

УДК 621.336.2

Канд. техн. наук. В. М. ПАВЛОВ, д-р техн. наук, проф. О. А. СИДОРОВ, кандидаты техн. наук
А. Н. СМЕРДИН, В. В. ТОМИЛОВ, А. С. ГОЛУБКОВ, инж. Д. В. ТАРТЫНСКИЙ

Исследования токовой нагрузочной способности токоприемника магистрального электроподвижного состава

Аннотация. Современные скоростные электровозы для обеспечения заявленных режимов движения должны обладать значительной мощностью в часовом и длительном режиме, достигающей 10 000 кВт. На линиях постоянного тока с напряжением 3300 В для этого требуется сьем тока свыше 3000 А.

Мировой и отечественный опыт показывает, что на высокой скорости движения токосъем ухудшается пропорционально числу токоприемников, участвующих во взаимодействии. Кроме того, на современных односекционных электровозах двойного питания разместить на крыше более двух токоприемников весьма затруднительно из-за стесненных габаритов.

Материалы современных контактных вставок позволяют снимать допустимый длительный ток 3200 А во время движения одним токоприемником. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований контактных элементов PanTrac, проведенных в лаборатории ОмГУПС на специализированном стенде, показавшие перспективность широкого применения вставок на скоростных и грузонапряженных линиях, описаны методики достижения необходимых условий при проверке, допущения, имеющие место.

Ключевые слова: токоприемник; контактные вставки; допустимый длительный ток; экспериментальные исследования; стенд; нагрузочная способность; тепловизор; температура; электрическое сопротивление; воздушный поток; аттестация

В настоящее время повышение нагрузочной способности токоприемников магистрального электроподвижного состава является чрезвычайно актуальной задачей, особенно в отношении подвижного состава постоянного тока. Необходимость снять ток свыше 3000 А обусловлена ростом скоростей движения пассажирских поездов, в первую очередь на высокоскоростных линиях, а также увеличением массы грузовых поездов за счет использования тяжеловесного подвижного состава увеличенной длины.

Токосъем [1, 2] 3000 А через один токоприемник требует применения специальных материалов контактных вставок [3], изготовленных современными методами. Испытания токоприемников повышенными токовыми нагрузками на полигонах являются сложной задачей, решаемой путем использования специального подвижного состава на конкретных участках при соблюдении определенного режима движения [4]. Ограничения режимов в ходе полигонных испытаний, а также значительная стоимость экспериментальных поездок делают затруднительным их широкое применение. Проведение лабораторных испытаний

токоприемников токовой нагрузкой свыше 3000 А является нетривиальной задачей, а методика и стендовое оборудование, применяемые при этом в соответствии с ГОСТ 32204–2013, являются незаменимым средством предварительной оценки работоспособности токосъемных устройств [5, 6].

В 2013 г. на базе лаборатории «Контактные сети, линии электропередачи и токосъем» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС) были проведены нагрузочные испытания французского токоприемника AX 023 BU LT фирмы Faiveley для российского электровоза ЭП20 с полозом, оборудованным контактными вставками PanTrac RH85 M8 [7].

Фирма PanTrac выпускает металлизированный графит с использованием базовых графитовых материалов с различной, контролируемой производителем пористостью и различным содержанием металла: М6 (бронза) или М8 (медь) [8]. Для съема больших токов применяются вставки с увеличенным содержанием металла, что значительно снижает их удельное электрическое сопротивление.

Вставки RH85M8 обладают следующими параметрами:

- содержание металла — 52% от массы и 22% от объема;
- плотность — 3,1 г/см³;
- твердость HRB5/150 — 85;
- удельное электрическое сопротивление — 1,0 мкОм.

Контактный материал приклеен к алюминиевому носителю с помощью электропроводящей клеящей смеси, что позволяет иметь низкое внутреннее сопротивление и большую механическую прочность.

Целью испытаний являлась проверка максимальной температуры контактных вставок PanTrac RH85 M8, установленных на токоприемнике AX 023 BU LT, при значении тока 3200 А в движении.

Экспериментальные исследования проводились с использованием комплекса для испытания устройств токосъема (рис. 1), позволяющего нагружать токоприемники магистрального электроподвижного состава в движении со стрелой провеса контактного провода до 50 мм и зигзагом ±300 мм при соответствующем ветровом воздействии встречного воздушного потока.

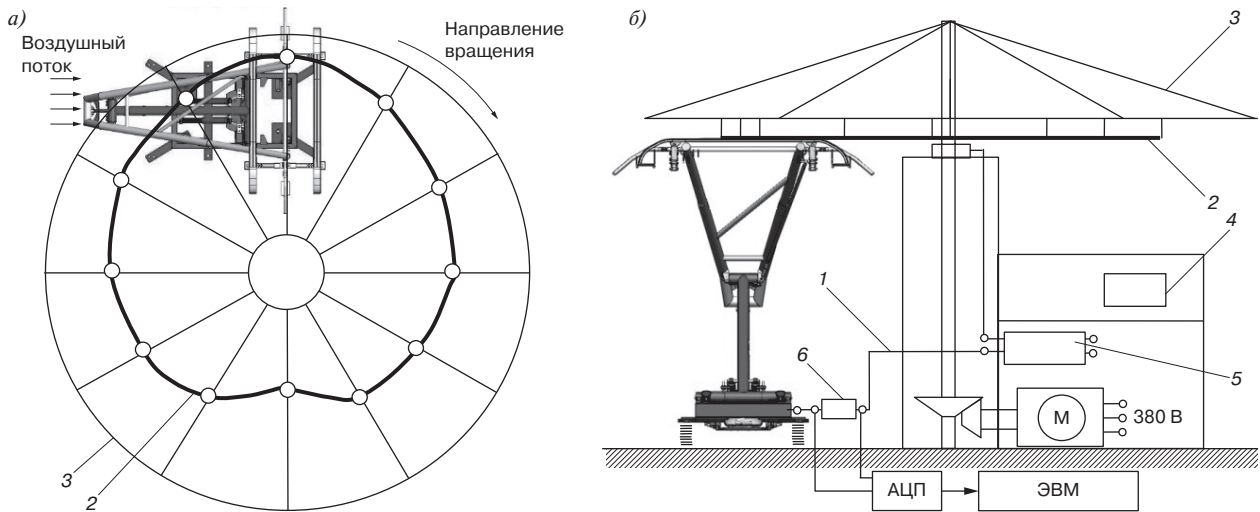


Рис. 1. Схема установки для исследования нагрева токоведущих элементов при взаимодействии токоприемников с контактными подвесками:

а — вид сверху; *б* — вид сбоку; 1 — питающий шлейф; 2 — контактный провод; 3 — модуль имитации контактной подвески; 4 — пульт управления; 5 — модуль нагрузки; 6 — измерительный шунт

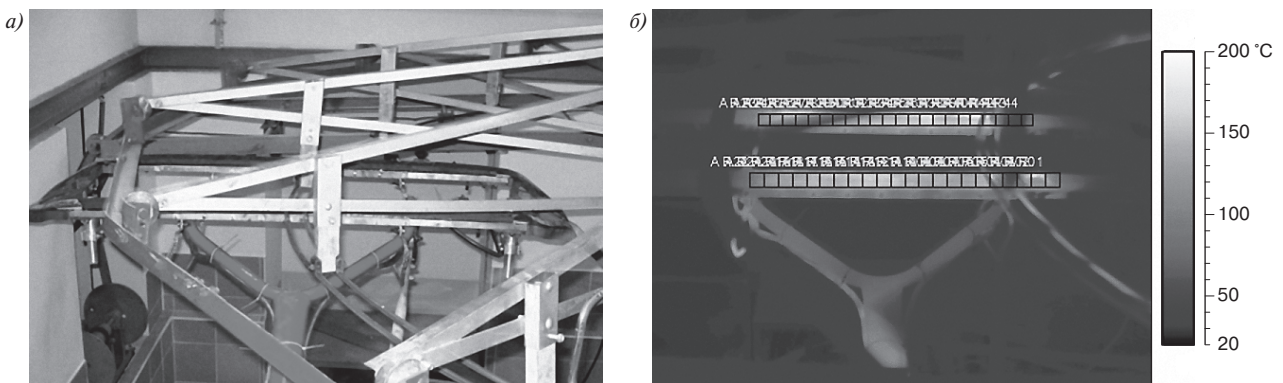


Рис. 2. Токоприемник AX 023 BULT с ползком, оборудованным контактными вставками PanTrac RH85 M8: *а* — фотография верхней части; *б* — термограмма верхней части

Основой получения адекватных данных о температурных показателях токоприемника и контактных вставок является точное соответствие теплоотдачи на стенде и в реальных условиях эксплуатации. Реализовать требуемое значение коэффициента теплоотдачи возможно за счет применения обдува системы подвижных рам и ползца токоприемника.

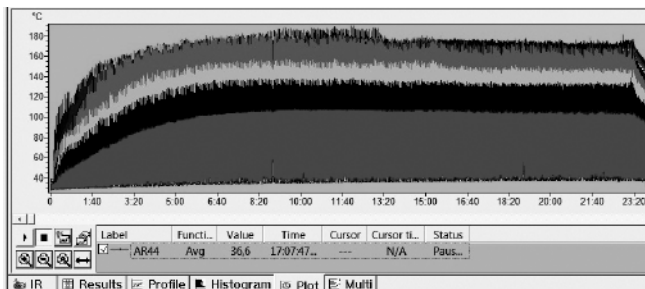


Рис. 3. Окно программы TermaCAM Researcher Professional с графиками нагрева 44 площадок ползца

В ходе очередной модернизации комплекс был усовершенствован для обеспечения тока нагрузки 4500 А при падении напряжения до 15 В. При этом мощность вентиляторных установок доведена до 20 кВт, а скорость воздушного потока, обдувающего токоприемник, при необходимости может достигать 80 км/ч. Кондиционирование воздуха в помещении должно обеспечивать постоянство климатических параметров (таких как температура и влажность воздуха) независимо от теплового потока, рассеиваемого токоприемником и элементами стенда, который может достигать 60–70 кВт.

Методика испытаний разработана в соответствии с ТЗ на токоприемник AX 023 BU LT и разделом 7 ГОСТ 32204–2013.

Контактное нажатие токоприемника [9] соответствовало номинальному значению для AX 023 BU LT — 100 Н с учетом динамической составляющей, зависящей от скорости движения.

Испытания проводились при имитации скорости движения электровоза от 60 до 80 км/ч и со съемом тока 1900, 2550, 3200 А, при этом изменения силы тока не превышали 10% принятого для данного режима испытаний значения.

Продолжительность одного режима составляла не менее 20 мин. Измерения температуры всего токоприемника проводились дистанционно и непрерывно с помощью тепловизора, а также с помощью термодатчиков, смонтированных в контактные вставки.

На получаемых термограммах (рис. 2) полностью видны оба полоза токоприемника. Реализация непрерывного контроля верхней части полозов, взаимодействующей с контактным проводом, на действующей линии весьма затруднительна. Известное решение, указанное в статье [4], заключается в установке на кольцевой линии стационарного поста с тепловизором, регистрирующим температуру полозов только в моменты прохода подвижным составом этого поста.

На получаемых термограммах определялась наиболее нагретая площадка контактных элементов протяженностью 30 мм, для чего область контакта на термограмме разбивается на соответствующее количество ячеек — 44 шт. (AR01 — AR44) на термограмме рис. 2, б, по 22 на каждый полоз с учетом индивидуального масштаба для каждого полоза, рассчитываемого от его длины. Среднюю температуру каждой ячейки в соответствии с ГОСТ 32204 принимают как наибольшую температуру нагрева.

Окно программы, предназначенной для обработки информации, поступающей от тепловизора, с 44 графиками нагрева площадок полоза приведено на рис. 3.

По результатам многочисленных экспериментов на полозе токоприемника была определена наиболее нагретая область, расположенная вблизи центров контактных вставок, температура которой доминировала на протяжении всего эксперимента над другими. Поэтому нагрузочную способность токоприемника и контактных вставок определяли по значениям температуры в этих областях.

Для снижения ошибки при отображении максимальных температур вставок применялась медианная фильтрация данных. Постоянная времени определялась как период вращения кольцевого имитатора.

Чтобы отстроиться в ходе эксперимента от изменения температуры окружающей среды, приведены значения перегрева (рис. 4, 5).

Согласно расчетам [10] испытания могут быть прекращены, если при съеме максимального тока температура исследуемых элементов не изменилась более чем на 10 °С в течение (5 ± 1) мин. По результатам проведенных испытаний можно отметить, что рост температуры контактных вставок значительно замедляется после 15 мин при всех измеренных значениях тока.

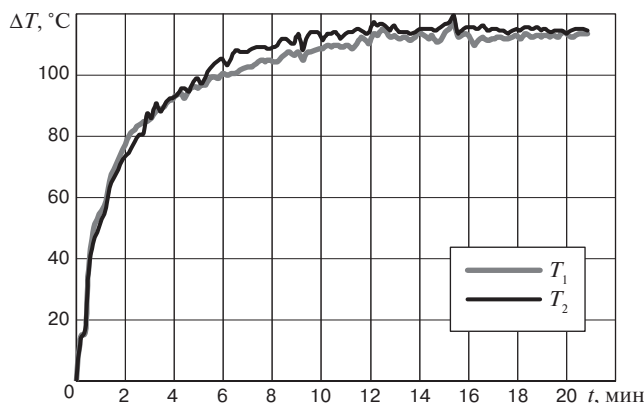


Рис. 4. Графики превышения температуры контактных вставок полоза токоприемника в зоне контакта

Графики максимальной температуры превышения нагрева контактных вставок полоза токоприемника в зоне контакта при токах 1350 А, 1532, 1680, 1900, 2550 и 3200 А приведены на рис. 5.

Допустимый длительный ток определялся по полученным зависимостям температуры от потребляемого тока и допустимым длительным температурам контактных вставок (180 °С — для PanTrac RH85 M8), приведенным в таблице и на рис. 6.

Максимальное значение превышения температуры наиболее нагретого элемента — второй контактной вставки полоза — по результатам испытаний составляет 141 °С при длительном токе 3200 А. Таким образом, при вышеуказанных режимах токовых нагрузок предельная температура контактных вставок PanTrac RH85 M8 достигнута не была.

Вывод. Проведенные испытания в лаборатории «Контактные сети, линии электропередачи и токо-съем» позволили подтвердить заявленные показатели контактных вставок в части токовых нагрузок. Разработанные и аттестованные методики позволяют проводить сравнительный анализ результатов, полученных в лаборатории для контактных вставок различных производителей и марок.

Испытания вставок PanTrac RH85 M8 показали на перспективность их применения на токоприемниках

Результаты измерения максимального превышения температуры контактных вставок токоприемника при статическом нажатии 100 Н

№ п/п	Наименование токоведущего элемента	Превышение температуры ΔT, °C					
		Ток I, А	1350	1532	1680	1900	2550
1	1-я вставка PanTrac RH85 M8	38	45	52	61	93	129
2	2-я вставка PanTrac RH85 M8	45	54	61	71	101	141

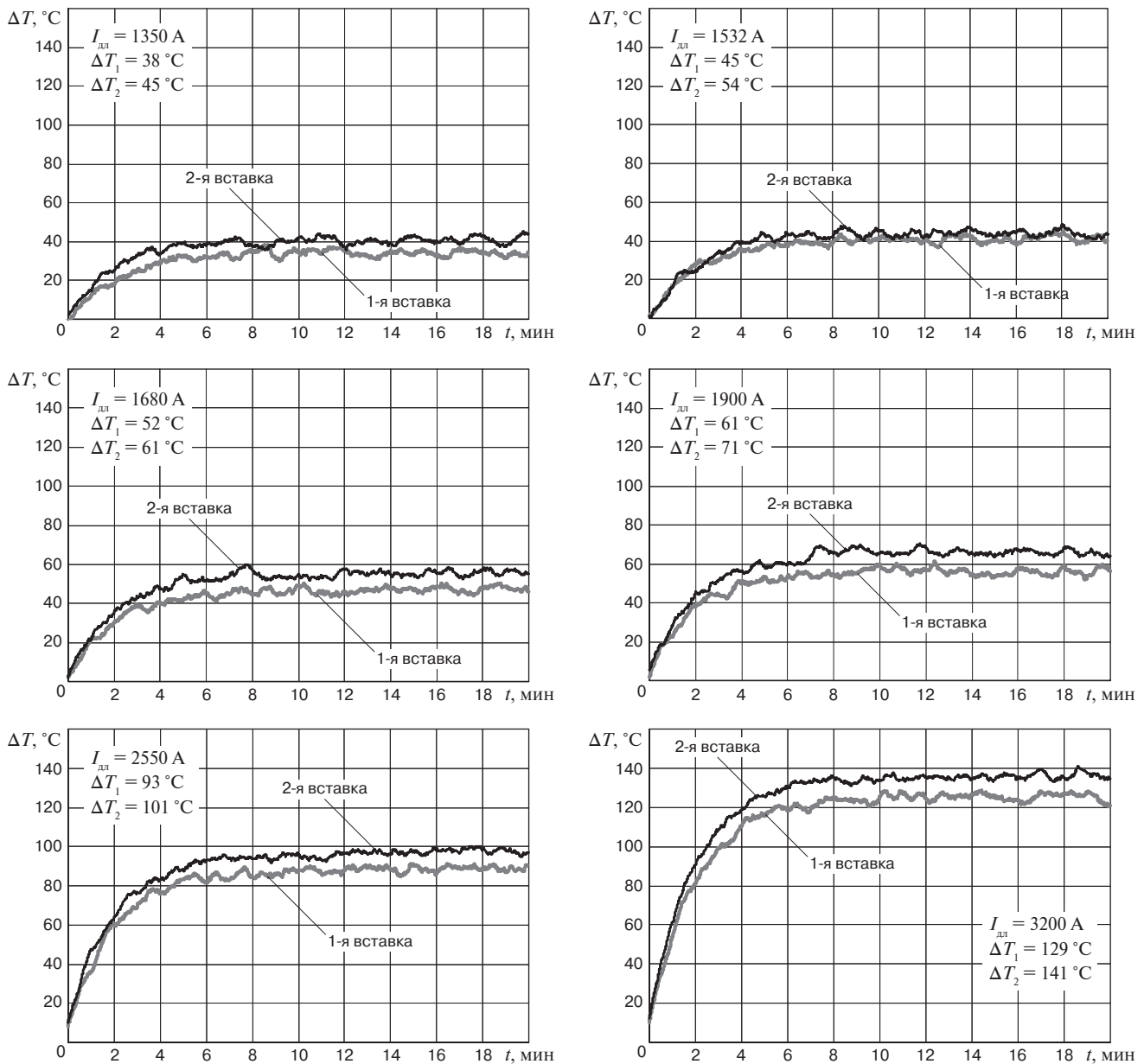


Рис. 5. Графики максимальной температуры превышения нагрева контактных вставок полоза токоприемника в зоне контакта

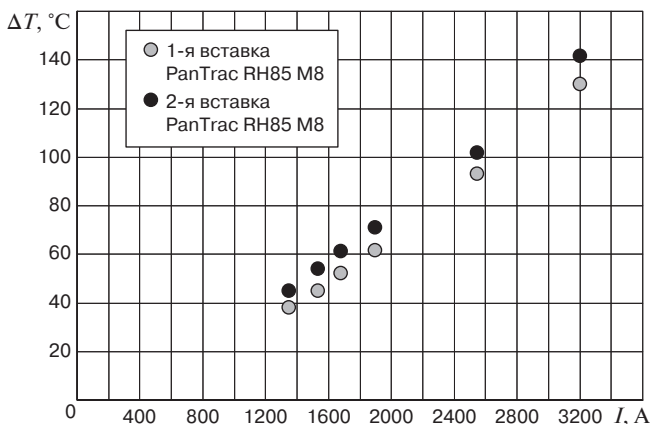


Рис. 6. Экспериментальные значения превышения температуры нагрева контактных вставок токоприемника от нагрузочного тока

постоянного тока, а также достаточный запас по токовой нагрузке.

Испытательный комплекс ОмГУПС аттестован на ток до 4500 А (аттестат № 0211 от 24 июня 2013 г.) и позволяет проводить подобные испытания при наличии заказов от производителей железнодорожной техники и электроэнергетических предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрнин П. Г., Тибилев А. Т., Миронос Н. В. Токосъем: надежность, экономичность и пути совершенствования. М.: ВМГ-Принт, 2015. 166 с.
2. Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. М.: Интекст, 2006. 256 с.

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

4. Тюрнин П.Г., Миронос Н.В., Изергина М.Н.. Экспериментальное определение токовой нагрузочной способности токоприемника // Сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2010. С. 138–144.

5. Сидоров О.А., Смердин А.Н. Совершенствование методов испытаний контактных подвесок и токоприемников // Железнодорожный транспорт. 2010. № 11. С. 72–74.

6. Сидоров О.А., Смердин А.Н., Жданов А.Н. Применение рациональных методик оценки качества токосъема магистральных электрических железных дорог // Транспорт Урала. 2011. № 1 (28). С. 70–76.

7. Павлов В.М., Смердин А.Н., Голубков А.С. Совершенствование методики испытаний токоприемников современного электроподвижного состава: тез. докл. VII междунар. симпозиума «Eltrans'2013» / С.-Петербургский гос. ун-т путей сообщения. СПб., 2013. С. 35–36.

8. Лоренз П. Графитовые материалы и современные клеевые вставки для токоприемников, снимающих большие токи // Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта: тез. докл. VII междунар. симпозиума «Eltrans'2013» / С.-Петербургский гос. ун-т путей сообщения. СПб., 2013. С. 63.

9. Тюрнин П.Г., Миронос Н.В. Обеспечение качественно-го токосъема // Токосъем и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Н.В. Мироноса, П.Г. Тюрнина. М.: Интекст, 2010. С. 15–19.

10. Кутькин А.Н., Тарасенко А.В., Томилов В.В. Особенности теплового расчета токоприемников магистрального электроподвижного состава: материалы VI междунар. симпозиума «Eltrans'2011» / С.-Петербургский гос. ун-т путей сообщения. СПб., 2011. С. 526–536.

644046, Омск, пр. Маркса, д. 35.

Тел.: (3812) 31-16-88.

E-mail: PavlovVM@omgups.com

СИДОРОВ Олег Алексеевич,

заведующий кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, Омск, пр. Маркса, д. 35.

Тел.: (3812) 31-34-46.

E-mail: armsid@mail.ru

СМЕРДИН Александр Николаевич,

доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, Омск, пр. Маркса, д. 35.

Тел.: (3812) 31-34-46.

E-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

ТОМИЛОВ Валерий Викторович,

доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, Омск, пр. Маркса, д. 35.

Тел.: (3812) 31-34-46.

E-mail: tomilovVV@omgups.ru

ГОЛУБКОВ Антон Сергеевич,

доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

644046, Омск, пр. Маркса, д. 35.

Тел.: (3812) 31-34-46.

E-mail: anton.golubkov@omgups.com

ТАРТЫНСКИЙ Денис Викторович,

научный сотрудник отдела «Контактная сеть и токосъем», ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.

Тел.: (499) 260-42-37.

E-mail: densp@inbox.ru

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПАВЛОВ Вячеслав Михайлович,

доцент кафедры «Теоретическая механика», Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Current-Loading Capacity Investigations of Current Collector Operated with Mainline Electric Motive Power

Vyacheslav M. Pavlov, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Chair of Classical Mechanics, Omsk State University of Railway Engineering (OmGUPS). 35, Marx av., 644046 Omsk, Russian Federation. Tel.: +7 (3812) 31 1688. E-mail: PavlovVM@omgups.com

Oleg A. Sidorov, Dr. of Technical Science, Professor, Head of Chair of Electric Power Supply on Railway Transport, Omsk State University of Railway Engineering (OmGUPS). 35, Marx av., 644046 Omsk, Russian Federation. Tel.: +7 (3812) 31 3446. E-mail: armsid@mail.ru

Alexander N. Smerdin, Candidate of Technical Science, Associated Professor, Chair of Electric Power Supply on Railway Transport, Omsk State University of Railway Engineering (OmGUPS). 35 Marx av., 644046 Omsk, Russian Federation. Tel.: +7 (3812) 31 3446. E-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

Valeriy V. Tomilov, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Chair of Electric Power Supply on Railway Transport, Omsk State University of Railway Engineering (OmGUPS). 35, Marx av., 644046 Omsk, Russian Federation. Tel.: +7 (3812) 31 3446. E-mail: tomilovVV@omgups.ru

Anton S. Golubkov, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Chair of Electric Power Supply on Railway Transport, Omsk State University of Railway Engineering (OmGUPS). 35, Marx av., 644046 Omsk, Russian Federation. Tel.: +7 (3812) 31 3446. E-mail: anton.golubkov@omgups.com

Denis V. Tartynskiy, Researcher, Department for Catenary and Current Collection, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4237. E-mail: densp@inbox.ru

Abstract. To implement specified motion modes modern high-speed electric locomotives must be high-powered enough with hourly and continuous rating up to 10,000 kW. At 3,300 V DC

electrified lines this requires current collection in excess of 3,000 A. International and domestic practices indicate that at high speed levels current pick-up worsens proportionally to the num-

ber of current collectors engaged in the interaction with contact wire. Also due to the lack of space it is rather difficult to have more than two current collectors on the roof of a modern single-unit dual-system electric locomotive.

Advanced contact strip materials allow for 3,200 A continuous pick-up in motion with a single current collector. The paper contains experimental investigations' outcomes of the PanTrac contact elements. Those investigations conducted on the task-specific rig in the OmGUPS's laboratory facility demonstrated that wide use of such contact strips on heavy-traffic railway lines could bring long-term benefits. There are described checking procedures allowing to observe the required conditions and existing allowances.

Keywords: current collector; contact strips; permissible sustained current; experimental investigations; rig; current-loading capacity; thermal imager; temperature; electrical resistance; air flow; certification

References

1. Tyurnin P.G., Tibilov A.T., Mironos N.V. *Tokos'em: nadezhnost', ekonomichnost' i puti sovershenstvovaniya* [Current collection: Reliability, economy and ways to improve]. Moscow, VMG-Print Publ., 2015. 166 p.
2. Vologin V.A. *Vzaimodeystvie tokopriemnikov i kontaktnoy seti* [Pantograph/catenary interaction]. Moscow, Intext Publ., 2006. 256 p.
3. Gershman I.S., Mironos N.V., Mel'nik M. A., Gershman E.I. *Tokos'emnye vstavki dlya tokopriemnikov zheleznodorozhnogo transporta* [Current-collecting inserts for current collection of railway transport]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2012, no. 4, pp. 3 – 10.
4. Tyurnin P.G., Mironos N.V., Izergina M. N. *Ekspperimental'noe opredelenie tokovoy nagruzochnoy sposobnosti tokopriemnika*. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZhT" [Experimental determination of the current load capacity of the pantograph. Coll. of sci. works of JSC "VNIIZhT" (Railway Research Institute)]. Moscow, Intext Publ., 2010, pp. 138 – 144.
5. Sidorov O.A., Smerdin A.N. *Sovershenstvovanie metodov ispytaniy kontaktnykh podvesok i tokopriemnikov* [Improved

methods of testing overhead lines and current collectors]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2010, no. 11, pp. 72 – 74.

6. Sidorov O.A., Smerdin A.N., Zhdanov A.N. *Primenenie ratsional'nykh metodik otsenki kachestva tokos'ema magistral'nykh elektricheskikh zheleznnykh dorog* [The use of rational methods to assess the quality of the current collection of the main electric railways]. *Transport Urala*, 2011, no. 1 (28), pp. 70 – 76.

7. Pavlov V.M., Smerdin A.N., Golubkov A.S. *Sovershenstvovanie metodiki ispytaniy tokopriemnikov sovremennogo elektropodvizhnogo sostava* [Improving methods of testing current collectors of modern electric rolling stock]. Tez. dokl. VII Mezhdunar. simp. "Eltrans'2013" [Abstr. pap. 7th Int. Symp. "Eltrans'2013"]. St. Petersburg, Petersburg State Univ. of Railways Publ., 2013, pp. 35 – 36.

8. Lorenz P. *Grafitovye materialy i sovremennyye kleevye vstavki dlya tokopriemnikov, snimayushchikh bol'shie toki* [Graphite materials and modern adhesive inserts for current collectors, removing large currents]. *Elektrifikatsiya i razvitiye infrastruktury energoobespecheniya tyagi poezdov skorostnogo i vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta*. Tez. dokl. VII Mezhdunar. simpoz. "Eltrans'2013" [Electrification and energy infrastructure development of traction supply for speed trains and high-speed rail transport. Abstr. pap. 7th Int. Symp. "Eltrans'2013"]. St. Petersburg, Petersburg State Univ. of Railways Publ., 2013, p. 63.

9. Tyurnin P.G., Mironos N.V. *Obespechenie kachestvennogo tokos'ema* [Providing quality of current collection]. Tokos'em i tyagovoe elektrosnabzhenie pri vysokoskorostnom dvizhenii na postoyannom toke. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZhT" [Current collection and traction power supply during high-speed driving at a constant current. Coll. of sci. works of JSC "VNIIZhT" (Railway Research Institute)]. Moscow, Intext Publ., 2010, pp. 15 – 19.

10. Kut'kin A. N., Tarasenko A.V., Tomilov V.V. *Osobennosti teplovogo rascheta tokopriemnikov magistral'nogo elektropodvizhnogo sostava* [Features of thermal calculation of the current collectors of the main electric rolling stock]. Mat. VI Mezhdunar. simpoz. "Eltrans'2011" [Proc. 6th Int. Symp. "Eltrans'2011"]. St. Petersburg, Petersburg State Univ. of Railways Publ., 2011, pp. 526 – 536.

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на **научно-технический журнал «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ»)** можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут подписаться на журнал «Вестник ВНИИЖТ» по каталогам подписного агентства «МК-Периодика» (www.periodicals.ru).

«VNIIZhT Bulletin» («Railway Research Institute Bulletin») — научно-технический журнал на английском языке, издается ОАО «ВНИИЖТ» с 2011 г. (ISSN 2220 – 9484). Периодичность — 2 раза в год. В журнале публикуются наиболее значимые и актуальные для зарубежных читателей научные статьи, опубликованные в журнале «Вестник ВНИИЖТ» на русском языке.

Оформить подписку можно в подписном агентстве «МК-Периодика» (www.periodicals.ru) или в редакции журнала по электронной почте journal@vniizht.ru.