



9. El-Mowafy A (2014b) GNSS multi-frequency receiver single-satellite measurement validation method. GPS Solutions 18: 553. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0352-6>.
10. Global positioning system wide area augmentation system (WAAS) performance standard (2008). Appendix B, 1st Edition.
11. Hakansson M, Jensen ABO, Horemuz M, and Hedling G (2017) Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning. GPS Solutions 21:849–860. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0572-7>.
12. Hilla S, and Cline M (2004) Evaluating pseudorange multipath effects at stations in the National CORS Network. GPS Solutions 7:253–267. <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0073-3>.
13. Montenbruck O, Steigenberger P and Hauschild A (2015) Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective. GPS Solutions 19:321–333. <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0390-8>.
14. Rizos C. Trends in GPS Technology & Applications [Electronic Resource]. <https://www.researchgate.net/publication/267254924>.
15. Walter T, Enge P, Reddan P (2004) Modernizing WAAS. Presented at the International Symposium on GNSS/GPS, December, 2004, Sydney, Australia [Electronic resource]. Stanford, 2004. URL: http://web.stanford.edu/group/scpnt/gpslab/pubs/papers/Walter_IONGNSS_2004.pdf

Информация об авторах

Демьянов Владислав Владимирович - д. т. н., доцент, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sword1971@yandex.ru

Имарова Ольга Борисовна – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: imarova2010@mail.ru

Authors

Dem'yanov Vladislav Vladimirovich – Doctor of Engineering Science, Assoc. Prof., Prof., the Subdepartment of Automation, Telemechanics and Communication, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sword1971@yandex.ru

Imarova Olga Borisovna – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: imarova2010@mail.ru

Для цитирования

Демьянов В. В. Тенденции развития технологий GNSS и направлений их применения на транспорте / В. В. Демьянов, О. Б. Имарова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 58 № 2. - С. 82–90. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).82-90.

For citation

Dem'yanov V. V., Imarova O. B. Tendentsii razvitiya tekhnologii GNSS i napravlenii ikh primeneniya na transporte [Trends in the development of GNSS technologies and directions of their application in transport]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).109-90.

УДК 629.421.1

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).90-97

А. П. Буйносов, Д. В. Волков, И. В. Умылин

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Дата поступления: 11 апреля 2018 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ РАЗНОСТИ В ДИАМЕТРАХ БАНДАЖЕЙ НА ОДНОЙ КОЛЕСНОЙ ПАРЕ МОТОРНОГО ВАГОНА ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

Аннотация. Приведена разработанная методика определения в эксплуатации предельной разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторных вагонов электропоездов серий ЭД, ЭР и ЭТ депо Нижний Тагил и Пермь-2. Показано, что значение предельной разности в диаметрах может значительно различаться и зависит от реальных условий эксплуатации. Неравенство в диаметрах кругов катания как на одной колесной паре, так и на всех колесных парах под единицей железнодорожного подвижного состава оказывает существенное влияние на их перекос относительно оси рельсовой колеи. Тележка становится «шаловой». В большинстве случаев причиной усиленного износа гребневой части бандажей является проскальзывание колесных пар в результате их всползания и (или) соскальзывания относительно рельса. Процесс всползания и соскальзывания неизбежно влечет за собой интенсивный износ гребневой части поверхности катания колесных пар моторвагонного подвижного состава и рельсов. В большинстве моторвагонных депо, выполняющих ремонт электропоездов, разность в диаметрах колес одной колесной пары моторного вагона оценивают по толщине их бандажей, что неверно. Для одной колесной пары различие в диаметрах бандажей моторного вагона электропоезда не нормируется. По разработанной методике можно выполнить расчет предельной в эксплуатации разности в диаметрах колес на одной колесной паре и для других типов ПС (пассажирские и грузовые вагоны, МВПС, дрезины и др.) и серий железнодорожного подвижного состава. Необходимо контролировать величину разности диаметров бандажей и не допускать выхода за установленную предельную величину.

Ключевые слова: электропоезд, моторный вагон, колесная пара, бандаж, диаметр, предельная разность, определение.



A. P. Buynosov, D. V. Volkov, I. V. Umylin

Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, the Russian Federation

Received: April 11, 2018

DEFINITION OF THE LIMITING DIFFERENCE IN THE DIAMETERS OF TYRES FOR ONE WHEEL PAIR OF THE ELECTRIC TRAIN MOTOR CAR

Abstract. The article provides the developed definition technique in operation of a limit difference in the diameters of tyres at one wheel pair of motor cars of electric trains of the ED, ER and ET series of Nizhny Tagil and Perm-2 depots. It is shown that the value of a limit difference in the diameters can differ considerably and depends on real operating conditions. Inequality in the diameters of tape lines both in one wheel pair and in all wheel pairs under a rolling stock unit has significant effect on their distortion concerning an axis of a rail gage. The bogey becomes «destabilized». In most cases, the reason of the intensive wear of the ridged part of the tyres is slipping of wheel pairs as a result of their creeping and (or) sliding concerning a rail. Process of creeping and sliding inevitably involve intensive wear of the tape line of wheel pairs of the multiple unit trains and rails. In most multiple unit depots that repair electric trains, the difference in the diameters of wheels of one wheel pair of the motor car is evaluated by thickness of their tyres, which is incorrect. For one wheel pair, the difference in diameters of the tyres of the motor car of an electric train isn't standardized. Using the developed technique, it is possible to calculate a limit difference in operation in the diameters of wheels in one wheel pair and for other types of rolling stock (passenger and freight cars, multiple unit trains, railway handcars, etc.) and series of the rolling stock. It is necessary to control the size of a difference of diameter of tyres and not to allow going above the established limiting value.

Keywords: electric train, car, motor, wheel pair, tyre, diameter, difference, limiting, definition.

Введение

Ощутимых результатов по снижению интенсивного износа гребней бандажей моторвагонного подвижного состава (МВПС) и рельсов можно добиться при поддержании параметров колесных пар в допустимых пределах [1].

На основании измерений авторами параметров 1400 колесных пар в моторвагонном депо Пермь-2 Свердловской дирекции МВПС (ТЧПРИГ-2 СВРД) в 2015–2017 гг. установлено, что 76,3 % колесных пар моторных вагонов электропоездов ЭД4М направляется в ремонт из-за наличия дефектов (в процентном отношении): предельный износ гребня (45,12 %); различные диаметры бандажей на одной колесной паре (25,46 %); ползун (15,37 %); ослабление (проворот) бандажа на ободе колесного центра (6,27 %); наплыв на наружную грань (4,94 %); вертикальный подрез гребня (0,82 %) и др. (рис. 1).

Ресурс колесных пар главным образом зависит от состояния гребневой части поверхности катания. Износ гребня регламентирует глубину резания при обточке колесных пар: при увеличении износа гребневой части возникает необходимость снимать большее количество стружки с поверхности катания колеса. При равномерном гребне и начичии проката, соответственно, отсутствует необходимость снимать большое количество стружки по кругу катания [2].

В большинстве случаев причиной усиленно-го износа гребневой части бандажей является про-скальзывание колесных пар в результате их впол-зания и (или) соскальзывания относительно рель-

са. Процесс вползания и соскальзывания неизбежно влечет за собой интенсивный износ гребневой части поверхности катания колесных пар моторвагонного подвижного состава и рельсов.

Неравенство в диаметрах кругов катания как на одной колесной паре, так и на всех колесных парах под единицей железнодорожного подвижного состава оказывает существенное влияние на их перекос относительно оси рельсовой колеи. Тележка становится «шалльной» [3]. При увеличении скорости движения тяговое и тормозное усилие по колесным парам моторных вагонов распределяется неравномерно. Например, в режиме тяги колесная пара с меньшим диаметром бандажей может приобретать вплоть до отрицательных значений силы тяги. То есть колесная пара моторного вагона может перейти в режим, препятствующий движению (торможению или юзу). Соответственно нагрузка, на колесную пару большего диаметра существенно превышает расчетную, что естественно сказывается на ее долговечности и надежности в целом при эксплуатации электропоездов.

Становится ясно, что в режиме тяги колеса, имеющие больший диаметр, имеют более интенсивное скольжение, чем колеса с меньшим диаметром. При торможении – наоборот. Поэтому в эксплуатации разность в диаметрах колес даже одной колесной пары постоянно изменяется, а значит, изменяется и скорость нарастания износа гребневых частей двух колес одной колесной пары.

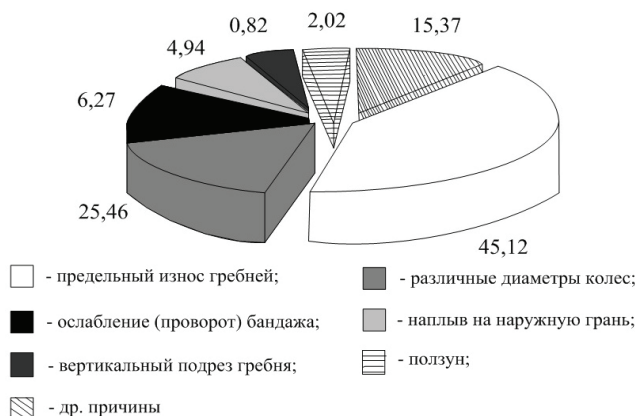


Рис. 1. Распределение дефектов колесных пар электропоездов ЭД4М, %

Общие положения. Постановка задачи исследования

В большинстве моторвагонных депо, выполняющих ремонт электропоездов, разность в диаметрах колес одной колесной пары моторного вагона оценивают по толщине их бандажей. Если разницы в толщине бандажей нет, говорят, что и разности диаметров на одной колесной паре нет. Это неверно, так как, согласно п. 2.3 приложения 5 к инструкции ЦТ/4351 [4], различие в диаметрах центров у одной колесной пары при смене бандажей у моторного вагона электропоезда допускается равным 4 мм, а согласно п. 2.4 приложения 5 к инструкции ЦТ/4351, отклонение диаметра обода от чертежного размера допускается на +3 и –6 мм. А так как бандаж жестко садится на колесный центр, диаметры колес на одной колесной паре могут различаться на величину до 9–12 мм при одинаковой толщине бандажей.

Для одной колесной пары различие в диаметрах бандажей моторного вагона электропоезда не нормируется, а разность в диаметрах между колесными парами электропоезда нормируется: на одной тележке (две колесные пары) моторного вагона – 8 мм, на колесных парах разных тележек моторного вагона (четыре колесные пары) – 15 мм. И если толщины бандажей или двух, или четырех колесных пар моторного вагона электропоезда при измерении толщиномером И372.01 оказались одинаковыми – в депо говорят, что разности в их диаметрах не существует.

Начальная разница в диаметрах бандажей определялась как

$$\Delta D_0 = |(d_{\text{пр.}} + D_{\text{кц.пр.}}) - (D_{\text{кц.л.}} + d_{\text{л.}})|, \quad (1)$$

где $d_{\text{пр.}}$ и $d_{\text{л.}}$ – толщина двух бандажей одной колесной пары (правый и левый); $D_{\text{кц.пр.}}$ и $D_{\text{кц.л.}}$ – диаметры колесных центров одной колесной пары (правый и левый), взятые из паспорта на колесную пару.

Механическая часть МВПС имеет различную конструкцию, у электропоездов различных серий различные типы тележек, различные диаметры колесных парих номинальных размеры [5]. Кроме того, МВПС обращаются на различных полигонах железных дорог Российской Федерации, в различных климатических условиях, при различном состоянии пути и скоростях движения. А значит и предельная разность в диаметрах колес даже на одной колесной паре должна не только нормироваться, но и соответствовать реальным условиям эксплуатации, типу и виду МВПС.

Определение предельной в эксплуатации разности в диаметрах двух колес

Для определения предельной в эксплуатации разности в диаметрах двух колес на одной колесной паре основным, предельным фактором является износ гребневой части бандажей. Для оценки взаимосвязи между износом гребневой части колесной пары и разностью в диаметрах колес (бандажей) одной колесной пары, в процессе эксплуатации, в течение 2 лет (с 2016 по 2017 г.) в моторвагонных депо Пермь-2 (ТЧПРИГ-2) и Нижний Тагил (ТЧПРИГ-11) на электропоездах серий ЭД2Т, ЭД4М, ЭД4МК, ЭР2Т и ЭТ2 выполнялось измерение двух контролируемых параметров – толщина гребня и бандажа. Причем бандажи колесных пар имели различную конфигурацию профиля поверхности катания по ГОСТ 11018-2011 (рис. 6) [6] и ДМеТИ типа ЛР с уменьшенной нормативной толщиной гребня до 30 мм.

Для установления зависимости интенсивности износа гребневой части от пробега [7] для различных величин в разности диаметров на колесах (бандажах) ΔD , полученные статистические данные были разделены на группы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Результаты расчета интенсивности износа гребневой части бандажа колесных пар моторных вагонов электропоездов ЭД4М при различной разнице их диаметров

Номер группы	Количество исходных данных, N	Разность в диаметрах бандажей на одной колесной паре, ΔD , мм	Интенсивность износа гребневой части a , мм/10 ⁴ км
1	258	0	0,140
2	255	0,5	0,189
3	144	1,0	0,243
4	215	1,5	0,286
5	218	2,0	0,331
6	215	2,5	0,400
7	210	3,0	0,651
8	140	4,0	0,802
9	55	5,0	0,959
10	31	6,0	1,100

Если после обточки колесных пар разность в диаметрах колес была равна нулю и в процессе эксплуатации $\Delta D = 0$, то значение износа (изменение толщины гребневой части бандажа y) при значениях наработки (пробега) L , статистические данные были отнесены к первой группе [8]. Статистические данные y были сведены в ту или иную группу, в зависимости от изменения разности в диаметрах колес (разница между начальным ΔD_0 и фактическим значениями) в процессе эксплуатации электропоездов. Всего было сформировано 10 групп при изменении ΔD от 0 до 6 мм.

Построение зависимостей в виде полей корреляций для каждой из групп y от пробега [9], их анализ показали, что рассматриваемые регрессии при фиксированном значении в ΔD могут быть аппроксимированы линеаризованными функциями вида $y_i = a_i \cdot L + v$ (y_i – значение уменьшения толщины гребневой части при значении ΔD , v – начальное значение износа гребневой части для каждого ΔD). Расчеты были выполнены по методике [2]. Значения угловых коэффициентов a_i – интенсивность (скорость нарастания) износа гребневой части профиля бандажа колесной пары [10]. Результаты расчета интенсивности износа гребневой части при различной разнице в диаметрах бандажей одной колесной пары моторных вагонов электропоездов ЭД4М моторвагонного депо Нижний Тагил сведены в табл. 1. Колесные пары имели конфигурацию профиля поверхности катания по ГОСТ 11018-2011 [6]. Аналогичные расчеты были выполнены и для других депо и серий электропоездов.

Можно сказать, что функция интенсивности износа a гребневой части бандажей описывает по сути два линеаризованных отрезка, каждый из которых соответствует одному из характерных периодов – нормального эксплуатационного и аварийного износа колесных пар:

$$\begin{cases} a_1(\Delta D) = A_1 \cdot \Delta D + B_1, & \Delta D \leq \Delta D_1 \\ a_2(\Delta D) = A_2 \cdot (\Delta D - \Delta D_1) + B_2, & \Delta D_1 \leq \Delta D \end{cases} \quad (2)$$

В выражения $a(\Delta D)$ входят пять коэффициентов $A_1, A_2, \Delta D_1, B_1, B_2$, их определяют по экспериментальной зависимости $a'(\Delta D)$. Часть этих коэффициентов излишние, это продиктовано условием континуума функции $a(\Delta D)$, полученные равенства должны быть граничны $a_1(\Delta D) = a_2(\Delta D)$, тогда $B_2 = A_1 \cdot \Delta D_1 + B_1$.

Функцию $a(\Delta D)$ запишем как

$$\begin{cases} a_1(\Delta D) = A_1 \cdot \Delta D + B_1, \\ a_2(\Delta D) = A_2 \cdot (\Delta D - \Delta D_1) + A_1 \cdot \Delta D_1 + B_1, \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta D \leq \Delta D_1 \\ \Delta D_1 \leq \Delta D \end{cases} \quad (3)$$

Можно выделить только четыре постоянных коэффициента $A_1, A_2, B_1, \Delta D_1$, которые используются в системе уравнений (3) к их определению и сводится аппроксимация, т. е. замена экспериментальной зависимости $a'(\Delta D)$ теоретической $a(\Delta D)$. Эта задача будет актуальна в том случае, если интенсивности износа гребневой части бандажа, определенные по функциям $a'(\Delta D)$ и $a(\Delta D)$, будут иметь близкое значение друг к другу, т. е. отвечать требованиям одного из базисных методов регрессионного анализа (метода наименьших квадратов) [11].

Целесообразной функцией аппроксимации является выражение:

$$Z = \sum_{i=1}^n [a(\Delta D_i) a_i^2] \Rightarrow \min. \quad (4)$$

Однако аппроксимация интенсивности износа гребневой части колесных пар заключается в кусочно-линейной аппроксимации экспериментальной функции $a'(\Delta D)$, заданной n точками с координатами $(\Delta D_i, a_i)$. С учетом (3) функция (4) примет вид:

$$Z = \sum_{\Delta D_i \leq \Delta D_1} [A_1 \cdot \Delta D_i + B_1 - a_i]^2 + \sum_{\Delta D_i > \Delta D_1} [A_2 \cdot (\Delta D_i - \Delta D_1) + A_1 \cdot \Delta D_1 + B_1 + a_i]^2 \Rightarrow \min. \quad (5)$$

Функция (5) зависит от четырех параметров $A_1, A_2, B_1, \Delta D_1$, тем не менее, учитывая, что ΔD_1



приближена к граничным значениям линеаризованных отрезков функции $a'(\Delta D)$, можно утверждать, что область применения ограничена набором $\Delta D_1, \Delta D_2, \dots, \Delta D_n$, поэтому для понижения порядка системы неизвестных данных фиксируем значение ΔD_1 и определяем локальный минимум целевой функции Z . Затем повторяем решение при другом значении ΔD_1 , выбрав то, которое обеспечивает глобальный минимум целевой функции Z . Следовательно, при фиксированном значении ΔD_1 минимизируется функция трех аргументов A_1, A_2 и B_1 . При решении этой задачи был использован метод «скорейшего спуска» [12, 13].

Вычисления были сведены к построению последовательной группы $A_{1,k}, A_{2,k}, B_{1,k}$, где $k = 2, 3$ и так далее, исходя из групп чисел $A_{1,1}, A_{2,1}, B_{1,1}$, которые представляют произвольную совокупность данных, по возможности близкую к какому-либо из решений уравнения (6).

Расчеты выполняем по формулам:

$$\begin{aligned} A_{1,k+1} &= A_{1,k} - \lambda_k \cdot \frac{\partial Z(A_{1,k}; A_{2,k}; B_{1,k})}{\partial A_1}, \\ A_{2,k+1} &= A_{2,k} - \lambda_k \cdot \frac{\partial Z(A_{1,k}; A_{2,k}; B_{1,k})}{\partial A_2}, \\ B_{1,k+1} &= B_{1,k} - \lambda_k \cdot \frac{\partial Z(A_{1,k}; A_{2,k}; B_{1,k})}{\partial B_1}. \end{aligned} \quad (6)$$

где λ_k – масштабирующий коэффициент, определяемый по методу Ньютона.

$$\lambda_k = \frac{Z(A_{1,k}; A_{2,k}; B_{1,k})}{\left[\frac{\partial Z(A_{1,k}; A_{2,k}; B_{1,k})}{\partial A_1} \right]^2 + \left[\frac{\partial Z(A_{1,k}; A_{2,k}; B_{1,k})}{\partial A_2} \right]^2 + \left[\frac{\partial Z(A_{1,k}; A_{2,k}; B_{1,k})}{\partial B_1} \right]^2}. \quad (7)$$

Частные производные функции (6) по параметрам A_1, A_2 и B_1 вычислялись по следующим уравнениям:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial A_1} &= 2 \sum_{\Delta D_i \leq \Delta D_1} [A_1 \cdot \Delta D_i + B_1 - a_i] \cdot \Delta D_i + 2 \sum_{\Delta D_1 < \Delta D_i} [A_2 \cdot (\Delta D_i - \Delta D_1) + A_1 \cdot \Delta D_1 + B_1 + a_i] \cdot \Delta D_1, \\ \frac{\partial Z}{\partial A_2} &= 2 \sum_{\Delta D_1 < \Delta D_i} [A_2 \cdot (\Delta D_i - \Delta D_1) + A_1 \cdot \Delta D_1 + B_1 - a_i] \cdot (\Delta D_i - \Delta D_1), \\ \frac{\partial Z}{\partial B_1} &= 2 \sum_{\Delta D_i \leq \Delta D_1} [A_1 \cdot \Delta D_i + B_1 - a_i] + 2 \sum_{\Delta D_1 < \Delta D_i} [A_2 \cdot (\Delta D_i - \Delta D_1) + A_1 \cdot \Delta D_1 + B_1 + a_i]. \end{aligned} \quad (8)$$

Далее, для всех серий электропоездов в рассматриваемых депо при различной конфигурации профиля поверхности катания были построены зависимости $a'(\Delta D)$.

Результаты расчета параметров зависимости интенсивности износа гребневой части от разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторного вагона электропоезда ЭД4М моторвагонного депо Нижний Тагил (конфигурация профиля колеса по ГОСТ 11018–2011) приведены в табл. 2, а на рис. 2 представлена в виде отрезков прямых интенсивности износа гребневой части $a'(\Delta D)$. Для другого депо и других серий электропоездов полученные зависимости интенсивности износа гребневой части колесных пар моторных вагонов от разности в диаметрах бандажей носят однородный характер.

Как видно из рис. 2, зависимость $a(\Delta D)$ имеет перелом в точке, соответствующей $\Delta D = 1,8$ мм. Это значение является предельным в эксплуатации. После $\Delta D_{пр}$ интенсивность износа гребневой части бандажей резко возрастает. Если при $\Delta D = 0$ мм, интенсивность износа (a) составляет $0,14$ мм/10⁴ км, то при $\Delta D = 6$ мм $a = 1,1$ мм/10⁴ км, т. е. увеличивается в 7,8 раза. Результаты расчета предельной в эксплуатации разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре $\Delta D_{пр}$ для депо и серий моторных вагонов электропоездов сведены в табл. 3.

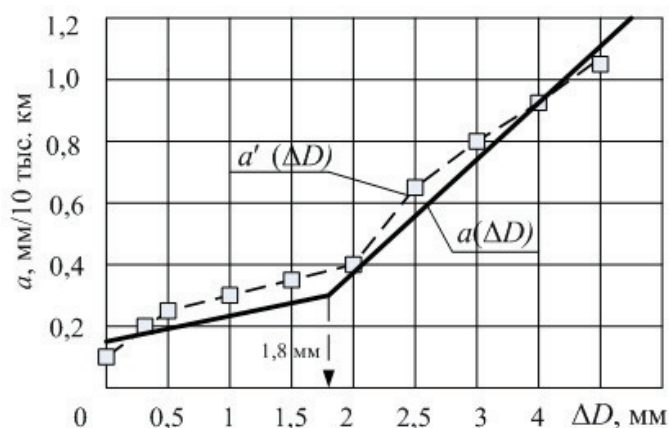


Рис. 2. Зависимость интенсивности износа гребневой части от разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторных вагонов электропоездов ЭД4М

Таблица 2

Результаты расчета зависимости интенсивности износа гребневой части от разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторных вагонов электропоездов ЭД4М в моторвагонном депо Нижний Тагил

Значение разности диаметров, ΔD_1 , мм	Коэффициенты линейных функций $a(\Delta D)$			Целевая функция Z , мм/104 км
	A_1 , 1/104 км	A_2 , 1/104 км	B_1 , 1/104 км	
1,5	0,072	0,146	0,150	7,066
1,6	0,065	0,153	0,150	2,890
1,7	0,085	0,136	0,140	7,719
1,8	0,061	0,162	0,160	1,990
1,9	0,085	0,150	0,130	4,621
2,0	0,060	0,169	0,160	3,634
2,1	0,061	0,170	0,150	1,382
2,2	0,072	0,161	0,140	2,346
2,3	0,065	0,153	0,150	3,144
2,4	0,072	0,143	0,140	2,789
2,5	0,062	0,163	0,160	4,596

Таблица 3

Результаты расчета предельной в эксплуатации разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре электропоездов

Моторвагонное депо	Серия электропоезда	Тип профиля	Предельная величина, $\Delta D_{пр.}$, мм
Нижний Тагил	ЭД4М	ГОСТ	1,80
	ЭТ2	ДМетИ	1,28
	ЭД2Т		2,92
Пермь-2	ЭР2Т	ГОСТ	1,70
	ЭД2Т	ДМетИ	1,38
	ЭД4М	ГОСТ	2,33
	ЭД4МК		2,05

Можно утверждать, что $\Delta D_{пр.} = 1,2; 1,3; 1,4; 1,7; 1,8; 2,0; 2,3$ и $2,9$ мм для соответствующих моторвагонных депо и серий электропоездов в эксплуатации являются предельными значениями разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре, так как при величине большей, чем $\Delta D_{пр.}$, интенсивность износа гребневой части бандажей

будет возрастать, что приведет к увеличению расходов на ремонт каждой колесной пары электропоездов ЭТ2, ЭТ2М, ЭД2Т, ЭД4М и ЭД4МК.

Кроме того, рекомендуется контролировать величину диаметра колесных пар электропоездов и оценивать разность в их диаметрах с помощью разработанного в УрГУПС переносного малогаба-



ритного электронного прибора ИД-03 [14], относительная погрешность которого не превышает 2 %. Программное обеспечение позволяет обрабатывать замеры, определять предельную разность как на одной колесной паре, так и между колесами единицы подвижного состава.

Заключение

Проведенное исследование о влиянии разности диаметров бандажей на одной колесной пары моторного вагона электропоезда на износ гребневой части бандажей, позволяет сделать ряд выводов.

1. При разности в диаметрах двух колес на одной колесной паре интенсивность износа гребневой части увеличивается.

2. По разработанной методике установлены предельные при эксплуатации электропоездов ЭТ2, ЭТ2М, ЭД2Т, ЭД4М и ЭД4МК значения разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре. Полученный результат свидетельствует о том, что не существует одного предельного значе-

ния разности в диаметрах колес на одной колесной паре для всех серий электропоездов и участков их обращения.

3. В процессе эксплуатации железнодорожного подвижного состава необходимо руководствоваться рассчитанными предельными значениями и не допускать увеличения разности диаметров свыше предельного – расчетного значения.

4. По разработанной методике можно выполнить расчет предельной в эксплуатации разности в диаметрах колес на одной колесной паре и для других типов ПС (пассажирские и грузовые вагоны, МВПС, дрезины и др.) и серий железнодорожного подвижного состава.

5. Необходимо контролировать значение диаметров колесных пар электропоездов, оценивать разность в их диаметрах с помощью разработанного в УрГУПС переносного малогабаритного электронного прибора ИД-03 и программного продукта УрГУПС «АРМ Депо».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буйносов А.П. Определение допустимой разности диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Транспорт Урала. 2009. № 4 (23). С. 53–54.
2. Буйносов А.П., Воробьев А.А. Анализ влияния разности диаметров колесных пар по кругу катания на экономическую реализацию их ресурса // Транспорт Урала. 2010. № 2 (25). С. 48–52.
3. Буйносов А.П. Влияние разности диаметров бандажей на их износ колесных пар тягового подвижного состава // Вестник УрГУПС. 2010. № 3 (7). С. 64–73.
4. Инструкция по формированию и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм: ЦТ/4351. М.: Транспорт, 1988. 88 с.
5. Буйносов А.П. Определение допустимой разности диаметров бандажей колесной пары электровозов // Вестник РГУПС. 2010. № 4. С. 25–34.
6. ГОСТ 11018-2011. Межгосударственный стандарт Российской Федерации. Колесные пары тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 26 с.
7. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Определение предельно допустимой разности диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава методом кусочно-линейной аппроксимации // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. 2011. № 3(103). С. 148–151.
8. Буйносов А.П., Воробьев А.А. Методика оценки влияния разности диаметров бандажей колесных пар на их износ // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 4. С. 38–43.
9. Popovici R.I. Friction in Wheel - Rail Contacts - Ph.D. Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands February, 2010.
10. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Вестник УрГУПС. 2012. № 2(14). С. 46–60.
11. Ushkalov V.F., Alexandrov A.I. The Creep Force Model for Different Conditions of Wheel-Rail Rolling Contact // Rail Transportation: Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers. – New York, 1989. pp. 189–196.
12. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения: монография. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
13. Буйносов А.П. Влияние шероховатости посадочных поверхностей на надежность соединения «бандаж–обод» и ресурс колесных пар тягового подвижного состава // Вестник УрГУПС. 2009. № 3-4. С. 77–86.
14. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля диаметра бандажей колесных пар электровозов на основе разработанного электронного прибора // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 179–187.

REFERENCES

1. Buinosov A.P. Opredelenie dopustimoi raznosti diametrov bandazhei kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava [Definition of an admissible difference of diameters of tyres of wheel pairs of traction rolling stock]. Transport Urala [Transport of the Urals], 2009, No. (23), pp. 53–54.
2. Buinosov A.P., Vorob'ev A.A. Analiz vliyaniya raznosti diametrov kolesnykh par po krugu kataniya na ekonomicheskuyu realizatsiyu ikh resursa [The analysis of influence of a difference of diameters of wheel pairs around the tape line on economic implementation of their resource]. Transport Urala [Transport of the Urals], 2010, No. 2 (25), pp. 48–52.



3. Buinosov A.P. Vliyanie raznosti diametrov bandazhei na ikh iznos kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava [Influence of a difference of diameters of tyres on their wear of wheel pairs of traction rolling stock]. Vestnik UrGUPS [Herald of the Ural State University of Railway Transport], 2010, No. 3 (7), pp. 64–73.

4. Instruktsiya po formirovaniyu i sodержaniyu kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 1520 mm: TsT/4351. [Instruction for formation and maintenance of wheel couples of traction rolling stock of the railroads of a track of 1520 mm: TsT/4351]. Moscow: Transport Publ., 1988, 88 p.

5. Buinosov A.P. Opredelenie dopustimoi raznosti diametrov bandazhei kolesnoi pary elektrovozov [Definition of an admissible difference of diameters of tyres of wheel pair of electric locomotives]. Vestnik RGUPS, 2010, No. 4, pp. 25–34.

6. GOST 11018–2011. Mezhsudarstvennyi standart Rossiiskoi Federatsii. Kolesnye pary tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Interstate standard of the Russian Federation. Wheel pairs of traction rolling stock of the railroads of a track of 1520 mm. General specifications]. Moscow: Standartinform Publ., 2012, 26 p.

7. Buinosov A.P., Tikhonov V.A. Opredelenie predel'no dopustimoi raznosti diametrov bandazhei kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava metodom kusочно-lineinoyi approksimatsii [Definition of a maximum permissible difference of diameters of bandages of wheel couples of traction rolling stock by method of piecewise and linear approximation]. Omskii nauchnyi vestnik. Seriya Pribory, mashiny i tekhnologii [The Journal Omsk Scientific Bulletin. Equipment, Mashines and Technologies], 2011, No. (103), pp. 148–151.

8. Buinosov A.P., Vorob'ev A.A. Metodika otsenki vliyaniya raznosti diametrov bandazhei kolesnykh par na ikh iznos [Technique of assessment of influence of a difference of diameters of tyres of wheel pairs on their wear]. Vestnik VNIIZhT [Vniizht Bulletin], 2010, No. 4, pp. 38–43.

9. Popovici R.I. Friction in Wheel - Rail Contacts. Ph.D. Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands February, 2010.

10. Buinosov A.P., Tikhonov V.A. Vybor profilya poverkhnosti kataniya bandazhei kolesnykh par elektrovozov VL11 [Choice of a profile of the tread of tyres of wheel pairs of electric locomotives of VL11]. Vestnik UrGUPS [Herald of the Ural State University of Railway Transport], 2012, No. 2(14), pp. 46–60.

11. Ushkalov V.F., Alexandrov A.I. The Creep Force Model for Different Conditions of Wheel-Rail Rolling Contact. Rail Transportation: Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers. New York, 1989, pp. 189–196.

12. Buinosov A.P. Osnovnye prichiny intensivnogo iznosa bandazhei kolesnykh par podvizhnogo sostava i metody ikh ustraneniya: monografiya [Main reasons for intensive wear of tyres of wheel pairs of rolling stock and methods of their elimination: monograph]. Ekaterinburg: UrGUPS Publ., 2009, 224 p.

13. Buinosov A.P. Vliyanie sherokhovatosti posadochnykh poverkhnostei na nadezhnost' soedineniya «bandazh-obod» i resurs kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava [Influence of roughness of seating surfaces on reliability of the tyre-and-rim coupling and resource of wheel pairs of traction rolling stock]. Vestnik UrGUPS [Herald of the Ural State University of Railway Transport], 2009, No. 3-4, pp. 77–86.

14. Buinosov A.P., Kislitsyn A.M. Buinosov A.P., Kislitsyn A.M. Izmeritel'naya sistema dlya kontrolya diametra bandazhei kolesnykh par elektrovozov na osnove razrabotannogo elektronnoho pribora [Measuring system for control of diameter of tyres of wheel pairs of electric locomotives on the basis of the developed electronic device]. Nauchnoe obozrenie [Science Review], 2012, No. 4, pp. 179–187.

Информация об авторах

Authors

Буйносов Александр Петрович - д. т. н., профессор, профессор кафедры «Электрическая тяга», Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, e-mail: ABuinosov@usurt.ru

Волков Денис Владимирович - к. т. н., доцент кафедры «Вагоны», Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, e-mail: DVolkov@usurt.ru

Умылин Илья Валериевич – аспирант кафедры «Электрическая тяга», Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, e-mail: uvil333@mail.ru

Buinosov Aleksandr Petrovich – Doctor of Engineering Science, Prof., the Subdepartment of Electric Traction, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: ABuinosov@usurt.ru

Volkov Denis Vladimirovich – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. of the Subdepartment of Wagons, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: DVolkov@usurt.ru

Umylin Il'ya Valerievich – Ph.D. student, the Subdepartment of Electric Traction, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: uvil333@mail.ru

Для цитирования

For citation

Буйносов А. П. Определение предельной разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторного вагона электропоезда / А. П. Буйносов, Д. В. Волков, И. В. Умылин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 58 № 2. – С. 90–97. – DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).90-97.

Buinosov A. P., Volkov D. V., Umylin I. V. Opredelenie predel'noi raznosti v diametrakh bandazhei na odnoi kolesnoi pare motornogo vagona elektropoezda [Definition of the limiting difference in the diameters of tyres for one wheel pair of the electric train motor car]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 90–97. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).90-97.



УДК 625.143.2, 620.18

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).98-106

М. Г. Штайгер¹, А. Е. Балановский², Н. Н. Иванчик², Б. О. Кузнецов³¹ ООО «УК «Мечел-Сталь»² Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация³ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 20 июня 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО И РЕНТГЕНОВСКОГО МИКРОАНАЛИЗА УЧАСТКОВ РЕЛЬСА КАТЕГОРИИ ДТ350

Аннотация. Для выявления несовершенства технологических процессов при выплавке рельсовой стали и последующем производстве рельсов в современных условиях недостаточно традиционных методов исследования. Цель данной статьи – продолжение уже начатых ранее работ по разработке новых методик и возможностей применения комбинации традиционных, стандартизированных методик анализа металлов и современных методов анализа материалов, таких как сканирующей электронной микроскопии (далее СЭМ), рентгеновского микроанализа, измерения амплитуды шумов Баркгаузена, остаточных напряжений для поиска дефектов, анализа структуры материала с целью улучшения технологии производства. Для проведения анализа использовался сканирующий электронный микроскоп JEOL JIB-Z4500, оснащенный приставкой для энергодисперсионного анализа, установка для определения остаточных напряжений и цифровой анализатор Rollscan 300 для измерения амплитуды шумов Баркгаузена, а также оптический микроскоп MET-2, отрезные и шлифовальные станки для подготовки образцов к металлографическим исследованиям. По изменениям магнитоупругого параметра в различных участках было определено наличие дефектов структуры и трещин в поверхностном слое образца. Исследование микроструктуры на металлографическом микроскопе MET-2 позволило установить фазы, из которых состоит образец, а исследование методами СЭМ – подтвердить это и точно измерить балл пластинчатого перлита. Также методика СЭМ и рентгеновского микроанализа помогла определить характер и состав неметаллических включений, показать распределение элементов по поверхности микрошлифа. Таким образом, комбинация традиционных металлографических, механических и новых методов исследований, которые дополняют и уточняют требования ГОСТ Р 51685-2013, может позволить проводить быстрые и точные анализы соответствия рельсовых сталей ГОСТам, а также позволит определять причины разрушения рельсов, несоответствия технологическим процессам.

Ключевые слова: рельс, рельсовая сталь, металлография, неметаллические включения, рентгеновский микроанализ, изображение в отраженных электронах.

М. G. Shtaiiger¹, A. E. Balanovskii², N. N. Ivanchik², B. O. Kuznetsov³¹ Mechel-Steel Management Company OOO² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation³ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: June 20, 2018

THE RESULTS OF THE METALLOGRAPHIC AND X-RAY MICROANALYSIS OF RAIL SECTIONS OF THE CATEGORY DT350

Abstract. To identify the imperfection of technological processes in the smelting of rail steel and the subsequent production of rails in modern conditions, traditional methods of research are not enough. The purpose of this article is to continue the works that have already been started on the development of new techniques and the possibilities of applying a combination of traditional, standardized metal analysis techniques and modern methods for analyzing materials such as scanning electron microscopy (SEM), X-ray microanalysis, measuring the Barkhausen noise amplitude, residual stresses for searching for defects, analyzing the structure of the material in order to improve the production technology. For the analysis, a scanning electron microscope JEOL JIB-Z4500, equipped with an add-on unit for energy-dispersive analysis, a residual stress determination device and a digital analyzer Rollscan 300 for measuring the amplitude of Barkhausen noise, as well as an optical microscope MET-2, cutting and grinding machines for preparation samples to metallographic studies. According to changes in the magnetoelastic parameter, defects of structure and cracks in the surface layer of the sample were determined in different regions. The study of the microstructure on the metallographic microscope MET-2 made it possible to establish the phases of which the sample is made. The SEM study allowed confirming this and accurately measuring the lamellar perlite score. Also, the SEM and X-ray microanalysis method helped to determine the nature and composition of non-metallic inclusions, to show the distribution of elements over the surface of microsections. Thus, the combination of traditional metallographic, mechanical and new research methods that complement and refine the requirements of GOST R 51685-2013, can allow fast and accurate analyzing of the conformity of rail steels to GOSTs, and also will allow determining the causes of rail failure and non-conformities to technological processes.

Keywords: rail, rail steel, metallography, non-metallic inclusions, x-ray microanalysis, component image.