

П. Є. МИХАЛЧЕНКО (ДІТ)

ПОРІВНЯННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРЕСОВОГО З'ЄДНАННЯ БУКСОВОГО ВУЗЛА, ВІДНОВЛЕНОГО РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

Викладено результати експлуатаційних досліджень з'єднання з гарантованим натягом буксового вузла рухомого складу залізниць, внутрішня поверхня внутрішніх кілець підшипників яких була відновлена електролітичним цинкуванням на імпульсно-реверсивному струмі. Проведено порівняльний аналіз зносу поверхонь деталей нерухомого з'єднання, кільця яких були відновлені за запропонованою технологією з кільцями відновленими на постійному струмі, а також не відновленими взагалі.

Описаны результаты эксплуатационных исследований соединений с гарантированным натягом буксового узла подвижного состава железных дорог, внутренняя поверхность внутренних колец подшипников которых была восстановлена электролитическим цинкованием на импульсно-реверсивных токах. Проведен сравнительный анализ износа поверхностей деталей неподвижного соединения, кольца которых были восстановлены по предложенной технологии с кольцами восстановленными на постоянном токе, а также не восстановленных вообще.

The article describes results of operational tests of the joints with guaranteed tension of the axle-box of rail rolling stock, the inside surface of inner racers of which was restored by electrolytic galvanizing on pulse-reverse currents operation. A comparative analysis has been performed of the wear of surfaces of immobile joint parts, whose racers have been restored according to the proposed technique with the racers restored on direct current and the unrestored ones.

Одним з найбільш відповідальним за безпеку руху потягів вузлом є колісна пара. Особливе значення має буксовий вузол, зокрема, з'єднання з гарантованим натягом «шийка колісної пари – внутрішнє кільце підшипника кочення». Воно являє собою систему циліндричних деталей з'єднаних між собою за допомогою гарячої посадки з натягом, що регламентується нормативними документами. Під час експлуатації рухомого складу та в результаті великої кількості технологічних факторів відбувається знос поверхонь з'єднання, виникають відхилення розмірів осі колісної пари та її підшипника кочення від їх правильних геометричних форм, які призводять до того, що натяг вищезначеного з'єднання зменшується, а то й зовсім втрачається. За даними технічного аналізу лише по Придніпровській залізниці кількість випадків псування і позапланових ремонтів по послабленню натягу в 1997–2000 рр. відповідно склала: 10; 15; 12 і 8 випадків на 1 млн км пробігу [1]. Крім цього, наші експериментальні дослідження показали, що величина зносу внутрішньої поверхні внутрішнього кільця та шийки колісної пари є випадковою і, наприклад, для електровозів ВЛ-8 досягає величин 0,25 мм для кільця підшипника та 0,3 мм для шийки колісної пари і розподілена за нормальним логарифмічним законом. Величина овальності досягає 0,06 та 0,04 мм відповідно, при доступній величині 0,015 мм.

Аналіз сучасного стану рухомого складу залізниць, наведений автором у роботах [1–5] по визначенню параметричної надійності буксового вузла з урахуванням некруглості, показує необхідність запровадження методів радикального вирішення даної проблеми. Для заощадження коштів на ремонт колісних пар рухомого складу, нами запропоновано [6] відновлення кілець підшипників електролітичним осадженням цинку імпульсно-реверсованим струмом. Результати лабораторних досліджень якості відновлювального шару цинку, осадженого імпульсно-реверсованим струмом, а також дослідження міцності пресового з'єднання натурних зразків за критерієм максимального зусилля розпресування, який найбільш широко застосовується в машинобудуванні, виявили ряд значних переваг перед осадженням на постійному струмі, яке вказано у нормативних документах [7] як метод відновлення натягу. Зокрема, застосування нестационарного електролізу в процесі відновлення сприяє збільшенню швидкості осадження; застосуванню більш простих за хімічним складом електролітів; покращенню якості осаджуваного покриття (отримання дрібнозернистої щільної структури) [8]; отриманню електрохімічно відшліфованих та рівномірних за товщиною покриттів. Міцність пресового з'єднання з товщиною осадженого шару цинку 150 мкм (нормативне значення 200 мкм [7])

збільшилась в 1,2...1,45 та 1,4...1,55 рази [9] у порівнянні з міцністю пресового з'єднання без відновлювального шару та цинком, осадженим на постійному струмі, відповідно.

Таким чином, результати попередніх лабораторних досліджень підтвердили доцільність застосування в ремонтному виробництві залізниць України, технології нестационарного електролізу під час ремонту пресових з'єднань буксових вузлів рухомого складу, запропонованої автором.

Як відомо, для масового впровадження будь-якого технологічного процесу, необхідні експлуатаційні випробування спочатку дослідних зразків, а в подальшому дослідної партії.

На основі результатів досліджень, виконаних в попередніх роботах, було розроблено дослідно-промислово установку відновлення внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипників. Промислова установка являє собою систему – лінію гальванічних ванн, для здійснення повного циклу відновлення кілець (рис. 1).

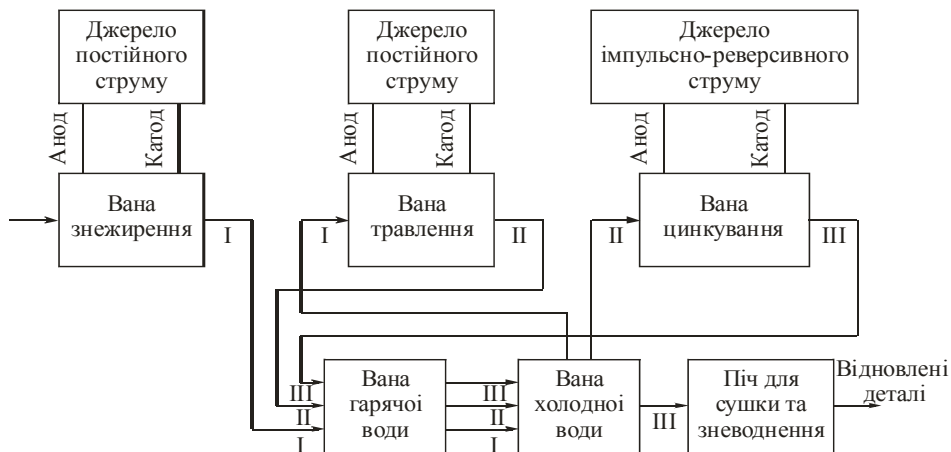


Рис. 1. Схема лінії відновлення внутрішніх кілець підшипників цинкуванням:

I – потік деталей після знежирення; II – потік деталей після травлення;

III – потік деталей після електролітичного цинкування

Цинкування кілець здійснювали у стаціонарних ваннах цинкування, які призначені для відновлення інших деталей рухомого складу. Тим самим не виникла потреба у додатковому обладнанні, окрім контейнера для занурення кілець в електроліт, які було виготовлено. Для процесу цинкування кілець підшипників були застосовані такі стаціонарні ванни: знежирення; для промивки з проточною гарячою та холодною водою; травлення; цинкування.

Ванни знежирення та травлення вмикали до джерела постійного струму, а ванну цинкування – до джерела імпульсно-реверсивного струму. Технологія цинкування кілець закінчується процесом просушки у спеціальній печі, який необхідний для зневоднення металу кілець.

Експлуатаційні випробування пресових з'єднань з відновленими кільцями виконували на електровозах різного типу, які експлуатуються на різних залізницях.

Кільця, що були відновлені в гальванічному відділенні локомотивного депо Нижньодніпровськ-Вузол, встановлювали на електровози ВЛ-8 № 064; 119; 077; 136; 185; 200, які експлуатуються на Придніпровській залізниці. Кільця, які відновлювали на ВАТ «ЗЕРЗ», були встановлені на електровози типу ВЛ-80

№ 120; 129; 092; 098; 187; 137, що експлуатуються на Південно-Західній залізниці (депо приписки – Козятин).

Першочергово за паспортом колісної пари було встановлено залежність зносу шийок осей колісних пар від їх пробігу з моменту встановлення нових кілець. Визначення зносу внутрішньої поверхні кілець підшипників здійснювали на основі журналів огляду та ремонту підшипників кочення (форма ТУ-92), в якому фіксується номер підшипника та обсяг ремонту. Ремонт Р1 виконується під час РР3 при пробігу електровоза 300 тис. км, ремонт Р2 – 600 тис. км. Для більшості з вищенаведених електровозів також були визначені залежності зносу шийки вісі та внутрішнього кільця підшипника від пробігу, з моменту встановлення кілець, що відновлені електролітичним цинкуванням на постійному струмі.

Збір статистичних даних зносу поверхонь спряження, відновлених електролітичним цинкуванням імпульсно-реверсивним струмом, проводився, головним чином, під час проведення РР3 та на проміжних ремонтах, коли здійснювали повне розбирання буксового вузла. Загальна кількість вимірних кілець становила 272 шт., а шийок осей – 136 шт. Отрима-

них даних достатньо для одержання кривих зносу поверхонь спряжень. За результатами спостережень побудовано залежності середнього значення зносу $m_{ш}$ шийки осі колісної пари (рис. 2, а) та середньоквадратичного відхилення $\sigma_{ш}$ (рис. 2, б) від експлуатаційного пробігу.

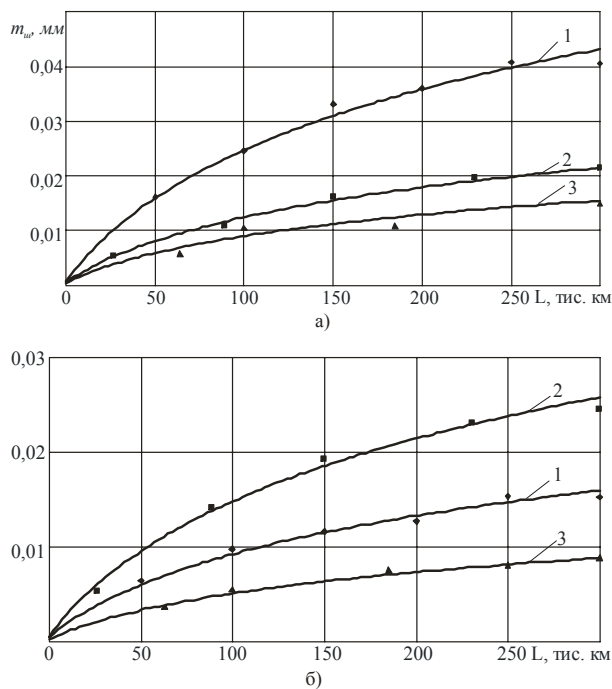


Рис. 2. Криві середнього значення (а) та середньоквадратичного відхилення (б) зносу поверхонь спряження шийки осі колісної пари електровозів серії ВЛ з відновленими кільцями: 1 – нові кільця; 2 – цинкуванням на постійному струмі; 3 – цинкуванням на імпульсно-реверсивному струмі

Залежності такого характеру були також отримані і для зносу внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника (рис. 3 та 4)

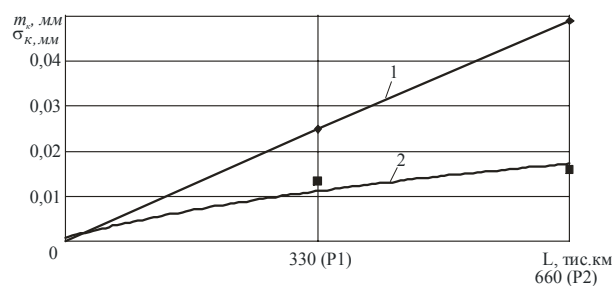


Рис. 3. Криві середнього значення (1) та середньоквадратичного відхилення (2) зносу внутрішньої поверхні внутрішнього кільця нового підшипника

Аналізуючи графіки зносу, бачимо, що вони мають нелінійний характер, що особливо виявляється в початковий період, тобто в період приробки поверхонь. За експериментальними даними (рис. 2–4) було отримано апроксимуючі вирази

середнього значення та середньоквадратичного відхилення зносу шийки осі колісної пари:

$$\left. \begin{aligned} \text{крива 1: } m_{ш}(L) &= 8,631 \cdot 10^{-4} + 0,05 \lg L, \\ \text{крива 2: } m_{ш}(L) &= 6,636 \cdot 10^{-4} + 0,025 \lg L, \\ \text{крива 3: } m_{ш}(L) &= 5,722 \cdot 10^{-4} + 0,018 \lg L. \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{крива 1: } \sigma_{ш}(L) &= 4,868 \cdot 10^{-4} + 0,018 \lg L, \\ \text{крива 2: } \sigma_{ш}(L) &= 5,401 \cdot 10^{-4} + 0,03 \lg L, \\ \text{крива 3: } \sigma_{ш}(L) &= 2,391 \cdot 10^{-4} + 0,018 \lg L \end{aligned} \right\} (2)$$

та відповідно внутрішньої поверхні кільця підшипника:

$$\left. \begin{aligned} \text{крива 1: } m_k(L) &= 2 \cdot 10^{-3} + 0,117 \lg L, \\ \text{крива 2: } m_k(L) &= 9,763 \cdot 10^{-4} + 0,083 \lg L, \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{крива 1: } \sigma_k(L) &= 7,124 \cdot 10^{-4} + 0,049 \lg L, \\ \text{крива 2: } \sigma_k(L) &= 1,833 \cdot 10^{-4} + 0,031 \lg L. \end{aligned} \right\} (4)$$

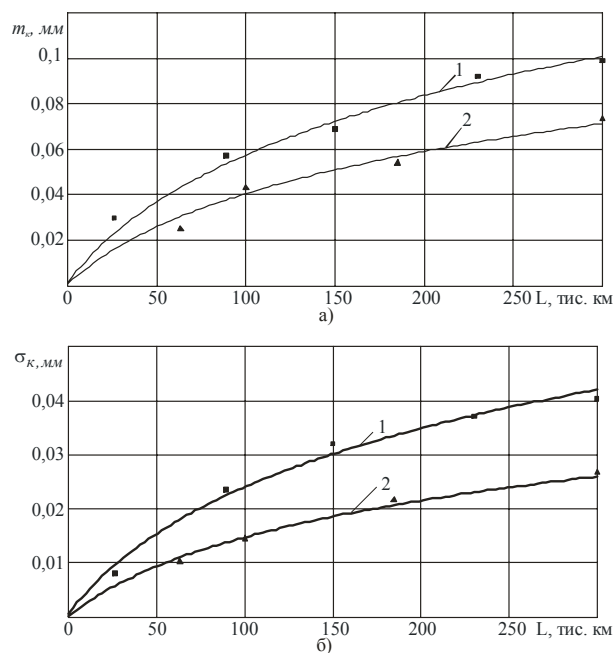


Рис. 4. Криві середнього значення (а) та середньоквадратичного відхилення (б) зносу внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника відновлених:

1 – цинкуванням на постійному струмі; 2 – цинкуванням на імпульсно-реверсивному струмі.

У виразах (1)–(4) величина m та σ вимірюється в мм, L – тис. км

У результаті статистичних досліджень було встановлено, що знос поверхонь спряжень шийки осі колісної пари та цинкового шару внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника, осадженого на постійному струмі,

розподілено за нормальним законом (відповідність статистичного розподілення з теоретичним законом за критерієм χ^2 Пірсона відповідно склала для шийок осей колісних пар $p=0,26$, а для кільця підшипника $p=0,245$). Математичне сподівання закону розподілення зносу шийки осі колісної пари $m_{ш} = 0,0216$

мм, а його середньоквадратичне відхилення $\sigma_{ш} = 0,0246$ мм. Числові характеристики законів розподілення зносу цинкового покриття $m_{к} = 0,106$ мм та $\sigma_{к} = 0,0417$ мм. У повному об'ємі числові характеристики розподілень параметрів зносу внутрішньої поверхні кільця наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Числові характеристики законів розподілення зносу шийок осей та кільця підшипників електровозів серії ВЛ, відновлених електролітичним цинкуванням на постійному струмі

| Числові характеристики | Знос шийки осі $\zeta_{ш}$ | Знос відновленого кільця $\zeta_{к}$ |
|-----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Математичне сподівання, m , мм | 0,0216 | 0,106 |
| Дисперсія, D , мм ² | $6,052 \cdot 10^{-4}$ | $1,74 \cdot 10^{-3}$ |
| Середньоквадратичне відхилення, σ , мм | 0,0246 | 0,0417 |
| Асиметрія As , відн. од. | 0,325 | -0,124 |
| Експес Ex , відн. од. | 0,158 | -0,167 |
| Мода, Mo , мм | 0,0216 | 0,106 |
| Медіана, Me , мм | 0,0216 | 0,106 |

За результатами вимірювань, які були проведені під час ПРЗ, встановлено, що знос шийки осі колісної пари та внутрішнього кільця підшипника, відновленого цинкуванням у нестаціонарних режимах, розподілений за нормальним законом (рис. 5 і 6) (з імовірністю за критерієм Пірсона відповідно 0,32 та 0,27). Числові характеристики законів розподілення наведені у табл. 2.

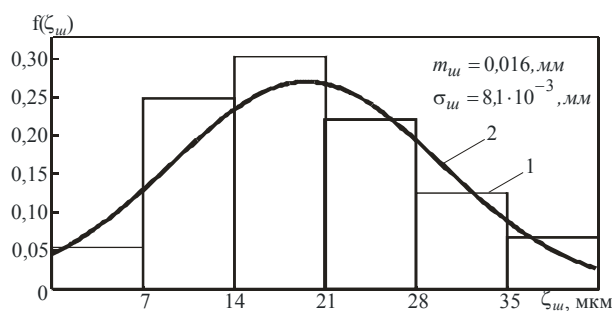


Рис. 5. Статистичний (1) та теоретичний (2) закони розподілення зносу шийки осі колісної пари електровозів серії ВЛ з посадженими кільцями, відновленими електролітичним цинкуванням імпульсно-реверсивним струмом

Таким чином, експлуатаційні дослідження зносу поверхонь спряжень нерухомої системи «шийка осі – внутрішнє кільце», результати яких наведені на рис. 2–3, показують, що в процесі експлуатації колісних пар, з кільцями відновленими імпульсно-реверсивним струмом,

середнє значення зносу шийок осей після пробігу колісної пари 330 тис. км (під час огляду на ПРЗ), зменшилось до 0,016 мм, у порівнянні із застосуванням кільця без покриття, середній знос шийки яких 0,0431 мм, а також кільця, відновлених постійним струмом – 0,0216 мм.

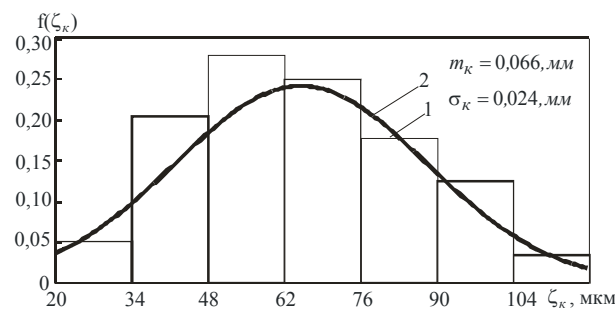


Рис. 6. Статистичний (1) та теоретичний (2) закони розподілення зносу внутрішньої поверхні внутрішніх кільця підшипників 3042536 ЛМ та 3052536 ЛМ, відновлених електролітичним цинкуванням імпульсно-реверсивним струмом

Виміри внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника показали, що знос цинку, осадженого імпульсно-реверсивним струмом, значно зменшився у порівнянні з цинком, осадженим на постійному струмі. Середнє значення зносу відповідно $m_{\zeta_{к.ім}} = 0,066$ мм, $m_{\zeta_{к.п}} = 0,106$ мм. Це явище можна пояснити морфологією цинкових покриттів: цинк, оса-

джений у нестационарних режимах, більш щільний, в процесі мікропереміщень кільця відносно шийки під час експлуатації колісної пари зерна нарощеного цинку видаляються з

поверхні кільця менш інтенсивно, ніж зерна цинку, осадженого на постійному струмі, який має більш крихку неоднорідну крупнозернисту структуру.

Таблиця 2

Числові характеристики законів розподілення зносу шийок осей та кілець підшипників електровозів серії ВЛ, відновленими електролітичним цинкуванням на імпульсно-реверсивному струмі

| Числові характеристики | Знос шийки осі $\zeta_{ш}$ | Знос відновленого кільця $\zeta_{к}$ |
|-----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Математичне сподівання, m , мм | 0,016 | 0,066 |
| Дисперсія, D , мм ² | $6,58 \cdot 10^{-5}$ | $5,76 \cdot 10^{-4}$ |
| Середньоквадратичне відхилення, σ , мм | 0,0081 | 0,024 |
| Асиметрія As , відн. од. | -0,4735 | -0,321 |
| Ексцес Ex , відн. од. | 0,0915 | -0,017 |
| Мода, Mo , мм | 0,016 | 0,06 |
| Медіана, Me , мм | 0,016 | 0,06 |

Тоді, враховуючи вищесказане, визначимо імовірність того, що розміри шийки осі та внутрішнього кільця підшипника до та після відновлення кілець електролітичним осадженням цинку на постійному та імпульсно-реверсивному струмі, під час проведення огляду на ПРЗ, після пробігу колісної пари 330 тис. км, будуть задовольняти умови натягу пресового з'єднання. Для цього спочатку за нормативною документацією встановимо межі зносу (α ; β) поверхонь деталей, в діапазоні яких зберігається працездатність пресового з'єднання, для шийки осі ці межі становлять (0; 0,035), а внутрішнього кільця підшипника – (0; 0,04). Далі підставляючи закон розподілення зносу поверхонь спряжень пресового з'єднання $f(\zeta)$ у відому в теорії імовірності, формулу для визначення імовірності безвідмовної роботи

$$P(\alpha \leq \zeta \leq \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(\zeta) d\zeta, \quad (5)$$

визначимо імовірність того, що знос деталей спряження з посадженими невідновленими кільцями буде в межах поля допуску:

- для шийок осей колісних пар

$$P(0 < \zeta_{ш} < 0,035) = 0,305;$$

- для кілець підшипників 3042536 ЛМ та 3052536 ЛМ

$$P(0 < \zeta_{к} < 0,04) = 0,74.$$

Якщо кільця підшипників 3042536 ЛМ та 3052536 ЛМ були відновлені цинкуванням на постійному та імпульсно-реверсивному струмі, то імовірність зносу шийок осей та цинкового покриття відповідно склала:

$$P(0 < \zeta_{ш.п} < 0,035) = 0,517,$$

$$P(0 < \zeta_{к.п} < 0,04) = 0,051,$$

$$P(0 < z_{ш.і-р} < 0,035) = 0,966,$$

$$P(0 < \zeta_{к.і-р} < 0,04) = 0,136.$$

Таким чином, застосування нестационарних режимів електроосадження відновлювального шару цинку дозволило підвищити імовірність безвідмовної роботи шийок осей колісних пар даного типу електровозів до значення 0,966, в той час у разі експлуатації нових кілець, а також відновлених за існуючою технологією ця величина відповідно дорівнює 0,305 та 0,517. При цьому надійність відновлених кілець підвищилась на 8,5 % у порівнянні з кільцями, відновленими цинкуванням на постійному струмі за існуючими технологіями прийнятими у ремонтному виробництві залізниць. Цинк на внутрішній поверхні внутрішнього кільця підшипника в процесі роботи буксового вузла практично повністю вилучив механічні та корозійні пошкодження поверхні шийки осі колісної пари. Візуальні спостереження за відновленими спряженнями не виявило слідів розвитку фреттинг-корозії.

Оцінка економічних показників результатів впровадження запропонованої технології дозволила встановити, що щорічний економічний ефект від впровадження розробленої технології і установки по відношенню до невідновлених спряжень та існуючих на сьогоднішній день технологій (за рахунок підвищення надійності нерухомого з'єднання буксових вузлів електровозів ВЛ8, ВЛ80, ВЛ82, ВЛ10, ВЛ11, відремонтованих в умовах ВАТ «ЗЕРЗ») склав відповідно 650 тис. грн та 450 тис. грн. Крім того, економічний ефект по власне самій розробленій технології у порівнянні зі стаціонарним цинкуванням (наприклад, в умовах ВАТ «ЗЕРЗ») склав: 98,92 тис. грн для кілець типу 3042536ЛМ, 3052536ЛМ, NU2236Е.М.1.С3, NJ2236Е.М.1.С3.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Михаліченко П. Є. Відновлення натягу пресового з'єднання буксових вузлів рухомого складу залізниць / П. Є. Михаліченко, М. О. Костін // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 5. – С. 47–49.
2. Михаліченко П. Є. Параметрична надійність нерухомого з'єднання буксового вузла рухомого складу з врахуванням некруглості / П. Є. Михаліченко, М. О. Костін // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 6. – С. 47–50.
3. Михаліченко П. Є. Характер та величина зносу деталей пресового з'єднання буксового вузла вагонів // Вісник ДНУЗТ – 2005. – № 6 – С. 92–101.
4. Михаліченко П. Є. Параметрична надійність з'єднання з гарантованим натягом рухомого складу з врахуванням конусності // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 2. – С. 71–74.
5. Костін М. О. Математична модель форму зношених деталей системи спряження «шийка осі колісної пари – внутрішнє кільце підшипника» / М. О. Костін, П. Є. Михаліченко // Вісник ДНУЗТ. – 2004. – Вип. 4. – С. 149–155.
6. Михаліченко П. Є. Методи восстановлення натяга узла «шейка колесної пари – внутрішнє кільце підшипника» // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Состояние и перспективы развития электроподвижного состава». – Новочеркасск. – 2003. – С. 183–184.
7. Инструкция по содержанию и ремонту узлов с подшипниками качения локомотивов и моторвагонного подвижного состава. – М.: Транспорт, 1980. – 129 с.
8. Михаліченко П. Є. Вплив структури відновлювальних шарів на міцність пресового з'єднання буксового вузла рухомого складу / П. Є. Михаліченко, М. О. Костін // Вісник ДНУЗТ. – 2006. – № 10. – С. 61–66.
9. Михаліченко П. Є. Забезпечення міцності з'єднання з гарантованим натягом електромеханічних систем // Гірничі електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 74. – С. 137–142.

Надійшла до редколегії 11.09.2006.