

*Д-р техн. наук Мямлін С.В.
Канд. техн. наук Мурадян Л.А.
Інженер Подосьонов Д.О.*

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ П'ЯТНИКОВОГО ВУЗЛА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ

Ключові слова: вантажний вагон, п'ятниковий вузол, показники надійності,

Вступ

Залізничний транспорт у всьому світі займає значну частину ринку послуг, які пов'язані з організацією та забезпеченням перевізного процесу. Основною і головною задачею залізниць є підвищення рівня безпеки руху поїздів, на яку впливають надійність рухомого складу, стан і профіль залізничних колій, ліній електропередач та зв'язку, пристроїв блокування. При цьому, на безпеку руху поїздів та техніко-економічні показники перевізної роботи ПАТ «Українська залізниця» значною мірою впливає технічний стан рухомого складу вантажного вагонного господарства [1], а одним із ресурсовизначальних вузлів вантажних вагонів є пара «п'ятник – підп'ятник» [2], від технічного стану якої залежить міжремонтний пробіг вагона в цілому. У процесі експлуатації вантажних вагонів відбувається нерівномірний знос п'ятникового вузла, що пов'язаний з інтенсивністю проходження вагонів по кривим колії малого радіусу і в результаті, за станом зносу, підп'ятник потребує передчасного ремонту. Забезпечення нормативно встановленого та підвищення міжремонтного ресурсу вантажного вагона з використанням технологічних методів підвищення фізико-механічних та триботехнічних властивостей сполучених поверхонь п'ятникового вузла є актуальною задачею, вирішення якої повинно ґрунтуватись на застосуванні сучасних, більш ефективніших методах забезпечення необхідного рівня зносостійкості і міцності відновлюваних деталей візка вантажного вагона під час його ремонту.

Аналіз проблеми

Вантажні вагони експлуатуються в специфічних умовах: агресивний вплив вантажу, пошкодження при операціях завантаження і розвантаження, значні експлуатаційні навантаження, зношений рухомий склад, незадовільний стан колій тощо приводять до пошкодження і передчасного попадання вагонів у ремонт. Графічно розподіл несправностей вагонів в 2014-2016 рр., що призвели до транспортних подій, за даними Департаменту вагонного господарства ПАТ «Укрзалізниця», наведено на рис. 1. Даний розподіл вказує на позитивну динаміку зниження несправностей гальмівного обладнання, кузовів, буксових вузлів, візків та колісних пар вагонів у 2014-2016 рр.; іншу динаміку (підвищення) – мають автозчепи. Аналізуючи дані, можна твердити, що найбільша кількість несправностей вантажних вагонів до 51% носить технологічний характер, до 39% носить експлуатаційний характер, та до 10% – з інших причин.

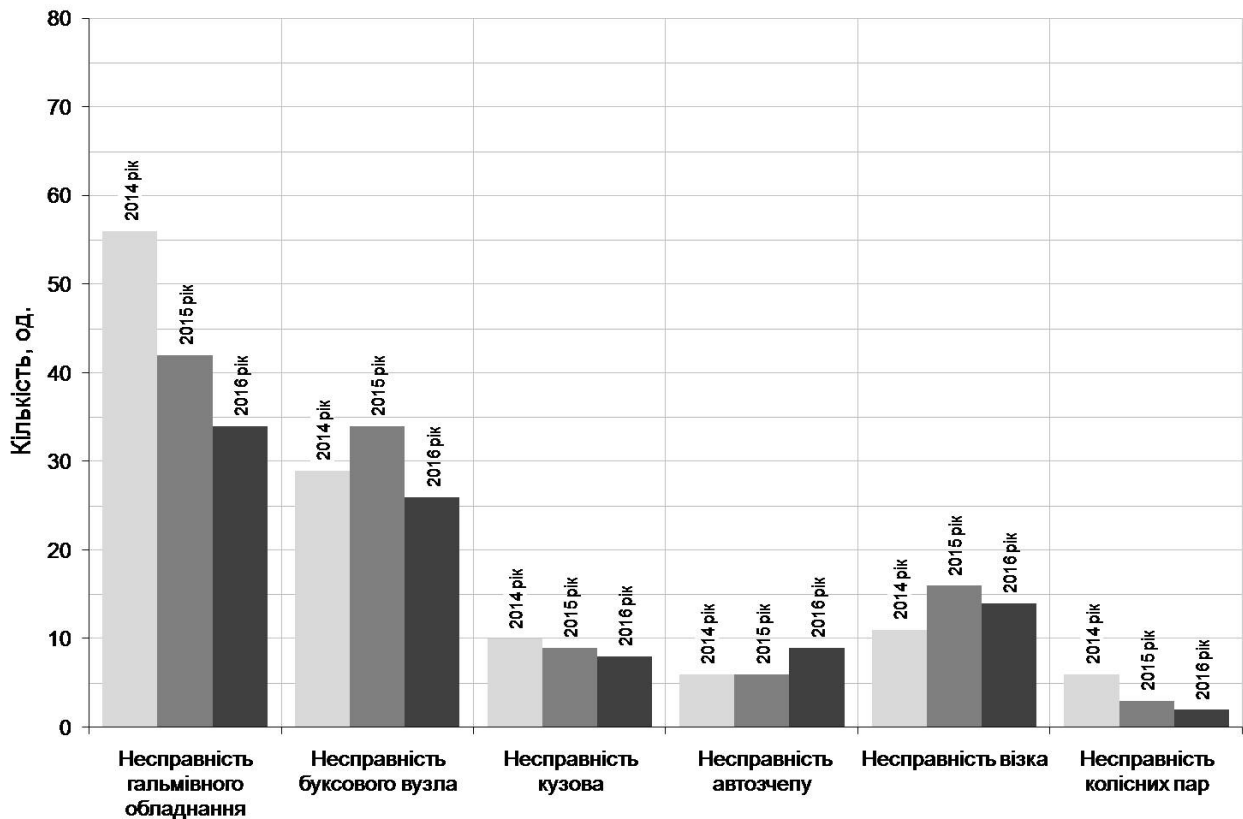


Рис. 1 - Розподіл несправностей вузлів вантажних вагонів в 2014-2016 рр., що призвели до транспортних подій

На даний час гострим питанням у вагонному господарстві залізниць України є якість проведення планового ремонту візків, а саме [2]:

- на похилих площинах надресорних балок не видаляються раніше приварені пластини з наступним наплавленням та механічним обробленням;
- не усуваються зноси опорних поверхонь буксових прорізів бокових рам та п'ятникових вузлів;
- не виконується заміна фрикційних планок, які мають понаднормативний знос;
- не проводиться заміна послаблених заклепок кріплення фрикційних планок та ряд інших несправностей.

Одним з прикладів неякісного проведення ремонту є вагон № 68829829, в якому 21.06.2016 на станції Попільня регіональної філії «Південно-Західна залізниця» було виявлено приварені металеві пластини в підп'ятнику та ступінчасті зноси бурта підп'ятника в 4-х точках, які впиралися в напливи металу на циліндричній поверхні п'ятника (рис. 2).



Рис. 2 - Ремонтні дефекти п'ятникового вузла вантажного вагона №68829829

В інших випадках при обстеженнях надресорних балок візків установлено, що глибина зносів опорних поверхонь підп'ятників, упорних поверхонь зовнішніх і внутрішніх бортів різко зросла. Зазначене відбувається при підвищенні інтенсивності переміщень п'ятників відносно підп'ятників. Додатковий вплив відбувається при кромочному обпиранні п'ятників на підп'ятники і наступний їх відносний поворот під час проходження кривих, що в результаті призводить до максимальної глибини зносу опорної поверхні підп'ятників. Інтенсивність такого зносу може складати до 3 мм в рік.

В експлуатації вантажних вагонів відбувається нерівномірний знос підп'ятника, що пов'язаний з інтенсивністю проходження вагонів по кривим колії малого радіусу [2-6]. При цьому відбувається збільшення нерівномірності навантажень у візку вантажного вагона (розвантаження одного буксового вузла, надмірне збільшення навантаження на протилежний буксовий вузол тощо).

Аналіз умов роботи і результатів експлуатації надресорних балок візків вантажних вагонів з низьколегованих сталей марок 20ГЛ, 20ФЛ і 20ГФЛ, що відносяться до ферито-перлітного класу, показав [2, 4], що ці деталі при роботі в умовах сухого тертя і наявності високих контактних і ударних навантажень мають низьку зносостійкість, при інтенсивності зносу робочих поверхонь 1,2...2,0 мм на 100 тис. км пробігу.

Застосування на залізничному транспорті маловуглецевих і низьколегованих зварювальних матеріалів забезпечує міжремонтний пробіг відремонтованих деталей усього в 160 тис. км, що відповідає 2 рокам експлуатації [2, 3]. Деталь за весь термін служби піддається ремонту наплавленням до 10 разів. При щорічній потребі в ремонті вантажних вагонів в 20 тис. одиниць, витрати залізничного транспорту на відновлення литих деталей вантажних вагонів обчислюється сотнями мільйонів гривень. Зменшити знос робочих поверхонь литих деталей вагонів намагалися в останні 10-15 років за рахунок застосування різних способів поверхневого зміцнення і установки прокладок зі зносостійкої сталі [2, 5]. Досвід застосування об'ємно-поверхневого гартування, електро-імпульсної обробки, індукційного, плазово-порошкового, дугового наплавлення високолегованим дротом ферито-мартенситного класу литих деталей вагонів і встановленням на них зносостійких елементів зі сталі 30ХГСА показав [2, 6], що на сьогоднішній день не існує універсального, ефективного і надійного захисту від зносу контактних поверхонь при терті. Наявність ударних навантажень в зоні контакту деталей надресорної балки не дозволило застосувати матеріали високої твердості, яким властива підвищена крихкість.

У випадку збільшення міжремонтного пробігу експлуатованих вантажних вагонів виникає необхідність у підвищенні фізико-механічних та триботехнічних властивостей основних деталей візка, таких як: надресорна балка і бічні рами. Слід відмітити, що при відчепленні вантажних вагонів в поточний ремонт – понад 20 % таких відчеплень пов'язані з наднормативною величиною зносу взаємодіючих поверхонь тертя, що в 1,2...1,5 рази перевищує гранично допустимі значення [2, 4]. Після проведеного ремонту у понад 15 % вантажних вагонів не забезпечується регламентований нормативний пробіг в 120 тис. км. Під час проведення ремонту вантажних вагонів понад 80 % складових деталей відновлюються технологічними методами [2, 7-9]: наплавленням або напилюванням і, у разі необхідності, в комплексі з механічною обробкою. При використанні даних технологічних методів для ремонту деталей візка не забезпечується величина нормативно встановленого міжремонтного пробігу, а значення ресурсу складає 65...75 % від ресурсу нових зразків.

Низька якість застосовуваних технологічних методів відновлення всіх, а особливо навантажених, деталей візка вантажного вагона є головною причиною підвищеної інтенсивності їх зносу [2-6, 9], що, в свою чергу, через можливу втрату працездатного стану деталей візка призводить до зниження безпеки руху поїздів та збільшення фінансових витрат, необхідних для проведення позапланових ремонтів візків.

Тому дана задача, що полягає у забезпеченні нормативно встановленого міжремонтного пробігу вантажного вагона з використанням технологічних методів

підвищення фізико-механічних та триботехнічних властивостей складових деталей візка є актуальною, вирішення якої повинно ґрунтуватись на застосуванні сучасних, більш ефективніших, методах забезпечення необхідного рівня зносостійкості і міцності відновлюваних деталей візка вантажного вагона.

Мета роботи. Експлуатаційні дослідження характеру зносу п'ятникових вузлів вантажних вагонів та розробка рекомендацій щодо забезпечення їх рівномірного зносу для підвищення міжремонтного ресурсу вузла.

Результати досліджень

Для встановлення характеру зносу п'ятникових вузлів вантажних вагонів будувались епюри зносу, загальний вигляд якої, наведено на рис. 3. Вісь OX направлена вздовж перерізу вантажного вагона, а вісь OY направлена у перпендикулярному напрямку до вісі OX .

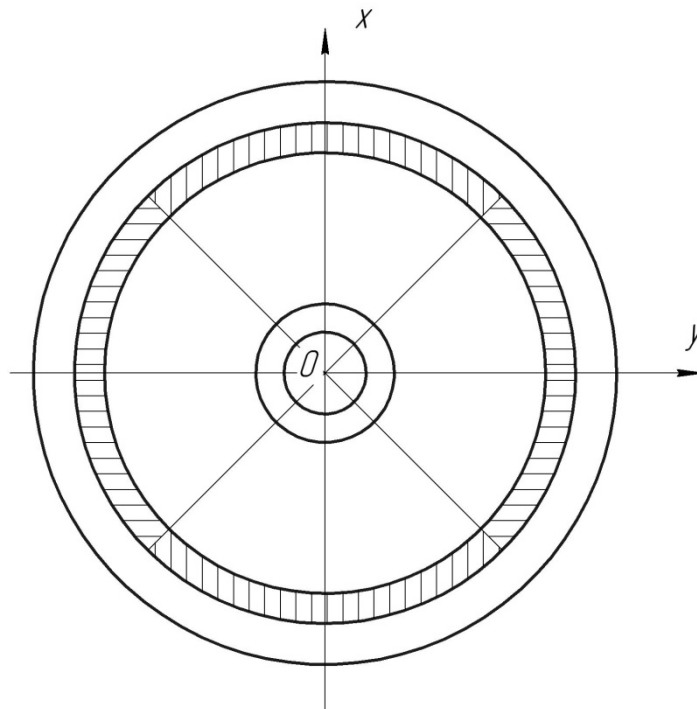


Рис. 3 - Епюра середнього зносу п'ятникового вузла вантажного вагона

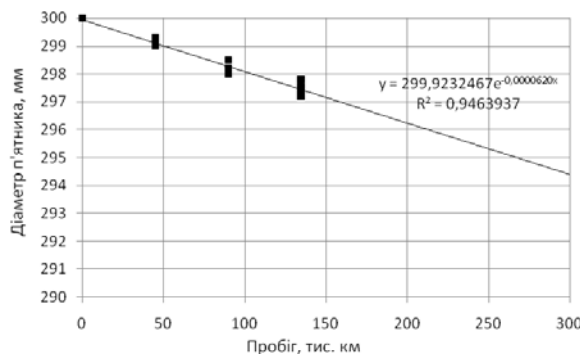
Проведений аналіз експлуатаційних зносів п'ятників і підп'ятників показав, що за подовжнім напрямком щодо вагона (вісь OY), діаметри в поперечному напрямі (вісь OX) як підп'ятника, так і п'ятника, змінюються інтенсивніше, ніж у напрямі OY , тобто в поперечному напрямку вагона відбувається овалізація. Основні результати зносів п'ятникових вузлів та прогнозні пробіги дослідних вантажних вагонів наведені в таблиці 1.

Табл. 1 - Узагальнені зноси п'ятникових вузлів вантажних вагонів та їх прогнольні пробіги

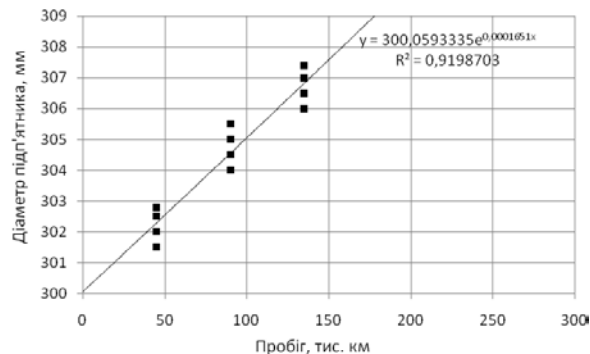
Величини	Середня інтенсивність зносу, мм/10 ⁴ км	Вимірювання після 135 тис. км, мм	Нормативні граничні значення, мм	Прогнозні пробіги, тис. км	
				за статистично максимальним чи мінімальним значенням	за математичним очікуванням
Діаметр підп'ятника	0,308	307,4	308	174	230
Діаметр п'ятника	0,076	297,2	294	320	780

З даних таблиці слідує, що знос підп'ятника дослідних вантажних вагонів відбувається значно інтенсивніше, ніж знос п'ятників. Це підтверджується і результатами їх обмірів після пробігу вагонів понад 135 тис. км. Найбільший виміряний діаметр підп'ятника становив 307,4 мм, тобто величина зносу за діаметром дорівнює 7,4 мм, або 2,4 %, тоді як найменший виміряний діаметр п'ятників склав 297,2 мм, тобто знос становить 2,8 мм, або 0,9 %.

На рис. 4 та 5 приведені регресійні залежності для статистичних даних величин зносу п'ятникового вузла дослідної групи вантажних вагонів в залежності від їх пробігу. На рис. 4 приведені регресійні лінії у вигляді експоненціальної функції, на рис. 5 – у вигляді лінійної залежності.

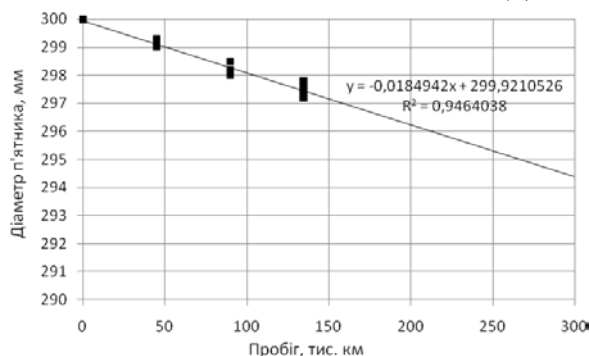


а

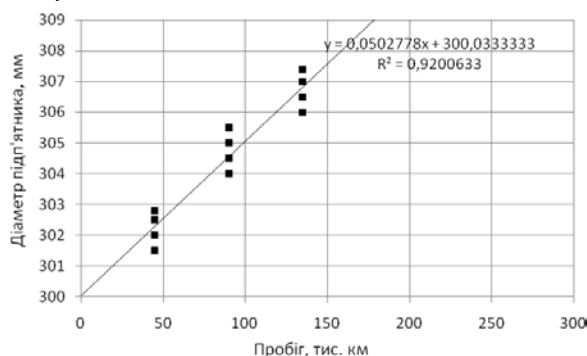


б

Рис. 4 - Регресійні експоненціальні залежності величини зносу п'ятників (а) та підп'ятників (б) від пробігу вантажних вагонів



а



б

Рис. 5 - Регресійні лінійні залежності величини зносу п'ятників (а) та підп'ятників (б) від пробігу вантажних вагонів

З отриманих регресійних залежностей величин зносу п'ятникового вузла дослідної групи вантажних вагонів в залежності від пробігу спостерігається наступне: чим більше у вибірці об'єктів дослідження, тим більш точно отримана модель описує середню величину зносу п'ятників та підп'ятників. Так, для всіх чотирьох приведених залежностей існує сильний кореляційний зв'язок ($R > 0,7$) для окремих вибірок статистичних даних і отриманих регресійних залежностей.

Прогнозні експлуатаційні пробіги дослідної групи вантажних вагонів, що передбачають появу перших ознак граничного зносу мають наступні значення:

- за підп'ятниками – 174 тис. км;
- за п'ятниками – 320 тис. км.

Математичне очікування граничного значення діаметрів підп'ятників спостерігається при пробігу вагонів в 230 тис. км, тоді як за діаметром п'ятників – при пробігу в 780 тис. км. Отримані дані дослідження вказують на те, що зносостійкість п'ятників достатня для забезпечення міжремонтного ресурсу вантажних вагонів в 300 тис. км, а зносостійкість підп'ятників вантажних вагонів необхідно підвищувати, щоб гарантовано забезпечити ресурс в 250...300 тис. км – до першого деповського ремонту.

Проведені дослідження експлуатаційних зносів п'ятників і підп'ятників надресорних балок візків вантажних вагонів надали можливість побудувати епюри зносу останніх, що проявлялись у 95 % випадків дослідної групи вантажних вагонів. Відповідно до отриманих епюр середнього зносу підп'ятника вантажного вагона провели розділення дослідної групи на підгрупи з відповідними характеристиками зносу. При цьому 5 вантажних вагонів не потрапили до жодної з підгруп, через відсутність зазначеної закономірності зносу підп'ятників. Епюри зносу дослідних підгруп вантажних вагонів наведені на рис. 6.

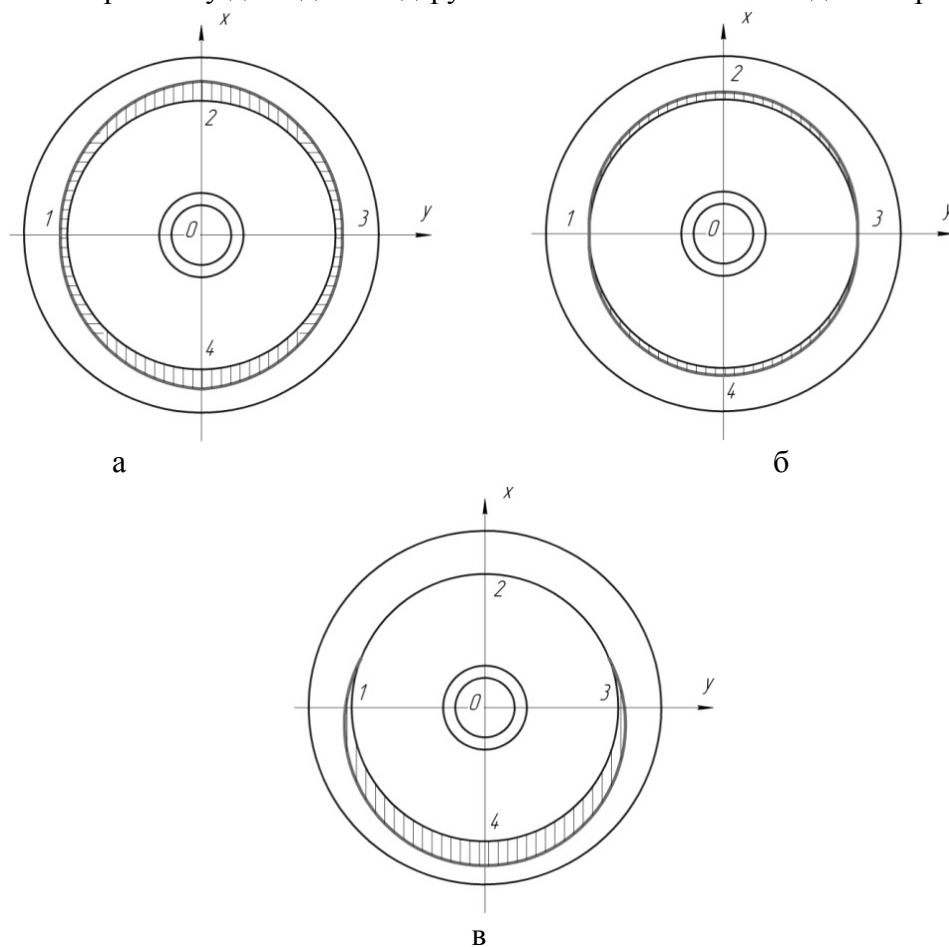


Рис. 6 - Епюри зносу підп'ятників надресорних балок візків вантажних вагонів після взаємодії з п'ятником: а – у всіх напрямках; б – у двох напрямках; в – однобічного характеру

На епюрах рис. 6 видно плавний характерний нерівномірний знос підп'ятників надресорних балок візків дослідної групи вантажних вагонів, який призводить до скорочення міжремонтного ресурсу вагона і його постановки на передчасний ремонт. Епюри зносу підп'ятників вантажних вагонів не будувались, оскільки на них не спостерігалось наявності нерівномірного зносу.

Побудовані епюри зносу підп'ятників надресорних балок візків дослідної групи вантажних вагонів (рис. 6) вказують на необхідність у застосуванні матеріалів з дискретними значеннями міцнісних властивостей за діаметром, що будуть забезпечувати рівномірний знос. Тобто для підвищення надійності підп'ятників надресорних балок візків вантажних вагонів під час їх виготовлення або під час ремонту необхідно задати дискретну твердість та зносостійкість матеріалу за діаметром.

У роботі пропонується задавати дискретну твердість матеріалу за діаметром (при виготовленні або при ремонті), у відповідності з залежностями наведеними на рис. 7. Причому таке розподілення твердості матеріалу підп'ятника за діаметром при виготовленні або після ремонту буде відповідати епюрам зносу, приведеним на рис. 6.

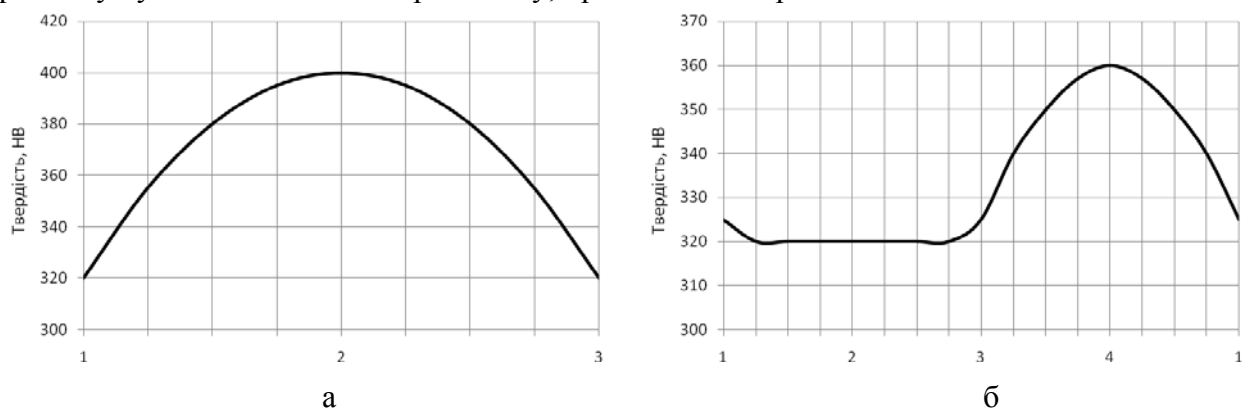


Рис. 7 - Розподілення твердості матеріалу за діаметром підп'ятника надресорної балки візка вантажного вагона, що відповідає епюрам зносу приведеним на рис. 6: а – для епюри а і б; б – для епюри в

На рис. 7а приведені розподілення твердості матеріалу в точках 1, 2 і 3 також відповідає точкам зносу 1, 4 і 3, тобто точки 2 і 4 на епюрах зносу (рис. 6а, 6б) є симетричними і рівноцінними величинами зносу, в яких повинне бути забезпечено рівне значення твердості.

Таке розподілення твердості матеріалу підп'ятника за діаметром можна забезпечити за допомогою існуючих технологій наплавлення та напилювання, але зі значним ускладненням технологічного процесу і збільшенням тривалості самого ремонту. При виготовленні підп'ятників з дискретною твердістю також виникне проблема, що пов'язана з ускладненням технологічного процесу ремонту. Більш перспективними, з огляду на це, є рідкотвердофазні та твердофазні методи нанесення покриттів, найбільш поширеними з яких є контактне наварювання композиційних матеріалів [2, 9, 10]. Згідно з цими методами наварювати можна найрізноманітніші матеріали – сталеву чи порошкову стрічку необхідного хімічного складу, сталевий чи порошковий дріт, прип'якати порошкові матеріали.

Переваги контактної наварювання полягають у відсутності нагріву деталей, загартуванні шарів металу основи та покриття безпосередньо під час наварювання, зменшенні витрат присадного матеріалу в 3...4 рази у порівнянні з дуговим наплавленням, високій продуктивності, економії електроенергії, відсутності вигорання легуючих елементів та можливості регулювання наварюємого шару в межах 0,1...6,5 мм. Найбільш широкого використання даний спосіб знайшов при відновленні та зміцненні деталей типу «вал» [2, 9,

10]. Зміцнення контактним наварюванням зносостійких матеріалів на втулках – практично не вивчено.

Тобто ефективним способом збільшення міжремонтного ресурсу деталей вантажних вагонів (підп'ятників) може стати контактне наварювання зносостійких порошкових матеріалів – попередньо сформованих у композиційні стрічки.

Особливістю наварювання порошкових стрічок є те, що при нагріванні за всією товщиною шару, в силу множинності перехідних опорів всередині нього, нагрівається і суміжна ділянка деталі. В залежності від інтервалів температур плавлення різних інгредієнтів композиційного матеріалу, в них відбуваються неоднакові зміни. Частинки тугоплавких матеріалів залишаються незмінними чи подрібнюються, середньоплавких – пластично деформуються і спікаються, легкоплавких – плавляться і заповнюють пори між частинками, які мають більш високу температуру плавлення. Наварений шар практично завжди залишається гетерогенним і складається з тих же часток, що вихідний композиційний матеріал [9, 10].

Висновки

За результатами досліджень експлуатаційних зносів п'ятників і підп'ятників надресорних балок візків вантажних вагонів встановлено, що для підвищення їх міжремонтного ресурсу необхідно забезпечити рівномірне розподілення зносу по поверхням тертя при експлуатації. Запропоновано при виготовленні або ремонті підп'ятника, для забезпечення його рівномірного зносу, формувати дискретну твердість матеріалу на опорних поверхнях за його діаметром, що може бути досягнуто застосуванням контактного наварювання зносостійкими композиційними стрічками.

При досягненні рівномірного зносу підп'ятників можна буде збільшити міжремонтний пробіг вантажних вагонів до 350...400 тис. км, при цьому не проводити їх передчасну постановку на ремонт і, тим самим, підвищити ефективність експлуатації вантажних вагонів та скоротити фінансові витрати на їх утримання.

Література

1. Myamlin S.V., Baranovskiy D.M. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету ім. ак. В. Лазаряна "Проблеми економіки транспорту". – 2014. № 7. – С. 61-66.
2. Мурадян Л.А., Подосьонов Д.О. Аналіз пошкоджень вантажних вагонів на ПАТ «Українська залізниця» // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Матеріали 76 Міжнародної науково-практичної конференції. – Дн-вськ, 2016. – С. 22-24.
3. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body / F. Zhao, J. Xie, Y. Yuan, X. Shi // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 652–654. – P. 1357–1361. doi: 10.4028
4. Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. - 2012. - № 1. - P. 5-10.
5. Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. - 2012. - Vol. 14, № 2. - P. 154-159.
6. Zhao, F. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body / F. Zhao, J. Xie // J. of Mechanical Engineering. – 2014. – Vol. 50. – Iss. 10. – P. 121–126. doi: 10.3901/jme.2014. 10.121
7. Балтер М. А. Упрочнение деталей машин / М. А. Балтер – Москва: Машиностроение, 1978. – 182 с.
8. Иванова В. С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов / В. С. Иванова. – Москва: Наука, 1992. – 160 с.

9. Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Подосенов Д.О. Повышение надежности грузовых вагонов с применением новых технологий изготовления и восстановления рабочих поверхностей // Збірник наукових праць ДНУЗТ. Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – С. 24-31.

10. Лашенко Г. И. Современные технологии сварочного производства. – Київ: «Екотехнологія», 2012. – 720 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Мямлін Сергій Віталійович -

д.т.н., професор,
проректор з наукової роботи
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010.
Тел.: +38 050 340 27 85.
E-mail: sergeymyamin@gmail.com

Мурадян Леонтій Абрамович,

к.т.н., доцент кафедри
«Вагони та вагонне господарство»
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010.
Тел.: +38 050 340 28 01.;
E-mail: leon59@bk.ru

Подосьонов Дмитро Олександрович,

заступник начальника служби вагонного
господарства Регіональної філії «Придніпровська
залізниця» ПАТ «Укрзалізниця»,
Тел.: +38 050 361 98 06.
E-mail: d.a.podosenov@gmail.com

РЕФЕРАТ

УДК 629.17:629.46

Підвищення надійності п'ятникового вузла вантажного вагону / Мямлін С.В., Мурадян Л.А., Подосьонов Д.О. // Залізничний транспорт України. – 2018. - № 1. – С.

Проведені дослідження експлуатаційних зносів п'ятникових вузлів вантажних вагонів показали, що для підвищення їх міжремонтного ресурсу необхідно забезпечити рівномірне розподілення зносу під час експлуатації. У роботі запропоновано, при виготовленні або при ремонті підп'ятника, для забезпечення його рівномірного зносу, задавати дискретну твердість матеріалу за його діаметром, що може бути досягнуто застосуванням контактної наварювання зносостійких композиційних стрічок.

Ключові слова: п'ятниковий вузол, вантажні вагони, знос, міжремонтний ресурс, дискретне розподілення.

РЕФЕРАТ

УДК 629.17:629.46

Повышение надёжности пятникового узла грузового вагона / Мямлин С.В., Мурадян Л.А., Подосёнов Д.А. // Железнодорожный транспорт Украины. - 2018. - №1. – С.

Проведенные исследования эксплуатационных износостойкости пятниковых узлов грузовых вагонов показали, что для повышения их межремонтного ресурса необходимо обеспечить равномерное распределение износа при эксплуатации. В работе предложено, при изготовлении или при ремонте подпятника, для обеспечения его равномерного износа, задавать дискретную твердость материала по его диаметру, что может быть достигнуто применением контактного наваривания износостойких композиционных лент.

Ключевые слова: пятниковый узел, грузовые вагоны, износ, межремонтный ресурс, дискретное распределение.

ABSTRACT

UDC 629.17:629.46

Increase of reliability of thrust bearing of freight car / S. Myamlin, L. Muradian, D. Podosenov // Railway transport of Ukraine. – 2018. - № 1. – pp. ...

The carried out researches of operational wear of thrust bearing of freight cars have shown that to increase their overhaul resource it is necessary to ensure an even distribution of wear during operation. Therefore, in the article, in the manufacture or in the repair of the thrust bearing, in order to ensure uniform wear, it is suggested to specify the discrete hardness of the material by its diameter, which can be achieved by applying contact welding of wear-resistant composite tapes. With the achievement of uniform wear of the bearings, it will be possible to guarantee the between-repair run of freight wagons at 350-400 thousand km, without prematurely putting on repairs and, thereby, reducing the financial costs of maintaining freight wagons.

Key words: thrust bearing, freight wagon, wear, overhaul resource, discrete distribution.

References

1. Myamlin S.V., Baranovskiy D.M. (2014). The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. Zbirnik naukovih prats Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu im. ak. V. Lazaryana "Problemi ekonomiki transportu" [Problems of transport economy], 2014, № 7, pp. 61-66. [in English].
2. Muradyan L.A., Podosenov D.O. (2016). Analiz poshkodzhen vantazhnykh vagoniv na PAT «Ukrayinska zaliznitsya» [Analysis of freight wagon damage at PJSC "Ukrainian Railway"] // Problemi ta perspektivi rozvitku zaliznichnogo transportu: Materiali 76 Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi [Problems and prospects of rail transport development: Materials of the 76th International Scientific and Practical Conference], Dnipropetrovsk, pp. 22-24. [in Ukrainian].
3. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body / F. Zhao, J. Xie, Y. Yuan, X. Shi // Advanced Materials Research. - 2013. - Vol. 652-654. - P. 1357-1361. doi: 10.4028. [in English].
4. Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. - 2012. - № 1. - P. 5-10. [in English].
5. Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. - 2012. - Vol. 14, № 2. - P. 154-159. [in English].
6. Zhao, F. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body / F. Zhao, J. Xie // J. of Mechanical Engineering. - 2014. - Vol. 50. - Iss. 10. - P. 121-126. doi: 10.3901/jme.2014. 10.121. [in English].
7. Balter M.A. Uprochnenie detaley mashin [Hardening of machine parts] Moskva: Mashinostroenie, 1978, 182 p. [in Russian]
8. Ivanova V.S. Sinergetika. Prochnost i razrushenie metallicheskih materialov [Synergetics. Strength and fracture of metallic materials] Moscow, 1992, 160 p. [in Russian]
9. Muradyan L.A., Shaposhnik V.Yu., Podosenov D.O. Povyishenie nadezhnosti gruzovykh vagonov s primeneniem novykh tekhnologiy izgotovleniya i vosstanovleniya rabochih poverkhnostey [Increasing the reliability of freight cars with the use of new manufacturing technologies and restoration of working surfaces] // Zbirnik naukovih prats DNUZT. Elektromagnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznichnomu transporti [Electromagnetic compatibility and safety on rail transport], 2016, pp. 24-31. [in Ukrainian].
10. Laschenko G. I. Sovremennyye tekhnologii svarochnogo proizvodstva [Modern technologies of welding production] Kiyiv, 2012, 720 p. [in Russian].