



## NUMERICAL STUDIES ON THE CALCULATION OF RELIABILITY AND DURABILITY INDICATORS BASED ON THE RESULTS OF DIAGNOSTICS OF THE VL-80s ELECTRIC LOCOMOTIVE

Khromova Galina Alekseevna<sup>1</sup>  
Radjibaev Davran Oktambaevich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>doctor tech. sciences, professor,

<sup>2</sup>doctor (of. Sc) tech. sciences, associate professor, of the Department of "Electric rolling stock", State Transport University, Uzbekistan, Tashkent  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14228103>

### ARTICLE INFO

Received: 22<sup>th</sup> November 2024  
Accepted: 26<sup>th</sup> November 2024  
Online: 27<sup>th</sup> November 2024

### KEYWORDS

Traction electric rolling stock, electric locomotive, electric locomotive wheel pair, diagnostics, reliability, durability, reliability indicator assessment methods, instrumental testing of parts, non-destructive testing of equipment, algorithm, program.

### ABSTRACT

*The article presents a numerical calculation of the reliability indicators of the traction electric rolling stock equipment based on the diagnostic results; the numerical studies were performed in the MathCAD 15 programming environment. As a result, a methodology for assessing the reliability indicators of the electric locomotive wheel pair is proposed based on information on instrumental and non-destructive testing.*

## ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАСЧЁТУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ-80с

Хромова Галина Алексеевна<sup>1</sup>

Раджибаев Давран Октамбаевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доктор технических наук, профессор,

<sup>2</sup>доктор технических наук, доцент, кафедра "Электрический подвижной состав" Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14228103>

### ARTICLE INFO

Received: 22<sup>th</sup> November 2024  
Accepted: 26<sup>th</sup> November 2024  
Online: 27<sup>th</sup> November 2024

### KEYWORDS

Тяговый электроподвижной состав, электровоз, колесная пара электровоза, диагностика, надежность, долговечность, методы

### ABSTRACT

*В статье представлен численный расчет показателей надежности оборудования тягового электроподвижного состава на основе результатов диагностики; численные исследования выполнены в среде программирования MATHCAD 15. В результате предложена методика оценки показателей надежности колесной пары электровоза на основе информации об инструментальных и неразрушающих испытаниях.*



*оценки показателей  
надежности,  
инструментальные  
испытания деталей,  
неразрушающий контроль  
оборудования, алгоритм,  
программа.*

Одним из важнейших направлений повышения безопасности движения и экономической эффективности работы локомотивного хозяйства является дальнейшее развитие системы неразрушающего контроля ответственных узлов и деталей электроподвижного состава и, в первую очередь, ходовых частей, состояние которых напрямую связано с безопасностью движения [1,2,3]. Поэтому методы и технологии неразрушающего контроля деталей тягового электроподвижного состава, их анализ и исследование является актуальной задачей для железнодорожного транспорта.

По данной тематике осуществлены и ведутся исследования ведущими учёными во всем мире, такими как С.А. Brebbia (Wessex Institute of Technology, UK), G.M. Carlomagno (University of Naples di Napoli, Italy), A. Varvani-Farahani (Ryerson University, Canada), S.K. Chakrabarti (USA), S.Hernandez (University of La Coruna, Spain), S.-H. Nishida (Saga University, Japan), в странах СНГ над поставленными вопросами работали авторитетные научные школы и крупные ученые МИИТа, ПГУПС, МАИ, ВНИИЖТа, ОАО «ВНИКТИ», ОАО «РЖД» и др. [2,3,4]. Значительный вклад в решение многих сложных задач и проверку теоретических выводов, связанных с расчетом показателей долговечности и определению ресурса деталей и узлов подвижного состава внесли Российский Научно-исследовательский Институт железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС) и Российский Научно-исследовательский Институт Вагоностроения (НИИВ), которые наряду с теоретическими исследованиями проводили большое количество экспериментальных исследований, как стендовых, так и натуральных.

Данная статья посвящена численному расчету показателей надежности оборудования тягового электроподвижного состава по результатам диагностирования, численные исследования выполнены в среде программирования MathCAD 15.

Контролируемый параметр изнашиваемой детали является непрерывной случайной величиной, законы распределения которой могут быть представлены плотностью распределения. Построение гистограммы распределения контролируемого параметра рассмотрено в монографии [5].

Методика и алгоритм определения соответствия выборок контролируемых параметров предполагаемым законам распределения была разработана и описана в работах [6,7].

Чтобы проверить соответствие выборки предполагаемому теоретическому закону распределения можно воспользоваться одним из известных критериев, например, критерием согласия Пирсона. Он позволяет определить вероятность того,

что за счет случайных причин мера расхождения теоретического и статистического распределений будет больше, чем фактически наблюдаемая [3].

Выборки контролируемых параметров изнашиваемых деталей соответствуют нормальному закону распределения. Плотность распределения для данного закона

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1)$$

где  $m_x$  - математическое ожидание величины контролируемого параметра;  $\sigma_x$  - среднеквадратическое отклонение величины контролируемого параметра;  $x$  - текущее значение величины контролируемого параметра.

При нормальном законе распределения на случайную величину, накладываются следующие связи  $\sum_{j=1}^k P_j^* = 1$  - сумма частот по всем интервалам равна 1 ( $k$  - количество интервалов);  $m_x = m_x^*$ ;  $D_x = D_x^*$  - параметры статистического и теоретического распределений.

Поскольку числовые характеристики нормального закона распределения могут быть выражены через математическое ожидание и дисперсию случайной величины, вычисляются соответствующие им оценки: среднее значение  $m_x^*$

$$m_x^* = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

и оценка дисперсии (среднеквадратического отклонения  $\sigma_x^*$ )

$$\sigma_x^* = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N ((x_i - m_x^*))^2}, \quad (3)$$

где  $N$  - объем выборки контролируемого параметра;

$x_i$  - значение контролируемого параметра.

Функции плотности распределения величин толщины бандажей и толщины зуба большого зубчатого колеса (БЗК), колесных пар при фиксированных наработках электровоза серии ВЛ-80с в локомотиворемонтном депо Узбекистан представлены на рисунках 1 и 2.

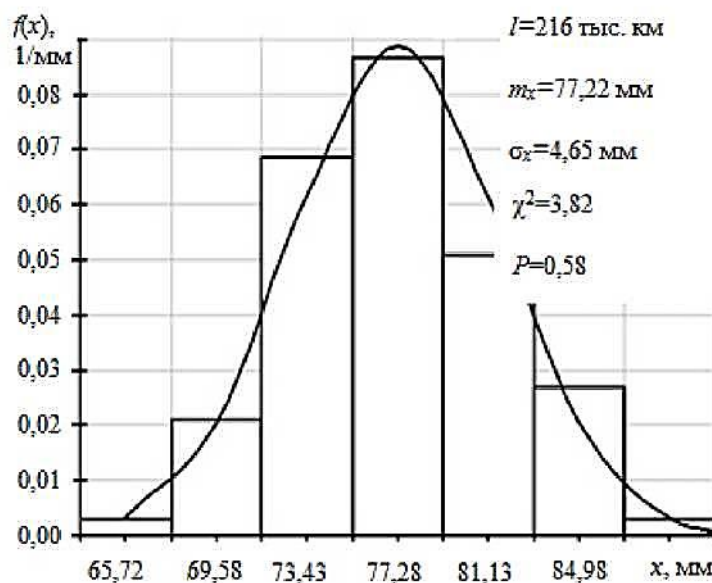


Рисунок 1. Распределение толщины бандажей колесных пар для электровоза ВЛ-80с (по данным локомотиворемонтного депо Узбекистан)

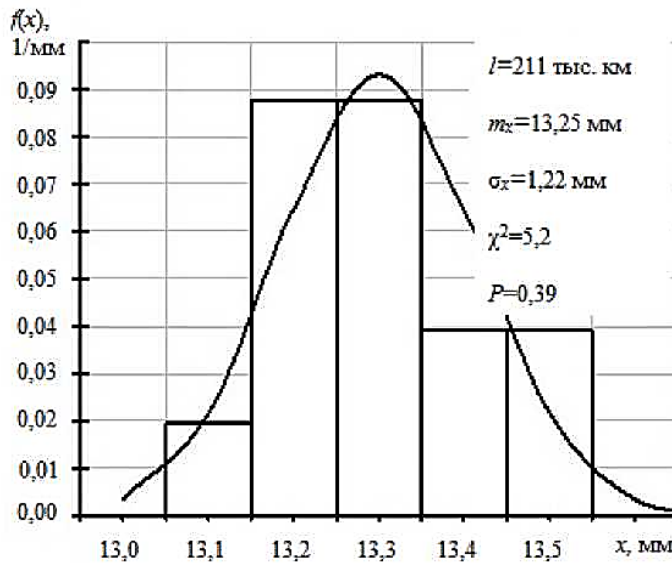


Рисунок 2. Распределение толщины зуба шестерни большого зубчатого колеса (БЗК) колесных пар для электровоза ВЛ-80с (по данным локомотиворемонтного депо Узбекистан)

Значения числовых характеристик закона распределения контролируемого параметра дают возможность прогнозировать их изменения при наибольших наработках, что в свою очередь определяет ресурс, а для этого находятся аналитические зависимости средних значений  $m_x$  и среднеквадратических отклонений  $\sigma_x$  от пробега.

Аналитическую зависимость можно представить в виде некоторой нелинейной функции  $y = f(a_1, a_2, \dots, a_s, \ell_i)$  одного аргумента  $\ell_i$  в выражение которой входит  $S$  параметров  $a_1, a_2, \dots, a_s$ . С помощью этой функции необходимо аппроксимировать эмпирическую регрессию, заданную в виде  $n$  точек  $(\ell_i, y_i)$  при  $i = 1, 2, \dots, n$ , где под  $y$  понимается один из параметров рассматриваемого закона распределения.

Результаты численного расчета коэффициентов уравнений эмпирической регрессии в среде программирования Mathcad 15 с применением методов аппроксимации и сплайновой интерполяции.

Результаты численного расчета коэффициентов уравнений эмпирической регрессии

Таблица 1.

Контролируемый параметр	Коэффициенты зависимостей				$X_{доп}, мм$
	$m_x(\ell)$		$\sigma_x(\ell)$		
	$a, мм/тыс. км$	$b, мм$	$a, мм/тыс. км$	$b, мм$	
Толщина бандажа	-0,0859	96,8304	0,02321	1,5595	45
Величина износа зуба шестерни БЗК	0.0101	0,010	1,3700	0,2740	3



Уравнение регрессии для зависимости от пробега среднего значения выработки зуба большого зубчатого колеса (БЗК) тягового редуктора в этом случае примет вид

$$m_x(\ell) = 0,0002398 * l + 0,2516718, \text{ коэффициент корреляции } r = 0,948.$$

Уравнение регрессии для зависимости от пробега среднеквадратического отклонения износа зуба шестерни большого зубчатого колеса тягового редуктора в этом случае примет вид

$$\sigma_x(\ell) = 0,0000171 * x + 0,2582241, \text{ коэффициент корреляции } r = 0,195.$$

Так как коэффициент корреляции достаточно мал, он был проверен на значимость отличия от 0. Установлено, что на уровне значимости 0,05 он статистически не отличается от 0, поэтому зависимость  $\sigma_x(\ell)$  можно считать постоянной.

### References:

1. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учеб. пособие: в 2 т./ И.П. Киселёв и др.; под ред. И.П. Киселёва.-М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. Т.2.-372 с.
2. Spiryagin, M. & Cole C. & Sun, Y.Q. & McClanachan, M. & Spiryagin, V. & McSweeney, T. Design and Simulation of Rail Vehicles. Ground Vehicle Engineering series. 2014. CRC Press. - 337 p.
3. Wang, K. & Huang, C. & Zhai, W. & Liu, P. & Wang, S. Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation. Journal of Traffic and Transportation Engineering. Vol. 1. No. 3. 2014. P. 209-220.
4. Оганьян Э. С., Волохов Г. М. Расчеты и испытания на прочность несущих конструкций локомотивов: учеб. пособие. - М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013.-326 с.
5. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А., Разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения. Монография. – Т.: «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи», 2020. – 192 с.
6. Khromova G., Radjibaev D. Mathematical model and algorithm for calculating the durability indicators of electric locomotive bogie elements. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2022.- Volume 9, Issue 10, Pages: 19901-19907.
7. Radjibayev D., Khromova G., Sobirov N., Algorithm and methodology for evaluating realibility indicators of a large gear wheel of a traction gearbox for electric locomotive. // Eurasian Journal of Academic Research, 2023, Volume 3, Issue 2, Part 2, February 2023, pp.113-118.