

П. Є. МИХАЛЧЕНКО, М. О. КОСТІН (ДІТ)

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ШАРІВ НА МІЦНІСТЬ ПРЕСОВОГО З'ЄДНАННЯ БУКСОВОГО ВУЗЛА РУХОМОГО СКЛАДУ

Викладено результати експериментальних досліджень міцності з'єднання з гарантованим натягом буксового вузла рухомого складу залізниць, внутрішня поверхня внутрішніх кілець підшипників яка була відновлена електролітичним цинкуванням на імпульсно-реверсивному струмі. Проведено порівняльний аналіз структури відновлювального шару та міцності нерухомого з'єднань, кільця яких були відновлені за запропонованою технологією з кільцями відновленими на постійному струмі, а також невідновленими взагалі.

Описаны результаты экспериментальных исследований прочности соединений с гарантированным натягом буксового узла подвижного состава железных дорог, внутренняя поверхность внутренних колец подшипников которая была восстановлена электролитическим цинкованием на импульсно-реверсивных токах. Проведен сравнительный анализ структуры восстановленного слоя и прочности неподвижного соединения, кольца которых были восстановлены по предложенной технологии, с кольцами восстановленными на постоянном токе, а также невосстановленных вообще.

The article describes results of experimental research of the coupling strength of rail rolling stock with a guaranteed tightness of the journal-box unit, the internal surface of whose internal rings of bearings was restored by electrolytic zinc-plating on the impulse-reverse currents. The comparative analysis has been conducted of structure of the restored layer and the strength of immobile couplings, whose rings were restored with the use of the proposed technology with those restored on a direct current and those not restored at all.

Нерухоме з'єднання «шийка колісної пари – внутрішнє кільце підшипника кочення» буксового вузла є дуже відповідальним вузлом механічної частини рухомого складу залізниць, від надійності роботи якого, перш за все залежить безпека руху поїздів.

У процесі експлуатації рухомої одиниці під дією різноманітних факторів натяг нерухомого з'єднання зменшується за рахунок зміни розмірів шийки осі та отвору кільця підшипника.

Величина зносу внутрішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника та шийки осі колісної пари є випадковою і досягає відповідно величини 0,25 та 0,3 мм. Як свідчать статистичні дослідження [1], закон розподілення зносу шийки осі колісної пари електровозів серії ВЛ є нормальним з параметрами: $m_{\text{ш}} = 0,0431$ мм, $\sigma_{\text{ш}} = 0,0162$ мм.

Закон розподілення зносу кілець підшипників 3042536ЛМ та 3052536ЛМ є логарифмічним нормальним (рис. 1) з параметрами $m_{\lg \zeta_k} = -1,615$ та $\sigma_{\lg \zeta_k} = 0,338$.

Закон розподілення зносу кілець підшипників NU 2236 E. M. 1. C3 і NJ 2236 E. M. 1. C3 є гауссовим з параметрами: $m_k = 0,0352$ мм, $\sigma_{\text{ш}} = 0,016$ мм.

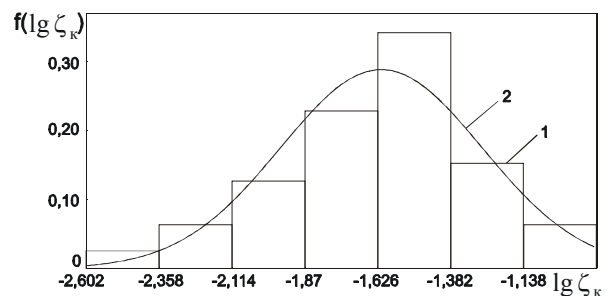


Рис. 1. Закони розподілення зносу кілець підшипників 3042536ЛМ та 3052536ЛМ:
1 – статистичний; 2 – теоретичний

Закон розподілення зносу шийки осі колісної пари електровозів серії ЧС є гамма-розподіленням (рис. 2).

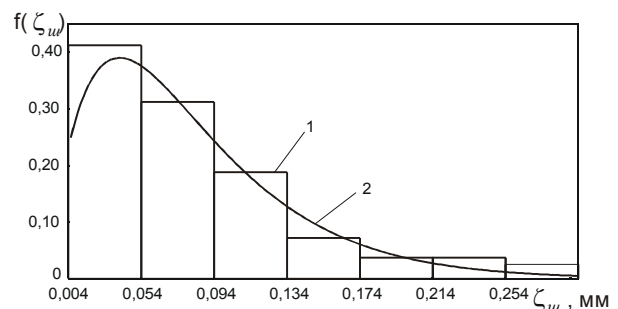



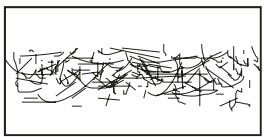
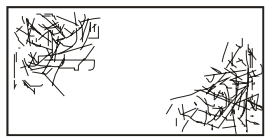
Рис. 2. Закони розподілення зносу шийки осі колісної пари електровозів серії ЧС:
1 – статистичний; 2 – теоретичний

Головною причиною зносу поверхонь спряжених деталей системи є корозійно-абразивні процеси, які відбуваються в системі. У [2] зазначено, що в процесі експлуатації від дії ряду сил та різних конструктивних причин внутрішнє кільце підшипника переміщується навколо шийки осі з дуже малою амплітудою. Наявність переміщень такого характеру є основними причинами пошкодження спряжених поверхонь деталей фретинг-корозією.

Візуальні спостереження за даним спряженням буксових вузлів електровозів та вагонів дозволяють стверджувати наявність слідів фретинг-корозії в окремих місцях спряження. Характер пошкоджень вказує на те, що причиною їх виникнення є відхилення від правильної геометричної форми спряжених поверхонь (конусність, овальність, огранка, корсетність тощо) (табл. 1).

Таблиця 1

Характер фретинг-корозії на осевих шийках і кільцях підшипників за наявності похибок спряжених поверхонь

Вид похибки спряжених поверхонь	Конусність	Корсетність	Овальність
Розгорнутий вигляд пошкоджень фретинг-корозії			

Інтенсивність пошкоджень фретинг-корозією шийок осей на ділянках розміщення переднього та заднього кілець підшипників у більшості випадків неоднакова. Обстеження шийок осей колісних пар показало, що ділянки шийок, розміщених під задніми підшипниками, пошкоджені значно сильніше, ніж під передніми. Таке явище пов'язано з тим, що деформації згину в зоні розміщення заднього підшипника більші, ніж під переднім, а це, в свою чергу, сприяє більшому тертю між шийкою та кільцем підшипника. Наслідками фретинг-корозії є порушення точності притискання спряжених поверхонь, а також зниження міцності від втоми шийки осі. Фретинг-корозії впливає на міцність від втоми через утворення окремих глибоких точок (пітингів), зменшення поперечного перерізу та утворення тріщин від утомленості.

Усунення продуктів фретинг-корозії, задирів, забоїв, які виникають при частих монтажних та демонтажних роботах, зменшує номінальний діаметр вала, і тому є потреба у тому, щоб вводити ремонтні розміри на діаметри осі та кілець підшипників або відновлювати одну з поверхонь спряження до номінального розміру натягу.

У ремонтному виробництві рухомого складу залізниць на сьогоднішній день, як правило, застосовують дві технології відновлення натягу пресового з'єднання: нанесення еластомеру ГЕН-150(В) та електролітичне осадження на постійному струмі цинкового покриття на внутрішню поверхню кілець підшипників.

Вищезазначені технології відновлення мають ряд значних недоліків, зокрема, застосу-

вання еластомеру потребує спеціального обладнання для відцентрового чи вібраційного нанесення. Під час звичайного нанесення за допомогою пензлика, шар полімеру на поверхні спряження нерівномірний, тому після його застигання натяг нерухомого з'єднання буксового вузла в кожній точці спряження також нерівномірний. До того ж, експлуатаційні можливості цього еластомеру змінюються залежно від робочої температури буксового вузла. Цинк осаджений на постійному струмі з товщиною більшою за 20 мкм має крупнозернисту крихку структуру, яка не завжди витримує важких умов експлуатації буксового вузла і починає руйнуватися. До того ж, такий цинк має велику пористість, що значною мірою зменшує корозійну стійкість металу основи. Це є причинами частих заходів відремонтованої рухомої одиниці на позаплановий ремонт.

Нами було запропоновано нову технологію електроосадження цинку імпульсно-реверсивним струмом (рис. 3) [3; 4]. Розглянемо вплив форми струму на процес осадження металу.

Під час перерви струму в період відсічки розряд катіонів цинку припиняється, але надходження їх до деталі катоду продовжується, одночасно фронт дифузії не відходить від поверхні деталі на значну відстань. Виникає часткове вирівнювання концентрації іонів Zn^{2+} у прикатодному просторі, що дозволяє під час імпульсів протікання струму підвищити їх амплітуду $J_{т.ср}$, а це позитивно впливає на процес осадження металу.

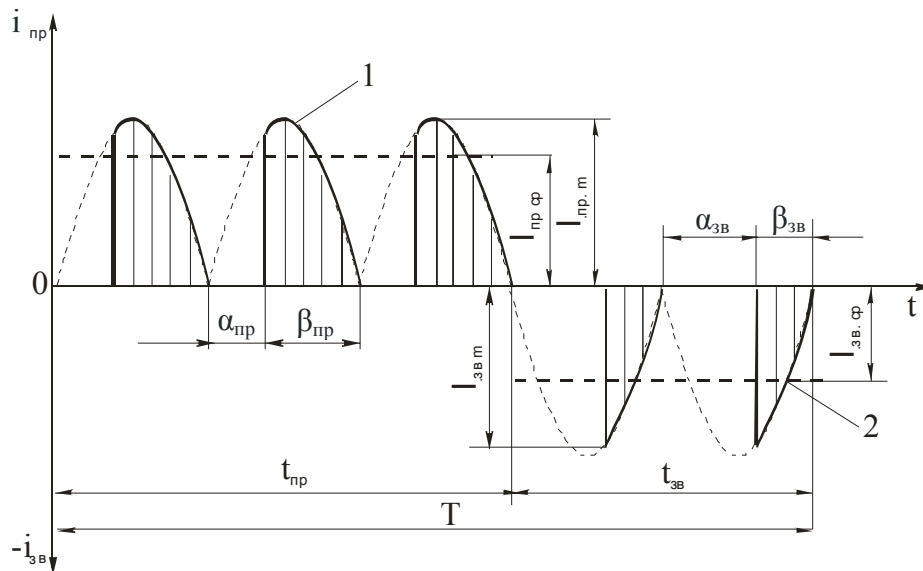


Рис. 3. Форма імпульсно-реверсивного струму:

1 – прямий імпульс; 2 – зворотний імпульс; T – період коливання струму;

$t_{пр}$, $t_{зв}$ – час протікання прямого та зворотного струмів; $I_{т.пр}$, $I_{т.зв}$ – амплітуда прямого та зворотного струмів;

$I_{ср.пр}$, $I_{ср.зв}$ – середнє значення прямого та зворотного струмів; $\alpha_{пр}$, $\alpha_{зв}$ – кути регулювання тиристорів,

які формують прямий і зворотний струм; $\beta_{пр}$, $\beta_{зв}$ – кутові тривалості прямого і зворотного імпульсів

У процесі дослідження було встановлено, що допустима величина середнього значення прямого імпульсу $J_{пр.сп}$, при якій ще утворюються світлі осади, складає $5,5 \dots 6 \text{ А/дм}^2$, а це в 2 рази вище густини постійного струму, що значно збільшує швидкість осадження цинкового шару. Для отримання якісних за зовнішнім виглядом осадів треба збільшувати $J_{пр.сп}$ і зменшувати параметр ревер-

сування $\tau = \frac{t_{пр}}{t_{зв}}$ (див. рис. 3).

Чим більше щільність імпульсів, тим більшу густину струму можна використовувати при електролізі і тим вища якість покриття. До того ж, більше значення кута керування $\alpha_{пр}$ у межах чверті періоду збільшує крутість фронту імпульсу струму, що скорочує час осадження металу і покращує якість покриття.

У період зворотних імпульсів відбувається часткове розчинення осадженого цинку з її поверхні, яке приводить до збагачення катіонами металу приелектродного шару електроліту. У таких умовах електролізу густину струму у подальший катодний період можна тримати більшою, ніж при веденні процесу на постійному струмі. До того ж, розчиняються найбільш активні (з точки зору росту кристалів) місця деталей, тим самим поверхня нівелюється, активується, створюються умови для появи нових центрів кристалів та рівномірності покриття у подальшому осадженні. Крім того, активні ділянки

кристалів осадженого металу пасивуються утворенням окисних плівок, що ускладнюють нормальне зростання кристалів, подальший зріст яких стає можливим при підвищенні потенціалу катодної поляризації деталі до значення, за яким виникають нові кристалічні зародки.

Найбільш досконалу структуру має цинк, осаджений в режимах $J_{пр.сп} = 3,5 \dots 4 \text{ А/дм}^2$, $J_{зв.сп} = J_{пр.сп}/5$ і параметрі реверсування $\tau = 30/1$; $20/1$; $6/1$. Цинк, осаджений на струмі з цими параметрами характеризується більшою однорідністю, має дрібнозернисту, гладку та щільну структуру (рис. 4).

Значний позитивний ефект було досягнуто також застосуванням струму високої початкової густини $J_{пр.сп} = 15 \text{ А/дм}^2$ [5]. Початкові короточасні «поштовхи» струму тривалістю до 30 с спричиняють збільшення швидкості виникнення кристалічних зародків і відповідно швидкості поширення осаду вздовж фронту зростання кристалів. Наявність початкового дрібнокристалічного прошарку зумовлює формування такого ж суцільного осаду.

Процес електролізу доцільно закінчувати при $J_{пр.сп} = 0$ і $J_{зв} \neq 0$, тобто електрохімічним поліруванням. У результаті підвищується клас шорсткості поверхні, заокруглюються мікроступи, й тим самим підвищуються границі пружності та стійкості металу кільця підшипника проти корозії.

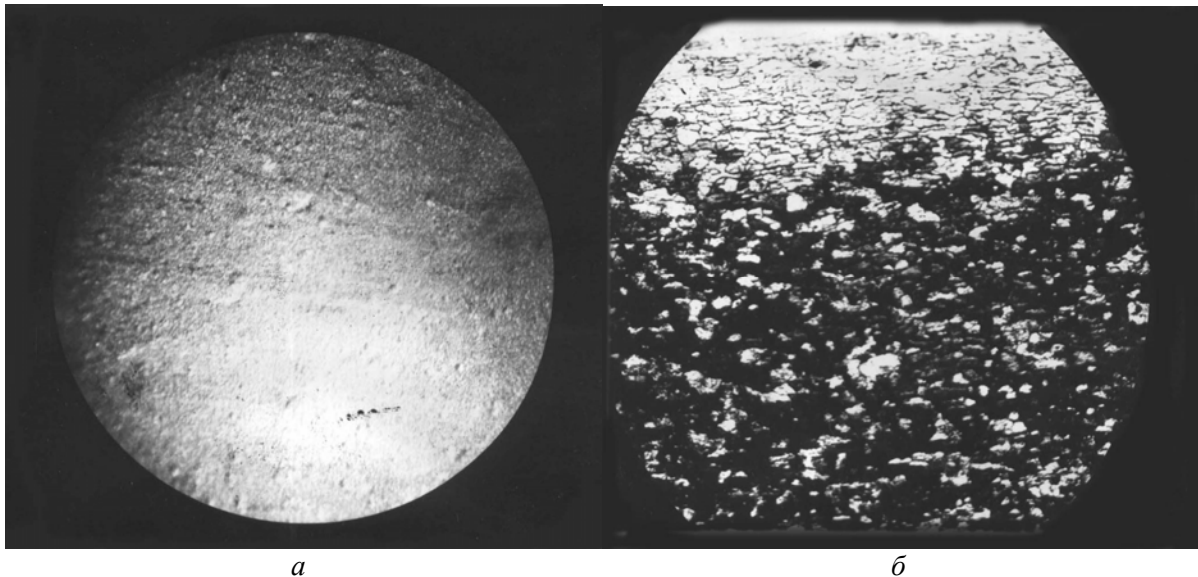


Рис. 4. Поверхнева структура (а) та структура металографічного шліфу (б) цинкового покриття, осадженого імпульсно-реверсивним струмом з параметром $J_{пр.ср} = 3,6 \text{ А/дм}^2$, $J_{зв.ср} = 0,7 \text{ А/дм}^2$, $\tau = 6/1$

Для цинкових покриттів, осаджених імпульсно-реверсивним струмом, характерне збільшення густини дислокацій до $\rho = 4,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ (у порівнянні з постійним струмом, для якого $\rho = 0,2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$), зменшення блоків мозаїки $D = 40...50 \text{ нм}$ проти 500 нм на постійному струмі і дрібнозерниста структура – розміри зерен складають $L = 0,7...0,8 \text{ мкм}$ проти $15...16 \text{ мкм}$ для стаціонарного електролізу. Наслідком цього є велика мікротвердість цинкового шару: $H_{\mu} = 1550...1600 \text{ МПа}$ проти $H_{\mu} = 700...750 \text{ МПа}$ на постійному струмі. Закон розподілення мікротвердості цинкового покриття є нормальним з математичним сподіванням $m_n = 1575 \text{ МПа}$ і середньоквадратичним відхиленням $\sigma_n = 8,3 \text{ МПа}$. Коефіцієнт відбиття поверхні осадженого цинку також досить великий, $K_B = 80...85 \%$ проти $K_B = 8...10 \%$ на постійному струмі.

При густині середнього значення струму $J_{пр.ср} = 3,5...4 \text{ А/дм}^2$ швидкість осадження цинку

складає $65,6...68,8 \text{ мкм/год}$, в той же час на постійному струмі вона не перевищує $32,0...34,4 \text{ мкм/год}$. Отже, застосування імпульсно-реверсивного струму дозволило в двічі збільшити швидкість процесу осадження цинку.

Дослідження міцності пресових з'єднань «шийка осі колісної пари – внутрішнє кільце підшипника», з кільцями відновленими за запропонованою методикою, проводили на шийках колісних пар електровозів серії ВЛ та ЧС і на шийках колісних пар вагонів типу РУ1. Відновлювальний шар цинку товщиною 150 мкм осаджували на постійному та імпульсно-реверсивному струмах. Величина натягу пресового з'єднання складала 50 мкм . Розпресовку зразків виконували на гідравлічних пресах.

Міцність пресового з'єднання визначали шляхом розпресування з'єднань. Під час розпресовки фіксували зусилля зсуву та записували розпресовочні діаграми. Середні значення сили розпресування наведено в табл. 2.

На рис. 5 наведені діаграми розпресування шийок осей електровоза серії ВЛ8.

Таблиця 2

Значення величини сили розпресовки натурних зразків пресового з'єднання

Шийка осі колісної пари	Сила розпресовки, P_B , кН		
	Без покриття	Цинк, осаджений на постійному струмі	Цинк, осаджений на імпульсно-реверсивному струмі
Електровоза серії ВЛ	12,8	12,5	18,2
Електровоза серії ЧС	15,4	13,3	18,9
Вагон типу РУ1	7,8	7,3	12,6

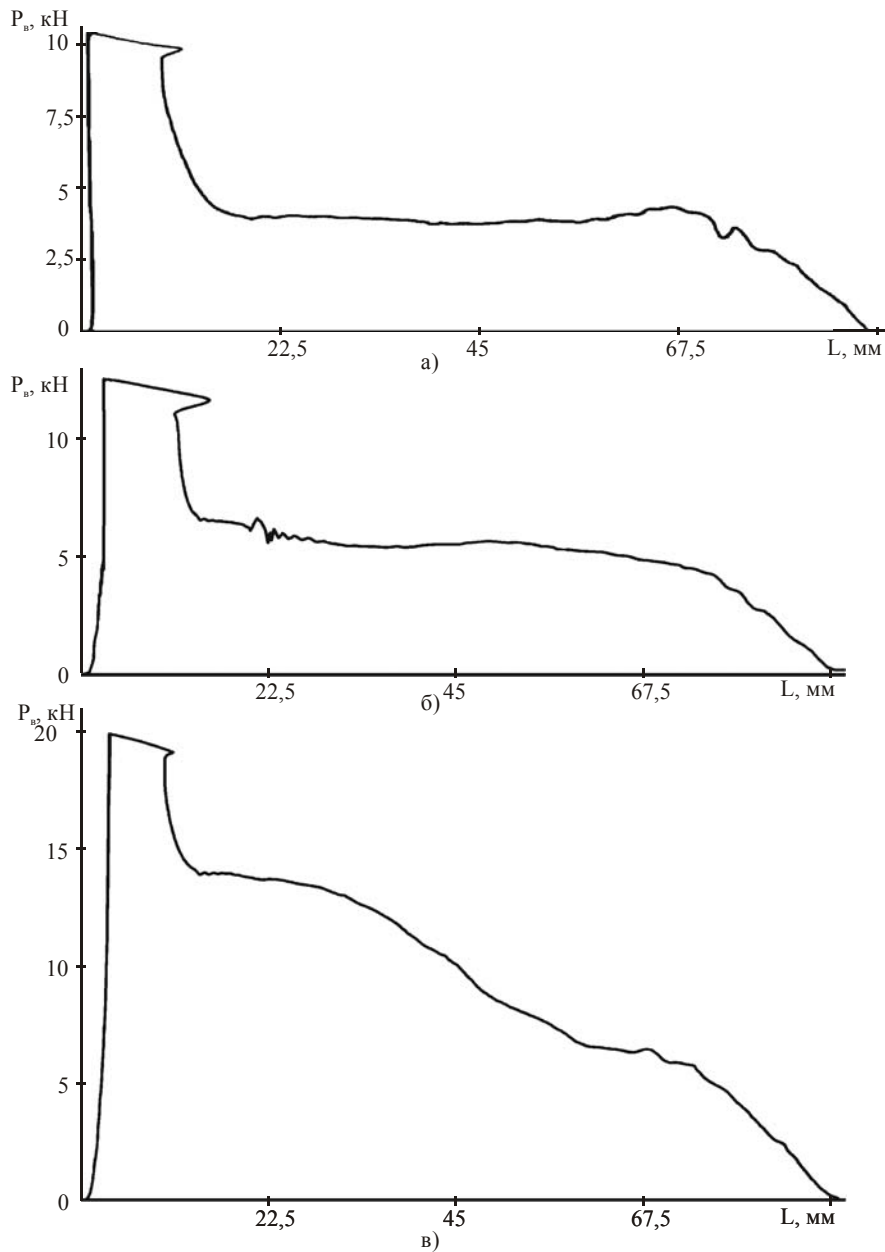


Рис. 5. Діаграми розпресовки шийок осей колісної пари електровоза серії ВЛ з гальванічним покриттям:

a – без покриття; *б* – цинку, осадженим на постійному струмі;
в – цинку, осадженим на імпульсно-реверсивному струмі

З розпресовочної діаграми рис. 2 та табл. 2 випливає, що гальванічне покриття, яке осаджене імпульсно-реверсивним струмом, підвищує міцність пресового з'єднання буксового вузла електровозів у 1,2...1,45 рази, а вагонів у 1,6 рази. В той же час гальванічне покриття товщиною 150 мкм, яке осаджено постійним струмом, зменшує міцність.

Відносна міцність нерухомого з'єднання буксових вузлів становить:

- для електровозів

$$P_T/P_M = 0,86...0,98;$$

- для вагонів

$$P_T/P_M \approx 0,94,$$

де P_T , P_M – сили розпресовки відповідно з цинковим гальванічним покриттям і без нього.

Отже, міцність пресового з'єднання з цинковим гальванічним покриттям, осадженим у нестационарних режимах, у 1,5...1,8 рази більше міцності з'єднання з цинком, осадженим на постійному струмі.

Огляд поверхонь спряжень шийок осей після розпресовки не виявив значних пошкоджень, спостерігалися лише незначні подряпини.

Експериментальні дослідження натурних зразків пресових з'єднань «шийка колісної пари – внутрішнє кільце підшипника кочення» показали, що осаджений, за розробленою технологією, шар цинку забезпечує достатню міцність пресового з'єднання, захист від корозії та механічних ушкоджень поверхонь спряження. Електролітичне осадження в нестаціонарних режимах дозволяє осаджувати досить товсті шари цинку, $\approx 400 \dots 500$ мкм. До того ж, значною перевагою цинкового покриття є його здатність захищати відслонену сталь електрохімічно. При цьому цинк діє як анод, запобігаючи корозії заліза, яке є катодом.

Вищезазначені досліді по визначенню міцності пресового з'єднання були проведені із застосуванням статичних сил навантаження на з'єднання, а в процесі експлуатації, як відомо, головним чином, проявляються динамічні зусилля. Тому у подальших роботах досліджується вплив динаміки пресових з'єднань на їх міцність.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Михаліченко П. Є. Відновлення натягу пресового з'єднання буксових вузлів рухомого складу залізниць / П. Є. Михаліченко, М. О. Костін // Залізничний транспорт Україна. – 2004. – № 5 – С. 47–49
2. Акбашев Б. З. Выбор посадок для железнодорожных роликовых подшипников: Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 1962. –16 с.
3. Михаліченко П. Є. Методи восстановления натяга узла «шейка колесной пары – внутреннее кольцо подшипника» // Материалы IV международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электроподвижного состава». – Новочеркасск. – 2003. – С. 183–184.
4. Костін М. О. Математична модель форми 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.
5. Костин Н. А. Применение гальванотехники при ремонте подвижного состава / Н. А. Костин, А. А. Куликов. – М.: Транспорт, 1981. – 108 с.

Надійшла до редколегії 17.09.2005.