IMPROVING MONITORING AND DIAGNOSTICS OF WEAR OF CONTACT WIRE OF ELECTRIFIED RAILWAYS

Yakubov M.S.[1], Norjigitov S.A.[1], Karimov I.A.[1], Mukhtorov U.B. [1]
[1]-Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

Abstract. The article presents information that facilitates monitoring and diagnosing wear of contact wires in traction electrified railways. Classifications of the causes of damage and the corresponding types of wear of the contact wire are given. A method is proposed for calculating wire wear by the measured width of the worn surface or height from the base line, which are entered into a mobile phone, which contains a program for calculating wear as a percentage, during maintenance of the contact system. An algorithm for calculating wear is given.

Key words: amount, contact wire, electroerosion, mechanical erosion, abrasive erosion, bearing cable.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ИЗНОСА КОНТАКТНОГО ПРОВОДА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДОРОГ

Якубов М.С.[1], Норжигитов С.А. [1], Каримов И.А. [1], Мухторов У.Б. [1]
[1]-Ташкентский Государственный Транспортный Университет (Ташкент, Узбекистан)

Аннотация. В статье представлена информация, облегчающая мониторинг и диагностирование износа контактных проводов в тяговой электрифицированной железной дороге. Приведены классификации причин повреждения и соответствующих типов износа контактного провода. Предложен метод расчета износа провода по измеряемой ширине изношенной поверхности или высоте от базовой линии, которые вводятся в мобильный телефон, в который заложена программа расчета износа в процентах, при техническом обслуживании контактной системы. Приведен алгоритм расчета износа.

Ключевые слова: износ, контактный провод, электроэррозия, механическая эрозия, абразивная эрозия, несущий трос.

Контактная сеть в системе тягового электроснабжения относится к числу наиболее повреждаемых объектов. Проведенные эксплуатационные обследования по АО “O`zbekiston temir yo`llari” показали, что интенсивность отказов в контактной сети от общего числа отказов за последние пять лет (2016-2021 гг.) составляет 8,7%. Следует отметить, что хотя количество отказов по контактной сети в целом снизилось, но их сравнительный уровень сохраняется на стабильном уровне.

Совокупность конструктивных показателей (токоприёмника, контактной подвески, пути, скорости ЭПС), физических свойств контактного провода(твёрдость, плотность, электрическое сопротивление, теплоёмкость) [7] а также условия окружающей среды (температура, влажность, запыленность, скорость движения воздуха) являющимся основными факторами, влияющими на износ контактного провода[3][6].

Выход из строя устройств контактной сети обусловлен несовершенством конструкции элементов и деталей, ошибками при его сборке и эксплуатации (40-50%), износом их частей (10-20%). Это можно объяснить недостаточным или полным отсутствием общеупотребительных средств технической диагностики состояния контактных подвесок.[1]

Вопрос обеспечения надежной работы устройств контактной сети – изучить причины и последствия повреждений, внешние и внутренние режимы, определение критериев оценки их технического состояния, разработка методов и средств контроля и диагностики носит приоритетный характер и их решение составляет актуальность данной статьи . Износ контактного провода может быть постепенным, непрерывным или мгновенным. Например,

если на контактный провод воздействует электрический износ и тепло, провод может расплавиться. Механический или электроэрозионный износ поверхности поперечного сечения проволоки приводит к ее удлинению, а усадка в определенной степени может зависеть также от нагрузки и внешних сил. В результате термодеструкции и растяжения контактного провода он может оборваться. Постепенная термодеструкция создает в проводе удлиненную «шейку» [8]. Наиболее изученные причины износа контактного провода приведены на рис 1.

Рис 1. Классификация причин износа контактных проводов

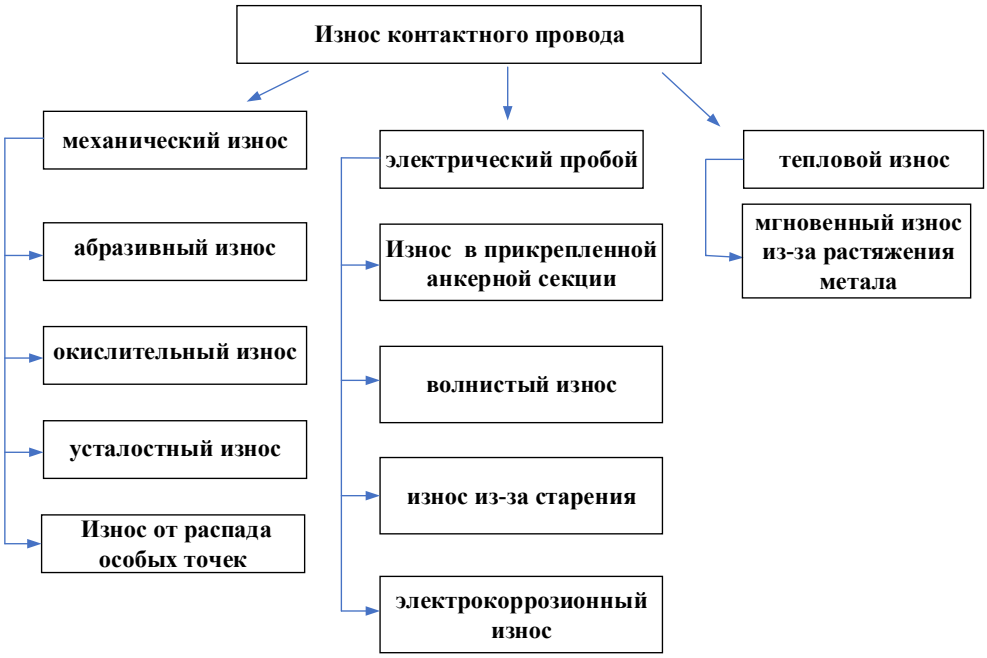

Рис. 2 Классификация типов износа контактного провода.

Наиболее распространенным методом измерения износа является измерение провода по высоте базовой линии оставшейся части контактного провода и ширине изношенной площадки трения, являющиеся известными при разработке устройств в процессе мониторинга и технической диагностики

С увеличением скорости электроподвижного состава (ЭПС) износ контактного провода может имеет характер уменьшения.[4] Это явление обьясняется повышением сопротивления металла деформированию. Известно, что плотность распределения износа провода особенно на анкерном участке вдоль провода изменяется по формуле Вейбулла.

$$S_{\text{изн}}(x) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{x - x_o}{\eta}\right)^{\beta-1} * exp\left[-\left(\frac{x - x_o}{\eta}\right)^{\beta}\right], \quad (1)$$

где, x-текущее значение длина провода ; x_o -минимальное начальное значение ; $\beta > 0$ -параметр формы, $\eta > 0$ – параметр масштаба.

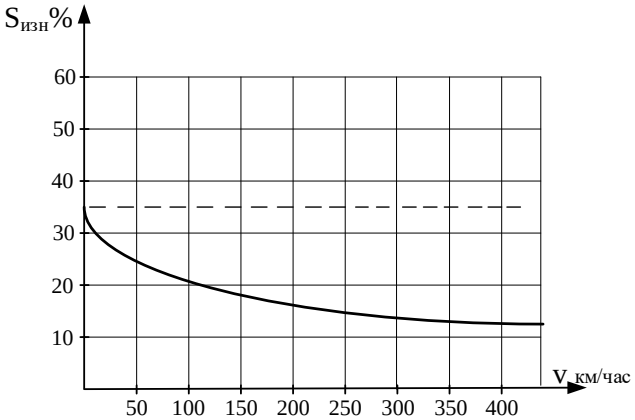

Рис 3. График износа контактного провода на анкерной участке от скорости ЭПС

А интенсивность отказа следствии износа определяется как:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{x - x_o}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

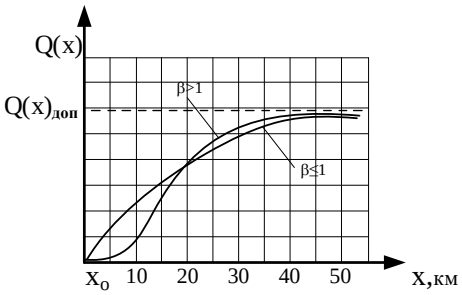

Рис 4. Кривая изменения плотности распределения износа контактного провода в переделах анкерного участка

Часто износ контактного провода измеряют инструментами с рукояткой (штангенциркулем, диапазон измерения 150 мм, микрометром, с точностью 0,01 мм, и т.п.) и автоматизированным устройством. Измеренные параметры контактного провода пропорциональны износу (высота сечения **h**, ширина трущейся поверхности **a**) и передаются в для расчета $S_{изм}$ в компьютерные программы или с помощью таблица номограмм [2], [4]. Далее процесс контроля и диагностики износа при осуществлении технической обслуживании контактных проводов осуществляется в технической службе. Поверхность поперечного сечения контактного провода имеет сложную форму. (Рис.5). Обычно контактный провод заменяют при износе 30% нижней и полной поверхности поперечного сечения провода. Если нижний радиус кривизны R=6,5 мм, то изначальная площадь поперечного сечения контактного провода МФ-100 равна 100мм^2.

Участок изношенного поперечного сечения контактного провода представляет сегмент, площадь которого можно определить следующими выражениями (рис 5.)

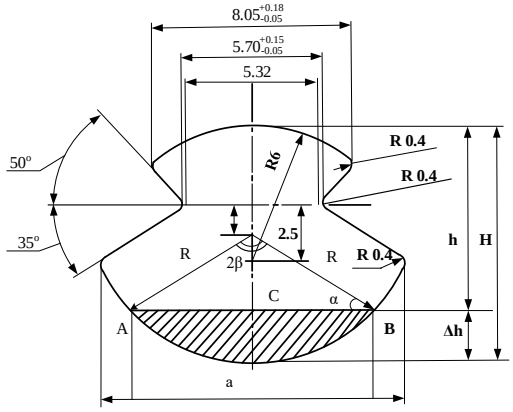

Рис 5. Поперечное сечение контактного провода МФ-100

Из рис 5 известны:

$$2 * \frac{a}{R} = 2sin\alpha;\ \ \alpha = arcsin\frac{a}{R};\ \beta = 2\alpha = 2arcsin\frac{a}{R}; \tag{3}$$

Рассчитаем поверхность сектора, учитывая следующую пропорцию:

$$\pi R^2 \leftrightarrow 360^o$$

$$S_{sektor} \leftrightarrow 2\ arcsin\frac{a}{R} \tag{4}$$

Следовательно:

$$S_{sektor} = \frac{2\pi R^2 arcsin\frac{a}{R}}{360^o} \tag{5}$$

Изношенную поверхность поперечного сечения контактного провода определяем следующим образом:

$$S_{segment} = S_{sekt} - S_{AB} = S_{sekt} - a\sqrt{R^2 - a^2} = \frac{2\pi R^2 arcsin\frac{a}{R}}{360^o} - a\sqrt{R^2 - a^2} \tag{6}$$

Подставляя измеренную ширину а также исходное параметры контактного провода определяем его износа:

$$S_{segment} = \frac{2 * 3.14 * 6.25^2 arcsin\frac{1.5}{6.5}}{360^o} - 1.5\sqrt{6.5^2 - 1.5^2} = 0.35mm^2 \tag{7}$$

Для определения износа в процентах составляем пропорцию:

$$100\text{mm}^2 \leftrightarrow 100\%$$

$$0.35\text{mm}^2 \leftrightarrow x\%$$

$$x = \frac{0.35*100\%}{100} = 0.35\% \tag{8}$$

Так как процент износа больше 0,25%, необходимо заменить контактный провод.

Если поверхность поперечного сечения медной жилы типа МФ контактной сети электрифицированной железной дороги размыта на 25 %, необходимо заменить эту деталь.

В большинстве случаев для определения износа высоту контактного провода измеряют штангенциркулем. (Рис 5). Задавая номинальной геометрические размеры провода: площадь поперечного сечения S=100мм^2; А= 5,5 мм; Н =14,5 мм; S=3,2 мм; если R=7,88 мм и измеренная высота h=10 мм после износа определенной части, следует ли менять эту часть контактного провода?

Согласно рис.5, изношенную часть контактной проволоки, можно определить измерением оставшейся высоты h следующим образом:

$$\Delta h = H - h \tag{9}$$

из ΔОВС

$$\alpha = arcsin\frac{R - \Delta h}{R};$$

$$\Delta COB\beta = 90^o - arcsin\frac{R-\Delta h}{R} \quad (10)$$

Поверхность сектора AOBFA, соответствующего углу 2β, определяется пропорцией следующим образом:

$$360^o \leftrightarrow \pi R^2$$
$$2\beta \leftrightarrow S_{sekt}$$

Следовательно:

$$S_{sek} = \frac{2\beta\pi R^2}{360^o} \quad (11)$$

От поверхности этого сектора вычитаем площадь поверхности треугольника $S_{\Delta OAB}$ в результате можно вычислить поверхность изношенной части:

$$S_{\Delta OAB} = (R - \Delta h)*\sqrt{2R\Delta h^2 - \Delta h^2} \quad (12)$$

Износ поперечного сегмента ACBF определяется следующим образом:

$$S_{segACBF} = \frac{2\beta\pi R^2}{360^o} - (R - \Delta h)*\sqrt{2R\Delta h - \Delta h^2} = \pi R^2 \cdot \frac{90^o - arcsin\frac{R-\Delta h}{R}}{180^o} - (R - \Delta h)\sqrt{2R\Delta h - \Delta h^2} \quad (13)$$

Приведем числовой пример расчета.

Геометрические параметры контактного провода МФ-100: S=100 мм^2; R=7,88 мм; Высота измерена со штангой $\Delta h = H - h = 14.5 - 11 = 3{,}5$ мм. Поверхность износа контактного провода находим следующим образом:

$$S_{ad} = 3.14 * 7.88^2 * \frac{90^o - arcsin\frac{7.88-3.5}{7.88}}{180^o} - (7.88 - 3.5)\sqrt{2 * 7.88 * 3.5 - 3.5^2} = 32.25\text{мм}^2 \quad (14)$$

Изношенная поверхность определяется следующим образом:

$$S_{adll} = \frac{32.25}{100} * 100\% = 32.25\% \quad (15)$$

Расчетная часть изношенная контактного провода выше допустимого, следовательно эту часть необходимо заменить.

На рис 7 приведен алгоритм [4] расчета износа контактного провода, ориентированного на мобильный телефон типа iPhone.

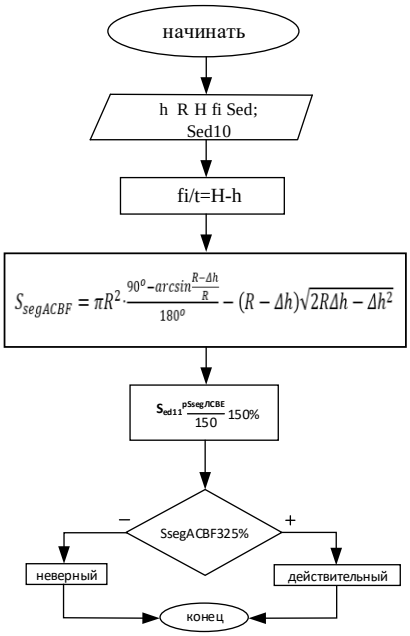

Рис 7. Алгоритм расчета износа контактного провода.

Заключение. Приведена математическая модель для определения степени износа контактного провода, который является основным элементом контактной системы электрифицированного железнодорожного электроснабжения. Измерение износа контактная провода определяют по результатам оставшейся высоты после износа контактного провода или ширины изношенной части сектора поперечного сечения. В настоящее время персонал технического контроля определяет износ применением номограммы или таблицы объемом 4-5-страниц.

Предложенный метод обеспечивает быстрое и удобное определение степени износа контактного провода и как следствие, обеспечивает большую техника экономическую эффективность вследствие при использовании современных методов и средств при проведении в процессах контроля мониторинга и диагностики.

Разработана программа, созданная на языке ANDROID, позволяющая использовать мобильные телефоны типа «iPhone», «Samsung», «Mi» и на основе модифицированных электронных калькуляторов.

Использованная литература

1. Ефимов А. В., Галкин А.Г. Надёжность и диагностика систем электроснабжения железных дорог. Москва: 2000-512с.
2. Садиров О.А., Филиппов В.М., Ступаков С.А. Исследование электромеханического изнашивания контактной пары устройств токосъема. // Трение и износ. – Томск, 2015, Том 36. №5 – ст.390-394
3. Ступаков С.А., Садиров О.А., Филиппов В.М. Моделирование электромеханического изнашивания контактной пары устройств токосъема электрического транспорта. // Трение и смазка в машинах и механизмах. -М: “Машиностроение” 2012. №4. – с 23-30.
4. Amirov S.F., Yakubov M.S., Karimov I.A., “Kontakt tarmog'idagi kontakt simining kesim yuzasini va massasini yemirilishining dasturiy ta'minoti” № DGU 19391
5. Правила содержания контактной сети электрифицируемых железных дорог. / МПС СССР. М.: Транспорт, 1978. - 92 с.
6. Коновалов, В. Железные контактные провода / В. Коновалов // Железнодорожное дело. 1991. - № 6. - с.61-62.
7. Gat, M. Effect of temperature on the erosion of metals / M. Gat, W. Tabakov, T. Wakeman // Thin Solid Films. 1979. - V.64, №2. - P.219 - 220.
8. Eyre, T. S. Surface aspects of unlabricated metal-to metal wear / T.S. Eyre, D. Maynard// Wear.- 1971.-V. 18, № 4.-P.301 310.

References

1. Efimov A.V., Galkin A.G. Reliability and diagnostics of railway power supply systems. Moscow: 2000- 512p.
2. Sadirov O.A., Filippov V.M., Stupakov S.A. Study of electromechanical wear of a contact pair of current collection devices. // Friction and wear. – Tomsk, 2015, Volume 36. No. 5 –390-394p.
3. Stupakov S.A., Sadirov O.A., Filippov V.M. Modeling of electromechanical wear of a contact pair of current collection devices of electric transport. // Friction and lubrication in machines and mechanisms. -M: “Mechanical Engineering” 2012. No. 4. –23-30 p.
4. Amirov S.F., Yakubov M.S., Karimov I.A., "Software for decomposing the cross-sectional surface and mass of the contact wire in the contact network" No. DGU 19391
5. Rules for maintaining the contact network of electrified railways. / Ministry of Railways of the USSR. M.: Transport, 1978. - 92 p.
6. Konovalov, V. Iron contact wires / V. Konovalov // Railway business. 1991. - No. 6. - p.61-62.

7. Gat, M. Effect of temperature on the erosion of metals / M. Gat, W. Tabakov, T. Wakeman // Thin Solid Films. 1979. - V.64, №2. -p.219 - 220.
8. Eyre, T. S. Surface aspects of unlabricated metal-to metal wear / T.S. Eyre, D. Maynard// Wear.- 1971.-V. 18, № 4.-p.301 310.

Информатсия о авторах

Сведения об авторах / Informatsion about the autors

Якубов Миржалил Сагатович - кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение», Ташкентский Государственный Транспортный Университет. E-mail: yakubov1026@gmail.com

Норжигитов Сайфиддин Абдухакимович - старший преподаватель, кафедры «Электроснабжение», Ташкентский Государственный Транспортный Университет. E-mail: sayfiddinnorjigitov@gmail.com

Каримов Ислом Азим угли – ассистент кафедры «Электроснабжение», Ташкентский Государственный Транспортный Университет. E-mail: nauka.islom@gamil.com

Мухторов Усмонжон Бако угли - ассистент кафедры «Электроснабжение», Ташкентский Государственный Транспортный Университет. E-mail: usmonmuxtorov999@gmail.com

Yakubov Mirjalil - candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Electricity Supply, Tashkent State Transport University. Email: yakubov1026@gmail.com

Norjigitov Sayfiddin - senior lecturer, Department of Electricity Supply, Tashkent State Transport University. Email: sayfiddinnorjigitov@gmail.com

Karimov Islom– assistant at the Department of Electricity, Tashkent State Transport University. Email: nauka.islom@gamil.com

Mukhtorov Usmonjon- assistant at the Department of Electricity, Tashkent State Transport University. Email: usmonmuxtorov999@gmail.com