

УДК 621.316

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА В КОЛЛЕКТОРНОЙ ПЛАСТИНЕ НА НАГРЕВ КОЛЛЕКТОРА

Чуйко А.Д., Христосенков С.А., Петуров В.И.

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Федерального агентства железнодорожного транспорта, Чита, e-mail: y210672@gmail.com

Проведен анализ влияния распределения плотности тока в коллекторной пластине на нагрев коллектора тягового электродвигателя. Были приняты следующие допущения в модели, такие как сила нажатия щетки на коллектор, внешние факторы (пыль, газ, избыточная влажность, низкая температура), марка щетки не подходит к условиям работы машины (слишком толстый слой политуры, слишком большая или слишком малая плотность тока в щётках, вентиляция и т.д.), двухмерная модель системы «коллектор – щетка – петушок» вместо трехмерной. По результатам моделирования получены следующие выводы. При обосновании выбора источников выделения тепла необходимо учитывать факт распределения плотности тока в коллекторной пластине. Большинство методик расчетов распределения тепла в коллекторе (например, метод тепловых схем замещения) не учитывают геометрию коллектора и являются менее точными по сравнению с методом конечных элементов. Максимальное тепловыделение при качественной пайке составляет 496,717 Вт, что соответствует плотности тока равной 168,475 А/м². С учетом вышеизложенного возникает необходимость в расчете модели с использованием метода конечных элементов в программной среде трехмерного моделирования с целью исследования влияния рассмотренного типа дефекта на нагрев коллектора. По полученным данным моделирования выявлены условные тепловые зоны, зависящие от плотности тока в рассматриваемых участках.

Ключевые слова: коллектор, плотность тока, нагрев, тяговый электродвигатель

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE CURRENT DENSITY DISTRIBUTION IN THE COLLECTOR PLATE FOR HEATING COLLECTOR

Chuyko A.D., Christosenkov S.A., Peturov V.I.

Trans-Baikal Railway Institute, Chita, e-mail: y210672@gmail.com

The analysis of the relationship of the current density distribution in the collector plate for heating the collector of the traction motor. Adopted the following assumptions in the model such as pressure of the brush on the manifold, external factors (dust, gas, excessive humidity, low temperature), brand brush is not suitable to the working conditions of the machine (too thick layer of varnish, too big or too small, the current density in the brushes, ventilation and so on). Two-dimensional model system «collector – brush – cock» instead of the three. According to simulation results obtained the following conclusions. When substantiation of a choice of sources of heat must take into account the fact that the current density distribution in the collector plate. Most of the methods of calculations of a heat distribution in the manifold methods such as a method of thermal circuits do not take into account the geometry of the manifold and is less accurate than the finite element method. The maximum dissipation in high-quality soldering is 496,717 W, which corresponds to a current density equal 168,475 A/m². Considering the above, a need arises in the model calculation using the finite element method in the software environment of three-dimensional modeling study of the influence of defect type on the heat collector. According to the data modeling revealed conventionally, thermal zone-dependent current density in the considered areas.

Keywords: reservoir, the current density, heat, and traction motor

Тяговые электродвигатели выходят из строя из-за проявления различных неисправностей и типов дефектов. Согласно статистическим данным по отказам тяговых электрических двигателей (ТЭД) одной из наиболее часто встречающихся разновидностей повреждений ТЭД является выплавление припоя из петушков коллектора [8]. Работы в области разработки методов и средств диагностирования тяговых электродвигателей выполнялись учеными и специалистами ВНИИЖТ, вузов железнодорожного транспорта, а также силами специалистов локомотиворемонтных заводов и депо. Существуют различные направления в разработке методов диагностики

тяговых электродвигателей, что объясняется разнообразием возможных неисправностей и типов дефектов ТЭД. В соответствии с правилами ремонта электрических двигателей техническое состояние паяного соединения считается удовлетворительным при степени пропайки контактного соединения не менее 80% [5, 6], а превышение температуры является браковочным состоянием коллектора при оценке технического состояния якоря [9]. При некачественной пайке происходит увеличение переходного сопротивления в месте соединения и, как следствие, значительный нагрев, описываемый законом Джоуля – Ленца [3]. Для разработки методики диагностирования

паяных соединений петушков коллектора возникает необходимость в создании и исследовании тепловой нестационарной модели коллектора ТЭД. Существуют различные методы расчета температурных полей двигателей постоянного тока, обладающие своими достоинствами и имеющие также свои недостатки, обусловленные допущениями, принятыми в математических моделях. Основные подходы к созданию математических моделей и выбору программной среды моделирования приведены в [2].

При анализе существующих методик тепловых расчетов был сформулирован вывод, что существующие методы определения температурного поля, не учитывающие геометрию коллектора, являются менее точными по сравнению с методом конечных элементов. Такие методы, как, например, метод тепловых схем замещения, имитирующий только пути передачи тепловых потоков, не дают полной картины теплограммы коллектора, а определяют лишь средние значения температуры отдельных элементов. При расчете теплового поля коллектора методом тепловых схем замещения используются выражения для расчета нагревания однородного тела, при этом коллектор в действительности не является однородным телом, так как в своем составе имеет не только медные коллекторные пластины, но и миканит, имеющий свою теплопроводность отличной от теплопроводности меди. Также возможно использование других композиционных материалов, теоретические основы создания и применения которых приведены в [7, 9].

Другими словами, коллектор тягового электродвигателя – это сложный объект исследования, требующий тщательного подхода к разработке его модели. Поэтому применение метода конечных элементов [1] в данном случае является более приемлемым при решении тепловых задач расчета теплограммы коллектора. Этот метод позволяет учитывать не только геометрию моделируемого тела, но и разнородность материалов и их разную теплопроводность, что в первую очередь сказывается на точности расчетов моделирования.

Согласно закону Джоуля – Ленца, нагрев в проводнике происходит от прохождения по нему электрического тока, и, как известно, изменение величины плотности тока влияет на величину тока, причем прямо пропорционально. Следовательно, тепловая модель коллектора электродвигателя должна быть связанной с моделью распределения плотности тока в коллекторной пластине. Поэтому с целью обнаружения наиболее нагреваемого места в коллекторе необходимо провести анализ распределения плотности тока в пластине электрической машины.

При построении модели по распределению плотности тока в коллекторной пластине ТЭД НБ-418 К6 преследовалась цель обнаружения наиболее нагреваемого места в коллекторе, что необходимо для получения более достоверной диагностической информации при выявлении такого типа дефекта, как «некачественная пайка в петушках коллектора электродвигателя». В ходе моделирования получена следующая модель, представленная на рис. 1.

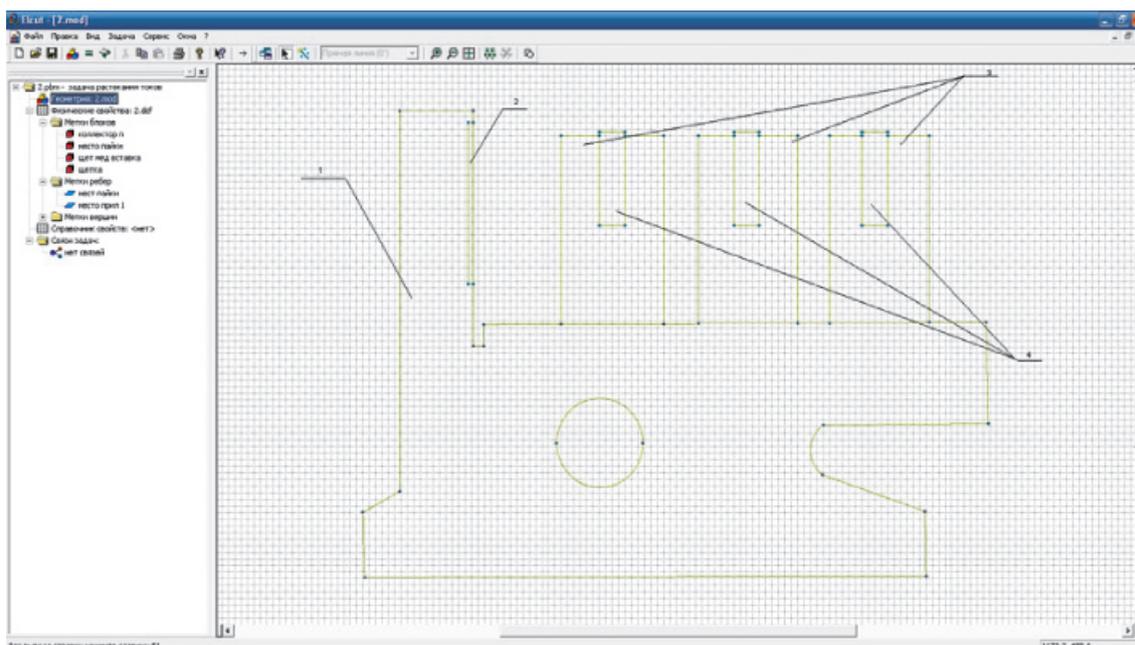


Рис. 1. Геометрия модели коллекторной пластины ТЭД НБ-418 К6 в программной среде Elcut

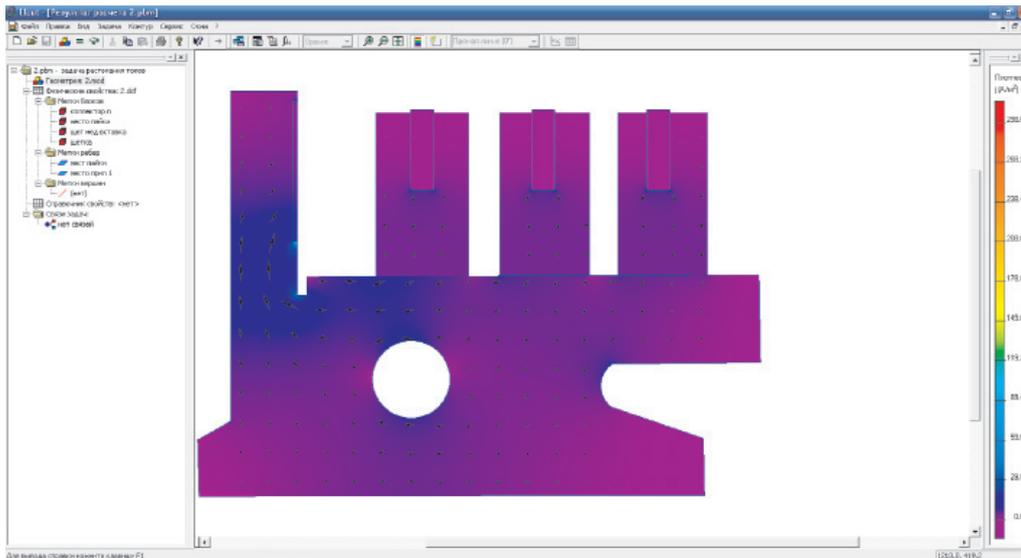


Рис. 2. Распределение плотности тока в коллекторной пластине ТЭД НБ-418 К6

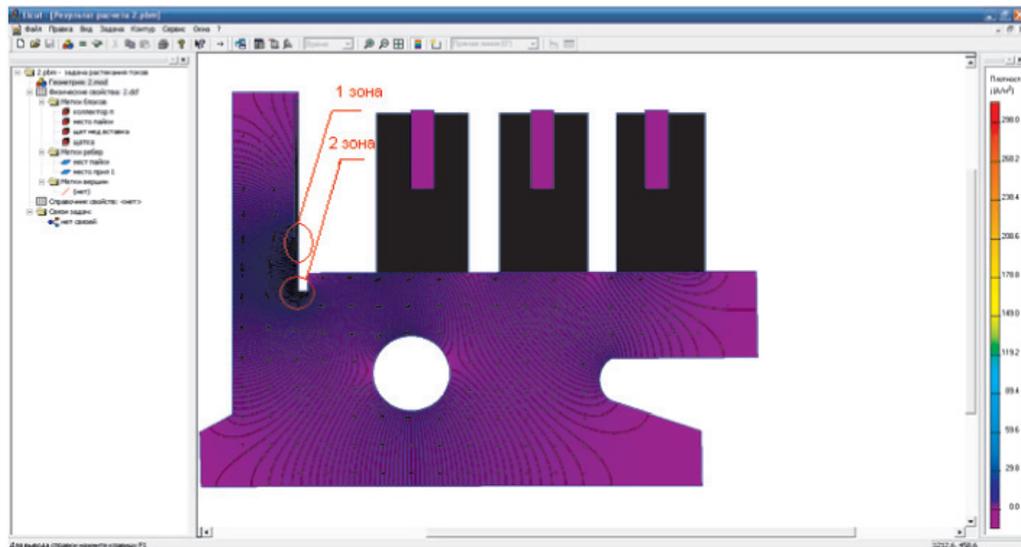


Рис. 3. Распределение плотности тока в зоне 1 и в зоне 2

На рис. 1 представлены следующие элементы: 1 – коллекторная пластина, 2 – место пайки в петушках коллектора электродвигателя, 3 – щетки двигателя, 4 – медные вставки (токопровод).

Результаты моделирования распределения плотности тока в коллекторной пластине представлены на рис. 2.

При расчете методом конечных элементов распределения плотности тока в пластине были получены следующие результаты, которые представлены на рис. 3–5.

По результатам моделирования выявлено, что большее распределение плотности тока происходит в двух условно обозначенных зонах. Это явление объ-

ясняется тем, что ток стремится пройти по кратчайшему пути (т.е. меньшее расстояние). А кратчайшему расстоянию для прохождения тока между системой «щетка – петушок – место пайки обмотки и петушка» как раз соответствуют условно обозначенные зоны (рис. 3). Таким образом, в результате моделирования были выявлены две основных зоны большего распределения плотности тока в месте соединения «петушок – обмотка» (выделенные красным цветом зоны и представленные на рис. 3). При еще более точном моделировании необходимо учитывать, что ток не распределяется равномерно по всей контактной поверхности щетки.

Причины этого весьма разнообразны, в частности:

- внешние факторы (пыль, газ, избыточная влажность, низкая температура);
- марка щётки не подходит к условиям работы машины (слишком толстый слой политуры, слишком большая или слишком малая плотность тока в щётках, вентиляция и т.д.).

При идентичном процессе ток может распределяться неравномерно между щётками на одном и том же щёткодержателе на коллекторе или на одной и той же траектории на кольце. Часто причиной этого может быть разное усилие нажатия, прикладываемое к щёткам. Все эти факторы можно учесть при моделировании, что сильно усложнит модель и увеличит время

расчетов. Поэтому в модели не были учтены эти факторы.

При расчете модели по распределению плотности тока в зоне 1 и в зоне 2 для возможности анализа в этих зонах выделения тепла рассчитывается связанная модель тепловыделения в коллекторной пластине, представленная на рис. 4.

Первая зона имеет существенное значение для такого типа дефекта, как некачественная пайка, так как в ней расположено место пайки петушка и якорной обмотки. Следовательно, существенное влияние на дополнительный нагрев в этой зоне оказывает не только некачественная пайка «петушка» коллектора, но и распределение плотности тока в этой зоне. Результаты моделирования первой зоны представлены на рис. 5–6.

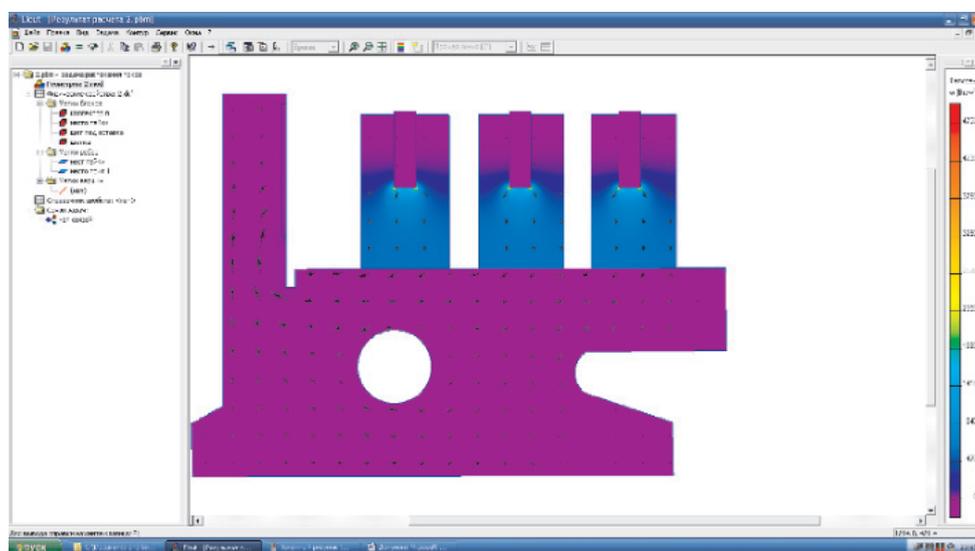


Рис. 4. Тепловыделение в системе «коллекторная пластина – щетки»

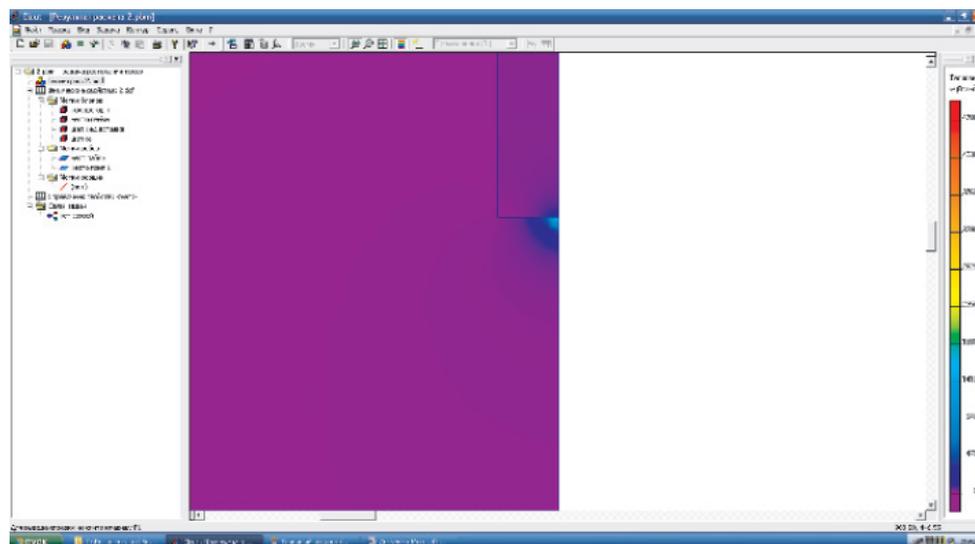


Рис. 5. Тепловыделение первой зоны «петушка» коллектора

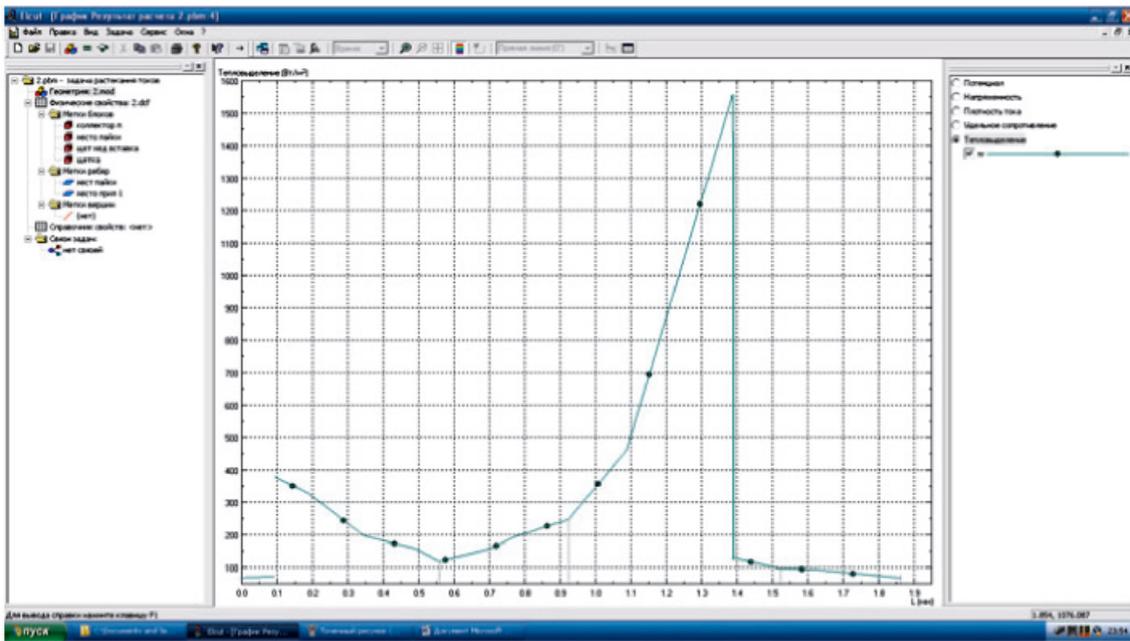


Рис. 6. Максимальное тепловыделение в первой зоне

Расчетные значения первой зоны

L (мм)	x (мм)	y (мм)	j (А/м ²)	r (Ом·м)	w (Вт/м ³)
0,00000	980,402	454,836	11,1100	0,120000	14,8119
1,04155	979,361	454,799	11,1411	0,120000	14,8950
2,08305	979,000	454,101	14,0465	0,0175000	3,45283
3,12458	979,000	453,059	15,4502	0,0175000	4,17740
4,16609	979,000	452,018	16,6557	0,0175000	4,85469
6,24916	978,142	450,368	21,5017	0,0175000	8,09062
7,29066	977,611	449,538	20,5925	0,0175000	7,42089
8,33219	977,736	448,527	20,8788	0,0175000	7,62870
9,37369	978,234	447,640	21,1040	0,0175000	7,79414
8,22802	978,872	446,816	20,8329	0,0175000	7,59516
9,74774	979,713	446,234	20,5695	0,0175000	7,40433
11,26379	980,194	446,569	21,2654	0,0175000	7,91376
13,5398	980,243	447,609	23,8182	0,0175000	9,92784
14,5813	980,292	448,650	28,8116	0,0175000	14,5269
15,6228	980,341	449,690	42,8324	0,0175000	32,1057
16,6644	980,402	450,730	168,475	0,0175000	496,717

Из рис. 5–6 видно, что максимальное тепловыделение при качественной пайке в первой зоне составляет $W = 496,717$ Вт. Также из рисунка видно, что самое большое значение тепловыделения происходит еще под краем щетки $W = 1550$ Вт. Расчетные значения для первой зоны сводим в таблицу.

Выводы по результатам моделирования

1. При обосновании выбора источников выделения тепла учитываем факт неравномерного распределения плотности тока

в коллекторной пластине, что видно из проведенного анализа и из рисунков, что особенно характерно для первой зоны, где имеет место распределение большего значения плотности тока, соответствующего большому нагреву в этом месте.

2. Большинство методик расчетов распределения тепла в коллекторе (например, метод тепловых схем замещения) не учитывают геометрию коллектора и являются менее точными по сравнению с методом конечных элементов.

3. Максимальное тепловыделение при качественной пайке составляет

$$W = 496,717 \text{ Вт.}$$

4. С учетом вышеизложенного возникает необходимость в расчете модели с использованием метода конечных элементов в программной среде трехмерного моделирования с целью исследования влияния рассмотренного типа дефекта на нагрев коллектора.

Список литературы

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. Петуров В.И., Четвериков С.В. Математическое моделирование при исследовании диэлектрических характеристик изоляции электрических сетей напряжением 6, 10 кВ // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 3 (43). – С. 68–71.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособ. для вузов / Трофимова Т.И. – 15-е изд. – М.: Академия, 2007. – 560 с.
4. Тютрина С.В., Кузнецова Н.С., Бурнашова Н.Н. Спектральная характеристика силикатов Забайкальского края и композитов на их основе, полученных при воздействии ультразвуковых колебаний // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9. – С. 460–464.
5. Фоменко В.К. Разработка технологии тепловизионного контроля технического состояния якорей тяговых электродвигателей локомотивов: дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2008. – 143 с.
6. ЦТ-ЦТВР-4782 – Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава.
7. Четвериков С.В., Петуров В.И. Теоретическое исследование возможностей повышения стойкости инструмента из композита // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12432>.
8. Чуйко А.Д. Анализ существующих методов диагностирования паянных соединений петушков коллектора тягового электродвигателя // Управление, эксплуатация и ремонт железнодорожных узлов и агрегатов: межвузовский сборник научных трудов. – Чита: ЗаБИЖТ, 2009 г.
9. Чуйко А.Д. Расчет теплового поля коллектора в программной среде Elcut 5.6 // Инновации и современные технологии экономике и транспорту: межвузовский сборник научных трудов. – Чита: ЗаБИЖТ, 2013.

References

1. Zenkevich O. Metod konechnykh ehlementov v tekhnike. M.: Mir, 1975. 541 p.
2. Peturov V.I., Chetverikov S.V. Matematicheskoe modelirovanie pri issledovanii di-ehlektricheskikh kharakteristik izoljicii ehlektricheskikh setejj naprjazheniem 6, 10 kV // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2014. no. 3 (43). pp. 68–71.
3. Trofimova T.I. Kurs fiziki: ucheb. posob. dlja vuzov / Trofimova T.I. 15-e izd. M.: Akademija, 2007. 560 p.
4. Tjutrina S.V., Kuznecova N.S., Burnashova N.N. Spektral'naja kharakteristika silikatov Zabajkal'skogo kraja i kompozitov na ikh osnove, poluchennykh pri vozdejstvii ul'trazvukovykh kolebanijj / Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 9. pp. 460–464.
5. Fomenko V.K. Razrabotka tekhnologii teplovizionnogo kontrolja tekhnicheskogo sostojanija jakorej tjagovykh ehlektrodvigatelej lokomotivov: diss... kand. tekhn. nauk. Omsk, 2008. 143 p.
6. ЦТ-ЦТВР-4782 Pravila remonta ehlektricheskikh mashin ehlektropodvizhnogo sostava.
7. Chetverikov S.V., Peturov V.I. Teoreticheskoe issledovanie vozmozhnostejj povyshenija stojkosti instrumenta iz kompozita // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12432>.
8. Chujjko A.D. Analiz sushhestvujushhikh metodov diagnostirovanija pajannykh soedinenijj pe-tushkov kollektora tjagovogo ehlektrodvigelja. V kn. Upravlenie, ehkspluatacija i re-mont zheleznodorozhnykh uzlov i agregatov. Mezhvuzovskijj sbornik nauchnykh trudov / Chita: ZabiZhT, 2009 g.
9. Chujjko A.D. Raschet teplovogo polja kollektora v programmnoj srede Elcut 5.6. V kn. In-novacii i sovremennye tekhnologii ehkonomike i transportu. Mezhvuzovskijj sbornik nauchnykh trudov / Chita: ZabiZhT, 2013.

Рецензенты:

Бабокин Г.И., д.т.н., профессор кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий», Горный институт, ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва;

Баландин О.А., д.т.н., заведующий кафедрой прикладной механики и инженерной графики, Забайкальский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения (ЗаБИЖТ), г. Чита.

Работа поступила в редакцию 04.02.2015.