

g. [Integration of modern scientific research into the development of society: materials of the International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, December 28–29, 2016]. Kemerovo: Zapadno-Sibirskii nauchnyi tsentr Publ., 2016, pp. 375–378.

17. Panova Yu., Korovyakovskiy E., Bessolitsyn A. Rail passenger transport of Russia: analysis and prospects (Review article). *Russian Journal of Logistics and Transport Management*. Petersburg State Transport University, Vol. 1, No. 2, 2014.

18. Gozbenko V.E., Ivankov A.N., Kolesnik M.N., Pashkova A.S. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchetom moshchnosti passazhiro i gruzopotokov. Deponirovannaya rukopis' No. 330-V2008 17.04.2008 [Methods of forecasting and optimizing the transport network, taking into account the capacity of passenger and cargo flows. The deposited manuscript No. 330-V2008 04.17.2008].

19. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Ivankov A.N. Sovershenstvovanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev [Improving freight forwarding services for cargo owners]. Irkutsk, 2011.

Информация об авторах

Булохова Татьяна Александровна – к. э. н., доцент кафедры экономики и управления на железнодорожном транспорте, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: 677623@mail.ru

Information about the authors

Tat'yana A. Bulokhova – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Economics and Management in Railway Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: 677623@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).136-143

УДК 621.311

Повышение достоверности диагностирования состояния несущего троса контактной сети

В. П. Ступицкий✉, **И. А. Худоногов**, **В. А. Тихомиров**, **О. В. Лобанов**

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

✉ doka\$vp@mail.ru

Резюме

Несущий трос является основным устройством контактной подвески и служит для подвешивания контактного провода. Его техническое состояние подлежит контролю для обеспечения безопасности движения поездов. Анализ современных методов диагностики позволяет сделать вывод о недостаточной их эффективности. Диагностика несущего троса производится группами диагностики ЭЧ и ДЭЛ, а также вагоном-лабораторией ВИКС ЦЭ. Ее проводят визуально посредством пеших обходов и тепловизионного обследования. Первый не дает должного результата, так как зависит от человеческого фактора. Точность и возможность второго уменьшается в светлое время суток, при повышенной влажности и наличии ветровых потоков. При диагностике данные факторы влияют на качество измерения, что может привести к обрыву несущего троса. В статье исследован новый метод диагностики несущего троса. При эксплуатации на несущий трос действуют различные нагрузки и температуры, что в свою очередь приводит к изменению длины, вследствие этого изменяется стрела провеса и натяжение. Проанализировав удлинение провода и параметры несущего троса можно выявить его предотказное состояние. Длина провода увеличивается при обрыве хотя бы одной проволоки, так как уменьшается его сечение. Данный метод позволяет определить обрыв одной или нескольких проволок за счет удлинения несущего троса. Этот параметр возможно измерить с помощью датчика линейных ускорений (акселерометра), принцип действия которого – измерение ускорения при мгновенном изменении параметров провода.

Ключевые слова

несущий трос, методы диагностики, стрела провеса, удлинение, сечение, акселерометр, обрыв проволок

Для цитирования

Ступицкий В.П. Повышение достоверности диагностирования состояния несущего троса контактной сети / В. П. Ступицкий, И. А. Худоногов, В. А. Тихомиров, О. В. Лобанов // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2020. – Т. 65 № 1. – С. 136–143. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).136-143

Информация о статье

поступила в редакцию: 04.09.2019, поступила после рецензирования: 24.12.2019, принята к публикации: 15.01.2020

Increase in reliability of diagnosing of the contact network bearer cable condition

V. P. Stupitskiy✉, **I. A. Khudonogov**, **V. A. Tikhomirov**, **O. V. Lobanov**

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ doka\$vp@mail.ru

Abstract

The bearer cable is the main structure of contact network and is designed for hanging of the contact wire. Its technical condition is subject to monitoring to provide train service safety. The analysis of the modern methods of diagnostics allows us to conclude that their effectiveness is insufficient. Diagnostics of the bearer cable is made by groups of diagnostics of power supply division, road electrotechnical laboratory and also by the contact network testing car laboratory. It is carried out visually by means of pedestrian rounds and thermovision inspection. The first one doesn't yield due results, as it depends on a human factor. Accuracy and possibility of the second one decreases during daylight hours, in case of the increased humidity and occurrence of wind streams. During the diagnostics, these factors affect quality of measurement that can lead to break of the bearer cable. This article studies a new method of diagnostics of the bearer cable. During operation, the load-bearer cable is subject to different loads and temperatures. This in turn leads to a change in length, resulting in changes in the sag and tension. After analyzing the lengthening of the wire and the parameters of the carrier cable, it is possible to identify its pre-failure state. The length of the wire increases when at least one wire is broken, as its cross-section decreases. This method allows us to define the breakage of one or several wires due to lengthening of the bearer cable. The charts obtained show that, when section decreases, the lengthening of the wire increases. Therefore, knowing the change of the wire length, at present it is possible to predict its condition by time. It is possible to measure this parameter with the help of the sensor of the linear accelerations (accelerometer) whose principle of operation is acceleration measurement at the instant change of the wire parameters.

Keywords

bearer cable, methods of diagnostics, sag, lengthening, section, accelerometer, wire breakage

For citation

Stupitskii V. P., Khudonogov I. A., Tikhomirov V. A., Lobanov O. V. Povyshenie dostovernosti diagnostirovaniya sostoyaniya nesushchego trosa kontaktnoi seti [Increase in reliability of diagnosing of the contact network bearer cable condition]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 136–143. 10.26731/1813-9108.2020.1(65).136-143

Article Info

Received: 04.09.2019, Revised: 24.12.2019, Accepted: 15.01.2020

Введение

Несущий трос является основным устройством контактной подвески, служит для подвешивания контактного провода и обеспечивает его расчетные параметры. Обрыв несущего троса может привести к серьезным повреждениям других устройств контактной сети (обрыв контактного провода, струн, деформация крепежных элементов, перегор изоляторов) [1, 2].

Анализ эффективности существующих методов диагностики позволяет сделать вывод о недостаточной их эффективности. Ниже представлена диаграм-

ма среднего количества выявленных аварийных и предотказных состояний на 1 км развернутой длины контактной сети за пять лет (рис. 1).

Внедрение групп диагностики на каждом ЭЧ несколько увеличило показатель выявления отказов и предотказных состояний устройств [3].

Постановка проблемы диагностики

Существующие методы и средства диагностики все еще являются недостаточно эффективными. Особенно данная проблема актуальна в случае

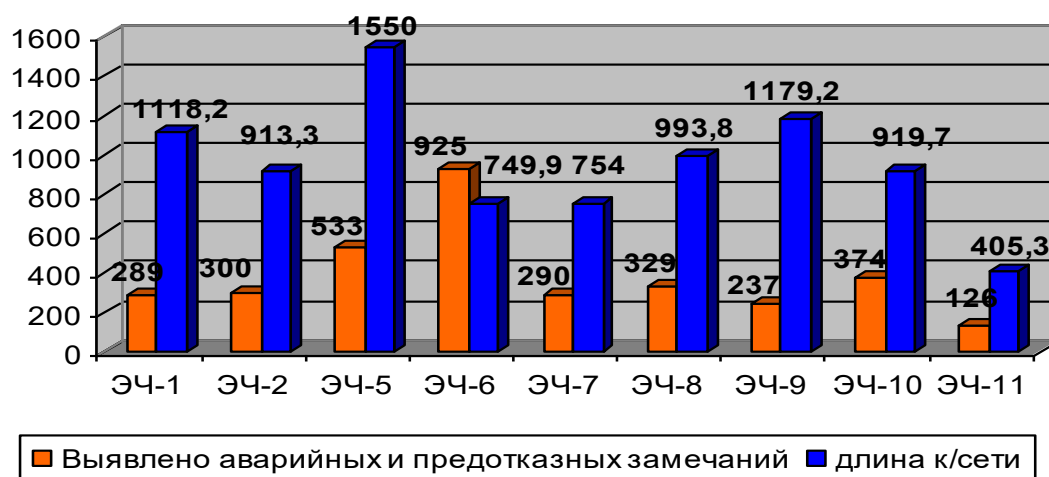


Рис. 1. Диаграмма среднего количества выявленных аварийных и предотказных состояний на 1 км развернутой длины контактной сети за пять лет

Fig. 1. Diagram of the average number of identified emergency and normal conditions per 1 km

определения состояния несущего троса, так как его диагностике уделяется достаточно мало внимания [4]. Диагностика несущего троса производится группами диагностики ЭЧ и ДЭЛ, а также вагонолабораторией ВИКС ЦЭ. Группы диагностики производят диагностику несущего троса визуально посредством пешеходных обходов [5]. Вагон-лаборатория ВИКС ЦЭ осуществляет диагностику несущего троса визуально, а также проводит тепловизионное обследование. Визуальный осмотр не дает должного результата, так как напрямую зависит от человеческого фактора. Точность и возможность тепловизионного обследования уменьшается в светлое время суток, при повышенной влажности и наличии ветровых потоков [6]. Данный факт увеличивает погрешность измерений и вынуждает использовать оборудование только в определенный временной промежуток. Все это не дает четкой картины, описывающей реальное состояние многопроволочных проводов, так как позволяет выявить обрыв проволок только внешнего повива. Рассматривая случаи обрыва, например, несущего троса, можно сделать вывод, что природа обрыва имеет более сложный характер и внешний осмотр не является достаточно эффективным, поэтому необходимо принятие мер по усовершенствованию существующих методов или нахождение новых [7, 8, 9].

Новый метод диагностики многопроволочных проводов

Рассмотрим принцип действия предлагаемого нового метода диагностики многопроволочных проводов, в частности, несущего троса контактной сети.

При эксплуатации на несущий трос действуют различные нагрузки и температуры. Это в свою очередь приводит к изменению длины, вследствие чего изменяется стрела провеса и натяжение [10]. Для каждого режима нагрузки и температуры известны стрелы провеса и натяжения [11], что позволяет рассчитать удлинение провода при переходе от одного режима к другому.

Для проведения расчета необходимы следующие параметры: t_1 – начальная температура, соответствующая первому режиму, °С; H_1 – натяжение провода при начальной температуре, кгс; L_1 – длина провода при начальной температуре, м; t_x , H_x и L_x – те же величины, соответствующие какому-то другому режиму; α – коэффициент линейного удлинения материала провода, $1/^\circ\text{C}$; E – модуль упругости провода, мм^2 ; S – площадь поперечного сечения провода, мм^2 .

Зависимость длины провода от изменения температуры $t_x t_x$, при постоянном натяжении, определяется следующим выражением:

$$L_x = L_1 [1 + \alpha(t_x - t_1)].$$

В результате удлинения провода возникает изменение стрелы провеса, что приводит к трансформированию натяжения [12]. Согласно закону Гука, натяжение повлияет на изменение начальной длины провода L_x до величины

$$L_x = L_1 \left[1 + \frac{H_x - H_1}{ES} \right].$$

Зависимость результирующей длины от одновременного воздействия температуры и нагрузки будет определяться выражением

$$L_x = L_1 [1 + \alpha(t_x - t_1)] \left(1 + \frac{H_x - H_1}{ES} \right),$$

отсюда

$$L_x = L_1 + L_1 \alpha(t_x - t_1) + L_1 \left(\frac{H_x - H_1}{ES} \right) + L_1 \alpha(t_x - t_1) \left(1 + \frac{H_x - H_1}{ES} \right).$$

Пренебрегая последним членом как малой величиной второго порядка (произведение двух малых величин) и вычитая начальную длину L_1 , можно определить приращение длины провода

$$\Delta L = L_x - L_1 = L_1 \alpha(t_x - t_1) + L_1 \left(\frac{H_x - H_1}{ES} \right). \quad (1)$$

Проанализировав удлинение провода и параметры несущего троса можно выявить его предотказное состояние [13]. Длина провода увеличивается при обрыве хотя бы одной проволоки, так как уменьшается его сечение, что видно по формуле (1).

На основании данного принципа возможна реализация методики определения состояния несущего троса. Параметром измерения данной методики является удлинение провода. Были проведены расчеты удлинения цельного провода, удлинение при обрыве одной проволоки, двух проволок и трех проволок троса.

Расчет осуществлялся по формуле (1), имеющей две составляющие, первая из которых определяет удлинение провода при изменении температуры, вторая – удлинение при изменении сечения троса.

Расчет производился для проводов марок М-95, М-120, ПБСМ-70, ПБСМ-95, результаты приведены (рис. 2–5), где H_0 – натяжение ненагруженного троса, H_x – натяжение несущего троса в подвеске, L_0 – удлинение провода при температурном изменении, L_H – удлинение цельного провода, L_1 – удлинение провода при обрыве одной проволоки, L_2 – удлинение при обрыве двух проволок, L_3 – удлинение при обрыве трех проволок.

При обрыве хотя бы одной проволоки меняется сечение троса [14].

Сечение провода представляет собой

$$S = NS_{\text{пр}},$$

где S – сечение провода; $S_{\text{пр}}$ – сечение одной проволоки; N – количество проволок.

По полученным данным построили диаграммы зависимости удлинения провода от температуры при изменении его сечения (обрыве жил троса) для различных марок проводов и длин пролетов (рис. 2–9).

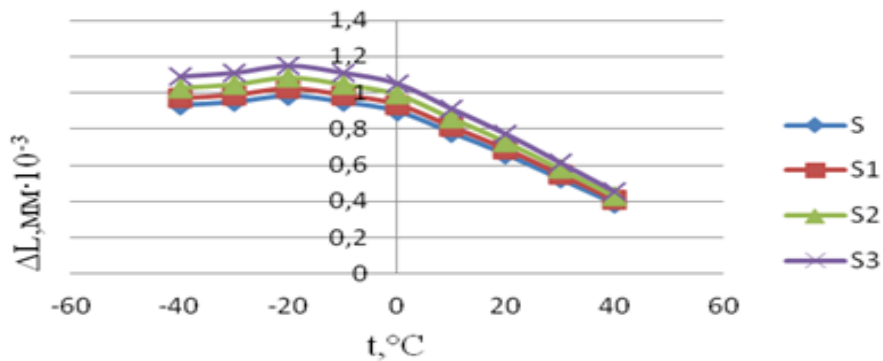


Рис. 2. Зависимость удлинения провода М-95 от температуры при длине пролета $l = 40$ м

Fig. 2. The dependence of the elongation of the wire M-95 on temperature with a span of $l = 40$ m

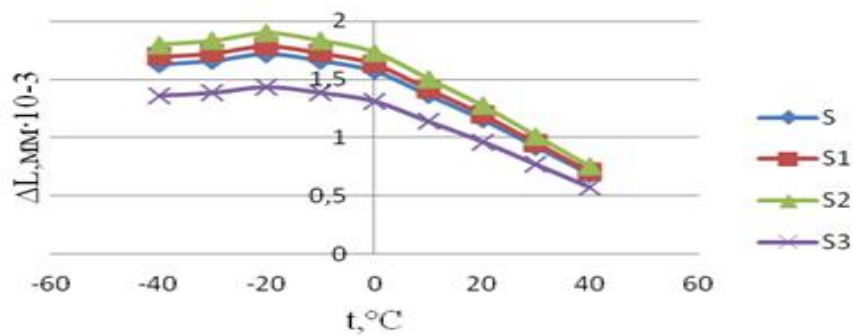


Рис. 3. Зависимость удлинения провода М-95 от температуры при длине пролета $l = 70$ м

Fig. 3. The dependence of the elongation of the wire M-95 on temperature with a span of $l = 70$ m

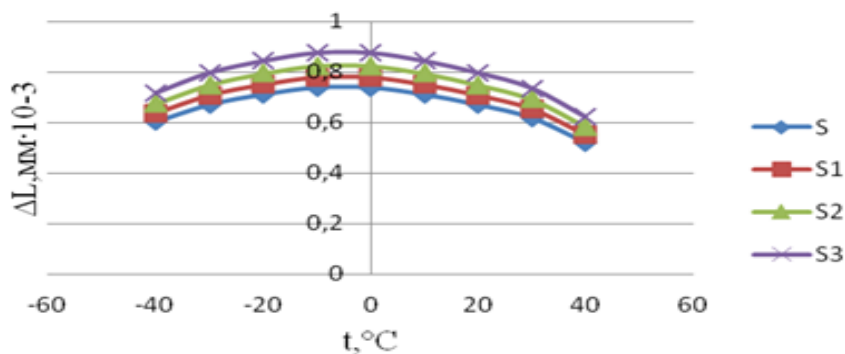


Рис. 4. Зависимость удлинения провода М-120 от температуры при длине пролета $l = 40$ м

Fig. 4. The dependence of the elongation of the wire M-120 on temperature with a span of $l = 40$ m

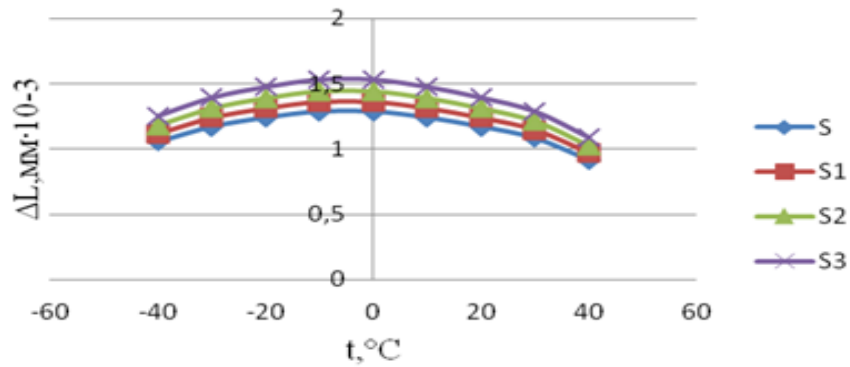


Рис. 5. Зависимость удлинения провода М-120 от температуры при длине пролета $l = 70$ м

Fig. 5. The dependence of the elongation of the wire M-120 on temperature with a span of $l = 70$ m

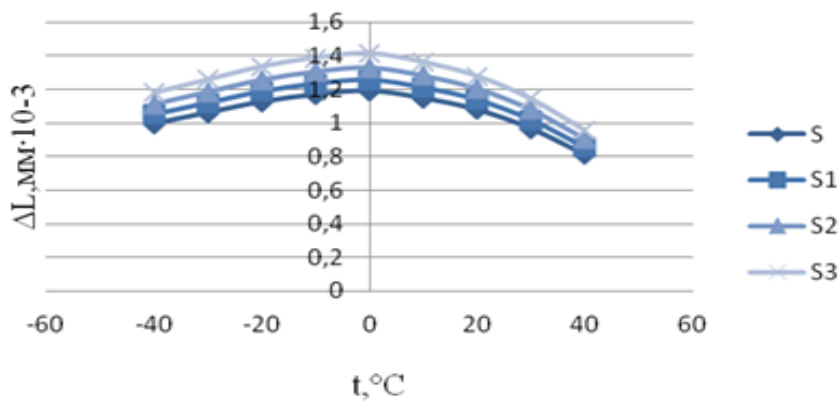


Рис. 6. Зависимость удлинения провода ПБСМ-70 от температуры при длине пролета $l = 40$ м

Fig. 6. The temperature dependence of the extension of the wire PBСM-70 with a span of $l = 40$ m

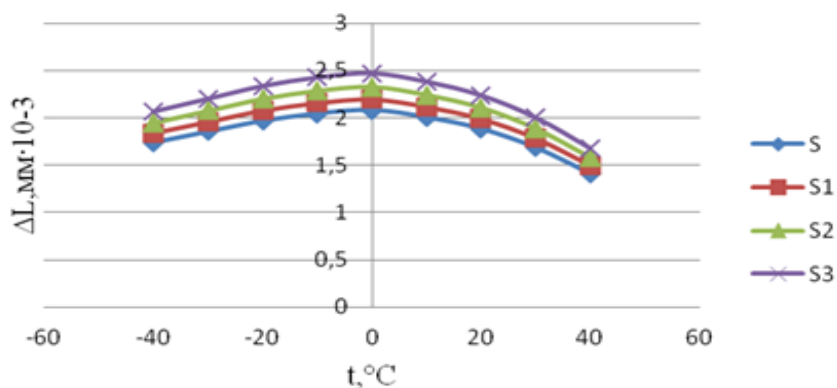


Рис. 7. Зависимость удлинения провода ПБСМ-70 от температуры при длине пролета $l = 70$ м

Fig. 7. The dependence of the elongation of the wire PBСM-70 on temperature with a span of $l = 70$ m

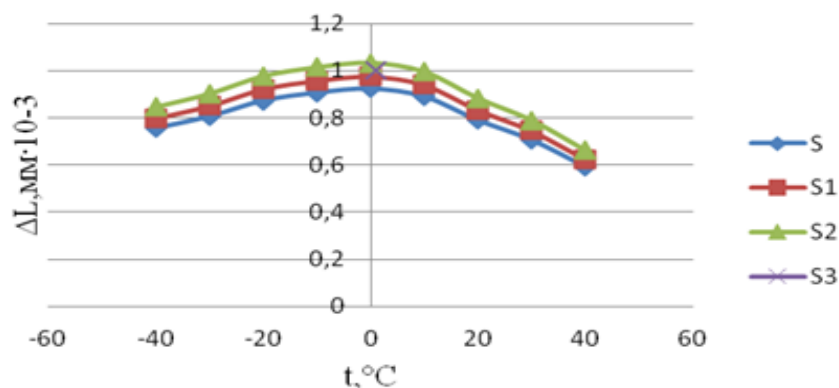


Рис. 8. Зависимость удлинения провода ПБСМ-95 от температуры при длине пролета $l = 40$ м

Fig. 8. The temperature dependence of the extension of the wire PBSM-95 with a span of $l = 40$ m

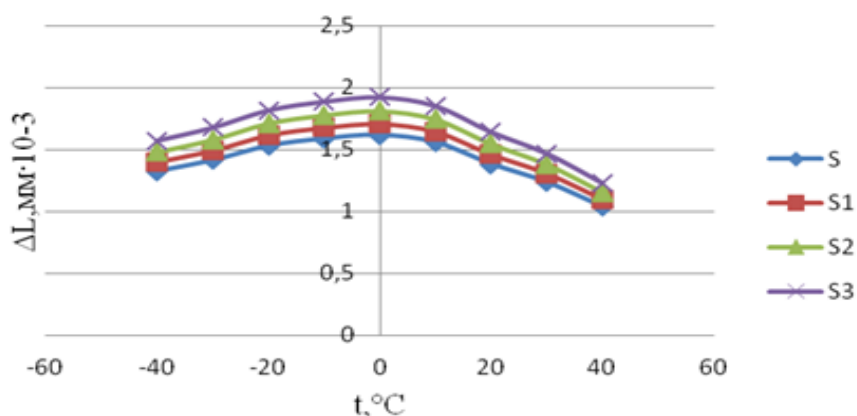


Рис. 9. Зависимость удлинения провода ПБСМ-95 от температуры при длине пролета $l = 70$ м

Fig. 9. The temperature dependence of the extension of the wire PBSM-95 with a span of $l = 70$ m

Заключение

Приведенные диаграммы наглядно демонстрируют, что при уменьшении сечения провод удлиняется, следовательно, зная изменение длины провода, можно прогнозировать его состояние в данный момент времени. Так, это не зависит от режима тяги или различных конструктивных исполнений [15].

Параметр «удлинение провода» можно измерить с помощью датчика линейных ускорений (акселерометра), принцип действия которого – определение ускорения при мгновенном изменении параметров

провода. Следует иметь в виду различие частотных характеристик изменения параметров при обрыве провода, колебаниях, вызванных ветром или другими механическими, тепловыми воздействиями [16, 17].

Система диагностики, основанная на приведенном принципе, позволяет определить обрыв одной или нескольких проволок троса. Эти данные помогут на более ранней стадии определить предотказное состояние и запланировать реконструкцию контактной сети [18–27].

Список литературы

1. Ерохин Е.А. Устройство, эксплуатация и техническое обслуживание контактной сети и воздушных линий / Е.А. Ерохин. М.: УМЦ ЖДТ, 2007. 404 с.
2. Указания по техническому обслуживанию и ремонту опорных конструкций контактной сети : N К-146-96 / М-во путей сообщ. Рос. Федерации, Упр. электрификации и электроснабжения. М.: Транспорт, 1996. 120 с.
3. Указ Президента Российской Федерации от 2.11.2012 № 1567 «Об открытом акционерном обществе «Российские сети»».

4. Чекулаев В.Е., Повышение надежности работы контактной сети и воздушных линий / В.Е. Чекулаев, А.И. Зайцев. М.: Транспорт, 1992. 128 с.
5. Справочник по электроснабжению железных дорог. Под ред. Марквардта, К.Г. – М.: Транспорт, 1981. – 392 с.
6. Коптев А.А. Сооружение, монтаж и эксплуатация устройств электроснабжения. Монтаж контактной сети: учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / А.А. Коптев, И.А. Коптев. М.: УМЦ ЖДТ, 2007. 478 с.
7. Чекулаев В.Е. Восстановление контактной сети и воздушных линий / В.Е. Чекулаев, А.И. Зайцев. М.: Транспорт, 1992. 128 с.
8. Фрайфельд А.В., Марков И.А., Бондарев А.С. Устройство, сооружение и эксплуатация контактной сети и воздушных линий. М.: Транспорт, 1989. – 462 с.
9. Беляев И.А., Вологин В.А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети – М.: Транспорт, 1983. – 191 с.
10. Ступицкий В.П. Проектирование контактной сети / В.П. Ступицкий. Иркутск: ИрГУПС, 2010. 63 с.
11. Фрайфельд А.В. Проектирование контактной сети. М.: Транспорт, 2014. 328 с.
12. Горощков Ю.И., Бондарев Н.А. Контактная сеть. М. Транспорт, 2011. 400 с.
13. Бондарев Н.А. Контактная сеть: учеб. для студентов техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / Н.А. Бондарев, В.Е. Чекулаев. М.: Транспорт, 2006. 589 с.
14. Борц Ю.В. Контактная сеть: ил. пособие / Ю.В. Борц, В.Е. Чекулаев. М.: Транспорт, 2001. 247 с.
15. Беляев И.А. Устройства контактной сети на зарубежных дорогах. М.: Транспорт, 1991. – 192 с.
16. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
17. Воронин А.В. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 2010. 296 с.
18. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи: учебник для вузов / В.П. Михеев. М.: Транспорт, 2006. 415 с.
19. Ступицкий В.П. Проектирование контактной сети: учебное пособие / В.П. Ступицкий. Иркутск: ИрГУПС, 2007. 55 с.
20. Александров А.А. Моделирование термических остаточных напряжений при производстве маложестких деталей: дисс. ... канд. техн. наук / А.А. Александров Иркутск: – 2016. – 165 с.
21. Пат. 155337 Российская Федерация. МПК G 01 N 25/18. Устройство для определения коэффициентов теплоотдачи / А.А. Александров, А.В. Лившиц [и др.]. – № 2014154288/28; заявл. 30.12.14; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
22. Александров А.А. Прогнозирование остаточных напряжений возникающих при термообработке алюминиевых сплавов / А.А. Александров // Инженерный вестник Дона. – 2015 – № 4 (38). – 128 с.
23. Александров А.А. Прогнозирование температурного поля для определения остаточных напряжений возникающих при термической обработке алюминиевых сплавов / А.А. Александров, А.В. Лившиц // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 7. – С. 36–47.
24. Дульский Е.Ю. Совершенствование технологии ремонта магнитной системы тяговых двигателей электровозов / Е.Ю. Дульский // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 4 (63). С. 103–108.
25. Дульский Е.Ю. Моделирование режимов ИК-энергоподвода в технологии продления ресурса тяговых электрических машин с использованием метода конечных элементов / Е.Ю. Дульский // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 12 (83). С. 258–263.
26. Иванов П.Ю. Причины самопроизвольного срабатывания автотормозов в грузовых поездах / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский // Известия Транссиба. 2017. № 2 (30). С. 17–25.
27. Дульский Е.Ю. Анализ пространственного распределения инфракрасного излучения в процессе капсулирования изоляции электрических машин тягового подвижного состава / Е.Ю. Дульский // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 7 (78). С. 132–136.

References

1. Erokhin E.A. Ustroistvo, ekspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie kontaktnoi seti i vozdushnykh linii [Device, operation and maintenance of the contact network and overhead lines]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2007. 404 p.
2. Ukazaniya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu opornykh konstruksii kontaktnoi seti : N K-146-96. M-vo putei soobshch. Ros. Federatsii, Upr. elektrifikatsii i elektrosnabzheniya [Instructions for the maintenance and repair of the supporting structures of the contact network: N K-146-96. Ministry of Railways of the Russian Federation, Administration of Electrification and Power Supply]. Moscow: Transport Publ., 1996, 120 p.
3. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 2.11.2012 No. 1567 «Ob otkrytom aktsionernom obshchestve «Rossiiskie seti»» [Decree of the President of the Russian Federation dated November 2, 2012 No. 1567 “On the Russian Networks OAO”].
4. Chekulaev V.E., Zaitsev A.I. Povyshenie nadezhnosti raboty kontaktnoi seti i vozdushnykh linii [Improving the reliability of the contact network and overhead lines]. Moscow: Transport Publ., 1992, 128 p.
5. Markvardt K.G. (ed.) Spravochnik po elektrosnabzheniyu zheleznykh dorog [Handbook of railway power supply]. Moscow: Transport Publ., 1981, 392 p.
6. Koptev A.A., Koptev I.A. Sooruzhenie, montazh i ekspluatatsiya ustroystv elektrosnabzheniya. Montazh kontaktnoi seti: uchebnoe posobie dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta [The construction, installation and operation of power supply devices. Installation of the contact network: a manual for universities of railway transport]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2007, 478 p.
7. Chekulaev V.E., Zaitsev A.I. Vosstanovlenie kontaktnoi seti i vozdushnykh linii [Recovering the contact network and overhead lines]. Moscow: Transport Publ., 1992, 128 p.
8. Fraifel'd A.B., Markov I.A., Bondarev A.C. Ustroistvo, sooruzhenie i ekspluatatsiya kontaktnoi seti i vozdushnykh linii [The arrangement, construction and operation of the contact network and overhead lines]. Moscow: Transport Publ., 1989, 462 p.
9. Belyaev I.A., Volgin V.A. Vzaimodeistvie tokopriemnikov i kontaktnoi seti [The interaction of current collectors and contact network]. Moscow: Transport Publ., 1983, 191 p.

10. Stupitskii V.P. Proektirovanie kontaktnoi seti [Contact network designing]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2010, 63 p.
11. Fraifel'd A.V. Proektirovanie kontaktnoi seti [Contact network designing]. Moscow: Transport Publ., 2014, 328 p.
12. Goroshkov Yu.I., Bondarev N.A. Kontaktnaya set' [Contact network]. Moscow: Transport Publ., 2011, 400 p.
13. Bondarev N.A., Chekulaev V.E. Kontaktnaya set': ucheb. dlya studentov tekhnikumov i kolledzhei zh.-d. transp. [Contact network: a textbook for students of technical schools and colleges of railway transport]. Moscow: Transport Publ., 2006, 589 p.
14. Borts Yu.V., Chekulaev V.E. Kontaktnaya set': il. posobie [Contact network: an ill. textbook]. Moscow: Transport Publ., 2001, 247 p.
15. Belyaev I.A. Ustroistva kontaktnoi seti na zarubezhnykh dorogakh [Contact network devices on foreign roads]. Moscow: Transport Publ., 1991, 192 p.
16. Markvardt K.G. Elektrosnabzhenie elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Power supply of electrified railways]. Moscow: Transport Publ., 1982, 528 p.
17. Voronin A.V. Elektrosnabzhenie elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Power supply of electrified railways]. Moscow: Transport Publ., 2010, 296 p.
18. Mikheev V.P. Kontaktnye seti i linii elektroperedachi: uchebnik dlya vuzov [Contact networks and power lines: a university textbook]. Moscow: Transport Publ., 2006, 415 p.
19. Stupitskii V.P. Proektirovanie kontaktnoi seti: uchebnoe posobie [Contact network designing: a textbook]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2007, 55 p.
20. Aleksandrov A.A. Modelirovanie termicheskikh ostatochnykh napryazhenii pri proizvodstve malozhestkikh detalei: diss. ... kand. tekhn. nauk [Modeling of thermal residual stresses in the production of semi-rigid parts: a Ph.D. (Engineering) diss.]. Irkutsk: 2016, 165 p.
21. Aleksandrov A.A., Livshits A.V. et al. Ustroistvo dlya opredeleniya koeffitsientov teplootdachi [A device for determining heat transfer coefficients]. Pat. 155337 Rossiiskaya Federatsiya. MPK G 01 N 25/18. No. 2014154288/28; applied 30.12.14; publ. 10.10.2015, Bull. No. 28.
22. Aleksandrov A.A. Prognozirovanie ostatochnykh napryazhenii voznikayushchikh pri termoobrabotke alyuminievykh splavov [Prediction of residual stresses arising during the heat treatment of aluminum alloys]. *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*, 2015, No. 4 (38), 128 p.
23. Aleksandrov A.A., Livshits A.V. Prognozirovanie temperaturnogo polya dlya opredeleniya ostatochnykh napryazhenii voznikayushchikh pri termicheskoi obrabotke alyuminievykh splavov [Prediction of the temperature field to determine the residual stresses arising during the heat treatment of aluminum alloys]. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana [Science and education: the scientific publication of Bauman MSTU]*, 2014, No. 7, pp. 36–47.
24. Dul'skii E.Yu. Sovershenstvovanie tekhnologii remonta magnitnoi sistemy tyagovykh dvigatelei elektrovozov [Improving the repair technology of the magnetic system of traction engines of electric locomotives]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2012, No. 4 (63), pp. 103–108.
25. Dul'skii E.Yu. Modelirovanie rezhimov IK-energopodvoda v tekhnologii prodleniya resursa tyagovykh elektricheskikh mashin s ispol'zovaniem metoda konechnykh elementov [Modeling of IR energy supply modes in the technology of extending the life of traction electric machines using the finite element method]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2013, No. 12 (83), pp. 258–263.
26. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu. Prichiny samoproizvol'nogo srabatyvaniya avtotormozov v gruzovykh poezdakh [Reasons for spontaneous operation of auto brakes in freight trains]. *Izvestiya Transsiba [Journal of Transsib Railway Studies]*, 2017, No. 2 (30), pp. 17–25.
27. Dul'skii E.Yu. Analiz prostranstvennogo raspredeleniya infrakrasnogo izlucheniya v protsesse kapsulirovaniya izolyatsii elektricheskikh mashin tyagovogo podvizhnogo sostava [Analysis of the spatial distribution of infrared radiation in the process of encapsulation of the insulation of electric machines of traction rolling stock]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2013, No. 7 (78), pp. 132–136.

Информация об авторах

Ступицкий Валерий Петрович – к. т. н., доцент кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: doka\$vp@mail.ru

Худоногов Игорь Анатольевич – д. т. н., профессор кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

Тихомиров Владимир Александрович – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: svat_irk@mail.ru

Лобанов Олег Викторович – инженер кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: oleg.6965@mail.ru

Information about the authors

Valerii P. Stupitskii – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electrical Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: doka\$vp@mail.ru

Igor' A. Khudonogov – Doctor of Engineering Science, Professor at the Subdepartment of Electrical Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

Vladimir A. Tikhomirov – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Head at the Subdepartment of Electrical Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: svat_irk@mail.ru

Oleg V. Lobanov – engineer at the Subdepartment of Electrical Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: oleg.6965@mail.ru