

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 629.424.4
doi: 10.30987/2782-5957-2024-11-46-53

ЕСТЕСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИЗНОС КОНТАКТОВ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ТЕПЛОВЗОВ

Константин Александрович Рябко✉

Ростовский государственный университет путей сообщения, филиал в г. Воронеж, Воронеж, Россия
railroader@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4391-506X>

Аннотация

Выполнен анализ естественного и технологического износа поездных контакторов тепловозов 2ТЭ116. Рассмотрены причины технологического износа. Проведен ряд наблюдений в различных сервисных локомотивных депо с целью определения влияния технического обслуживания и текущего ремонта на износ контактных поверхностей поездных контакторов. Определены значения отношения износа анода к износу катода контакторов, которые лежат в пределах от 0,3 до 2,6 при среднем значении около 0,8. Приведена методика определения естественного и технологического износа, которая основывается на изменении веса контактов в процессе эксплуатации и ремонта. Установлено, что средний технологический износ контактной пары поездного контактора при одном ТО-3 составляет 8,8 мг, средний суммарный износ при всех

технических обслуживаниях в интервале от первого ТР-1 до второго ТР-1 для тепловоза 2ТЭ116 составляет 316,8 мг, средний технологический износ при ТР-1 составил 84,2 мг. Установлено, что в полном износе поездных контакторов естественный износ составляет в процентном соотношении 22...67% при среднем значении 38% от технологического. Для оценки эффективности зачистки контактов личным напильником при проведении ТО-3 и ТР проведены исследования температуры нагрева контактов после проведения ремонта, которые свидетельствуют, что систематическая зачистка силовых контактов поездных контакторов является нежелательной, так как существенно сокращает срок их службы.

Ключевые слова: тепловоз, поездной контактор, обслуживание, ремонт, износ.

Ссылка для цитирования:

Рябко К.А. Естественный и технологический износ контактов коммутационных аппаратов тепловозов / К.А. Рябко // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 11. – С. 46-53. doi: 10.30987/2782-5957-2024-11-46-53.

Original article
Open Access Article

NATURAL AND PROCESS WEAR OF CONTACTS OF DIESEL LOCOMOTIVE SWITCH DEVICES

Konstantin Aleksandrovich Ryabko✉

Rostov State Transport University, Voronezh branch, Voronezh, Russia
railroader@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4391-506X>

Abstract

Natural and process wear of 2ТЭ116 train contactors is analyzed. The causes of process wear are considered. A number of observations are carried out in various locomotive service depots in order to determine the impact of maintenance and routine repairs on the wear of the contact surfaces of train contactors. The ratio values of anode wear to cathode wear of contactors are determined, which range from 0.3 to 2.6 with an average value of about 0.8. A method for determining natural and process wear is presented, which is

based on changes in the weight of contacts during operation and repair. It is found out that the average process wear of the contact pair of the train contactor for one ТО-3 is 8.8 mg, the average total wear for all technical services in the range from the first ТР-1 to the second ТР-1 for 2ТЭ116 diesel locomotive is 316.8 mg, the average process wear for ТР-1 is 84.2 mg. It is also found out that in the complete wear of train contactors, natural wear is 22...67% with an average value of 38% of the process one. To assess the effectiveness

of clearing contacts with a personal file during TO-3 and TR, studies of the heating temperature of contacts after repair are conducted, which indicate that systematic clearing of power contacts of train contactors is

Reference for citing:

Ryabko KA. Natural and process wear of contacts of diesel locomotive switch devices. Transport Engineering. 2024;11:46-53. doi: 10.30987/2782-5957-2024-11-46-53.

Введение

Условия работы тепловозной коммутационной аппаратуры характеризуются высокой интенсивностью и большим количеством циклов включения и выключения. Для силовых и вспомогательных цепей наиболее подверженными отказу и преждевременному выходу из строя являются электромагнитные и электропневматические контакторы [1, 2]. Данные аппараты обеспечивают замыкание и размыкание участков электрических цепей и имеют различные технические характеристики. Несмотря на конструкционные отличия электромагнитных и электропневматических контакторов общим и наиболее подверженным износу элементом конструкции являются главные контакты. По форме соприкасающихся поверхностей главные контакты, как правило, выполнены линей-

Цель и задачи исследования

В работе поставлена цель – установить взаимосвязь естественного и технологического износа, а также их влияние на срок службы контактов поездных контакторов. Для достижения поставленной цели следуют решить следующие задачи: провести экспериментальные исследования, позволяющие выполнить количественную

Виды износа контактов поездных контакторов

Рассмотрим более подробно виды естественного износа. При включении контактора подвижный и неподвижный контакты соединяются немедленно, а постепенно сближаются, вследствие этого напряжённость электрического поля между ними увеличивается, и при определённом расстоянии между ними возникает пробой воздушного промежутка. В тепловозных поездных контакторах пробой воздушного промежутка наблюдается при расстояниях, измеряемых долями милли-

undesirable, since it significantly reduces their service life.

Keywords: diesel locomotive, train contactor, maintenance, repair, wear.

ными или плоскостными. Согласно статистических данных наибольший износ и преждевременный выход из строя наблюдается у тепловозных поездных контакторов [1, 3, 4]. Известно два типа износа контактных поверхностей поездных контакторов – естественный и технологический. Естественный износ контактов коммутационных аппаратов тепловозов происходит из-за воздействия высоких температур электрической дуги, электрической и механической эрозии, коррозии и окисления. Технологический износ связан с нарушением правил эксплуатации, некачественным обслуживанием и ремонтом электроаппаратов. Как правило, следствием износа контактов является изменение их геометрических размеров, формы и массы.

оценку естественного и технологического износа; разработать методику определения естественного и технологического износа, которая основывается на изменении веса контактов в процессе эксплуатации и ремонта; провести оценку влияния зачистки контактов поездных контакторов на качество контактного соединения.

метра. Так как процесс замыкания подвижного и неподвижного контакта достаточно скоротечен, в последующие период времени происходит их замыкание, соответственно пробой воздушного промежутка не переходит в другие формы газового разряда. Поскольку поездные контакторы коммутируют участки силовой цепи, наблюдается высокая напряжённости электрического поля в межконтактном воздушном зазоре [5, 6] в результате этого возникает автоэлектронная эмиссия. Элек-

троны катода бомбардируют анод и вследствие этого происходит перенос металла контактной поверхности. Данный процесс носит название электрической эрозии.

В процессе выключения поездных контакторов сила нажатия уменьшается, и происходит увеличение переходного сопротивления контактного пятна. С увеличением переходного сопротивления наблюдается также возрастание плотности тока [7, 8] вследствие чего происходит повышение температуры контактных поверхностей. В тепловозных контакторах рост температуры достигает значений плавления меди, и между разрываемыми контактами образуется мостик из расплавленного металла. При дальнейшем увеличении межконтактного промежутка мостик разрушается и возникает электрическая дуга. Из-за воздействия высокой температуры дуги контакты окисляются, часть материала контактов рассеивается в окружающем воздухе, а часть расплавленного металла мигрирует на другой контакт. Миграция металла контактов с анода на катод носит название положительная электрическая эрозия, а с катода на анод – отрицательная электрическая эрозия.

Окисление и образование плёнок химических соединений на контактных поверхностях поездных контакторов тепловозов из-за воздействия высокой температуры и взаимодействия с окружающей средой приводят к химическому износу или коррозии контактов.

На ряду с электрическим износом контакты поездных контакторов подвержены не только электрическому износу, но и механическому. Во время замыкания происходит соударение подвижного контакта с неподвижным, их перекачивание

и притирка, что приводит к смятию и фрикционному износу контактных поверхностей – механическому износу. Механический износ контактных поверхностей в значительной степени зависит от силы нажатия и количества срабатываний контактора в единицу времени [9, 10]. Согласно данным наблюдений [10, 11] механический износ составляет не более 3 % от общего износа контактов.

Учитывая, что при нормальной работе силовых цепей тепловозов поездные контакторы также работают в удовлетворительных условиях, то электрический и механический износ носит постоянный характер. На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что снизить естественный износ контактных поверхностей поездных контакторов достаточно затруднительно. Соответственно резервом повышения работоспособности может являться более глубокое изучение механизма технологического износа.

Рассмотрим более подробно виды технологического износа контактных поверхностей поездных контакторов. Износ контактных поверхностей вследствие нарушения правил эксплуатации происходит в нештатных ситуациях и аварийных режимах работы как силовых цепей, так и цепей управления. Причинами такого вида износа могут быть превышение допустимых значений тока, напряжения, отклонение номинальных значений давления пневматической цепи привода, а также неправильная установка, обслуживание и подключение аппаратов [12]. Учитывая, что возникновение аварийных ситуаций, неправильное подключение контакторов носят случайный характер то научное обоснование технологического износа вследствие данных причин затруднительно.

Модели, эксперименты и методы исследования

С целью изучения механизма технологического износа контактных поверхностей контакторов был проведен ряд исследований, позволяющих установить зависимость между некачественным обслуживанием и ремонтом электроаппа-

ратов, и износом контактных поверхностей.

Согласно технологического процесса деповского ремонта тягового подвижного состава, на всех тепловозах регулярно следует проводить зачистку силовых контактов коммутационных аппара-

тов с целью снятия окислов, уменьшения переходного сопротивления и восстановления требуемой геометрии формы контактов.

На тепловозах серии 2ТЭ116 зачистку следует проводить при техническом обслуживании (ТО-3) и всех текущих ремонтах. Для зачистки контактных поверхностей электрических аппаратов используют личную напильник или жесткую металлическую щетку (в некоторых случаях используют шлифовальную бумагу). Зачистку следует проводить таким образом, чтобы не нарушать прилегания контактов. Соответственно, необходимо снимать небольшой слой металла контактных поверхностей только с целью удаления копоти, подгаров, оплавлений и оксидов. С целью анализа влияния технического обслуживания и текущего ремонта на износ контактных поверхностей контакторов был проведен ряд наблюдений в различных сервисных локомотивных депо полигона ОАО «РЖД».

На основании результатов наблюдений было установлено, что в большинстве случаев при зачистке контактных поверхностей контакторов должным образом не выполняется восстановление формы контактной поверхности. На основании этого было выдвинуто предположение, что при зачистке контактов коммутационных аппаратов снимается значительный слой металла, который не следовало бы снимать для выполнения регламентных работ. Для проверки этого предположения были проведены фактические измерения количества снимаемого металла на контрольных коммутационных аппаратах.

Перед, а также после первого и второго ТР-1 на контрольных поездных контакторах снимались подвижный и неподвижный контакты с последующим их взвешиванием. Взвешивание производилось на аналитических весах с точностью 0,1 мг. Сопоставление полученных значений веса анодов и катодов не позволило определить какой-либо существенной зависимости между полярностью контактов и их износом. В процессе исследований определены значения отношения износа анода к износу катода, которые лежат в

пределах от 0,3 до 2,6 при среднем значении около 0,8.

Учитывая тот аспект, что тепловоз находится в эксплуатации и отставляется на ремонт согласно регламента, уменьшение веса контактов поездного контактора тепловоза можно представить выражением, которое учитывает естественный и технологический износ:

$$\delta = \delta_E + \delta_{\text{ТЕХ}}, \quad (1)$$

где δ_E – естественный износ контактов, мг; $\delta_{\text{ТЕХ}}$ – технологический износ контактов, мг.

Соответственно, технологический износ контактов при всех ТО в цикле от ТР-1 до ТР-1 можно представить в виде:

$$\delta_{\text{ТЕХ}} = \delta + \delta_E. \quad (2)$$

При этом технологический износ при одном ТО определяется выражением:

$$\delta_{\text{ТО}} = \frac{\delta_{\text{ТЕХ}}}{n_{\text{ТО}}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{ТО}}$ – количество выполненных ТО-3, шт.;

На основании экспериментальных данных было установлено, что средний технологический износ контактной пары поездного контактора при одном ТО-3 составляет 8,8 мг.

Из расчета среднего пробега между ТР-1, среднего пробега между ТО-3 для тепловозов исследуемой серии, можно определить среднее число ТО-3 в цикле от ТР-1 до ТР-1 и средний суммарный износ при всех технических обслуживаниях. В нашем конкретном случае для тепловоза 2ТЭ116 $\Sigma \delta_{\text{ТЕХ}} = 316,8$ мг.

Согласно данным наблюдений средний технологический износ при ТР-1 составил $\delta_{\text{ТР-1}} = 84,2$ мг. Соответственно суммарный технологический износ при всех ТО-3 и одном ТР-1 в расчете на средний пробег между ТР-1 составляет:

$$\Sigma \delta_{\text{ТО, ТР-1}} = \Sigma \delta_{\text{ТЕХ}} + \delta_{\text{ТР-1}}.$$

Согласно выражения (1), полный износ контактов поездных контакторов является алгебраической суммой технологиче-

ского износа при ТО-3 и естественного износа, но в данном выражении не учитывается технологический износ при ТР-1, соответственно для полного цикла от первого ТО-3 до ТР-1 включительно полный износ будет определяться как:

$$\sum \delta = \sum \delta_{\text{ТО,ТР-1}} + \delta_{\text{Е}}.$$

В данном случае $\sum \delta$ составило 569,4 мг. С целью установить зависимость между технологическим и естественным износом были проведены исследования для всей группы поездных контакторов. При этом было установлено, что в полном износе поездных контакторов естественный износ составляет в процентном соотношении 22...67 % при среднем значении 38 %.

Согласно проведенных наблюдений можно предположить, что технологический износ зависит от квалификации персонала комплексной бригады, обслуживающей электрическую аппаратуру на ТО-3 и ТР. Также естественный износ взаимосвязан с технологическим и зависит в большей степени от качества пятна контакта контактной пары. Поэтому предлагается эмпирическое уравнение, позволяющее учитывать взаимосвязь естественного и технологического износа:

$$\sum \delta_{\text{ТО,ТР-1}} = \gamma \delta_{\text{Е}} + K_{\text{к}},$$

где γ – коэффициент, учитывающий площадь пятна контакта; $K_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий квалификацию персонала комплексной бригады, обслуживающей электрическую аппаратуру на ТО-3 и ТР.

Так как $K_{\text{к}}$ относительная величина, которая зависит от уровня квалификации работника и добросовестного исполнения им своих должностных обязанностей, данный параметр трудноопределимый.

Коэффициент γ можно представить, как отношение площади пятна контакта после выполнения полного цикла от первого ТО-3 до ТР-1 включительно к площади пятна контакта новой контактной пары:

$$\gamma = \frac{S_{\text{ТО-3,ТР-1}}}{S_0},$$

где $S_{\text{ТО-3,ТР-1}}$ – площадь пятна контакта после выполнения полного цикла от первого ТО-3 до ТР-1 включительно; S_0 – площадь пятна контакта новой контактной пары.

Учитывая, что от качества пятна контакта зависит температура нагрева контактов то данный параметр можно использовать в виде критерия качества контактного соединения [12, 13]. В условиях локомотивного депо были проведены контрольные измерения температуры нагрева контактов до и после их зачистки на плановом ремонте ТР-1. Измерения проводились с помощью пирометра при условии пропускания максимально возможного в условиях депо тока через контактное соединение в течение одного часа.

На испытуемых поездных контакторах после обработки контактных поверхностей напильником наблюдалось изменение температуры нагрева контактов в сторону уменьшения до 26 °С и в сторону повышения до 11 °С. Следует отметить, что даже при пропускании максимально возможного тока в условиях депо, предельная зафиксированная температура нагрева контактов не превысила 59 °С, что соответствует общим техническим требованиям к аппаратам электрическим тяговым, согласно которых допускается превышение температуры до 75 °С [14].

С целью повышения объективности экспериментальных исследований был проведен цикл повторных испытаний контакторов. Данный цикл подразумевал проведение измерений температуры нагрева спустя 24 часа после зачистки и не позволил выявить определенного изменения ранее полученных значений.

Так как температура контактных поверхностей зависит от переходного сопротивления, то можно сделать вывод, что зачистка контактов личным напильником приводила как к уменьшению контактного сопротивления, так и к его увеличению.

Уменьшение контактного сопротивления, в первую очередь, обуславливается удалением оксидных пленок и загрязнений, также устраняются незначительные неровности контактных поверхностей, что способствует увеличению пятна контакта.

Увеличение переходного сопротивления можно объяснить нарушением требуемой геометрии линейной поверхности подвижного и неподвижного контакта, что, в свою очередь, приводит к уменьшению пятна контакта. Также при низкой квалификации слесаря или недобросовестном выполнении требований техно-

Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что отношение износа анода к износу катода лежит в пределах от 0,3 до 2,6 при среднем значении около 0,8, средний технологический износ контактной пары поездного контактора при одном ТО-3 составляет 8,8 мг, средний суммарный износ при всех технических обслуживаниях в интервале от первого ТР-1 до второго ТР-1 для тепловоза 2ТЭ116 составляет 316,8 мг, средний технологический износ при ТР-1 составил 84,2 мг. При этом в полном износе поездных контакторов естественный износ составляет в процентном соотношении 22...67% при среднем значении 38% от технологического. Опираясь на результаты исследований нагрева контактов, их естественного и технологического износа, подтверждается предполо-

логического процесса может быть проведена слишком интенсивная зачистка, которая способна привести к появлению царапин и углублений на поверхности контакта, данные дефекты как правило вызывают увеличение контактного сопротивления.

жение, что регулярная зачистка силовых контактов поездных контакторов является не только безрезультатной, но и нежелательной операцией, поскольку значительно снижает их долговечность. Данную операцию следует проводить только при значительном нарушении геометрии контактных поверхностей и наличии существенных повреждений или загрязнений.

Исходя из приведенных выше данных о сравнении технологического и естественного износа контактов поездных контакторов можно сделать вывод, что отказ от регулярной зачистки контактов приводит к уменьшению скорости износа контактов, целесообразной будет являться зачистка силовых контактов поездных контакторов по необходимости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абляимов, О. С. Анализ периодичности выполнения профилактических работ при ремонте контакторов электрического оборудования тепловозов / О. С. Абляимов, З. З. Ергашев, Б. И. у. Гайратов // Universum: технические науки. 2024. № 5-4(122). С. 5-9. – EDN XJDANX.
2. Архирейский, А. А. Анализ основных неисправностей электропневматического контактора тепловоза 2ТЭ116 / А. А. Архирейский, А. И. Флейтух // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия : Материалы II Международной научно-методической конференции: в 3 частях, Оренбург, 08-09 ноября 2023 года. – Оренбург: Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. С. 206-208. – EDN BRHTZJ.
3. Флейтух, А. И. К вопросу об устранении неисправностей электропневматического контактора тепловоза 2ТЭ116 / А. И. Флейтух // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного

форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 182-184. EDN TTZKXG.

4. Новиков, А. Ф. Техническое обслуживание и ремонт контакторов типа ПК / А. Ф. Новиков // Локомотив. 2017. № 7(726). С. 26-29. – EDN YZHOLN.
5. Григорьев, А. А. Анализ физических процессов износа электрических контактов коммутационных низковольтных аппаратов / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2014. № 2(82). С. 3-13. – EDN SERLOP.
6. Анахова, М. В. Исследование процесса взаимодействия медных контактных пар как параметра надежности контакторов силовой цепи электропоездов постоянного тока / М. В. Анахова, А. С. Тычков, С. С. Пидченко // Вестник транспорта Поволжья. 2018. № 6(72). С. 7-12. – EDN VUKVDY.

7. Федотов, А. И. Оценка технического состояния контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов по данным тепловизионного контроля / А. И. Федотов, Е. И. Грачева, О. В. Наумов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2005. № 9-10. С. 47-55. – EDN KJVVFХ.
8. Павлейно, М. А. Метод расчета нагрева замкнутых силовых электрических контактов импульсными токами / М. А. Павлейно, О. М. Павлейно, М. С. Сафонов // Журнал технической физики. – 2021. – Т. 91, № 1. С. 110-119. – DOI 10.21883/JTF.2021.01.50281.148-20. – EDN QCOOOA.
9. Елькин, Е. М. О способах определения износа коммутационных аппаратов электроподвижного состава / Е. М. Елькин, Н. О. Фролов // Инновационный транспорт. 2023. № 2(48). С. 57-60. – DOI 10.20291/2311-164X-2023-2-57-60. – EDN VMESEK.
10. Сафонов, А. Электрические прямоугольные соединители. Трение и износ в контактных парах / А. Сафонов, Л. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. 2008. – № 3(23). С. 34-39. – EDN MUGQEB.
11. Грачева, Е. И. Оценка результатов исследования технического состояния низковольтных

коммутационных аппаратов / Е. И. Грачева, О. В. Наумов, Р. Р. Садыков // Надежность и безопасность энергетики. 2015. № 4(31). С. 57-60. – EDN VOLZQH.

12. Федотов, А. И. Выбор критерия оценки технического состояния низковольтных коммутационных аппаратов / А. И. Федотов, Е. И. Грачева, О. В. Наумов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. № 1-2. С. 46-53. – EDN LPCNQR.
13. Ярмолук, А. В. Совершенствование методики оценки ресурса коммутационного оборудования на ЭПС / А. В. Ярмолук // Железнодорожный транспорт и технологии: сборник трудов международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 29–30 ноября 2022 года / Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС). Том Выпуск 1(249). – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2023. С. 8-12. – EDN VFHPMU.
14. ГОСТ 9219-88. Аппараты электрические тяговые. Общие технические требования: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24.08.88 № 3010.

REFERENCES

1. Ablyalimov OS, Ergashev ZZ, Gayratov BI. Analysis of preventive maintenance frequency during repair of contactors of locomotive electric equipment. *Universum: Technical Sciences*. 2024;5-4(122):5-9.
2. Arkhireysky AA, Fleitukh AI. Analysis of main malfunctions of electropneumatic contactor of 2ТЭ116 diesel locomotive. *Proceedings of the II International Scientific and Methodological Conference, November 08-09, 2023: Science, Education, Transport: Current Issues, Priorities, Vectors of Interaction*. Orenburg: Samara State Transport University; 2023.
3. Fleitukh AI. On the issue of troubleshooting the electropneumatic contactor of 2ТЭ116 diesel locomotive. *Collection of reports of the XV International Youth Forum, October 23-24, 2023: Education. Science. Production*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; 2023.
4. Novikov AF. Maintenance and repair of PC type contactors. *Locomotive*. 2017;7(726):26-29.
5. Grigoryev AA, Vatkina MA. Analysis of wear physical processes of electrical contacts of switching low-voltage devices. *Bulletin of the Yakovlev Chuvash State Pedagogical University*. 2014;2(82):3-13.
6. Anakhova MV, Tychkov AS, Pidchenko SS. Study of the interaction of copper contact pairs as a parameter of reliability of power circuit con-

tactors of DC electric locomotives. *Vestnik transporta Povolzhya*. 2018;6(72):7-12.

7. Fedotov AI, Gracheva EI, Naumov OV. Assessment of the technical condition of contact connections of low-voltage switching devices according to thermal imaging control data. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2005;9-10:47-55.
8. Pavleino MA, Pavleino OM, Safonov MS. Method for calculating the heating of closed high-current electrical contacts with pulsed currents. *Technical Physics*. 2021;91(1):110-119. DOI 10.21883/JTF.2021.01.50281.148-20.
9. Elkin EM, Frolov NO. On methods for determining the wear of electric rolling stock switching devices. *Innotrans*. 2023;2(48):57-60. DOI 10.20291/2311-164X-2023-2-57-60.
10. Safonov A, Safonov L. Electric rectangular connectors. Friction and wear in contact pairs. *Tekhnologii V Elektronnoy Promishlennosti*. 2008;3(23):34-39.
11. Gracheva EI, Naumov OV, Sadykov RR. Evaluation of the study results of the technical condition of low-voltage switching devices. *Safety and Reliability of Power Industry*. 2015;4(31):57-60.
12. Fedotov AI, Gracheva EI, Naumov OV. The choice of criteria for assessing the technical condition of low-voltage switching devices. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2010;1-2:46-53.

13. Yarmolyuk AV. Improving the methods for assessing the resource of electric locomotive switching equipment. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, November 29-30, 2022: Railway Transport and

Technologies. Yekaterinburg: Ural State University of Railway Transport; 2023.

14. GOST 9219-88. Tractive electrical apparatus. General technical requirements. Moscow: Izdatelstvo Standartov; 1990.

Информация об авторе:

Рябко Константин Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры социально-гуманитарных, естественно-научных и общепрофессиональных дисциплин, Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС) филиал в г. Воронеж, тел. +7(980)244-67-74, Scopus-Author ID 57203884218, Author-ID-РИНЦ 884539.

Ryabko Konstantin Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Social and Humanitarian, Natural Sciences and General Professional Disciplines, Rostov State Transport University, Voronezh branch; phone: +7 (980)244-67-74; Scopus-Author ID 57203884218, Author-ID-RSCI 884539.

**Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 07.10.2024; одобрена после рецензирования 24.10.2024; принята к публикации 28.10.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 07.10.2024; approved after review on 24.10.2024; accepted for publication on 28.10.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.