

Резервы повышения надежности коллекторных тяговых электродвигателей электровозов

А. М. Худоногов✉, В. Н. Иванов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ a.hudonogov@yandex.ru

Резюме

В статье проанализированы и приведены данные, предоставленные сервисными локомотивными депо Красноярского, Восточно-Сибирского и Забайкальского управлений «Локо-Тех» по заходам электровозов на межпоездной ремонт по итогам работы за 2020 г. Приняты во внимание наработки Омского государственного университета путей сообщения по отказам тяговых электродвигателей электровозов постоянного тока. Проведен предметный анализ отказов оборудования крупных сервисных локомотивных депо (Боготол, Нижнеудинск, Чита). Акцент сделан на пробой изоляции пальцев щеткодержателей тяговых электродвигателей. Исследованы действующая система ремонта изоляционных пальцев тяговых электродвигателей в условиях сервисных локомотивных депо, а также влияние твердости и эластичности высушенного пропиточного материала на надежность изоляционных конструкций при эксплуатации электрического оборудования тягового подвижного состава. Предложены варианты сокращения времени и финансовых затрат на процесс запекания поверхностного изоляционного слоя пальцев тяговых электродвигателей, при этом при практическом применении указанного варианта подтвердился положительный результат метода с применением инфракрасного излучения. В результате использования карусельного способа пропитки и сушки полимерной изоляции пальцев кронштейнов щеткодержателей тяговых электродвигателей инфракрасным излучением сокращаются в 2–3 раза расход энергии и не менее чем в 5–10 раз время на технологические операции по пропитке и сушке пальцев кронштейнов щеткодержателей. В качестве математических моделей для расчетов оптимальных режимов инфракрасного энергоподвода при таком конструктивном решении можно рекомендовать метод двойного преобразования тригонометрических рядов Фурье с постоянным периодом.

Ключевые слова

тяговый двигатель, электроизоляционный материал, твердость полимеров, механическая прочность, терморadiационная сушка, электрическая прочность, изоляционные пальцы, тяговый подвижной состав

Для цитирования

Худоногов А. М. Резервы повышения надежности коллекторных тяговых электродвигателей электровозов / А. М. Худоногов, В. Н. Иванов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 179–184. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).179-184

Информация о статье

поступила в редакцию: 05.09.2021, поступила после рецензирования: 15.09.2021, принята к публикации: 15.10.2021

Reserves for improving the reliability of collector traction electric motors of electric locomotives

A. M. Khudonogov✉, V. N. Ivanov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ a.hudonogov@yandex.ru

Abstract

The article analyzes and presents the data provided by the locomotive service depots of the Krasnoyarsk, East Siberian and Trans-Baikal management “Loco-Tech” on the calls of electric locomotives for inter-train repair according to the operation results for 2020. The developments of OmGUPS on the failure rate of traction electric motors of DC electric locomotives are taken into account. A substantive analysis of the equipment failure of large locomotive service depots (Bogotol, Nizhneudinsk, Chita) was carried out. The emphasis is placed on the insulation breakdown of the brush holder fingers of traction motors. The current repair system of insulating fingers of traction electric motors under the conditions of service locomotive depots is analyzed. The influence of the hardness and elasticity of the dried impregnating material upon the reliability of insulation structures during the operation of electric equipment of traction rolling stock is analyzed. Options for reducing the time and financial costs for the process of baking the surface insulation layer of traction electric motors' fingers are proposed, while the practical application of the above option confirmed the positive result of the use of infrared radiation method. Resulting from the application of the carousel impregnation method and drying of the polymer insulation of the fingers of the brush holder brackets of traction electric motors, infrared radiation reduces energy consumption by 2–3 times and at least 5–10 times the time for technological operations

for impregnation and drying of the fingers of the brush holder brackets. As mathematical models for calculating the optimal modes of infrared energy supply, with such a solution, the method of double transformation of trigonometric Fourier series with a constant period can be recommended.

Keywords

traction motor, electrical insulation material, polymer hardness, mechanical strength, thermal radiation drying, electrical strength, insulating fingers, traction rolling stock

For citation

Khudonogov A. M., Ivanov V. N. Rezervy povysheniya nadezhnosti kollektornykh tyagovykh elektrodvigatelei elektrovozov [Reserves for improving the reliability of collector traction electric motors of electric locomotives]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 3 (71), pp. 179–184.– DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).179-184

Article info

Received: 05.09.2021, Revised: 15.09.2021, Accepted: 15.10.2021

Введение

В настоящее время на железных дорогах России грузовые и пассажирские перевозки осуществляются электровозами с коллекторными тяговыми двигателями (ТЭД). Один из основных недостатков этих электродвигателей – низкая надежность коллекторно-щеточного узла (КЩУ) [1–3].

По данным ученых ОмГУПС основными видами повреждений ТЭД, таких, например, как ТЛ-2К1, являются пробой изоляции и межвитковое замыкание (МВЗ) обмоток якоря – 28 %; круговой огонь с явно выраженным повреждением КЩУ – 16 %; пробой изоляции и МВЗ обмоток главных и дополнительных полюсов (ГП и ДП) и компенсационной обмотки (КО) – 9 %; повреждение якорных подшипников – 8 %; низкое сопротивление изоляции якорных и полюсных обмоток – 5 %.

При исследовании процесса коммутации коллекторных ТЭД учеными ОмГУПС была выдвинута гипотеза, что на процесс коммутации значительное влияние оказывает состояние изоляционных конструкций коллекторного ТЭД и особенно элементов КЩУ [2, 4–6].

Не лучше картина по надежности ТЭД наблюдается и на электровозах переменного тока.

В табл. приведены результаты заходов на межпоездной ремонт по причине неисправности ТЭД различных серий электровозов, эксплуатируемых на железных дорогах Восточного полигона (ВЛ80р, ВЛ85, ЗЭС5К «Ермак»). Наибольший процент по перекрытию и пробую изоляционных пальцев кронштейнов щеткодержателей наблюдается у электровозов серий ВЛ85 и «Ермак», которые составляют основной парк грузовых электровозов Восточного полигона.

Существующая система ремонта изоляционных пальцев щеткодержателей тягового электродвигателя

На заводах по изготовлению и ремонту тягового подвижного состава, а также в сервисных локомотивных депо, технология изготовления и восстановления изоляционных пальцев кронштейнов щеткодержателей ТЭД в операции сушки полимера рекомендует использовать мощные конвективные печи [7–10]. Иногда эти же печи применяют и в де-

Распределение отказов по группам тяговых электродвигателей при постановке на межпоездной ремонт по итогам 2020 г. на Восточном полигоне

Failure distribution over the groups of traction electric motors under the intertrain repair calls summarized for the year 2020 at Eastern poligon

Дирекция тяги / депо приписки	Тип тягового электродвигателя	Общее количество отказов	Главные полюса	Дополнительные полюса	Остов / кабели / клемная коробка	Якорь	Коллекторно-щеточный узел	Пробой пальцев	Процент к общему количеству отказов
Красноярская / Боготол	НБ-418кб	366	86	44	18	71	90	57	15
Восточно-Сибирская / Нижнеудинск	НБ-514	383	83	38	43	98	33	88	23
Забайкальская / Чита	НБ-514Б	280	36	34	38	78	38	56	20

по. И если на заводах в эти мощные печи можно загрузить большое количество изоляционных пальцев, то в депо в среднем количество отказов по пальцам за год в пределах 300 случаев.

Штатная технология по восстановлению диэлектрических пальцев в депо (на примере СЛД-74 Боготол-Сибирский) состоит из нескольких операций.

После разборки ТЭД траверса с пальцами передается на участок по ремонту данного узла. Затем, на специальном приспособлении, траверса разбирается и производится первичная дефектация элементов узла, в том числе и изоляционных пальцев в соответствии с инструкцией ТИ 752.

Неотбракованные пальцы очищаются от старого покрытия на специальном станке с помощью наждачной бумаги (рис. 1).



Рис. 1. Станок для шлифовки электроизоляционных пальцев

Fig. 1. Electric Insulation Finger Grinding Machine

После шлифовки и очистки пальцев от старого покрытия они вворачиваются в специальные накопители (рис. 2).



Рис. 2. Накопители для пропитки и сушки изоляционных пальцев

Fig. 2. Storage devices for impregnation and drying of insulation fingers

После этого пальцы подвергаются сушке и нагреву до температуры 70 °С в специальной печи мощностью 25 кВт. Продолжительность нагрева составляет около 20 мин. По окончании нагрева производится окунание пальцев в ванну с лаком. Их выдерживают в лаке до исчезновения пузырей [7–9].

После окунания поднимают изоляционные пальцы из ванны и дают лишнему лаку сбежать. Резьба лаком не покрывается. Лак в основном марки ФЛ-98. Далее производится сушка пальцев. Сушат при температуре 130–140 °С в течение 5 ч. В это время пальцы располагаются вертикально, торцевой частью вниз. Контроль температуры осуществляется с помощью индикаторного табло. Внешний вид сушильного шкафа и емкости с лаком представлен на рис. 3.



Рис. 3. Сушильный шкаф с индикаторным табло (слева) и ванна с лаком ФЛ-98 (справа)

Fig. 3. A drying cabinet with an indicator board (left) and a bath with FL-98 varnish (right)

По окончании запекания лаковой пленки накопители с изоляционными пальцами извлекаются из сушильного шкафа и охлаждаются до температуры окружающего воздуха.

Затем проверяется электрическая прочность изоляции пальцев переменным током 50 Гц в течение 1 мин. напряжением 4,1 кВ. После испытания изоляционных пальцев на них наносится дата проверки и начальная буква фамилии исполнителя, производившего проверку на пробой изоляции.

При испытаниях на электрическую прочность изоляционных пальцев при штатной технологии порядка 15 % отремонтированной продукции пробивает в связи с некачественным состоянием изоляции и технологии ремонта.

Предлагаемые варианты повышения ресурса изоляционных пальцев щеткодержателей тягового электродвигателя

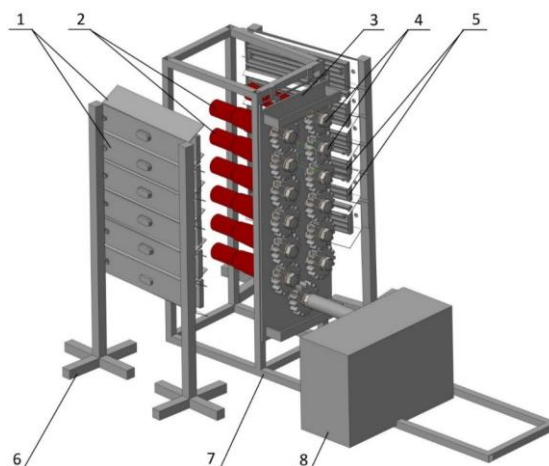


Рис. 4. Макет установки для горизонтального способа запекания:

- 1 – отражатели; 2 – изоляционные пальцы; 3 – пластина с ручьями; 4 – поворотные устройства;
5 – инфракрасные излучатели керамические; 6 – стойка для крепления облучателей;
7 – подставка для установки; 8 – мотор-редуктор с частотным преобразователем

Fig. 4. The layout of the installation for the horizontal baking method:

- 1 – reflectors; 2 – insulating fingers; 3 – a plate with handles; 4 – rotary devices; 5 – ceramic IR emitters;
6 – a stand for mounting irradiators; 7 – a stand for installation; 8 – a gear motor with a frequency converter

С целью повышения качества изготовления и ремонта пальцев в ИрГУПС были проведены экспериментальные исследования, по результатам которых запатентовано несколько способов и средств для повышения ресурса изоляционных пальцев при изготовлении и ремонте с использованием ИК-излучения. В некоторых случаях предлагаются установки с горизонтальным расположением пальцев при сушке пропиточного состава (рис. 4) [11–15].

При таком конструктивном исполнении в начале процесса кристаллизации полимера часть его будет продолжать стекать с пальца. Поэтому в штатной инструкции рекомендуется в процессе сушки пальцев вертикальное их расположение [16, 17].

Технологический процесс карусельного способа пропитки и сушки полимерной изоляции пальцев кронштейнов щеткодержателей ТЭД ИК-излучением представлен на рис. 5.

Изоляционные пальцы 2 в количестве 12 штук вкручиваются в карусельный транспортер 1. Транспортер начинает равномерно вращаться и в автоматическом режиме осуществляются все три цикла.

В первом цикле автоматически включаются ИК-излучатели 3 и происходит нагрев равномерно вращающихся пальцев 2 перед пропиткой. После завершения цикла нагрева автоматически отключаются ИК-излучатели и включаются форсунки 4 для подачи пропиточного материала на равномерно вращающиеся пальцы. После завершения цикла пропитки изоляционных пальцев 2 автоматически отключаются форсунки 4 и включаются ИК-излучатели для осуществления цикла сушки. По завершении цикла сушки пальцев транспортер останавливается [18, 19].

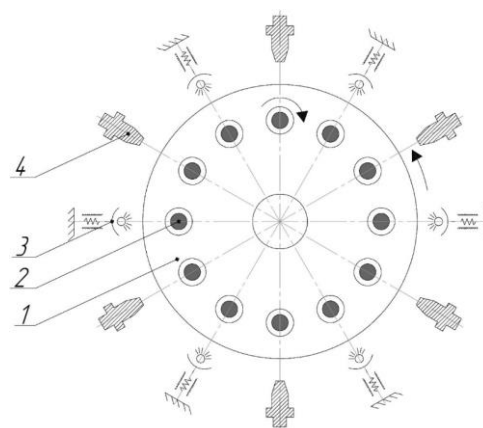


Рис. 5. Карусельный способ пропитки:

- 1 – транспортер карусельный; 2 – изоляционный палец; 3 – инфракрасный облучатель; 4 – форсунка
Fig. 5. Carousel impregnation method:
1 – carousel transporter; 2 – insulation finger; 3 – infrared illuminator; 4 – injector

Заключение

В результате применения карусельного способа пропитки и сушки полимерной изоляции пальцев кронштейнов щеткодержателей ТЭД ИК-излучением сокращаются в 2–3 раза расход энергии и не менее чем в 5–10 раз время на технологические операции по пропитке и сушки пальцев кронштейнов щеткодержателей [18].

В качестве математических моделей для расчетов оптимальных режимов ИК-энергоподвода при таком конструктивном решении можно рекомендовать метод двойного преобразования тригонометрических рядов Фурье с постоянным периодом [2, 18].

Список литературы

1. Барэмбо К.Н. Бернштейн Л.М. Сушка, пропитка и компаундирование обмоток электрических машин. М. : Госэнергоиздат, 1961. 368 с.
2. Бублик В.В. Повышение ресурса коллекторно-щеточного узла электрических машин постоянного тока : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.01. Омск, 2011. 171 с.
3. Иванов В.Н. Электротехнологическое продление ресурса электрических машин тепловым излучением : дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 172 с.
4. Восстановление изоляционных свойств обмоток якоря тягового электродвигателя / В.П. Смирнов, И.А. Худоногов, В.Н. Иванов и др. // Вестник ИрГТУ. 2006. Т. 28, № 4. С. 60–62.
5. Юренков М.Г. Анализ влияния условий эксплуатации на надежность тяговых электродвигателей // Исследование работы электрооборудования и вопросы прочности электроподвижного состава : науч. тр. Омск : Изд-во ОМИИТ, 1974. С. 57–60.
6. Худоногов А.М. Эксплуатационная надёжность тяговых двигателей электровозов Восточного региона // А.М. Худоногов, Ш.К. Исмаилов, В.П. Смирнов, И.С. Гамаюнов, Д.А. Оленцевич, В.Н. Иванов, Д.Ю. Алексеев // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт Труды III Междунар. науч.-техн. конф. 5–8 июня 2007 г. / под ред. В.П. Горелова, С.В. Журавлева, В.А. Глушец. Ч. 1. Омск: Иртышский филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта», 2007. С. 68–70.
7. Алексеев А.Е. Конструкция электрических машин. М. : Госэнергоиздат, 1958. 425 с.
8. Борхерт Р., Юбиц В. Техника инфракрасного нагрева. М. : Госэнергоиздат, 1963. 278 с.
9. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
10. Ваксер Н.М. Изоляция электрических машин. Л. : Ленинград. политехн. ин-т, 1985. 83 с.
11. Худоногов А.М., Дульский Е.Ю., Иванов В.Н. Больше внимания изоляционным конструкциям двигателей // Локомотив. 2018. № 7. С. 36–37.
12. Анализ конструктивных особенностей элементов электромагнитной системы тяговых электродвигателей локомотивов / А.М. Худоногов, Е.Ю. Дульский, В.Н. Иванов и др. // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы конф. Иркутск, 2018. Т. 2. С. 351–355.
13. Алексеев Д.Ю. Повышение ресурса изоляции обмоток тяговых электрических машин / Д.Ю. Алексеев, В.П. Смирнов, А.М. Худоногов и др. // Наука и техника транспорта. 2010. № 2. С. 18–21.
14. Иванов В.Н. Восстановление изоляции ТЭД локомотивов с использованием инфракрасного излучения / В.Н. Иванов, Ю.И. Попов, А.С. Куренков и др. // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2014. С. 89–92.
15. Математическая модель кинетики нагревания пропитанной изоляции в технологии восстановления ОЛС / В.Н. Иванов, Ю.И. Попов, А.С. Куренков и др. // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2014. № 10. С. 92–96.
16. Худоногов А.М., Дульский Е.Ю., Лобыцин И.О. Совершенствование процесса восстановления изоляционных пальцев тяговых электродвигателей // Политранспортные системы : материалы междунар. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2019. С. 312–317.
17. Худоногов А.М. Худоногов И.А., Лобыцин И.О. Управление микрошероховатостью в технологии восстановления изоляционных пальцев коллекторных тяговых электродвигателей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 4 (60). С. 15–23.
18. Анализ методов математического моделирования процесса капсулирования полимерной изоляции электрических машин / А.М. Худоногов, Е.М. Лыткина, Е.Ю. Дульский и др. // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2016. Т. 2. С. 505–509.
19. Пат. 2396669 Рос. Федерация. Локальный способ герметизации компаундом изоляции лобовых частей обмоток тяговых электрических машин / А.М. Худоногов, И.А. Худоногов, В.Н. Иванов и др. № 2009117049/28 ; заявл. 04.05.2009 ; опубл. 10.08.2010. 3 с. : ил.

References

1. Barembo K.N., Bernstein L.M. Sushka, propitka i kompaundirovaniye obmotok elektricheskikh mashin (Drying, impregnation and compounding windings of electrical machines) [Drying, impregnation and compounding of windings of electrical machines]. Moscow: Gosenergoizdat Publ., 1961. 368 p.
2. Bublik V.V. Povysheniye resursa kollektorno-shchetochno go uzla elektricheskikh mashin postoyannogo toka : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.09.01 [Increasing the resource of the collector-brush unit of electric machines of constant current: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.09.01]. Omsk, 2011. 171 p.
3. Ivanov V.N. Elektrotekhnologicheskoye prodleniye resursa elektricheskikh mashin teplovym izlucheniym : dis. ... kand. tekhn. nauk. [Electrotechnological extension of the resource of electric machines by thermal radiation: Ph.D. (Engineering) diss.]. Moscow, 2014. 172 p.
4. Smirnov V.P., Hudonogov I.A., Ivanov V.N., Ismailov S.K. Vosstanovleniye izolyatsionnykh svoystv obmotok yakorya tyagovogo elektrodvigatelya [Recovery of the insulating properties of the armature windings of the traction motor]. *Vestnik IrGTU [Bulletin INRTU]*, 2006, Vol. 28, No.4, pp. 60–62.
5. Yurenkov M.G. Analiz vliyaniya usloviy ekspluatatsii na nadezhnost' tyagovykh elektrodvigateley [Analysis of the influence of operating conditions on the reliability of traction electric motors]. *Issledovaniye raboty elektrooborudovaniya i voprosy*

prochnosti elektropodvizhnogo sostava : nauch. tr. [Study of the work of electrical equipment and the strength of electric rolling stock: scientific tr.]. Omsk: OmIIT Publ., 1974, pp. 57–60.

6. Khudonogov A.M., Ismailov Sh.K., Smirnov V.P., Gamayunov I.S., Olentsevich D.A., Ivanov V.N., Alekseev D.Yu. Eksploatatsionnaya nadozhnost' tyagovykh dvigateley elektrovozov Vostochnogo regiona [Operational reliability of traction engines of electric locomotives of the Eastern region]. *Energetika, ekologiya, energosberezheniye, transport. Trudy III Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. 5–8 iyunya 2007 g. / pod red. V.P. Gorelova, S.V. Zhuravleva, V.A. Glushets [Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference "Power Engineering, ecology, energy saving, transport", June 5–8, 2007. In V.P. Gorelov, S.V. Zhuravlev, V.A. Glushets (ed.)].* Omsk: Irtysh branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "Novosibirsk State Academy of Water Transport", 2007, Part 1, pp. 68–70.

7. Alekseev A.E. Konstruktsiya elektricheskikh mashin [The construction of electric machines]. Moscow: Gosénergoizdat Publ., 1958. 425 p.

8. Borchert R., Yubits V. Tekhnika infrakrasnogo nagreva [Technique of infrared heating]. Moscow: Gosénergoizdat Publ., 1963. 278 p.

9. Filippov I.F. Teploobmen v elektricheskikh mashinakh [Heat exchange in electric machines]. Leningrad: Energoatomizdat Publ., 1986. 256 p.

10. Vaxer N.M. Izolyatsiya elektricheskikh mashin [Insulation of electric machines]. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute, 1985. 83 p.

11. Khudonogov A.M., Dul'sky E.Y., Ivanov V.N. Bol'she vnimaniya izolyatsionnym konstruktsiyam dvigateley [More attention to the insulating structures of engines]. *Lokomotiv [Lokomotiv]*, 2018, No. 7, pp. 36–37.

12. Khudonogov A.M., Dul'sky E.Y., Ivanov V.N. et al. Analiz konstruktivnykh osobennostey elementov elektromagnitnoy sistemy tyagovykh elektrodvigateley lokomotivov [Analysis of the design features of the elements of the electromagnetic system of traction electric engines of locomotives]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region]*, 2018, Vol. 2, pp. 351–355.

13. Alekseev D.Yu., Smirnov V.P., Hudonogov A.M. et al. Povysheniye resursa izolyatsii obmotok tyagovykh elektricheskikh mashin [Improving the resource to the windings of traction electric machines]. *Nauka i tekhnika transporta [Science and technology of transport]*, 2010, No. 2, pp. 18–21.

14. Ivanov V.N., Popov Yu.I., Kurenkov A.S. et al. Vosstanovleniye izolyatsii TED lokomotivov s ispol'zovaniyem infrakrasnogo izlucheniya [Restoration of insulation of TED locomotives using infrared radiation]. *Sovremennyye problemy sovershenstvovaniya raboty zheleznodorozhnogo transporta [Modern problems of improving the work of railway transport]*, 2014, pp. 89–92.

15. Ivanov V.N., Popov Yu.I., Kurenkov A.S. et al. Matematicheskaya model' kinetiki nagrevaniya propitannoy izolyatsii v tekhnologii vosstanovleniya OLS [Mathematical model of heating kinetics of impregnated insulation in the technology of OLS recovery]. *Sovremennyye problemy sovershenstvovaniya raboty zheleznodorozhnogo transporta [Modern problems of improving the work of railway transport]*, 2014, pp. 92–96.

16. Khudonogov A.M., Dul'sky E.Yu., Lobytsin I.O. Sovershenstvovaniye protsessa vosstanovleniya izolyatsionnykh pal'tsev tyagovykh elektrodvigateley [Improvement of the process of restoring the insulating fingers of traction electric motors]. *Poli-transportnyye sistemy: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Polytransport systems: materials of the international scientific and technical conference]*. Novosibirsk, 2019, pp. 312–317.

17. Khudonogov A.M., Khudonogov I.A., Lobytsin I.O. Upravleniye mikrosherokhovatost'yu v tekhnologii vosstanovleniya izolyatsionnykh pal'tsev kollektornykh tyagovykh elektrodvigateley [Micro-roughness control in the technology of restoration of insulation fingers of collector traction electric motors]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2018, No. 4(60), pp. 15–23.

18. Khudonogov A.M., Lytkina E.M., Dul'sky E.Yu. et al. Analiz metodov matematicheskogo modelirovaniya protsessa kapsulirovaniya polimernoy izolyatsii elektricheskikh mashin [Analysis of methods of mathematical modeling of the process of encapsulation of polymer insulation of electric machines]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region]*. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2016, Vol. 2, pp. 505–509.

19. Khudonogov A.M., Khudonogov I.A., Ivanov V.N., Pyichev N.G., Olentsevich D.A., Sidorov V.V., Lytkina E.M. *Lokalnyy sposob germetizatsii kompaundom izolyatsii lobovykh chastey obmotok tyagovykh elektricheskikh mashin [Local method of sealing the insulation of the frontal parts of the windings of traction electric machines with a compound]*. Utility model patent RU 2396669 C1, 10.08.2010. Application No. 2009117049/28, dated May 04, 2009.

Информация об авторах

Худоногов Анатолий Михайлович – д-р техн. наук, проф., профессор кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: a.hudonogov@yandex.ru

Иванов Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: v.n.ivanov40161@yandex.ru

Information about the authors

Anatoly M. Khudonogov – Doctor of Sciences in Engineering, professor, professor of the Subdepartment Electric rolling stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: a.hudonogov@yandex.ru

Vladimir N. Ivanov – Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Associate, Professor the Subdepartment of Electric rolling stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: v.n.ivanov40161@yandex.ru