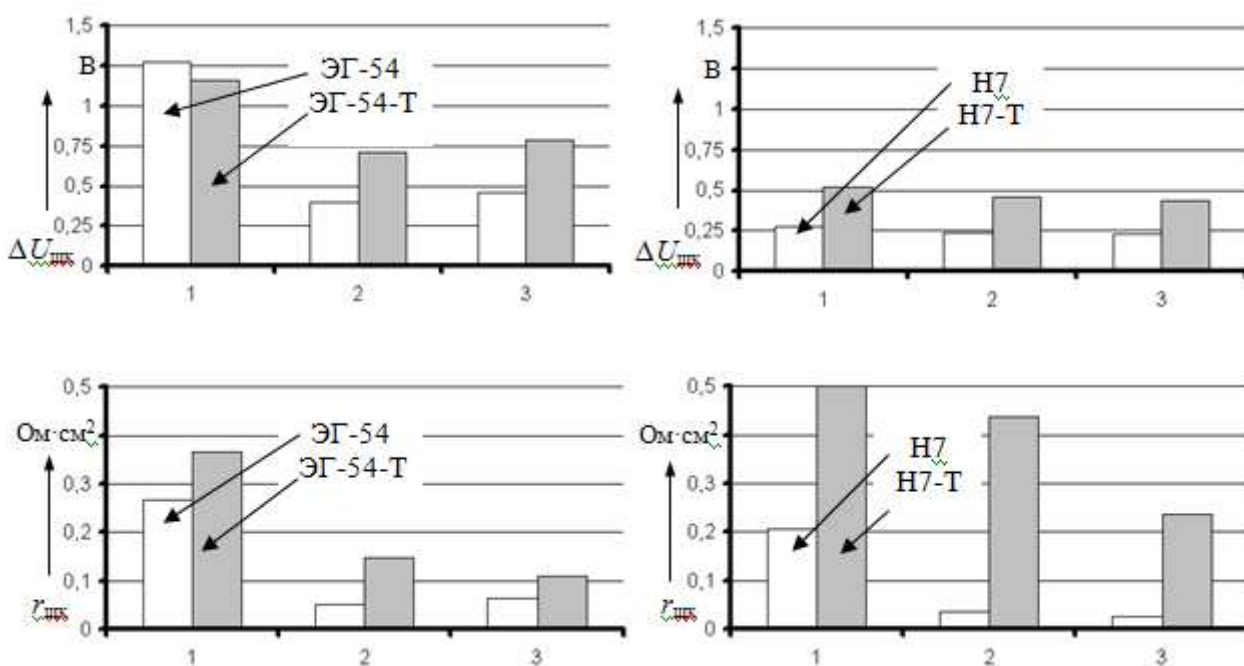


Рис. 2. Диаграммы значений падения напряжения и сопротивлений катодных щеток.

Для количественной оценки и сравнения коммутационных свойств машин постоянного тока применяется метод безыскровых зон [5]. При оценке влияние тефлонового покрытия на коммутирующие способности щеток использовалось математическое описание зон безыскровой работы машины постоянного тока на стадии ее проектирования с использованием аппроксимации ВАХ щеточного контакта:  $\Delta U = A \cdot \arctg(B \cdot j)$ ;  $\Delta U = (\text{sign}j)(OA + kj)$  [4]:

$$\frac{dY}{dx} = M_v^{-1}(x) F_v(x, Y, \alpha, m),$$

где  $Y$  – вектор неизвестных токов сбегающего края щеток в относительных единицах;

$M_v(x)$  – матрица коэффициентов взаимных индуктивностей на интервалах интегрирования  $(x_{v-1}, x_v)$ ;

$F_v$  – вектор нелинейных функций, соответствующий интервалу  $(x_{v-1}, x_v)$ ;

$x$  – координата времени в относительных единицах;

$\alpha$  – вектор обобщенных параметров неидентичности коммутации;

$m$  – соотношение коммутирующей и реактивной ЭДС секции.

Для этого построены безыскровые зоны (рис. 3) с использованием ВАХ щеток ЭГ-54 (1) и ЭГ-54-Т (2) для следующих условий: напряжение секции  $U_c = 0,65$  В, ЭДС самоиндукции секции  $E_L = 1,5$  В, напряжение срезки  $U_{ср} = 2,8$  В, номинальный ток якоря  $I_{ан} = 20$  А.

Из рис. 3 видно, что теоретическая безыскровая зона, построенная на основании ВАХ щетки с тефлоновым покрытием, шире, чем зона для той же щетки, но без него. На основании этого можно сделать вывод, что коммутационная устойчивость электрической машины, работающей с тефлоновыми щетками, выше, чем со стандартными.

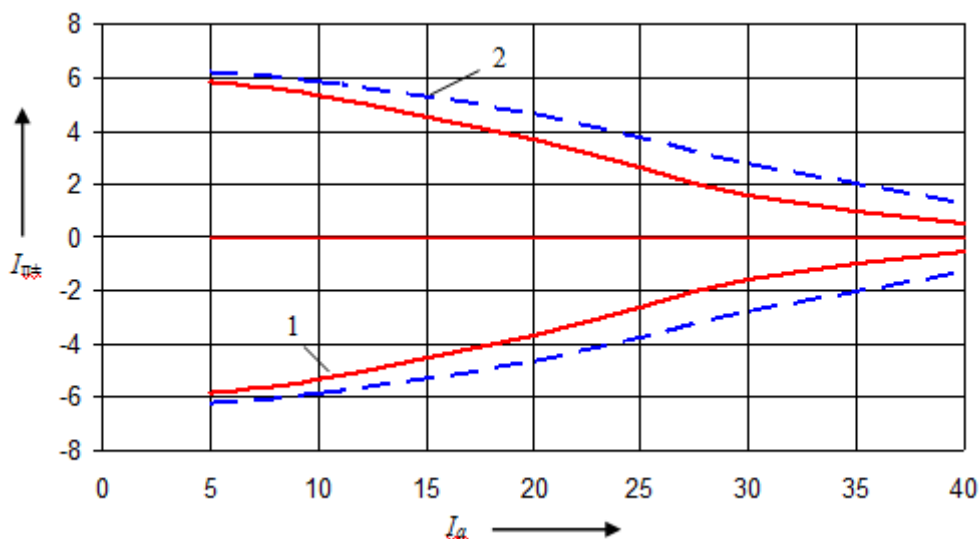


Рис. 3. Расчетные безыскровые зоны:  
1 – щетки без тефлона; 2 – щетки с тефлоном.

Для оценки влияния щеток с тефлоновым покрытием на токосъем, кроме анализа ВАХ, были получены экспериментальные безыскровые зоны [3]. В эксперименте использовались щетки ЭГ-74 и ЭГ-74-Т (с тефлоновым покрытием). Для данного исследования была использована машина ПН-45 со следующими параметрами:  $P_n = 4$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $n = 1500$  об/мин;  $I_n = 22$  А (рис. 4).

На машине были установлены четыре щетки, две положительные и две отрицательные, на одной из которых установлен датчик искрения (Д). Сигнал с этого датчика подается на индикатор искрения, где он обрабатывается, и фиксируется уровень искрения на щетке машины как от недо-, так и от перекоммутации. Испытания проводились в режиме генератора при температуре коллектора  $t = 35 \div 40$  °С, частоте вращения  $n = 1380$  об/мин.

Для оценки влияния тефлона на безыскровые зоны были проведены исследования при различных комбинациях щеток: комплект стандартных щеток; комплект щеток с тефлоновым покрытием; комплект стандартных щеток и тефлоновая фальш-щетка.

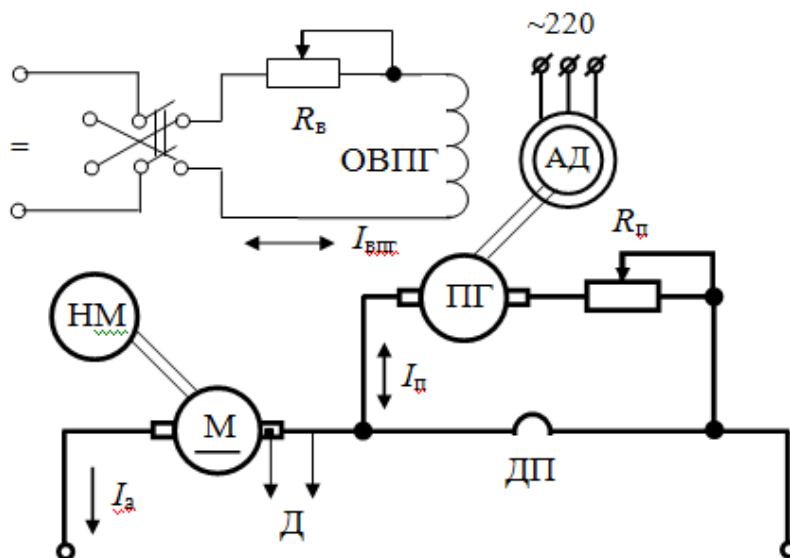


Рис. 4. Схема для снятия области безыскровой работы.

Использование дополнительной фальш-щеткой из тефлона заметных изменений в безыскровые зоны и на работу машины в целом не внесли. При замене же комплекта стандартных щеток на комплект щеток с тефлоновым покрытием безыскровая зона работы машины получилась более широкая (рис. 5). Эксперименты повторялись неоднократно с разнесением по времени.

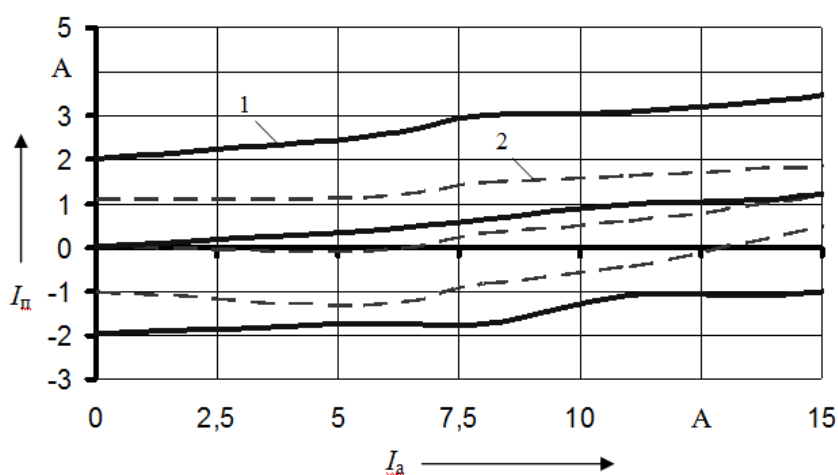


Рис. 5. Область безыскровой работы машины:  
1 – щетки с тефлоном; 2 – щетки без тефлона.

Анализ результатов экспериментальных исследований щеток с новым скользящим контактом – тефлоновым покрытием на сбегающем крае - позволил сформулировать следующие обобщающие выводы.

1. Щетки с тефлоновым покрытием имеют несколько большие значения падения напряжения при номинальной плотности тока и обладают большим значением сопротивления.

2. Установка комплекта щеток с тефлоновым покрытием на сбегающем крае вместо стандартных щеток приводит к некоторому увеличению коммутационной устойчивости работы испытуемой машины.

3. Одним из недостатков щеток с тефлоновым покрытием на сбегающем крае является несовершенная технология нанесения тефлона на щетку. При температурах контакта выше 100 °С тефлон отслаивается от щетки. Отслоение тефлона от щетки возможно и при притирке щеток к коллектору.

4. Проведенные экспериментальные исследования не позволили раскрыть механизм воздействия тефлона на формирование политуры коллектора. Для этого требуются специальные исследования. Однако, учитывая, что тефлон является изоляционным материалом с износными характеристиками, близкими к щеточному материалу, можно предположить, что в данном случае тефлон играет роль легкого абразивного материала, который удаляет с поверхности коллектора продукты износа щеточного материала, тем самым повышает падение напряжения в контакте.

Таким образом, результаты исследований подтверждают эффективность применения тефлона. Планируется продолжить исследования по следующим направлениям: дальнейшее совершенствование технологии нанесения тефлона на поверхность щеточного материала; проведение эксплуатационных испытаний щеток с тефлоновым покрытием на коллекторных машинах постоянного тока на предмет их коммутационной устойчивости и износных характеристик.

### **Список литературы**

1. Авилов В.Д. Методы анализа и настройки коммутации машин постоянного тока. - М. : Энергоатомиздат, 1995. - 237 с.

2. Авилов В.Д. К вопросу о повышении износостойкости щеток электрических машин / В.Д. Авилов, Ф. Веселка, П.Г. Петров, Ю.А. Мацько // Промышленная энергетика. - 2009. - № 5. - С. 12–15.

3. Авилов В.Д. К вопросу об использовании тефлона при работе щеток электрических машин / В.Д. Авилов, П.Г. Петров // Проблемы и достижения в промышленной энергетике :

материалы 8-й научно-технической конференции с международным участием. - Екатеринбург, 2008. - С. 104–107.

4. Петров П.Г. Совершенствование технологии анализа вольт-амперных характеристик щеточного контакта электрических машин / П.Г. Петров, А.Г. Бородулин // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта : сб. науч. статей аспирантов университета / Омский гос. ун-т путей сообщения. - 2007. – Вып. 8. - С. 128–133.

5. Chmelik K. Kluzny kontakt v elektrickych strojich / K. Chmelik, F. Veselka. – Ostrava : KEY Publishing s. r. o., 2007. - 256 с.

#### **Рецензенты:**

Черемисин В.Т., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог», директор научно-исследовательского института энергосбережения на железнодорожном транспорте (НИИЭ ОмГУПС), ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения» ОмГУПС (ОМИИТ), г. Омск;

Кузнецов А.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника», ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения» ОмГУПС (ОМИИТ), г. Омск.