

УДК 621.336

Мохаммад Аль Саид Ахмад – аспирант, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Іорданія, ahmadesraa20@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4056-1040

ДИАГНОСТИКА ТОКОПРИЕМНИКА ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Введение

В настоящее время система скользящего токозъема является основным способом передачи электроэнергии от контактной сети к электроподвижному составу (ЭПС) как на электрифицированных железных дорогах, так и на городском электротранспорте. В условиях повышения скоростей движения ЭПС, внедрения нового типа локомотивов и электропоездов особенно актуальной становится проблема поддержания в работоспособном состоянии элементов контактной сети и токоприемника.

Обеспечение качественного токозъема в сложных условиях эксплуатации связано с решением комплекса задач, одной из которых является контроль эксплуатационного состояния элементов контактной сети и токоприемников, оценка и прогнозирование уровня их износа. Итак, анализ методов диагностики пантографа и его узлов, причин отказов в них является актуальной задачей.

Важным элементом контактной подвески является контактный провод, который по степени риска возникновения отказа занимает первое место на электрических железных дорогах постоянного тока, и от работоспособности которого зависит безаварийная работа электрифицированных железных дорог. Не менее важным элементом, влияющим на бесперебойную работу ЭПС, является контактная вставка пантографа, которая может изнашиваться ввиду искрения, дугообразования, трения и механических ударов в процессе токозъема.

Вопросами токозъема занимались такие известные ученые как И. А. Беляев, В. Я. Берент, А.Т. Бурков, И. И. Власов, В. А. Во-

логин, А. Г. Галкин, Ю. И. Горошков, А. И. Гуков, А. Т. Демченко, А. В. Ефимов, Д.А. Ефимов, Ю. Е. Купцов, В. Н. Ли, В. Н. Лисунов, К. Г. Марквардт, Г. П. Маслов, А. Н. Митрофанов, В. П. Михеев, В. А. Нехаев, В. М. Павлов, А. В. Плакс, Л. Н. Решетов, О. А. Сидоров, Т. А. Тибилов, А. В. Фрайфельд, А. Н. Муха, Д.В. Устименко, А. Н. Смердин, М.Н. Емельянова, В. А. Смирнов, А. В. Паранин, С. А. Ступаков, Сидоров О. А., J. Ambrosio, F. Barón, Y. Chen, B. Fink, F. Kiessling, A. Schmieder, H. Tessun, T. Usuda, G. Wang, U. Paoletti, T. U. Mitsuru Ikeda, F. Kiessling и др. [1 – 14].

Таким образом, в настоящее время разрабатываются и внедряются новые методы по совершенствованию технологии обслуживания, диагностике, применяются улучшенные конструкции токоприемников и их элементов, однако число отказов все же остается значительным. Особенно при увеличении интенсивности и скорости движения, веса поезда. Для повышения эффективности системы токозъема и продления срока службы токоприемника и его узлов необходимо усовершенствовать методы теоретических и экспериментальных исследований в области диагностики и контроля его состояния.

Уделим внимание исследованию вопроса работоспособности контактной вставки токоприемника. В основе методов оценки износа лежит теория трения и износа. Особенности износа электрического скользящего контакта обусловлены протеканием электрического тока, кроме механического износа. Изучение степени износа и повреждения токозъемных устройств в условиях эксплуа-

тации фактически основано на косвенной связи особенностей с характеристиками объекта. Поэтому целью научных исследований является выполнение детальных теоретических и экспериментальных исследования механизмов и причин износа и разрушения элементов контактной сети и токоприемников ЭПС и поиск факторов и условий, которые позволят уменьшить количество электрокоррозионных явлений и механических разрушений.

Анализ неисправностей токоприемников электроподвижного состава железных дорог

Токоприемник состоит из основания, нижней и верхней подвижных рам, двух кареток, полоза и подъемно-опускающего механизма. Структурная схема основных элементов токоприемника показана на рис. 1: фронтальная проекция (вид спереди) и вид слева. Здесь показаны полозья токоприемника, рама, изоляторы, опускающая и поднимающая пружины, мотор-насос, контактная вставка, которая может быть медной, стальной, алюминиевой, угольной на графитовой или коксовой основе, угольной металлосодержащей и металлокерамической.

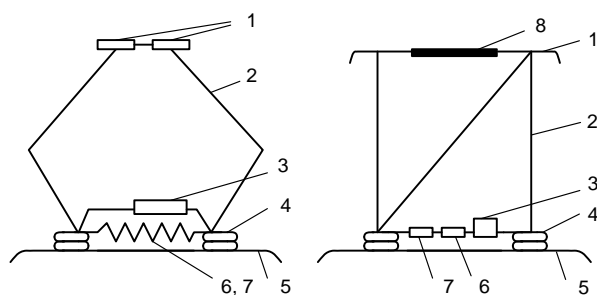


Рис. 1. Структурная схема токоприемника (главный вид и вид слева):

1 – полозья, 2 – рама, 3 – насос, 4 – изоляторы, 5 – корпус локомотива, 6 – опускающая пружина, 7 – поднимающая пружина, 8 – контактная вставка полоза токоприемника

К пантографам предъявляют следующие требования по надежности:

- токоприёмник должен сохранять работоспособность, обеспечивая: не менее 10000

циклов подъемов - опусканий, выполняемых подъемно-опускающим механизмом; 100000 циклов при отключенном подъемно-опускающем механизме;

- каретки должны сохранять работоспособность, обеспечивая не менее 1200000 циклов колебаний;

- срок службы – не менее 20 лет, пробег – 10 млн. км [15–17].

Из всех узлов электроподвижного состава пантографы работают в наиболее сложных условиях, воспринимают разнообразные динамические нагрузки, выдерживают значительный по величине электрический ток (2200 А для токоприемников серии П–5, Т–5М1 электропоездов постоянного тока ВЛ–10, ВЛ–11; 2100 А – для токоприемников П–3 локомотивов ВЛ8; 2000 А – для токоприемников серии 10РР–2, 17РР–2 электропоездов постоянного тока ЧС–2, ЧС–6; 500 А – для токоприемников Л–13У1 (Л–14М1) электропоездов переменного тока ВЛ60, ВЛ80; 400 А – для токоприемников 2SLS–1 чешских электропоездов переменного тока серии ЧС–4, ЧС–8), а в зимнее время на их работоспособности отрицательно сказываются низкая температура, снегопады и гололедообразования.

В целом на долю неисправностей в узлах токоприемников приходится 10...20 % от всех отказов в ЭПС. Отказы в элементах пантографов приводят к повышенному износу контактного провода, его обрыву или пережогу, повреждениям воздушных стрелок, фиксаторов, изоляторов.

Анализ статистических данных показывает, доля отказов полозьев токоприемников составляет – 36 %, контактных вставок – 13 %, кареток – 8%, рам – 8 %, шунтов – 4 %, подъемно-опускающих механизмов – 1% и прочие – 30 %. При чем с увеличением скорости движения поездов доля отказов контактных вставок увеличивается до 50 %, на полозья приходится 18...20 %, подъемно-опускающие механизмы – 10 %, рамы – 3 %, каретки – 3%, прочие – 14...16 %.

Итак, процент отказов контактных вставок токоприемников достаточно высок. При этом, в зависимости от материала контактных вставок зависит число отказов в контактной сети. Так при медных и металлокерамических контактных вставках возникает около 22 % пережогов контактного провода из-за некачественного токосъема, а при угольных вставках – 6%. Основная причина возникновения таких отказов – неудовлетворительное качество ремонта и технического обслуживания элементов контактной сети и токоприемников (70 %) [5].

Износ скользящего контакта

К скользящим контактам относятся подвижные контакты, в которых контактирующие части скользят друг по другу без отрыва. Все скользящие контакты можно разделить на такие виды: ламели, коллекторы, кольца, которые используются в электрических машинах; потенциометрические обмотки, реохорды, которые являются как электрическим сопротивлением, так и ламелью другого скользящего контакта; токосъемный контакт (упругий или в виде ролика), например, пантограф электроподвижного состава.

Износ скользящих контактов можно разделить на виды: механический, который объясняется трением и пластической деформацией металла в процессе работы; электрический (эрозия), который связан с прохождением тока и съемом его через упругий контакт (контактные вставки); химический (коррозия), который возникает из-за окисления контактной поверхности и образования непроводящих пленок, зависит от коррозионных свойств материала в условиях нормальной и повышенной температуры (до +300 °С), влажности и наличия в атмосфере примесей, вызывающих коррозию.

Полозы токоприемника находятся под непосредственным воздействием окружающей среды, а именно: загрязнения окружающей среды, атмосферные явления (повышенная влажность, дождь, иней, гололед,

удары молний). Кроме того полозы пантографа подвержены коррозии. Механическое влияние на работу пантографа выражается в вибрации и боковых и продольных колебаниях, которые передаются в процессе движения и на стоянках от кузова локомотива к узлам токоприемника, аэродинамические силы. При сильных ветрах и значительных провисаниях контактной подвески контактный провод может попасть под полоз и вызвать его обрыв и короткое замыкание.

Пантографы ЭПС рассчитаны на пропуск значительной токовой нагрузки, а их изоляция должна выдерживать высокие напряжения и атмосферные перенапряжения. Гололедообразования на контактном проводе и пантографе часто приводят к его пережогу из-за плохого контакта и как следствие к обрыву. При этом протекают повышенные токи, возникает искрение и даже дугообразования.

Опыт эксплуатации железных дорог показывает, что качество токосъема во многом зависит от надежности контакта между медным контактным проводом и полозами токоприемника, а следовательно от конструктивного исполнения пантографа (материала контактных вставок, массы, величины статического нажатия, аэродинамической подъемной силы, ширины полоза, эластичности) и типа контактной подвески. Качество токосъема влияет на износ контактного провода, долговечность оборудования локомотива, уровень электромагнитных помех, излучаемых во внешнюю среду, а значит величину затрат на техническое обслуживание и капитальный ремонт.

Проанализируем более детально неисправности, которые возникают вследствие ненормального взаимодействия токоприемника и элементов контактной сети. Из-за некачественного технического обслуживания или капитального ремонта крепление нижней неподвижной рамы и (или) основание пантографа может быть ослаблено, в результате появляются изгибы, вмятины, прожоги, повреждаются амортизаторы. Из-за

трения преждевременно изнашиваются элементы шарнирных соединений. Также из-за аэродинамических, механических и атмосферных влияний разрушаются опорные изоляторы токоприемника: наблюдаются сколы, перекрытие, трещины, повреждение глазури. Под действием вибрации могут выпадать гайки, шпильки, и другие крепежные детали. Загрязняются и изнашиваются цилиндры и манжеты поршней из-за попадания частичек грязи через фильтр, периодического намочения и высушивания узлов токоприемника. По этой же причине механизмы опускания и поднимания пантографа заедают, перекашиваются, теряют свою упругость. Удары полоза о контактный провод возникают из-за неодинакового его натяжения по участку проследования поезда или в результате отклонений от нормы укладки контактного провода в плане. Контактный провод укладывается в зигзаге на 0,3 м прямых участках пути и на 0,4 м на криволинейных участках пути. Допустимое в эксплуатации отклонение контактного провода от оси пути – 0,5 м в странах СНГ и 0,15...0,4 м за рубежом. С одной стороны укладка контактного провода зигзагом увеличивает срок службы как пантографа, так и контактного провода, с другой стороны при отклонении от норм и неправильной регулировке натяжения контактного провода может вызвать его обрыв и наматывание на пантограф и, как следствие, его разрушение и короткое замыкание.

Уделим более серьезное внимание контактному узлу: полоз – контактные вставки. Классификация дефектов полоза токоприемника представлена на рис. 2. Здесь возникают изгибы, изломы, потеря упругости, износ крепежных деталей полоза (болты, втулки и пр.).

Медные контактные вставки должны быть толщиной не меньше 2,5 мм, угольные – не менее 10 мм. При их эксплуатации возникают прожоги, пропилы, забоины. Накладки должны быть расположены на одном уровне и не иметь острых выступаю-

щих кромок. Головки винтов, крепящие накладку, должны быть заподлицо или утоплены. Таким образом, в процессе эксплуатации характеристики токоприемника меняются.

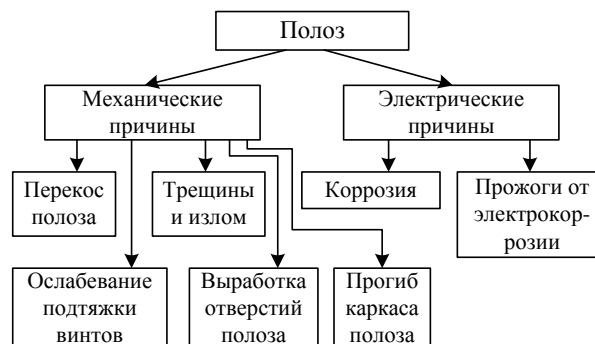


Рис. 2. Классификация дефектов полоза токоприемника, вызванная электрическими (электрохимическими) и механическими причинами

Классификация дефектов медноконтактных и угольно-графитных накладок токоприемника представлена на рис. 3, 4. На угольно-графитных контактных вставках могут возникать поперечные трещины, сколы, пропилы, кроме износа и ослабления. Однако если ширина скола не превышает 5 мм, то он не является браковочным. Размер скола по длине одной вставки и его высота на боковой поверхности не нормируются. Сколы на двух и более вставках, расположенных в створе (на одной прямой вдоль контактного провода) не допускаются. Кстати, однотипные сколы на нескольких токоприемниках ЭПС говорят о неисправности контактной подвески. Допускаются и трещины в угольных вставках, но не более одной на каждой вставке, но не на двухрядном полозе.

Трещины недопустимы в металлокерамических пластинах, т. к. они могут вызвать обрыв провода и поломку пантографа. Обнаруженные при осмотре пропилы и уступы зашлифовываются под углом не более 20° к горизонтали [14 – 17].

Таким образом, качественное выполнение технического обслуживания и ремонта, внимательный осмотр токоприемника, свое-

временное обнаружение дефектов и их устранение позволят предотвратить разрушение контактной сети.

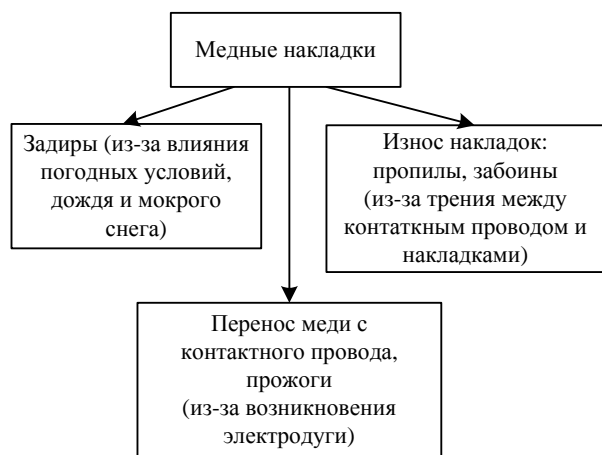


Рис. 3. Виды и причины возникновения дефектов в медных накладках токоприемника

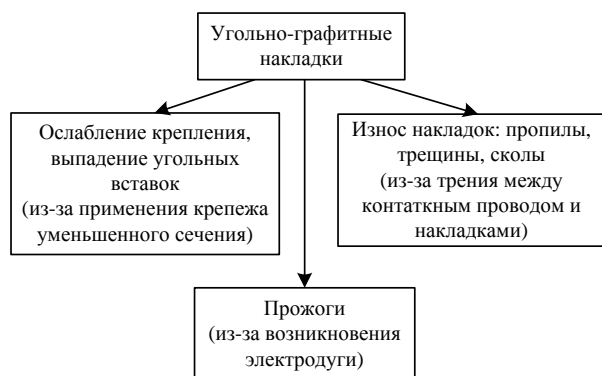


Рис. 4. Виды и причины возникновения дефектов в угольно-графитных вставках



Рис. 5. Классификация и причины отказов в контактной сети

Отказы контактной сети

Статистический анализ показывает, что наибольший процент отказов контактной сети (30 %) приходится на пережоги контактного провода [6].

Внимательные осмотры токоприемников, обнаружение появившихся дефектов, а также своевременное и правильное их устранение предупреждают многие отказы контактной сети.

Автором были классифицированы отказы контактной сети, вызванные неудовлетворительным состоянием пантографов электроподвижного состава, и исследованы причины их возникновения. Это – пережог контактного провода (часто возникает при гололедах, в результате медленного опускания и подъема токоприемника, неправильной регулировке натяжения контактного провода), повреждение воздушных стрелок и фиксаторов, разрушение изоляторов фиксаторов и изолирующих сопряжениях анкерных участков (рис. 5). Также существенное влияние на преждевременный износ контактного провода и накладок пантографа оказывает несоответствие техническим условиям нажатие полоза на контактный провод.

Завышенное нажатие на контактный провод обуславливает механические разрушения токоприемника, слабое – искрение и подгорание контактных накладок и провода.

Техническое обслуживание и ремонт токоприемника

Токоприёмники электроподвижного состава должны надёжно работать в широком диапазоне температур ($-40^{\circ} \dots +40^{\circ} \text{C}$) и выдерживать влияние различных факторов: изменение влажности, выпадение дождя, инея, гололеда, сильной запыленности, которая часто является электропроводной, сильных аэродинамических влияний. Как упоминалось выше, наиболее повреждаемой частью токоприемника является полоз и контактные вставки.

Техническое диагностирование деталей и узлов сильнотокового скользящего контакта определяется рядом операций, изложенных в утверждённой технологической документации: контроль механических и электрических параметров.

Из всех методов восстановления и упрочнения деталей наиболее применимыми при ремонте полоза являются:

- ручная дуговая сварка покрытым электродом с целью заварки и обварки отверстий. Отверстия диаметром менее 15 мм перед заваркой рассверливают до диаметра 18-20 мм и заваривают последовательной обваркой по всей толщине стенки с напуском на кромки;

-заварка трещин, которые разделяют под заварку U- или V-образной формы; заваривают трещины; контролируют качество шва;

- приварка стальных накладок, используется при заварке разорванных отверстий креплений каретки к полозу;

- гальваническое покрытие детали методом цинкования, для предотвращения коррозии короба полоза.

Эти методы являются наиболее рациональными. При их выборе пользуются кри-

териями: технологическим, долговечности, технико-экономическим.

Диагностика основных узлов токоприемника

В основу методики диагностирования положены методы математического анализа и моделирования. Большинство систем технического диагностирования используют информацию о состоянии узла в виде набора диагностических признаков, наиболее полно и достоверно определяющих его технические свойства. Применение графо-аналитического метода отображения объекта в пространстве признаков с построением граф-модели позволит повысить достоверность распознавания дефектов сильнотокового скользящего контакта.

Выявление соответствия дефектов, образующихся в результате эксплуатации сильнотокового скользящего контакта, и диагностических параметров, характеризующих техническое состояние контактной пары, основывается на применении двудольных графов (I способ). Одним из основных этапов формирования двудольного графа соответствия дефектов и диагностических параметров является построение рабочей граф-модели. Первоначально производится упорядочение вершин граф-моделей методом экспертных оценок. Затем каждому ребру граф-модели ставится в соответствие некоторая величина – вес ребра, характеризующая тесноту связи между соответствующими параметрами. На основании весов ребер формируется исходная матрица смежности.

II способ диагностики сильнотокового скользящего контакта основан на декомпозиции рабочей граф-модели. Каждой вершине графов поставлено в соответствие определенное число – вес вершины λ , характеризующее доступность параметра для контроля. Это число определялось по экспертно установленной шкале, которая включает в себя ряд ситуаций, определяющих измеримость (наблюдаемость парамет-

ра). Принят следующий набор ситуаций, вес которых устанавливается в диапазоне значений от 0 до 1.

Параметр считается тем информативнее, чем от большего количества значений структурных и входных параметров зависят его значения, и тем чувствительнее к появлению дефектов, чем теснее связь между ним и структурными и входными параметрами. Это означает, что показатель имеет большее значение для вершин, достижимых из большего числа вершин при меньших значениях расстояний. Таким образом, сумма элементов каждого столбца таблиц определяет значение для соответствующего элемента. Оценка находится отдельно для каждого симптома S и дефекта d . Разделительная способность параметра x при распознавании дефектов оценивается по числу t_i дефектов D , от изображения которых достижима по графу соответствующая вершина x_i . То есть, значение t_i равно числу ненулевых элементов каждого столбца таблиц.

Определение множества диагностических параметров сводится к нахождению такого минимального подмножества множества X , в элементах которого нашли бы отражение все дефекты. Эту задачу возможно решить методом покрытия таблицы расстояний. Данный метод базируется на оценке элементов модели – определении весов вершин и ребер, упорядочении вершин в соответствии со значениями показателя эффективности Φ и в нахождении маршрутов отображения дефектов в графе. На основании таблиц близости строятся таблицы покрытия, строки и столбцы которых по сравнению переставлены местами. Кроме того, элементы множества X располагаются по вертикали в соответствии с убыванием значений показателя эффективности Φ . Элементы множества $D=(d_1, \dots, d_g)$ располагаются по горизонтали в соответствии с возрастанием значений показателя Φ .

III способ построен на основе выбранных множеств B_1 , B_2 и B_3 . Составлены

схемы покрытия в виде двудольных графов соответствия между множеством дефектов и множеством диагностических параметров. Ребра графов представляют маршруты, числа на ребрах – значения расстояний ρ (близости). Полученные графы могут быть использованы для формирования задания по сбору статистических данных и организации процесса распознавания и диагностирования.

Получены двудольные графы соответствия диагностических параметров дефектов сильнотокового скользящего контакта, которые могут быть использованы для диагностирования технического состояния сильнотокового скользящего контакта.

Сформировано эффективное множество диагностических параметров удовлетворяющих критериям: доступность для контроля, информативность, а также разделительная способность параметра.

Выводы

Проанализированы разные виды неисправностей токоприемников электроподвижного состава и контактной сети. Установлено, что из всех узлов локомотива около 20 % отказов приходится на пантограф, при чем из них на долю полозов токоприемников приходится около 36% от всех отказов, а 13 % на контактные вставки. С увеличением скорости движения доля отказов в контактных вставках увеличивается до 50 %.

Выполнена классификация дефектов токоприемника, его полоза и контактных вставок. Дефекты полозов и контактных вставок влекут за собой пережоги контактного провода из-за некачественного токосъема, который возникает в результате действия погодных условий (дождь, иней, гололед, ветер), так и при неудовлетворительном техническом обслуживании токоприемника и его элементов.

Научная новизна. Предложены методы технической диагностики элементов токоприемника. I способ основан на примене-

нии двудольного графа, где производится упорядочение вершин граф-моделей методом экспертных оценок, а затем каждому ребру присваивается вес, характеризующий связь между параметрами. II способ основан на декомпозиции рабочей граф-модели, где каждой вершине присваивается число, которое характеризует наблюдаемость параметра, т.е. соответствующего числа отказов для данного элемента. Данный метод базируется на оценке элементов модели – определении весов вершин и ребер, упорядочении вершин в соответствии со значениями показателя эффективности Φ и в нахождении маршрутов отображения дефектов в графе. На основании таблиц близости строятся таблицы покрытия, строки и столбцы которых по сравнению переставлены местами. III способ основан на составлении схемы покрытия в виде двудольных графов соответствия между множеством дефектов и множеством диагностических параметров. Полученные графы могут быть использованы для формирования задания по сбору статистических данных и организации процесса распознавания и диагностирования. Третий способ является наиболее информативным, а первый наиболее простым.

Библиографический список

1. Сидоров О. А. Исследование и прогнозирование износа контактных пар систем токосъема с жестким токопроводом: Монография [Текст] / О. А. Сидоров, С. А. Ступаков. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. – 174 с.
2. Паранин А. В. Экспериментальное исследование работы электрического контакта «контактный провод – токосъемная пластина» в статическом положении / А. В. Паранин, Н. А. Акиншин, А. Б. Батрашов / Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2013. Вип. 4(39) – С. 93-96.
3. Ефимов Д. А. Совершенствование токоприемников на основе моделирования их взаимодействия с контактными подвесками.
4. Устименко Д. В. Установка для экспериментального исследования износа скользящего контакта «контактный провод – накладка» / Д. В. Устименко // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – Ном. 14. – Днепр: Изд-во ДНУЖТ, 2017. – С. 29–32.
5. Смирнов В. А. Повышение качества контроля технического состояния токоприемников электрического подвижного состава магистральных железных дорог [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 РГБ ОД, 61:07-5/2075.. – Омск, 2007. – 127 с.
6. Емельянова М. Н. Повышение качества токосъема за счёт выбора рационального натяжения проводов контактной подвески [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07. – Москва, 2015. – 105 с.
7. U. Paoletti. Direction finding technique based on pointing vector magnitude for pantograph arcing [Text] / Proc. of the 2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility -EMC EUROPE 2019. Publisher: IEEE. Conference Location: Barcelona, Spain. - 2-6 Sept. 2019. - Pages: 556 – 561.
8. Смердин А. Н. Автоматизированная система диагностики состояния токоприемников электроподвижного состава на основе видеоизмерительного комплекса. [Текст] / А. Н. Смердин, А. С. Голубков, С. Н. Найден // Известия Транссиба: Транспортная энергетика. – 2012. – № 2(10). – С.103 – 109.
9. Ецков Т. А. Асимметричный токоприемник с улучшенными динамическими показателями [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.09.01. Новочеркасск, 2018. – 307 с.
10. Муха А. М. Контактні вставки полозів струмоприймачів електрорухомого складу з покращеними показниками [Текст]/ А. М. Муха, Д. В. Устименко, О. Ю. Балійчук, О. Я. Куриленко, І. В. Малишко, Ю. О. Адамович // Залізничний транспорт України. – 2018. – № 2. – С. 33–39.
11. Смердин А. Н. Совершенствование системы токосъема магистральных электрических железных дорог в условиях высокоскоростного и тяжеловесного движения [Текст]: А. Н. Смердин. Автореф. на диссерт. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук Ж спец. 05.22.07. – Омск, 2019. – 43 с.

12. Ikeda, K. Optimization of overhead contact lines for Shinkansen speed increases 89 [Text]/ K. Ikeda// JR EAST Technical Review. – 2008. – № 12-Summer. – P.64-69.
13. Mitsuru Ikeda, T. U. Interaction of pantographs and contact lines at Shinkansen [Text]/ T. U. Mitsuru Ikeda // Elektrischen Bahn. – 2011. – № Heft 7. – S.338- 343.
14. Kiessling F. Contact lines for Electrical Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance, 2nd Edition [Text]/ F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder, E. Schneider. – Erlangen: Publics Publishing, 2009 (Revised reprint 2012). – 994 p. 11 Zimmert, G. Overview of HSR in China with a focus on the overhead contact line system for the Wuhan Guanzhou HSR, the fastest Railway in the World [Text]/ G. Zimmert// High Speed Rail. Velocity Network. – 2011. – September, issue № 73. – P.37-41.
15. ГОСТ 32680 Токосъемные элементы контактные токоприемников электроподвижного состава. Общие технические условия.
16. ГОСТ 2584 Провода контактные из меди и ее сплавов. Технические условия.
17. Рекомендации по техническим требованиям к конструкции токоприемников электрического тягового подвижного состава. Р650 [Текст]: Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). Варшава, Польша, 2014. – 12 с.

Ключові слова: електричний ковзний контакт, струмомознімання, контактний провід, контактна вставка пантографа.

Ключевые слова: электрический скользящий контакт, токосъём, контактный провод, контактная вставка пантографа.

Keywords: electric sliding contact, current collector, contact wire, pantograph contact insert.

Рецензенти:
проф., д.т.н., А. Б. Бойнік,
проф., д.т.н., А. М. Муха.

Поступила в редколлегию 15.05.2019.
Принята к печати 27.05.2019.