

Автоматизированная система контроля износа контактного провода

01, январь 2014

DOI: 10.7463/0114.0676398

Арбузов Е. В., Петренко Е. О.

УДК 629.423

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

eva_412@mail.ru

Основным видом пассажирских и грузовых перевозок в России являются железные дороги [1]. Для обеспечения бесперебойной и безопасной работы железнодорожного транспорта производится постоянный мониторинг состояния железнодорожных сооружений. Безопасность и регулярность движения на электрических железных дорогах в большой степени зависит от состояния системы тягового энергоснабжения подвижного состава.

Контактная сеть магистральных и пригородных электрических железных дорог представляет собой комплекс разнообразных устройств, необходимых для обеспечения нормальной работы тяговой сети [2 - 4]. В отличие от всех других устройств системы тягового электроснабжения, контактная сеть не имеет резерва. Поэтому к контактной сети предъявляют высокие требования, как по совершенству ее конструкции, так и по контролю и содержанию в условиях эксплуатации. Наиболее важным и критическим является контроль состояния контактного провода, так как контактный провод является основным элементом контактной сети. Кроме этого, контроль контактного провода затруднен по причине условий его эксплуатации: большая высота подвески, высоковольтные токи, протекающие по нему, загрязнения поверхности, сложные климатические условия. Из-за всего этого и возникает необходимость создания бесконтактной, автоматизированной системы контроля износа контактного провода.

Существующие системы контроля износа контактного провода электрифицированных железных дорог используют или контактные методы (в основном ручной контроль, при этом измерения проводятся при отключенной контактной сети) или средства бесконтактные, не позволяющие проводить контроль при любых погодных условиях [6 - 9].

Каждый из указанных способов имеет свои недостатки.

В способе непосредственного измерения толщины контактного провода с использованием средства измерения, например, штангенциркуля, сложно быстро измерять толщину длинного

провода, так как измерения выполняются вручную оператором, требуют участия человека и не могут быть автоматизированы.

В способе непосредственного измерения толщины контактного провода с использованием оптического датчика из-за наличия контакта между роликом вращения и контактным проводом скорость работы мала. Кроме того, так как используется измерительная конструкция, в которой контактный провод находится между излучателем и датчиком, работа в местах, где она может столкнуться, например, со стрелкой, подвеской и опорой, невозможна. Более того, в местах с такими конструкциями необходимо отодвигать устройства от точки измерения, чтобы избежать столкновения.

В способе измерения ширины изношенной части контактного провода с использованием излучения натриевой лампы или лазера с пересчетом ширины износа в толщину контактного провода, во-первых, необходим специальный источник излучения, например натриевая лампа и лазер. Кроме того, этот способ чувствителен к помехам, таким как зажимы, фиксирующие контактный провод, и конструкции на заднем фоне, и в случае получения ошибочного результата из-за помех, результат невозможно проверить. В ряде случаев для проверки участка износа нужно использовать способ непосредственного измерения толщины контактного провода. Более того, необходимо получить точное зеркальное отражение путем установки направления излучения и фокуса источника излучения, а также направления принимающего излучение приемника. Так как изношенная часть контактного провода измеряется с использованием отраженного излучения источника, измерение можно проводить только ночью, когда фон неба темный и изношенная часть контактного провода становится освещенной.

При фотографировании главным недостатком оптических систем является невозможность контроля при плохих погодных условиях – дождь, град, туман, снег, что в условиях России особенно актуально.

Обзор методов неразрушающего контроля показывает, что нет альтернативы вихретоковому методу неразрушающего контроля, инвариантному к загазованности и запыленности среды, туману, световым засветкам, большим перепадам температуры, загрязнению зоны контроля неэлектропроводящими веществами, в том числе брызгами воды и масел. Создание системы с использованием электромагнитного (вихретокового) метода неразрушающего контроля и является целью данной статьи.

Вихретоковый метод неразрушающего контроля, являясь многопараметровым, основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой индуктивности, запитанной током переменной частоты, в электропроводящем объекте контроля. Плотность вихревых токов в объекте зависит от

геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от геометрических параметров измерительного преобразователя и взаимного расположения измерительного преобразователя и объекта [5,10].

Система контроля износа и зигзага контактного провода обеспечивает автоматизацию контроля его износа и входит в многофункциональный контрольно-вычислительный комплекс диагностики состояния объектов путей сообщения. Система состоит из первичного преобразователя, блока ретранслятора, волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), блока питания, интерфейсного блока и ЭВМ [11 - 13].

Основной функцией системы контроля является получение информации об износе и зигзаге контактного провода.

При этом были выделены пять функций системы.

1) Первичное преобразование информации. Суть этой функции состоит в преобразовании ширины контактной площадки и положения в плане контактного провода в изменение уровня постоянного напряжения. Так как контактный провод располагается зигзагообразно относительно оси токоприемника с чередованием направления зигзага у смежных опор, датчик должен осуществлять измерение износа при перемещении провода от минимального до максимального значения зигзага.

2) Аналоговая обработка измерительной информации - усиление и масштабирование постоянного напряжения (изменение уровня напряжения с фильтров), которое поступает с вихретокового преобразователя, взаимодействующего с контактным проводом, а также выработка на основе сигналов со всех преобразователей цифрового кода положения провода (отклонения от оси токоприемника).

3) Сбор и перевод информации в цифровую форму- прием аналоговых и цифровых значений напряжений от всех измерительных каналов и цифрового кода зигзага, а также дополнительной информации о состоянии системы (температура); и управление режимами работы системы для выдачи цифрового сигнала в параллельном коде.

4) Трансляция информации - преобразование цифровых данных в параллельном коде в последовательный, а затем сигналов из электрических в оптические и наоборот, плюс полный обратный цикл преобразований.

5) Преобразование и запись потока данных - перевод информации из вида цифровых кодов в общепринятые единицы измерения (информация об износе и зигзаге контактного провода) и запись результатов на магнитный носитель.

Первичный преобразователь представляет собой конструктивное объединение матричного вихретокового измерителя, располагающегося в верхней части корпуса преобразователя, и электронной части, расположенной в нижней части корпуса и на нижней крышке.

Измеритель выполнен в виде 30 вихретоковых преобразователей, сгруппированных в линейку, состоящую из двух параллельных рядов по 15 катушек в каждом, и размещенных в них дискретно через равные промежутки. Ряды катушек смещены друг относительно друга так, что катушки одного ряда вписаны в промежутки между сложными катушками другого ряда. Каждая катушка намотана обмоточным проводом на диэлектрическом каркасе. Весь объем измерителя залит силиконовым герметиком.

Электронная часть преобразователя состоит из блока усилителя-коммутатора, генераторного блока, блока вторичного усиления, блока сбора данных.

Генераторный блок реализован в виде схемы с тремя генераторами: на 800кГц, 1МГц и 1,2288МГц, чтобы исключить возможное взаимовлияние между вихретоковыми преобразователями. Соответствующие преобразователи расположены на линейке поочередно (по три). Генераторы собраны на основе трех последовательно соединенных логических инверторов со стабилизацией частоты при помощи кварцевого резонатора. Для повышения нагрузочной способности генератора, преобразователи подключаются не непосредственно на его выход, а через дополнительные инверторы. Каждый генератор подключен к 10 контурам.

Сигнал от генератора идет к блоку усилителя-коммутатора (30 плат усилителей-коммутаторов, одна плата на один преобразователь).

Далее сигнал попадает на блок вторичного усилителя, собранного на дифференциальном усилителе.

Плата сбора данных представляет собой вычислительное устройство, расположенное в измерительном пантографе. Плата построена на микроконтроллере и позволяет решать задачи первичной обработки информации, контроля и диагностики частей системы, расположенных на крыше вагона и на измерительном пантографе, а также обмена информацией с интерфейсной платой, расположенной внутри вагона [14].

Выходы микроконтроллера связаны при помощи витой пары с входом ретранслятора, а он, в свою очередь, через оптоволоконные кабели с передатчиком и приемником интерфейсного адаптера. Интерфейсный адаптер соединен с шиной ISA ЭВМ типа IBM PC.

Канал волоконно-оптической линии связи основан на дуплексном асинхронном приёмопередатчике, входящем в состав микроконтроллера. Канал работает с пиковой скоростью 1 мегабит в коде без возврата к нулю (NRZ). Ввиду малого расстояния между приёмопередатчиками,

для упрощения узла согласования с волоконным световодом была принята схема с двумя однонаправленными каналами, каждый из которых работает в свою сторону, и, соответственно, двумя волоконно-оптическими кабелями.

Блок ретранслятора сигналов предназначен для передачи последовательного цифрового кода с линии связи типа «токовая петля» на волоконно-оптическую линию связи.

Сопряжение с персональной ЭВМ осуществляется через разъём шины Industry Standard Architecture (ISA), и с волоконно-оптической линией - с помощью байонетных разъёмов типа ST.

В состав интерфейсной платы входят волоконно-оптические передатчик и приёмник, тактовый генератор, ПЛИС Altera EPF10K10TC144-4, микросхема конфигурационного ППЗУ, разъёмы для программирования ППЗУ, тестирования ПЛИС и расширения возможностей платы.

Взаимодействие интерфейсной платы и прикладного программного обеспечения осуществляется с помощью портов ввода-вывода и линии аппаратного прерывания.

Передача данных происходит автоматически после осуществления записи в регистр данных передатчика.

На рис. 1 представлено расположение элементов в лаборатории комплексной диагностики.

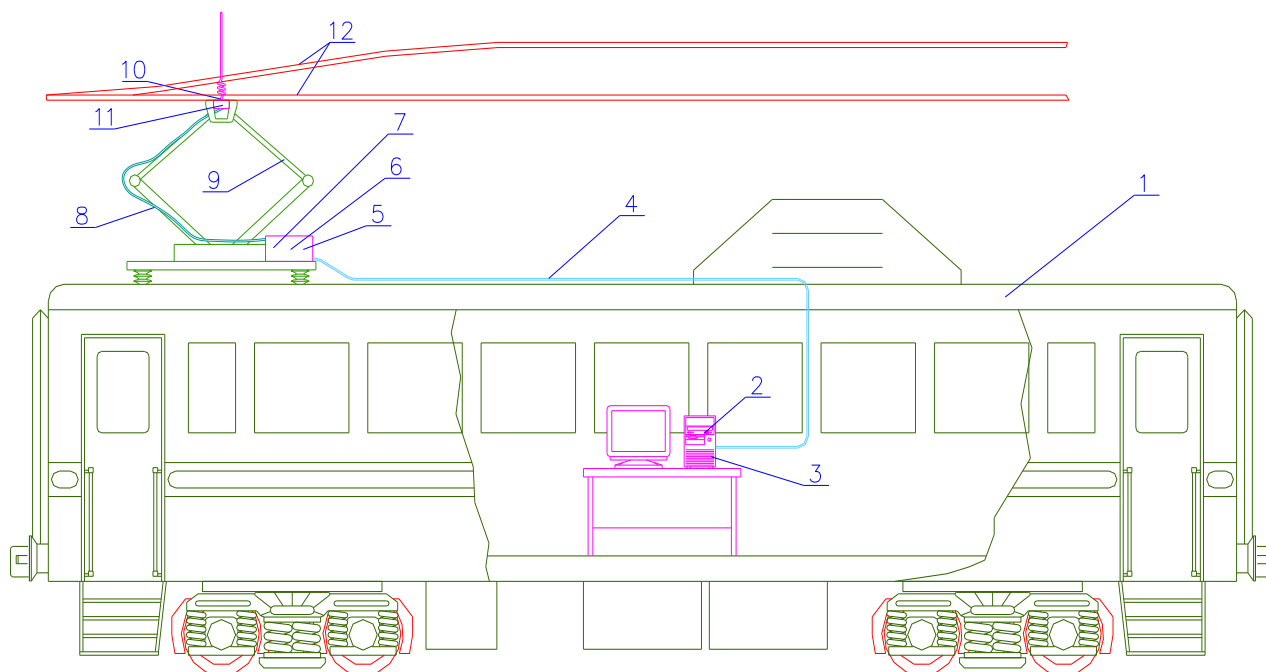


Рис. 1. Размещение оборудования в передвижной лаборатории

1 - передвижная лаборатория, 2 - ЭВМ, 3 - интерфейсная плата, 4 - волоконно-оптический

канал связи, 5 - аккумуляторный отсек, 6 - аккумулятор, 7 - ретранслятор, 8 - витая пара, 9 - измерительный пантограф, 10 - механизм подхвата контактного провода, 11 - плата сбора данных, 12 - контактный провод

Внешний вид измерительного пантографа в рабочем положении на крыше передвижной лаборатории приведен на рис. 2.





Рис. 2. Измерительный пантограф в рабочем положении

После оцифровки, поток сигналов поступает на ЭВМ, заносится в базу данных и обрабатывается. Получая данные от подсистем, автоматизированная система контроля износа контактного провода использует эти данные в дальнейшей обработке и выводе результатов. Вся информация в системе привязывается к пройденному расстоянию, используя данные от других систем контрольно-вычислительного комплекса диагностики состояния объектов путей сообщения. Результаты контроля отображаются в виде графиков, таблиц, диаграмм и т.д. Конечным этапом работы программного обеспечения является формирование отчёта по запросу пользователя, а также анализ информации от системы измерения износа контактного провода с последующей выдачей рекомендаций на проведение ремонтных работ.

Все данные объединяются в единой базе данных с привязкой к пройденному расстоянию и дате проведения измерений. Для разработки программного обеспечения использовалась среда разработки C++Builder 5.0 (рис. 3).

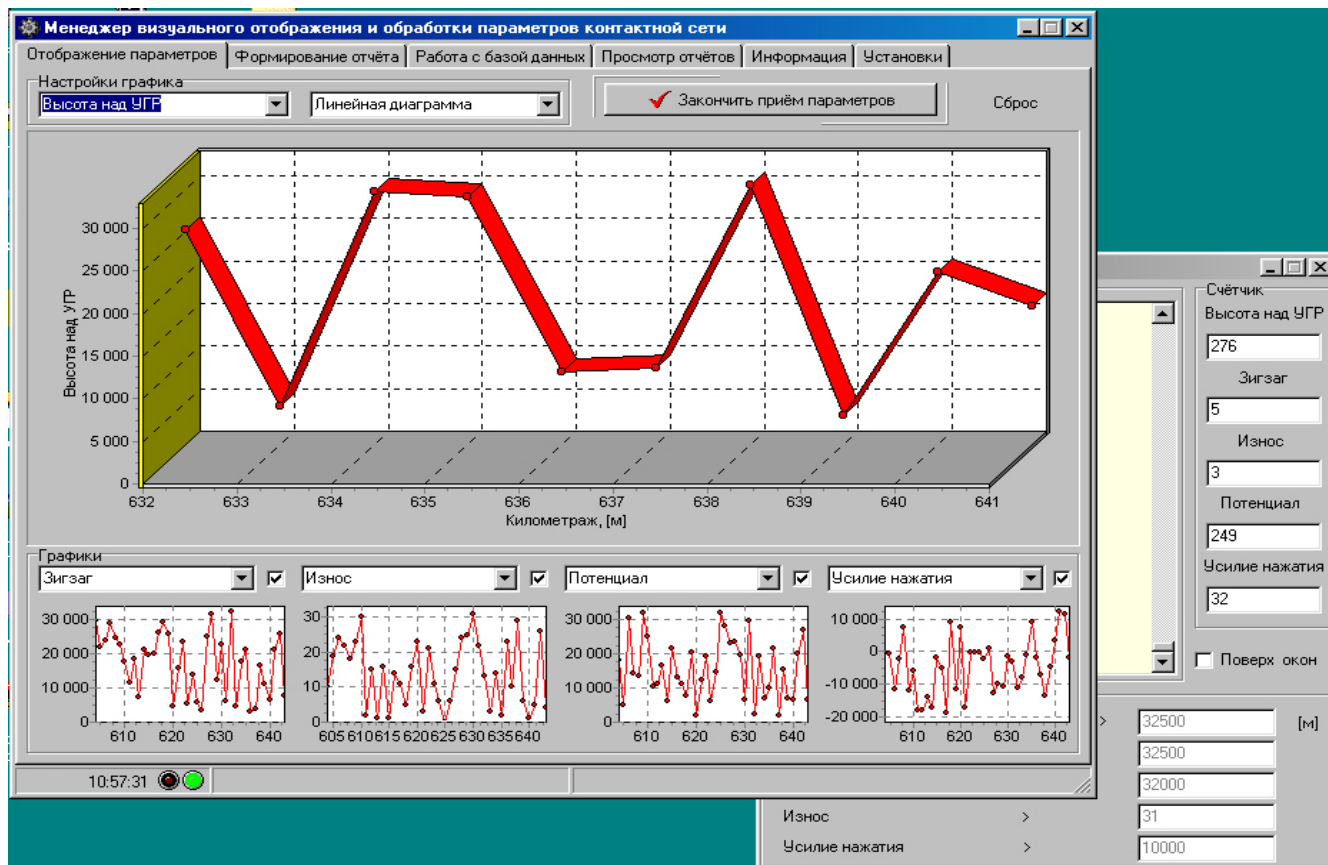


Рис. 3. Отображение параметров контроля

В начальный момент времени на каждом графике отображается по одному параметру. На вкладке располагаются пять диаграмм. Выбор параметра для отображения на основном графике происходит при помощи выпадающего меню.

Закладка «Формирование отчета» предназначена для формирования печати, просмотра отчёта по запросу пользователя.

Массив параметров для формирования отчётов передаётся из базы данных.

Закладка “Работа с базой данных” предназначена для удобного доступа к таблицам базы данных параметров. Содержит интерфейс стандартных запросов SQL, а так же predefined методов отбора данных.

При инициализации базы данных происходит формирование таблиц параметров в выпадающий список для удобного перемещения по ним.

Программный комплекс предоставляет возможность просмотра файлов отчётов в формате MSWORD, MSEXCEL.

История просмотра документов сохраняется в памяти.

Закладка “Установки” предназначена для ввода в соответствующие поля критических

значений, на которые будет реагировать программный комплекс; установки текущих параметров для графиков в закладке "Графическое представление параметров" таких, как число точек на оси абсцисс, параметр, активность.

Закладка «Монитор» предназначена для отображения и информирования пользователя о выходе измеряемых параметров за критические значения.

В этот файл записываются все значения на протяжении всего процесса приёма данных. Критическое значение выставляются во вкладке "Установки" в соответствующие поля, а могут быть установлены по умолчанию.

Основным направлением развития программного обеспечения системы является создание на базе полученных данных экспертных систем по обработке результатов и выдача рекомендаций по ремонту и профилактике контактной сети.

Разработанная автоматизированная вихретоковая система контроля износа контактного провода прошла апробацию в рамках натурных испытаний. Высоковольтные испытания при напряжении 45 кВ (испытано аппаратом АИИ-70) токоприемное устройство с оптико-волоконной развязкой выдержало и было признано пригодным к дальнейшей эксплуатации.

Были проведены рабочие испытания аппаратуры вихретоковой системы контроля параметров контактной сети. Испытания проводились в статическом режиме с поднятым токоприемником при рабочем напряжении контактной сети 27,5 кВ и на участке при снятом напряжении. В динамическом режиме испытания проводились на скоростях от 10 до 70 км/час, путем шестикратных проходов по участку. Достоверность полученных результатов контролировалась по данным измерения зигзага системой технического зрения, установленной в лаборатории; по данным измерения износа по факту изменения площади сечения контактного провода в трех точках, предварительно определенных ручными измерениями с лейтера. Испытания показали, что разработанная система обеспечивает измерение этих параметров в динамическом режиме с погрешностью не более 10 %.

Результаты контроля, полученные с помощью данной системы, позволят своевременно производить замену изношенного контактного провода, определять расход нового провода на замену изношенного и по данным измерения удельного износа провода осуществлять сравнение этих показателей с нормативами и данными других районов, дистанций и дорог, для разработки рациональных мер по увеличению срока службы провода, предупреждению обрывов провода при уменьшении его сечения своевременным снижением натяжения и вставками в зонах местных износов, планирование замены изношенного контактного провода.

Список литературы

1. «Транспорт России». Информационно-статистический бюллетень (январь-декабрь 2011 года). М.: Министерство транспорта РФ, 2012. Режим доступа: http://mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=17907 (дата обращения 01.12.2013).
2. Сборник правил и инструкций по эксплуатации электрифицированных железных дорог. М.: ЗАО «Энергосервис», 2001. 672 с.
3. Марквардт К.Г. Контактная сеть. М.: Трансжелдориздат, 1994. 360 с.
4. Власов И.И. Контактная сеть. М.: Трансжелдориздат, 1951. 388 с.
5. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. Т. 2. В 2 кн. / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2003. 688 с.
6. Шумейко В.А. Устройство для измерения износа контактного провода: пат. 2009052 РФ. 1994.
7. Герасимов В.П., Пешин А.В. Устройство для замера и регистрации износа контактного провода: пат. 2000225 РФ. 1996.
8. Тарасюк-Васильев Л.В. Измеритель износа контактного провода: а.с. 1476111 СССР. 1985.
9. Воронин А.В., Сиротинин В.И., Шевяков С.М., Федоров Ю.И. Лазерная быстродействующая система диагностики контактного провода «Износ» // Наука и транспорт. 2012. № 3. Режим доступа: http://www.rostransport.com/science_transport/pdf/3/52-53.pdf (дата обращения 01.12.2013).
10. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 384 с.
11. Запускалов В.Г., Маслов А.И., Арбузов Е.В., Петренко Е.О., Мушкаров А.С. Мобильный комплекс для контроля динамических параметров контактного провода электрифицированной железнодорожной магистрали // Контроль. Диагностика. 2002. № 7. С. 16-18.
12. Арбузов Е.В., Егiazарян А.В., Запускалов В.Г., Петренко Е.О., Редькин В.И., Семисалов В.И., Старшова Е.И. Устройство для контроля износа и зигзага контактного провода электрической сети железнодорожного транспорта: пат. 2155678 РФ. 2000.
13. Арбузов Е.В., Мушкаров А.С., Петренко Е.О., Семисалов В.И., Старшова Е.И., Запускалов В.Г. Информационно-измерительная система для контроля износа и зигзага контактного провода // Тезисы 15-ой Российской научно-технической конференции «Неразрушающий контроль и диагностика» в рамках Всемирного электротехнического конгресса ВЭЛК-99. М.: РОНКТД, 1999. С. 193.
14. Петренко Е.О., Сидоров Д.П. Система сбора и предварительной обработки информации измерительного пантографа // Тезисы 6-й Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы технических измерений». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. С. 105.

Automated control system for the contact wire's wear

01, January 2014

DOI: 10.7463/0114.0676398

Arbuzov E.V., Petrenko E.O.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

eva_412@mail.ru

During the exploitation of railway roads it's necessary to automate condition monitoring of the overhead system. Beside other parameters, it's important to check the contact wire's wear. Precision, sensitivity and performance efficiency of existent technical solutions are limited. The purpose of this work was a development of automated control system for the contact wire's wear. Operational circumstances require noncontact measurements. Proposed system is based on a use of electro-magnetic (eddy current) method of non-destructive control. The width of contact area between a wire and a pantograph collector was selected as an information-bearing parameter. This system includes a matrix eddy current sensor which consists of 30 eddy current transducers, placed at the pantograph collector, high-frequency generators and signal processing system. Obtained measurement data are transferred to the mobile laboratory's computer through a fiber-optic carrier line. Further processing and database creation allows one to monitor the condition of a contact wire constantly.

Publications with keywords: [nondestructive control](#), [electromagnetic method](#), [eddy current transducer](#), [measuring and information system](#), [contact wire](#)

Publications with words: [nondestructive control](#), [electromagnetic method](#), [eddy current transducer](#), [measuring and information system](#), [contact wire](#)

References

1. "Transport Rossii". *Informatsionno-statisticheskiy byulleten' (yanvar'-dekabr' 2011 goda)* ["Transport of Russia". Information-statistical Bulletin (January-December 2011)]. Moscow, Publ. of Ministry of transport of the Russian Federation, 2012. Available at: http://mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=17907, accessed 01.12.2013. (in Russian)
2. *Sbornik pravil i instruktsiy po ekspluatatsii elektrifitsirovannykh zheleznnykh dorog* [Rulebook and instructions on the operation of electrified railways]. Moscow, Publ. of CJSC "Energoservis", 2001. 672 p. (in Russian)

3. Markvardt K.G. *Kontaktnaya set'* [Contact network]. Moscow, Transzheldorizdat, 1994. 360 p. (in Russian)
4. Vlasov I.I. *Kontaktnaya set'* [Contact network]. Moscow, Transzheldorizdat, 1951. 388p. (in Russian)
5. Klyuev V.V., ed. *Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik. V 7 t. T. 2* [Nondestructive testing: Handbook. In 7 vols. Vol. 2]. Moscow, Mashinostroenie, 2003. 688 p. (in Russian)
6. Shumeyko V.A. *Ustroystvo dlya izmereniya iznosa kontaktnogo provoda* [Device for measuring wear of trolley wire]. Patent RF, no. 2009052. 1994. (in Russian)
7. Gerasimov V.P., Peshin A.V. *Ustroystvo dlya zamera i registratsii iznosa kontaktnogo provoda* [Device for measuring and registration of trolley wire wear]. Patent RF, no. 2000225. 1996. (in Russian)
8. Tarasyuk-Vasil'ev L.V. *Izmeritel' iznosa kontaktnogo provoda* [Trolley wire wear measuring device]. Author's certificate USSR, no. 1476111. 1985. (in Russian)
9. Voronin A.V., Sirotinin V.I., Shevyakov S.M., Fedorov Yu.I. Lazernaya bystrodeystvuyushchaya sistema diagnostiki kontaktnogo provoda "Iznos" [Laser high-speed system of diagnostics of trolley wire "Depreciation"]. *Nauka i transport*, 2012, no. 3. Available at: http://www.rotransport.com/science_transport/pdf/3/52-53.pdf, accessed 01.12.2013. (in Russian)
10. Vorotnikov S.A. *Informatsionnye ustroystva robototekhnicheskikh system* [Information devices of robotic systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005. 384 p. (in Russian)
11. Zapuskalov V.G., Maslov A.I., Arbuzov E.V., Petrenko E.O., Mushkarov A.S. Mobil'nyy kompleks dlya kontrolya dinamicheskikh parametrov kontaktnogo provoda elektrifitsirovannoy zheleznodorozhnoy magistrali [Mobile complex for control of dynamic parameters of trolley wire of electrified railway]. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics]. 2002. № 7. S. 16-18. (in Russian)
12. Arbuzov E.V., Egiazaryan A.V., Zapuskalov V.G., Petrenko E.O., Red'kin V.I., Semisalov V.I., Starshova E.I. *Ustroystvo dlya kontrolya iznosa i zigzaga kontaktnogo provoda elektricheskoy seti zheleznodorozhnogo transporta* [Device for control of wear and zigzag of trolley wire of electric network of railway transport]. Patent RF, no. 2155678. 2000. (in Russian)
13. Arbuzov E.V., Mushkarov A.S., Petrenko E.O., Semisalov V.I., Starshova E.I., Zapuskalov V.G. Informatsionno-izmeritel'naya sistema dlya kontrolya iznosa i zigzaga kontaktnogo provoda [Information-measuring system for control of wear and zigzag of trolley wire]. *Tezisy 15-oy Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika" v ramkakh Vsemirnogo elektrotekhnicheskogo kongressa VELK-99* [Abstracts of the 15th Russian scientific-technical conference "Non-Destructive Testing and Diagnostics" in the framework of the World Congress of electrical VELK-99]. Moscow, Publ. of RONKTD, 1999, p. 193. (in Russian)
14. Petrenko E.O., Sidorov D.P. Sistema sbora i predvaritel'noy obrabotki informatsii izmeritel'nogo pantografa [System of collection and preliminary processing of information of the measuring pantograph]. *Tezisy 6-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sostoyanie i problemy tekhnicheskikh izmereniy"* [Abstracts of the 6-th Russian scientific and technical conference "State and problems of technical measurements"]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1999, p. 105. (in Russian)