

УДК 621.336.2

Инженеры Д. В. ТАРТЫНСКИЙ, М. Н. ЕМЕЛЬЯНОВА, А. Т. ТИБИЛОВ

Исследование износа контактных токосъемных элементов на основе моделирования токораспределения в полозе токоприемника

Аннотация. Для решения задачи по снижению износа токосъемных вставок полоза токоприемника авторы определили процессы, влияющие на их работу.

Для анализа взаимодействия системы токосъема авторы рассмотрели физическую модель распределения тока от контактного провода контактной сети по вставкам полоза токоприемника, установленного на движущемся электроподвижном составе (ЭПС). В этой модели точка скользящего контакта перемещается вдоль полоза в обе стороны от оси симметрии полоза со скоростью, пропорциональной скорости движения ЭПС.

Процесс токосъема авторы представили в виде электрической схемы замещения, где ток протекает по переменным электрическим сопротивлениям в зависимости от положения скользящего контакта и далее по постоянным электрическим сопротивлениям, обусловленным местами крепления токоотводящих шунтов на полозе. При формировании схемы замещения были приняты следующие допущения: рассматривается безотрывный токосъем, не учитываются переходные сопротивления между вставками и контактным проводом и вставками и медной подложкой полоза, контактный провод расположен перпендикулярно рядом вставок (не учитывается зигзаг).

В результате расчета схемы замещения было показано, что ток, протекающий по вставкам полоза токоприемника, значительно нагревает полоз в его средней части. На основании этого было сделано предположение, что интенсивность износа вставок по причине нагрева полоза больше в средней части, чем по краям.

Приведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования показали, что существующие конструкции полоза токоприемника не обеспечивают экономичного использования токосъемных материалов.

На основе проведенных исследований авторы предлагают разработать новые конструкции полозов токоприемников, в которых наибольший нагрев в середине полоза может быть снижен.

Ключевые слова: токоприемник; скользящий контакт; токораспределение; токосъемный элемент; полоз токоприемника

Одна из основных задач, возникающих при эксплуатации электроподвижного состава (ЭПС), — экономичный токосъем [1]. С повышением скоростей движения пассажирских поездов и увеличением массы грузовых поездов возрастают токи в контактной сети и токоприемниках подвижного состава. Рост токовых нагрузок интенсифицирует износ контактирующей пары, участвующей в токосъеме: токосъемные элементы (вставки) — контактный провод, в связи с чем требуются изменения конструкций системы токосъема, и прежде всего токоприемника [2–4].

Контактная подвеска представляет собой периодическую структуру, повторяющуюся на длине пролета. Эластичность пролета в середине превышает эластичность в районе опоры примерно в два раза [5]. По этой причине можно предположить, что износ вставок полоза должен носить характер, соответствующий линии 1 на рис. 1. Однако на практике все полоза с угольными вставками имеют характерный износ [6], соответствующий линии 2. Из этого факта следует вывод о том, что при рассмотрении токосъема с точки зрения экономичности вставок нельзя ограничиваться исследованиями токосъема как чисто механической системы.

Для анализа системы токосъема рассмотрим физическую модель распределения тока по вставкам полоза токоприемника, представленную на рис. 2.

Трехрядный полоз с угольными вставками [7] снимает ток $I_{кс}(t)$ с контактного провода контактной сети. При движении ЭПС точки контакта вставок и провода перемещаются за счет зигзага контактного провода справа налево и обратно в пределах расстояния L (зона скользящего контакта) со скоростью,

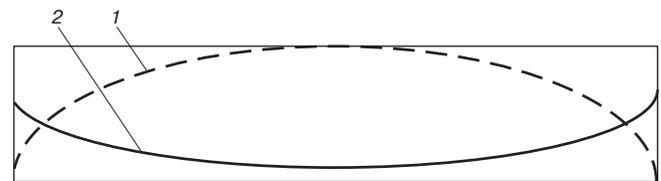


Рис. 1. Характер износа вставок по длине полоза токоприемника: 1 — ожидаемый; 2 — фактический

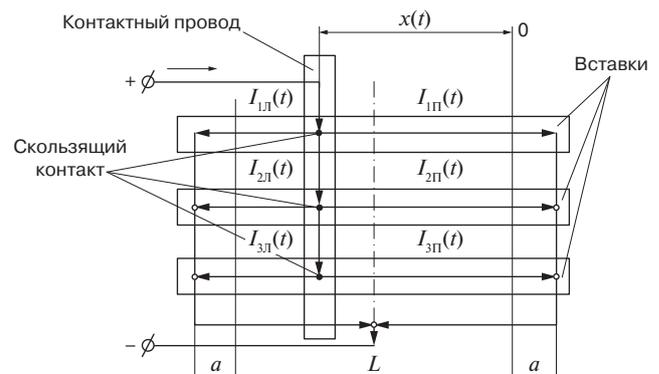


Рис. 2. Распределение тока по рядам вставок полоза токоприемника

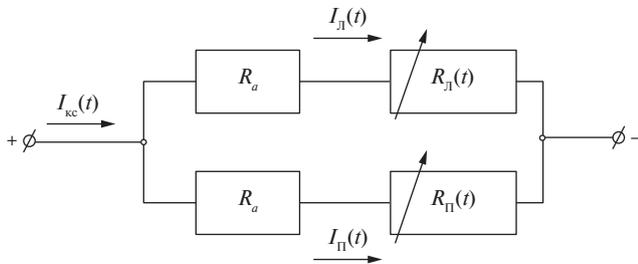


Рис. 3. Электрическая схема замещения растекания тока в полозе токоприемника

пропорциональной скорости $v(t)$ движения ЭПС, и принимают значение координаты $x(t)$. Начало отсчета координаты $x(t)$ поместим в точке 0. Мгновенные значения токов растекания в точках контакта контактного провода и вставок (две ветви противоположного направления для каждого из ряда вставок) обозначим соответственно: $I_{1л}(t), I_{1п}(t); I_{2л}(t), I_{2п}(t); I_{3л}(t), I_{3п}(t)$. Длина растекания тока в каждом из рядов вставок состоит из зоны скользящего контакта L и расстояния $2a$, обусловленного местами крепления шунтов к полозу.

Представим вышеописанный процесс токосъема электрической схемой замещения (рис. 3). На рис. 3 буквами обозначены: R_a — активное электрическое сопротивление трех рядов вставок на длине a , Ом; $R_л(t), R_п(t)$ — переменное, активное, суммарное электрическое сопротивление трех рядов вставок на длине L соответственно слева и справа от точек контакта, Ом; $I_л(t), I_п(t)$ — суммарные по трем рядам вставок мгновенные значения токов растекания от точек контактов до шунтов полоза.

Схема замещения сформирована при следующих предположениях: рассматривается безотрывный токосъем, не учитываются переходные сопротивления между вставками и контактным проводом и вставками и медной подложкой полоза, контактный провод расположен перпендикулярно рядам вставок.

Для оценки последнего предположения рассмотрим контактную подвеску с длиной пролета 60 м между опорами и зигзагом 0,3 м [8], взаимодействующую с трехрядным полозом (например, П02.00.0000)

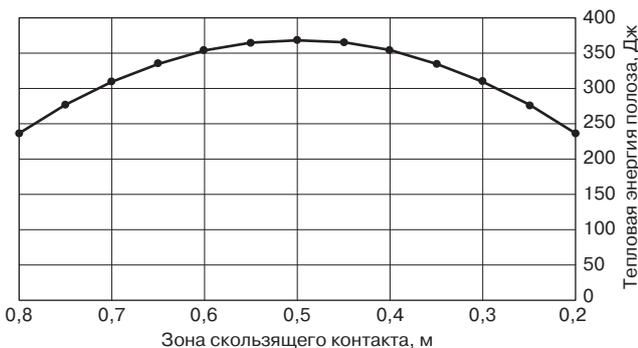


Рис. 4. Распределение тепловой энергии на полозе в зоне скользящего контакта

токоприемника с расстоянием между рядами 0,05 м и длиной каждого из рядов вставок 1 м. Из элементарной пропорции получим, что за счет зигзага контактного провода отклонения точек контакта от линии, строго перпендикулярной к вставкам, составляют менее 0,01 %.

Ток, потребляемый токоприемником, нагревает контактный провод и полоз со вставками. Энергия, преобразующаяся в тепло Q , по закону Джоуля — Ленца определяется функцией f

$$Q \sim f(I_{кc}^2(t)R_{общ}(t)t), \quad (1)$$

где $I_{кc}(t)$ — ток токоприемника, А; $R_{общ}(t)$ — общее активное электрическое сопротивление полоза, Ом; t — время протекания тока токоприемника, с.

Время протекания тока по полозу за время, равное половине периода (перемещение точек контакта из крайнего правого положения в крайнее левое),

$$t = \frac{l}{v(t)}, \quad (2)$$

где l — длина пролета контактной сети, м; $v(t)$ — скорость движения ЭПС, м/с.

Электрические сопротивления полоза на участке длиной a , а также слева и справа от контактного провода в зоне скользящего контакта определяются формулами:

$$R_a = \frac{\rho a}{S}; \quad (3)$$

$$R_л(t) = \frac{\rho(L-x(t))}{S}; \quad (4)$$

$$R_п(t) = \frac{\rho(x(t))}{S}, \quad (5)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление вставки, мкОм·м; S — суммарное поперечное сечение трех рядов вставок, м²; a — расстояние от зоны скользящего контакта до места крепления шунтов на полозе, м; L — длина зоны скользящего контакта, м.

Общее активное электрическое сопротивление полоза

$$R_{общ}(t) = \frac{(R_л(t) + R_a)(R_п(t) + R_a)}{(R_л(t) + R_a) + (R_п(t) + R_a)}. \quad (6)$$

Подставляя в (6) выражения (3), (4) и (5), получим

$$R_{общ}(t) = \frac{\rho(L-x(t)+a)(x(t)+a)}{S(L+2a)}. \quad (7)$$

Найдем потери на нагрев Q полоза за время t движения ЭПС по одному пролету контактной сети, подставив в (1) выражения (2) и (7):

$$Q(t) \sim I_{кc}^2(t) \frac{\rho l}{v(t)S(L+2a)} (L-x(t)+a)(x(t)+a). \quad (8)$$

В качестве примера рассмотрим потери энергии на нагрев для наиболее распространенного на токоприемниках ЭПС переменного тока и электропоездах

постоянного тока трехрядного полоза с угольными вставками типа А профиля № 2. Удельное сопротивление вставки А [9] составляет 30 мкОм·м, суммарное сечение вставок полоза 0,003 м². Длина рабочей части полоза — 1 м, из которой зона скользящего контакта — 0,6 м, расстояние a — 0,2 м. Задавшись током токоприемника 300 А, потребляемым электропоездом при скорости 100 км/ч, и пролетом контактной сети 60 м, на основании формулы (8) получим нагрев полоза в зоне скользящего контакта (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что нагрев полоза в средней части превышает нагрев по краям более чем в 1,5 раза. Можно предположить, что интенсивность износа вставок по причине нагрева полоза также больше в средней части, чем по краям, а следовательно, профиль износа вставок будет соответствовать кривой 2 на рис. 1. Это предположение подтверждается термограммами, представленными на рис. 5, снятыми во время термонагрузочных испытаний токоприемника в движении.

Выводы. В работе представлены результаты теоретических исследований по износу контактных токосъемных элементов полоза токоприемника. Показана связь между износом контактных токосъемных элементов полоза и токораспределением в нем. Предложено решение задачи по уменьшению износа токосъемных элементов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показывают, что существующие конструкции полоза токоприемника не обеспечивают экономичного использования токосъемных материалов. Необходимо разработка новых, прогрессивных конструкций полозов токоприемников, в которых наибольший нагрев в середине полоза может быть снижен за счет:

- увеличения сечения токосъемных элементов в середине полоза [10];
- использования в середине полоза материалов с повышенной электропроводностью;
- переноса мест крепления токопроводящих шунтов для выравнивания токораспределения в полозе;
- усиления охлаждения полоза при движении ЭПС за счет изменения его аэродинамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Купцов Ю. Е. Беседы о токосъеме, его надежности, экономичности и о путях совершенствования. М.: Модерн-А, 2001. 256 с.
2. Беляев И. А., Михеев В. П., Шиян В. А. Токосъем и токоприемники электроподвижного состава. М.: Транспорт, 1976. 184 с.
3. Гершман И. С., Миронос Н. В. Требования к контактным проводам для высокоскоростного железнодорожного транспорта // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 3. С. 13 – 17.
4. Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. М.: Интекст, 2006. 256 с.
5. Фрайфельд А. В. Проектирование контактной сети. М.: Транспорт, 1978. 303 с.
6. Измерение износа токосъемных элементов токоприемников электропоездов на линии Санкт-Петербург — Москва / М. В. Вязовой [и др.] // Токосъем и тяговое электроснабжение при высо-

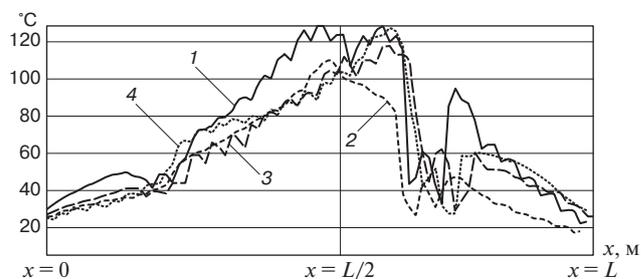
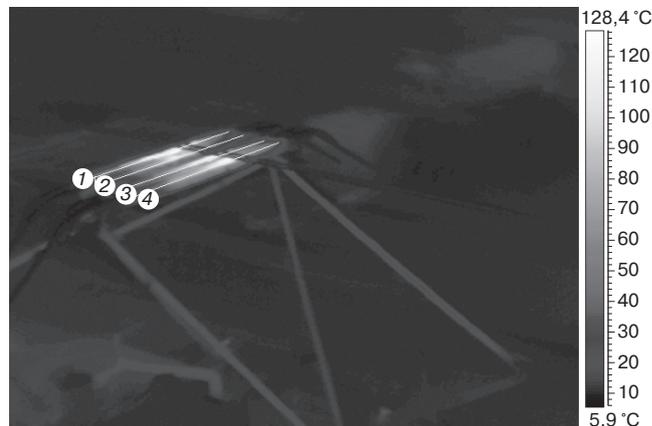


Рис. 5. Термограмма токоприемника при движении

коскоростном движении на постоянном токе: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Н. В. Мироноса, П. Г. Тюрнина. М.: Интекст, 2010. С. 188 – 190.

7. Токосъемные вставки для токоприемников железнодорожного транспорта / И. С. Гершман [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2012. № 4. С. 3 – 10.

8. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог (ЦЭ-868) / Департамент электрификации и электроснабжения Министерства путей сообщения Российской Федерации. М.: Трансиздат, 2002. 184 с.

9. Вставки угольные контактные для токоприемников электроподвижного состава. Технические условия. ТУ 1916-020-27208846-99. 28 с.

10. Способ восстановления полоза токоприемника с секционированной токосъемной частью и скосами: авторское свидетельство SU № 1676856 А1 / В. А. Савченко [и др.].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ТАРТЫНСКИЙ Денис Викторович, научный сотрудник отдела «Контактная сеть и токосъем», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: +7 (499) 260-42-37. E-mail: densp@inbox.ru

ЕМЕЛЬЯНОВА Марина Николаевна, научный сотрудник отдела «Контактная сеть и токосъем», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: +7 (499) 260-42-17. E-mail: emelyanova.marina@vniizht.ru

ТИБИЛОВ Александр Таймуразович, старший научный сотрудник отдела «Контактная сеть и токосъем», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: +7 (499) 260-45-08. E-mail: tibilov.aleksandr@vniizht.ru

Research of running contacts wear based on simulation of current distribution in the pantograph slide

Denis V. Tartynsky, Research Worker, Department for Catenary and Current Collection, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604237. E-mail: densp@inbox.ru ✉

Marina N. Yemelyanova, Research Worker, Department for Catenary and Current Collection, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4217. E-mail: emelyanova.marina@vniizht.ru

Alexander T. Tibilov, Research Worker, Department for Catenary and Current Collection, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4508. E-mail: tibilov.aleksandr@vniizht.ru

Abstract. In order to solve the task related to wear reduction in the current shoe insert the authors defined the processes which have a bearing on their operation.

In order to analyze interactions between the components of the current collection system the authors considered a physical analogue for current distribution from the catenary contact wire to the inserts of the pantograph slide mounted on the electrically propelled vehicles — EMUs. In that model the sliding contact point moves along the strip on the both sides of the axis of symmetry at a speed which is proportional to EMU speed.

The current collection process was simulated as an equivalent circuit where the current flows through variable resistors according to the sliding contact position and further on through fixed resistors corresponding to points of bypass wires fixture on the pantograph slide. The equivalent circuit was developed with the following allowances: continuous current collection is expected; transition resistances between the inserts and the contact wire and also between the inserts and the copper underlay of the pantograph slide are neglected; the contact wire is always at right angle to the row of inserts (zigzag is ignored).

Calculations made for the equivalent circuit have shown that the central part of pantograph slide is overheated with the current flow through the inserts. For this reason there was suggested a hypothesis that the inserts wear rate produced by the pantograph slide heating should be higher in the central part than on the periphery.

References to theoretical and experimental researches have shown that existing pantograph slide designs fail to secure economic use of current collection materials.

In the light of their own research the authors suggest that there should be developed new designs of pantograph slide in which the maximum heating in the central part would be lowered.

Keywords: current collector; sliding contact strip; current distribution; running contact; pantograph slide

References

1. Kuptsov Yu. E. *Besedy o tokos'eme, ego nadezhnosti, ekonomichnosti i o putyakh sovershenstvovani* [Talks about the cur-

rent collection, its reliability, efficiency, and ways of improvement]. Moscow, Modern A Publ., 2001. 256.

2. Belyaev I. A., Mikheev V. P., Shiyan V. A. *Tokos'em i tokopriemniki elektropodvizhnogo sostava* [Current collectors and pantographs of electric rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1976. 184 p.

3. Gershman I. S., Mironos N. V. *Trebvaniya k kontaktnym provodam dlya vysokoskorostnogo zhelezнодорожного транспорта* [Requirements to contact wires for high-speed railway transport]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2011, no. 3, pp. 13 – 17.

4. Vologin V. A. *Vzaimodeystvie tokopriemnikov i kontaktnoy seti* [Pantograph/catenary interaction]. Moscow, Intext Publ., 2006. 256 p.

5. Frayfel'd A. V. *Proektirovanie kontaktnoy seti* [Designing catenary]. Moscow, Transport Publ., 1978. 303 p.

6. Vyazovoy M. V., et al. *Izmerenie iznosa tokos'emnykh elementov tokopriemnikov elektropoezdov na linii Sankt-Peterburg — Moskva* [Wear measurement of current collecting elements of pantographs on the line St. Petersburg — Moscow]. Tokos'em i tyagovoe elektroobzhenie pri vysokoskorostnom dvizhenii. Sb. nach. tr. OAO "VNIIZhT" [Current collection and traction power supply for high-speed motion. Coll. of sci. works of JSC "VNIIZhT" (Railway Research Institute)]. Moscow, Intext Publ., 2010, pp. 188 – 190.

7. Gershman I. S., Mironos N. V., Mel'nik M. A., Gershman E. I. *Tokos'emnye vstavki dlya tokopriemnikov zhelezнодорожного транспорта* [Current-collecting inserts for current collection of railway transport]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2012, no. 4, pp. 3 – 10.

8. *Rules for the arrangement and maintenance of electrified railways catenary (TsE-868)*. Department of electrification and power supply of the Ministry of Railways of the Russian Federation. Moscow, Transizdat, 2002. 184 p. (in Russ.).

9. *Coal contact inserts for current collectors of electric rolling stock*. Specifications. TU 1916 020 27208846 99. 28 p. (in Russ.).

10. Savchenko V. A. et al. *A way to restore the pantograph's runner with a partitioned current collector part and bevels*. Author's certificate SU № 1676856A1. (in Russ.).

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Косарев А. Б., Косарев Б. И., Сербиненко Д. В. Электромагнитные процессы в системах энергоснабжения железных дорог переменного тока. М.: ВМГ-Принт, 2015. 349 с.

Изложены методы анализа электромагнитных процессов в современных системах тягового электроснабжения и их влияние на электроустановки и электрические сети магистральных железных дорог. Обоснованы методы расчета нестационарных, в том числе и грозовых, режимов в сложных и неоднородных нелинейных цепях с переменной структурой, при представлении элементов цепи в виде линий с распределенными параметрами, носящими вероятностный характер. С привлечением методов линейной алгебры и теории многополюсников рассмотрены матричные методы анализа энергетических соотношений в современных системах тяго-

вого электроснабжения при учете несинусоидального характера токов электровозов. Основные технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения защищены авторскими свидетельствами и патентами на полезную модель.

Предназначена для научных работников, аспирантов. Может быть полезна инженерам-электрикам, а также студентам электротехнических специальностей высших транспортных учебных заведений.

По вопросам предварительного заказа на приобретение книги обращайтесь в редакционно-издательский отдел ОАО «ВНИИЖТ», тел. (499) 260-43-20.