

А. О. Ловська

Український державний університет залізничного транспорту
м-н. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: 066-338-19-46, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

В. Г. Равлюк

Український державний університет залізничного транспорту
м-н. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна
Телефон: 095-444-59-74, E-mail: ravvg@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕНОРМАТИВНОГО ЗНОСУ ГАЛЬМОВИХ КОЛОДОК І ЙОГО ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛЬМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ

У роботі висвітлюються результати виробничих досліджень характеру і параметрів зносу композиційних гальмових колодок вантажних вагонів в умовах експлуатації. Визначено основні негативні наслідки дії колодок з ненормативним зносом від яких збільшуються витрати на утримання рухомого складу. Під час режимів гальмувань від дії ненормативно зношених колодок виникають високотемпературні пошкодження на поверхнях кочення коліс, результатом яких є їх позаплановий ремонт шляхом обточування, що призводить до зменшення «дорогоцінного» ресурсу обода і збільшення експлуатаційних витрат. Через зменшення корисної площі колодок до 40 % у результаті ненормативного зносу, зменшується й розрахункове гальмове натиснення колодок на колеса до 20,3 % й погіршується ефективність гальмувань у поїздах на 20-30 %. Доводиться також завчасно виконувати заміну таких ненормативно зношених колодок у вантажних вагонах, а залишки недовикористаної гумосуміші композиту вивозити на сміттєзвалища, що суттєво збільшує їх об'єми такими небезпечними відходами, які не підлягають утилізації й розкладаються тисячі років, забруднюючи при цьому навколишнє середовище.

Запропоновано процедуру проведення виробничих досліджень щодо встановлення ненормативного зносу композиційних гальмових колодок вагонів. Вона містить відповідні етапи стосовно до послідовності виконання передбачених операцій, що виконуються під час проведення обстежень елементів гальмових важільних передач візків вантажних вагонів.

У роботі розроблено класифікацію видів і типів зносу композиційних гальмових колодок і встановлені основні причини їх виникнення.

© Ловська А.О., Равлюк В.Г., 2022

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Запропоновано створення передумов до визначення напруженого стану елементів важільних передач візків, що дасть змогу повноцінно використовувати ресурс композиційних гальмових колодок на увесь міжремонтний термін експлуатації вантажних вагонів.

Ключові слова: вантажний вагон, гальмова колодка, знос колодок, класифікація зносів колодок, забезпечення руху поїздів.

А. А. Ловская

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта
м-н. Фейербаха, 7, г. Харьков, 61050, Украина

Телефон: 066-338-19-46, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

В. Г. Равлюк

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта
м-н. Фейербаха, 7, г. Харьков, 61050, Украина

Телефон: 095-444-59-74, E-mail: ravvg@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕНОРМАТИВНОГО ИЗНОСА ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

В работе отражены результаты производственных исследований характера и параметров износа композиционных тормозных колодок грузовых вагонов в условиях эксплуатации. Определены основные негативные последствия действия колодок с ненормативным износом, которые приводят к увеличению затрат на содержание подвижного состава. Во время режимов торможения в результате воздействия ненормативно изношенных колодок возникают высокотемпературные повреждения на поверхностях качения колес, результатом которых является их внеплановый ремонт методом обточки, что приводит к уменьшению «драгоценного» ресурса обода и увеличению эксплуатационных расходов. Из-за уменьшения полезной площади колодок до 40 % в результате ненормативного износа, уменьшается и расчетное тормозное нажатие колодок на колеса до 20,3 % и ухудшается эффективность торможения в поездах на 20-30 %. Приходится также заблаговременно производить замену таких ненормативно изношенных колодок в грузовых вагонах, а остатки недоиспользованной резиносмеси композита вывозить на свалки, что существенно увеличивает их объемы за счет таких опасных отходов, которые не подлежат утилизации и разлагаются тысячи лет, загрязняя при этом окружающую среду.

Предложена процедура проведения производственных исследований по установлению ненормативного износа композиционных тормозных колодок вагонов. Она включает в себя соответствующие этапы, касающиеся последовательности выполнения предусмотренных операций, выполняемых при проведе-

нии обследований элементов тормозных рычажных передач тележек грузовых вагонов.

В работе разработана классификация видов и типов износа композиционных тормозных колодок и установлены основные причины их возникновения. Предложено создание предпосылок для определения напряженного состояния элементов рычажных передач тележек, что позволит полноценно использовать ресурс композиционных тормозных колодок на протяжении всего межремонтного срока эксплуатации грузовых вагонов.

Ключевые слова: грузовой вагон, тормозная колодка, износ колодок, классификация износов колодок, безопасность движения поездов.

Вступ та постановка проблеми. Розвиток залізничної галузі в сучасних умовах конкурентного середовища зумовлює створення передумов для модернізації елементів механічної частини гальм вантажних поїздів, як одного з найбільш відповідальних вузлів з точки зору забезпечення їх руху [1–3].

Гальмування вантажного поїзда є дуже складним процесом, специфічним для залізничних транспортних засобів і має велике значення через істотний внесок в забезпеченні руху за рахунок справної роботи гальмових систем й ефективності їх експлуатації.

Фрикційні вироби гальмових систем, а саме, композиційні гальмові колодки є критично важливими для забезпечення руху вантажних поїздів. Вони повинні бути ретельно спроектовані та розроблені, бути адаптовані до використання на різноманітному діапазоні транспортних засобів, гарантувати потрібні механічні властивості матеріалу, що в сукупності дасть можливість забезпечення ефективності під час гальмування.

Одним з найбільш несприятливих явищ експлуатації композиційних гальмових колодок є їх клинодувальний знос, який характеризується зменшенням корисної площі колодки, яка вже не використовується під час гальмування [4]. Використання таких гальмових колодок в процесі експлуатації, по-перше збільшує ризик небезпеки на залізничному транспорті, а по-друге призводить до виникнення на поверхнях кочення колісних пар масових несправностей, від яких зазнає збитків залізнична інфраструктура.

Тому для забезпечення руху вантажних поїздів виникає необхідність проведення досліджень в зазначеному напрямку.

Аналіз існуючих досліджень. Питання забезпечення руху вантажних поїздів є досить актуальними і залежать від багатьох факторів, зокрема технічного стану та навантаженості складових їх гальм. Так, наприклад, у праці [5] виконано аналіз напружень, що виникають у гальмовій колодці та термічний аналіз з використанням програмного забезпечення SolidWorks. Запропоновано альтернативне рішення щодо використання композиту на основі модифікованої смоли алкілбензолу для збільшення коефіцієнту тертя.

У роботі [6] наведені результати випробувань вантажного рухомого складу промислового транспорту щодо ефективності гальмування, а також конструктивно-динамічного аналізу гальмового механізму. Виконані дослідження полягали у визначенні типу та параметрів емпіричної залежності коефіцієнта тертя гальмової колодки на поверхні кочення колеса у залежності від швидкості та гальмування, а також у визначенні кінетичної характеристики гальма вантажного рухомого складу промислового транспорту. Однак, при цьому авторами не приймався до уваги кли-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

нотуальний знос колодок вантажних вагонів, який дуже суттєво впливає на ефективність гальмування вагонів промислового транспорту.

У публікації [7] запропоновано новий фрикційний матеріал гальмових колодок, який впливає на термін служби коліс рухомого складу. Основна увагу приділяється вирішенню проблем пов'язаних із застосуванням сучасних гальмових матеріалів і досліджується їх вплив на термічні та механічні властивості під час передачі навантаження під час гальмування на залізничні колеса.

Колективом авторів у роботах [8, 9] наведено результати експлуатаційних досліджень щодо оцінки чинників, які слугують виникненню на поверхні кочення колісних пар дефектів термічного походження при взаємодії з композиційними гальмовими колодками. Для запобігання таких дефектів запропоновано використовувати композиційні колодки з металевими вставками, які дозволять зменшити їх відсоток. Під час обстеження гальмового обладнання вантажного поїзда, були виявлені різного виду несправності механічної та пневматичної частин гальм, виконувався огляд гальмових колодок під час якого було виявлено їх клиновидний знос через торкання верхнього кінця об поверхню кочення. Однак у роботах не розглядалися питання щодо попередження виникнення клинодуального зносу колодок, що в свою чергу суттєво зменшує гальмову ефективність вантажного поїзда не залежно від того, які використовуються гальмові колодки.

У праці [10] авторами проаналізовано експлуатаційні показники якості чавунних і композиційних гальмових колодок, що використовуються на різного роду рухомому складу. Наведено деякі негативні чинники композиційних колодок, описано їх вплив на довкілля та процеси, що спричиняють пошкодження поверхонь кочення коліс рухомого складу.

У багатьох дослідженнях щодо застосування композиційних гальмових колодок у рухомому складі науковцями порушені питання в першу чергу, що стосуються безпеки руху та навколишнього середовища. Тому скорочення експлуатаційних витрат у залізничній галузі часто означає, що гальмові колодки розглядаються як товар, який часто закуповують за найнижчою ціною за умов задовільної їх роботи. Проте, це може не призвести до найнижчих експлуатаційних витрат, а вибір фрикційного матеріалу може мати прямий вплив на термін служби колеса, заміна якого зазвичай набагато дорожча ніж інших вузлів вагона [11].

У роботі [12] автори на підставі огляду публікацій наводять порівняльні показники якості та експлуатаційні характеристики чавунних гальмових колодок, виготовлених ливарним способом і композиційних колодок. Описано деякі недоліки застосування композиційних колодок, наприклад, низька теплопровідність, спричиняє термічний вплив на поверхні кочення коліс рухомого складу. А це призводить до збільшення експлуатаційних витрат на ремонт колісних пар. Інший суттєвий недолік — це відсутність в технічних умовах на виготовлення, стандартах та технічній документації переліку та вмісту інгредієнтів у гумосуміші композиту, їх хімічний склад, що суперечить чинному законодавству України й унеможливує процес контролю за цими речовинами. Однак, у статті не згадується про витрати від ненормативного зносу композиційних гальмових колодок, який виникає під час руху без гальмування у вантажному рухомому складі.

В інших дослідженнях [13-15], які спрямовані на впровадження сучасних матеріалів у конструкцію триботехнічних вузлів обґрунтовано ефективність їх застосування в сучасному рухомому складі, які дозволили збільшувати швидкість руху, осьове навантаження, ефективність гальмової системи тощо. Але, в той же час, є

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

низка проблем, пов'язаних з ненормативним зносом гальмових колодок у вантажних вагонах, які потрібно вирішити. Таким чином, проблеми, пов'язані зі зносом гальмових колодок і коліс вантажного рухомого складу, насправді є [16, 17], і в цьому сенсі проводяться роботи, пов'язані з удосконаленням елементів важільної передачі вантажних вагонів для забезпечення руху вантажних поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації їх гальм.

Аналіз літературних джерел [1–17] дає змогу зробити висновок, що питання клинодуального зносу композиційних гальмових колодок, які використовуються у гальмових системах візків вітчизняного та сучасного парку вагонів є актуальними та потребують дослідження і розвитку.

Метою роботи є дослідження причин ненормативного зносу гальмових колодок і створення передумов щодо повноцінного ресурсу їх використання на увесь міжремонтний термін експлуатації.

Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- визначити недоліки використання композиційних гальмових колодок;
- запропонувати процедуру проведення виробничих досліджень щодо встановлення ненормативного зносу гальмових колодок вагонів;
- проаналізувати технічний стан композиційних гальмових колодок, визначити класифікацію видів і типів зносу та встановити причини їх ненормативного зносу для різних величин пробігу вантажних вагонів.

Матеріали та результати досліджень. Нині увесь парк вантажних вагонів, як АТ «Укрзалізниця» так і промислових підприємств, облаштовані пристроями рівномірного зносу гальмових колодок, але вони мають дуже низьку надійність. Через це втрачається їх працездатність навіть іще у тих вагонах, які щойно вводяться в експлуатацію із вагонобудівних або ремонтних підприємств. Тому більш ніж 90% вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» працюють з клинодуальним зносом гальмових колодок, через що погіршується ефективність гальмувань у вантажних поїздах.

Типовий тріангель, який використовується у візках вантажних вагонів моделей 18-100, 18-101 та інноваційних, має врівноважену конструкцію відносно свого підвішування. Однак, після приєднання до розпірки тріангеля гальмової важільної передачі (ГВП) з деталями умова рівноваги тріангеля порушується. Він, під дією зусилля, що утворюється масою всіх деталей, що до нього приєднані, нахиляється до упору, а це призводить до притискання верхніх країв композиційних гальмових колодок об поверхню кочення коліс. А це призводить до інтенсивного тертя верхніх кінців колодок об поверхню кочення коліс під час руху без гальмування. В результаті цього на верхніх частинах гальмової (робочої) поверхні колодок, які контактують з колесами, інтенсивно нарощується місцева стертість, яка викликає їх клинодуальний знос [4, 18].

З явищем клинодуального зносу композиційних гальмових колодок пов'язані такі негативні наслідки:

- збільшуються витрати енергоносіїв на тягу поїздів на переборювання тертя колодок об колеса. За попередньо виконаними тяговими розрахунками до 3 %, а це сотні тон дизельного палива і тисячі кВт електроенергії, витрачаються даремно під час вантажних перевезень, збільшуючи суттєво собівартість перевезень вантажів залізничним транспортом;
- у два рази збільшуються витрати композиційних гальмових колодок;
- кардинально погіршується ефективність гальмування у вантажних поїздах, а також зменшується розрахункове гальмове натиснення колодок на 20,3 %;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

– масово утворюються на поверхнях кочення коліс високотемпературні пошкодження (вищербини, повзуни, раковини, кільцеві виробки тощо), що негативно впливають на безпеку руху поїздів, зменшують ресурс колісних пар і збільшують опір від їх перекочування по рейках. Так само спричиняють додаткові експлуатаційні витрати на ремонт колісних пар вантажних вагонів, які пов'язані з виконанням маневрових і важких демонтажно-монтажних робіт у експлуатаційних підрозділах вагонного господарства;

– навколишнє середовище зазнає значних екологічних збитків від «захоронення» таких клинодуально зношених композиційних колодок із значними залишками робочої маси, які щорічно вивозяться сотнями тон на сміттєзвалища від підприємств залізничного транспорту. А це суттєво збільшує їх об'єми небезпечними азбестогумовими відходами, які не підлягають утилізації й розкладаються тисячі років, забруднюючи при цьому навколишнє середовище, яке відіграє важливу роль у житті та здоров'ї людей.

Для того, щоб успішно вирішити таку проблему, потрібно виконати виробничі дослідження за певною процедурою, яка встановлює послідовність обстежень гальмових систем і коліс візків вантажних вагонів під час технічного обслуговування та ремонту (ТОР) вагонів. Аналіз результатів цього дослідження щодо зібраного статистичного матеріалу дозволить встановити причини виникнення відмов елементів ГВП й коліс і створити підстави щодо удосконалення гальмової системи візка стосовно до використання повного ресурсу гальмових колодок за увесь гарантований міжремонтний період експлуатації вантажних вагонів [18].

Для визначення геометричних і температурних показників колодок під час обстеження гальмових систем вантажних вагонів:

- виконується вимірювання температури гальмової колодки;
- проводиться зовнішній огляд усіх елементів ГВП з фотофіксацією дефектних вузлів і їх замірюванням за можливості доступу;
- здійснюється вимірювання довжини шкідливої стертості та товщин гальмових колодок у контрольних точках (зверху, по лінії розмежування площин і знизу).

Процедура проведення виробничих досліджень.

Виробничі дослідження проводяться з метою виявлення та накопичення достатньої кількості статистичних даних про наявність несправностей, відмов або дефектів, що зумовлюють утворення й розвиток клинодуального зносу композиційних гальмових колодок вантажних вагонів. Для виконання процедури здійснювалися такі етапи:

– **перший етап** — виконання вимірювання температури гальмової колодки за допомогою пірометра, одразу після прибуття поїзда на колії сортувальної станції або спеціалізованого пункту [19, 20];

– **другий етап** — перевірка термінів повірки або калібрування необхідного вимірювального інструменту та оснащення;

– **третій етап** — перевірка оглядачем вагонів огородження вантажного составу, якщо він знаходиться на коліях пункту технічного обслуговування (ПТО) вантажних вагонів;

– **четвертий етап** — контроль та перевірка відповідності гальмової важільної передачі (ГВП) візків вантажних вагонів комплектам конструкторської документації [21, 22], проведення зовнішнього огляду та вимірювання відповідними засобами вимірювальної техніки відповідно до технологічного процесу підприємства, вимог нормативної та технічної документації;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

– *п'ятий етап* — вимірювання товщини і довжини гальмових колодок вимірюють лінійкою, а зазор у місцях прилягання колодки до поверхні кочення коліс за допомогою щупа з вибірковою фотофіксацією.

У процесі виробничого дослідження необхідно виконати:

– вимірювання зазорів між кожною колодкою і поверхнею кочення колеса у двох станах колодки, як у загальмованому стані так і за попущених гальм (за умови, що рухомий склад знаходиться на ПТО);

– вимірювання довжини шкідливої стертості колодки $l_{шт}$ (рис. 1);

– вимірювання товщини колодок по лінії розмежування площин $\Delta_{пр}$ (за наявності), у верхній $\Delta_в$ і нижній $\Delta_н$ частинах колодок (рис. 2).

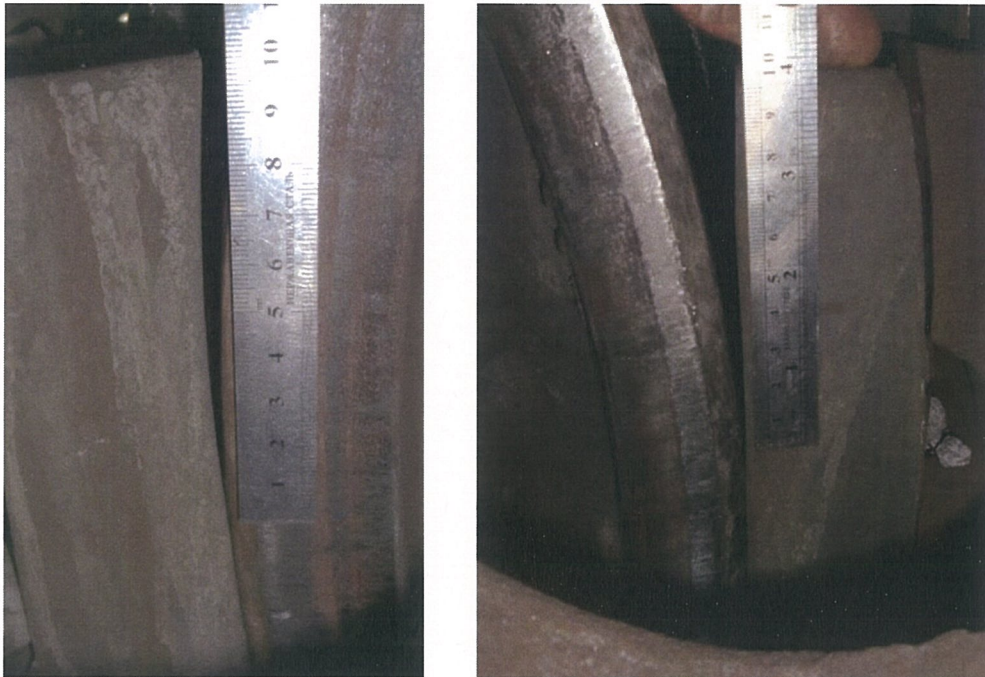


Рис. 1. Схема вимірювання довжини шкідливої стертості гальмової колодки, що утворилася в експлуатації

Величину клинодуальності колодки визначають за різницею виміряної товщини:

- по лінії розмежування площин і верхньої частини за виразом:

$$\xi_{Вкд} = \Delta_{пр} - \Delta_в, \quad (1)$$

де $\Delta_{пр}$ і $\Delta_в$ – товщина колодки відповідно по лінії розмежування і верхньому кінці, мм;

- у нижній частині та по лінії розмежування площин за виразом:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$\xi_{H_{\text{кд}}} = \Delta_{\text{т}} - \Delta_{\text{пр}}, \quad (2)$$

де $\Delta_{\text{т}}$ – товщина колодки на нижньому кінці, мм.

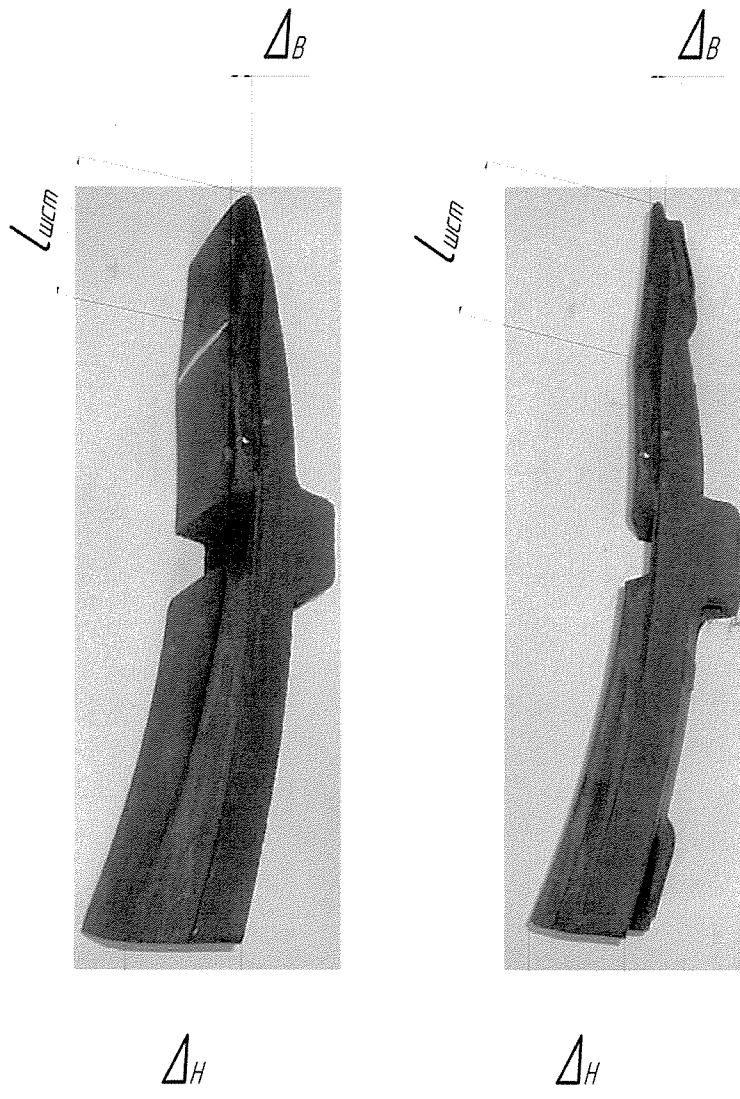


Рис. 2. Схема вимірювань колодок для визначення величини ненормативного зносу колодки

Якщо колодка зношена клиноподібно, її геометричні параметри зносу визначають за різницею виміряної товщини колодки в нижній та верхній частинах:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$\xi_{\text{кп}} = \Delta_n - \Delta_b. \quad (3)$$

У процесі обстежень оглядач-ремонтник вагонів виконує зняття вибірково обраних гальмових колодок з вагонів за умови, коли рухомий склад знаходиться на ПТО [19, 21]. Однак, якщо візок поданий в дільницю для ремонту, тоді слюсар з ремонту рухомого складу повинен зняти всі колодки після обстеження гальмової системи візка та перевірити їх габаритні розміри за допомогою штангенциркуля і лінійки, за допомогою ваг (типу РН-10Ц 13У) перевірити їх масу. За наявності пошкоджень (кільцевих виробок і вибоїн) робочої частини колодки, їх перевірити мікрометром, або індикатором годинникового типу;

– *шостий етап* — на фінальному етапі виконати упорядкування зібраних статистичних матеріалів виробничого дослідження. За результатами обстеження пошкоджених елементів усі числові значення, які наведені в спеціально розроблених дефектних відомостях (картах) необхідно ввести в комп'ютерну базу даних.

Виробничі дослідження щодо обстеження композиційних гальмових колодок вантажних вагонів проводилися в умовах підприємства вагонного господарства — експлуатаційного депо «Основа» регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця».

Під час виконання виробничих досліджень було встановлено, що застосування композиційних гальмових колодок на вантажному рухомому складі дуже сильно впливає на збільшення кількості відмов коліс у процесі їх експлуатації. Основною причиною появи таких відмов є те, що композиційні гальмові колодки мають низьку теплопровідність і здатні вкраплювати метал колеса у робочу (гальмову) площину колодки, а це призводить до виникнення на поверхні кочення коліс різного роду пошкоджень (повзунів, наварів, вищербин), які відносяться до термомеханічного характеру.

Процес вкраплювання металу в робочу (гальмову) площину тертя композиційної гальмової колодки — це наслідок фрикційної взаємодії й схоплювання контактуючих поверхонь в результаті пластичної деформації, яка відбувається під час фрикційного нагрівання, а також великих контактних нормальних і дотичних напружень [23]. Такому явищу, як вкраплювання металу колеса у поверхню тертя композиційної гальмової колодки сприяють технологічні дефекти на поверхні тертя, які утворилися в процесі експлуатації [24]. Частинки сталі, які відокремилися від колеса під час гальмування, знаходяться між гальмовою колодкою і колесом. Однак, в умовах великих питомих тисків, високих температур і підвищеної пластичності, що властиво сталі під час силових режимів і екстремальних температур, розкочуються у вигляді тонких пластинок неправильної форми і вкраплюються у тіло композиційної гальмової колодки (рис. 3, а).

Під час виконання ступеневого, службового або екстреного гальмувань процес вкраплювання металу в тіло гальмової колодки повторюється. Проте, він ускладнюється тим, що до взаємодіючої триботехнічної пари «гальмова колодка – колесо», ще й додається тертя сталі колеса об сталь, що зафіксувалася на поверхні колодки. Ці продукти зношування утворюють на поверхні композиційної гальмової колодки конгломерат з пластинок різної товщини від 30 до 200 мкм, які поступово збільшуються за товщиною і площею поверхні колодки (до 20 %).

Тому в результаті наступних видів гальмувань [21, 25] відбувається інтенсивний місцевий знос поверхні кочення колеса з можливими утвореннями на ній поверхневих дефектів від вкраплених частинок металу в поверхню тертя композиційної га-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

льмової колодки — кільцевих канавок і глибоких рисок. Через деякий час відбувається повторювання циклів гальмувань й маса вкрапленого металу досягає свого критичного значення і в результаті цього здійснюється виривання матеріалу композиційної гальмової колодки (рис. 3, б).

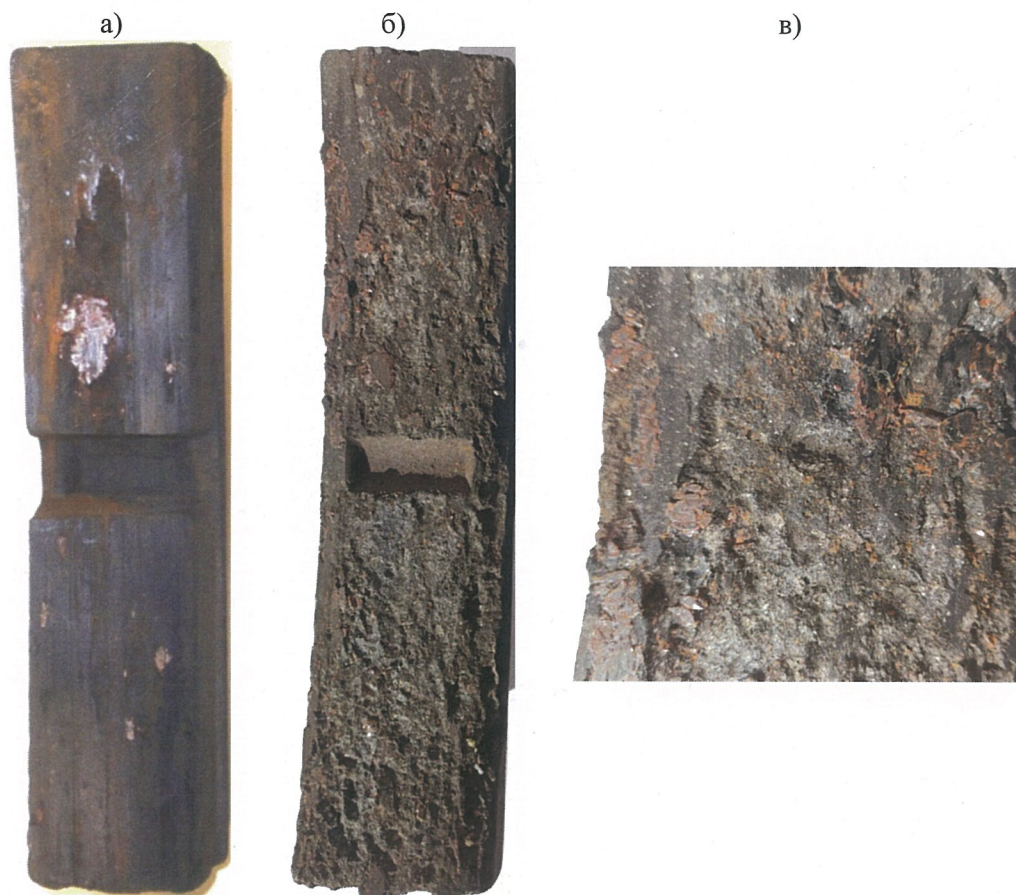


Рис. 3. Пошкоджені композиційні гальмові колодки вантажних вагонів

а) - з металічними частинками пошкоджених коліс; б) – вирвані фрагменти матеріалу колодки з її тіла; в) – збільшений фрагмент частини пошкодженої колодки, що приймає участь у гальмуванні у вигляді викришування та виривів

За проведеними результатами виробничих досліджень знос композиційних гальмових колодок може проявлятися (за геометрією) у вигляді двох якісних видів: моністичного та дуального (рис. 4) [26].

Моністичний різновид зносу і його типи композиційних гальмових колодок, характеризується тим, що величина, яка характеризує відхилення робочої поверхні колодки в окrajні даної її точки від дотичної прямої близька до циліндричної форми з постійним радіусом. Цей вид має змінну товщину колодки в поперечних своїх перетинах. У верхніх перетинах такі колодки мають значно меншу товщину ніж в

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

перетинах, які ближче до нижніх.

Клинодуальний різновид зносу і його типи композиційних гальмових колодок, характеризується тим, що практично робоче (гальмове) тіло зношується подвійно з лінією розмежування двох площин тертя. Клинодуальний фрикційний знос може утворюватися у фрикційних гальмових механізмах будь-яких видів транспортних засобів з колодковими, дисковими, барабанными та іншими гальмами. Цей вид зносу утворюється у тому випадку, коли є несправні пристрої кріплення та відведення колодок або гальмових накладок від рухомої поверхні, якій потрібно створити штучний опір руху.

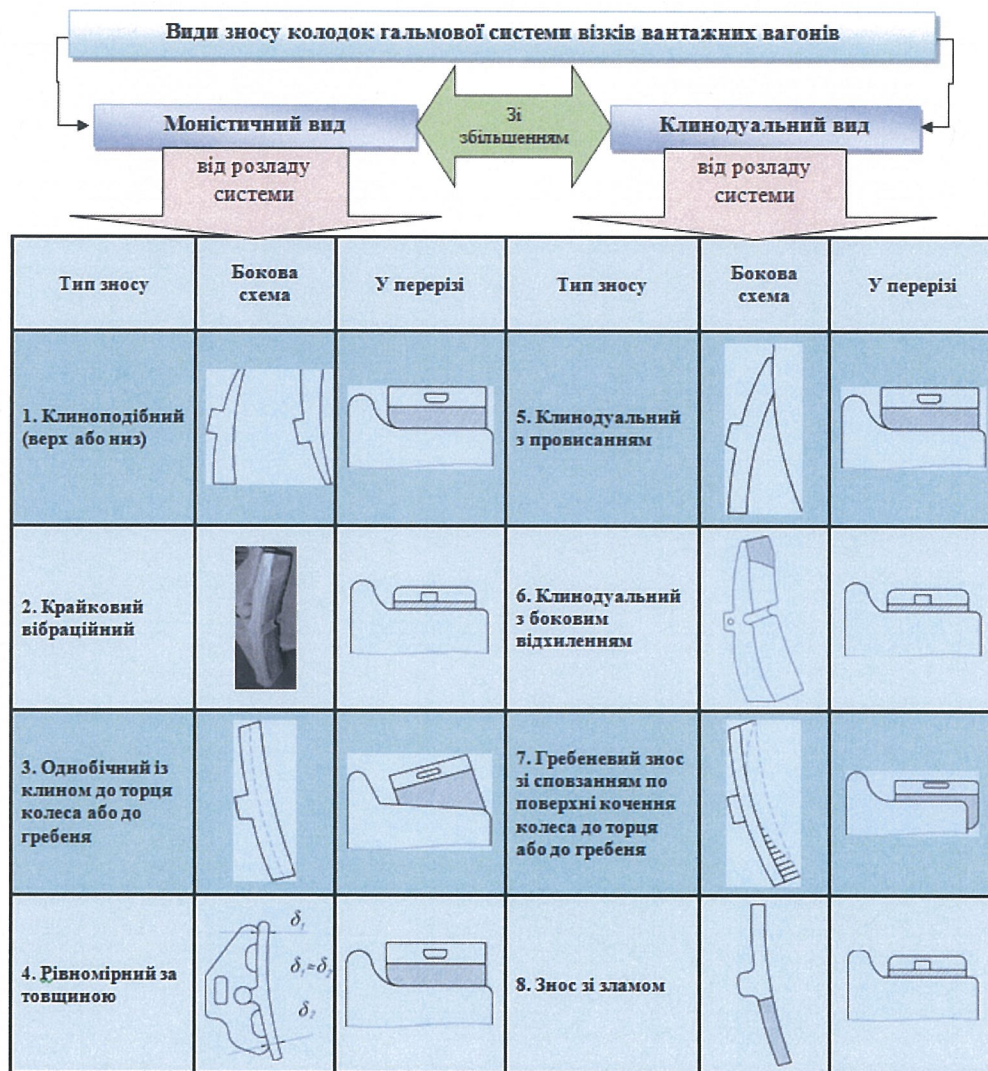


Рис. 4. Класифікація видів і типів зносу композиційних гальмових колодок

Наведена класифікація різноманітності видів і типів зносу композиційних гальмових колодок вагонів заснована на припущенні про те, що ГВП не критичні до деформацій бокової рами і центрального ресорного підвішування. Через те, що ма-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ятникові підвіски з елементами ГВП кріпляться до кронштейнів на бокових невідресорених частинах рами візка. У зв'язку з цим під час руху вантажного вагона на прямих дільницях, а також дільницях, що мають відповідні радіуси рейкової колії гальмові колодки з деталями ГВП зміщуються відносно поверхонь кочення коліс, як елементи плоского механізму. Так само внаслідок коливань вантажного вагона з ходовими частинами в просторі й при різному їх завантаженні, майже усі ланцюги ГВП можуть мати технологічні зміщення та вібраційні відхилення від своїх першопочаткових положень. До того ж ця обставина посилюється тим, що один кінець повздовжньої гальмової тяги спирається на вертикальний важіль необресореного візка, а другий — приєднано до горизонтального важеля, що знаходиться зазвичай біля гальмового пневмоциліндра, що розміщується на рамі підресореного вагона.

Тому за такої різноманітності зносів (рис. 4) не можна дати якоюсь мірою достовірну оцінку не враховуючи динаміку руху вантажного вагона по рейковій колії з нерівностями рис. 5 [26], а також без розсуду деяких особливостей процесу багатозначного гальмування вантажних вагонів, що оснащені різними конструкціями триангельних ГВП. До тепер такі дослідження не висвітлені у публікаціях.



Рис. 5. Технічний стан рейок

(а) – вибоїни на головці; б) – розширення головки та вибоїни)

Тим не менш, під час виконання технічного обслуговування вантажних вагонів коли здійснюється огляд елементів ГВП і вимірювання гальмових колодок, передбачається контроль лише кількісного перевищення норми клиноподібного зносу [21]. Однак, цією «Інструкцією» оцінювання якісних особливостей фрикційного зносу практично не передбачена.

З іншого боку, товщина колодки в точці, що контролюється залежить основним чином від пробігу вагона з такою колодкою. Причому, ця величина оцінюється тільки під час огляду вузлів та деталей вагона на ПТО де передбачена зупинка по тягу. Спочатку контроль здійснюється візуально, а потім за рахунок не зовсім зручних і не завжди точних вимірювань з використанням звичайної лінійки. У зв'язку з цим, не виявлення перевищень граничного зносу гальмової колодки за товщиною може призвести до важких наслідків на залізниці. Також, втрата працездатності гальмової колодки може настати й під час прямування поїзда по дільниці з гарантованим плечем ПТО через несприятливий вплив напружено-деформованих факторів,

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

які спричиняють зниження ефективності гальмування вантажного поїзда. А це недопустимо, з точки зору гарантування безпеки руху на залізничному транспорті.

Що стосується моністичного типу зносу гальмових колодок (рис. 1, «п. 1»), це явище вважається цілком природним й спостерігається на залізницях у тих країнах, де у вантажному рухомому складі застосовується триангельний спосіб функціонування колодкового гальма (рис. 6).

Тут, як і в інших випадках виникнення зносу окремих деталей ГВП, слід звернути особливу увагу на ту обставину, що небажаний знос колодок (незалежно від виду та типу за класифікацією) є небезпечним не скільки з наднормативних їх величин в залежності від пробігу [26, 27], що збільшує загальні експлуатаційні витрати залізниць на вантажні перевезення, а скільки зі створенням небезпечних умов виникнення транспортних подій на залізничному транспорті.

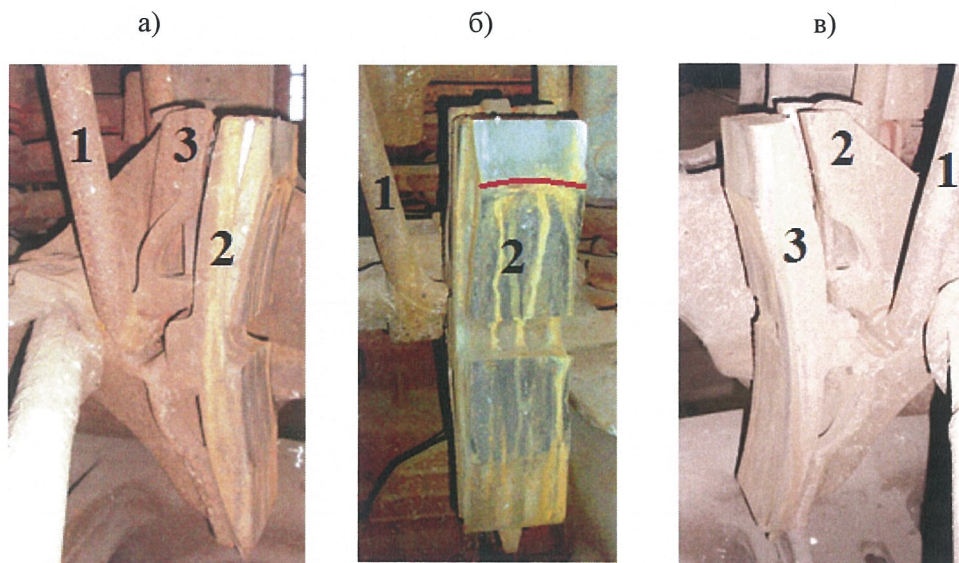


Рис. 6. Елементи типового колодкового гальма візка вантажного вагона
(а) - вигляд з боку від колеса (ліва колодка); б) - фронтальний вигляд з лінією розмежування площин (червоний колір); в) - вигляд з боку від колеса (права колодка);
1 – маятникова підвіска; 2 - гальмовий башмак; 3 – композиційна гальмова колодка)

Клинодуальний знос композиційних гальмових колодок виникає під час руху вантажних вагонів. У більшості візків за попущених гальм колодки схилені та впираються своїми верхніми крайками у поверхні кочення коліс і здійснюють шкідливе тертя. При цьому на колодках утворюються дві площини фрикційного зносу: верхня на якій колодка стирається кососиметрично, під час руху вагонів без гальмування, досить інтенсивно у залежності від швидкості; нижня — якою здійснюється гальмування (рис. 7).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

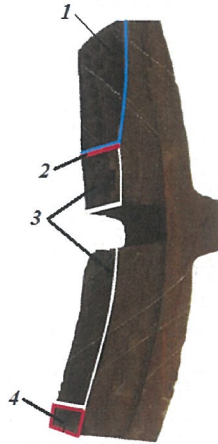


Рис. 7. Вигляд клинодуально зношеної композиційної гальмової колодки
(1) – площина шкідливої стертості; 2) – лінія, що розмежовує площини; 3) – гальмова площина;
4) – залишок площини від номінальної колодки, який не приймав участі в гальмуваннях)

Важливо сказати, що порівняльні характеристики двох видів ненормативного зносу композиційних гальмових колодок у вантажних вагонах експлуатаційного парку за клиномоністичним і клинодуальним зносом суттєво відрізняються (табл. 1). За вказаними характеристиками клинодуальний знос значно погіршує експлуатаційні властивості транспортних засобів.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика властивостей гальмових колодок у вантажних вагонах експлуатаційного парку

Характеристика	Властивості колодок за видом зносу:	
	моністичним	клинодуальним
Ресурс колодок	зменшений на 5-8 %	зменшений на 30-55 %
Ефективність гальмувань	не зменшується	зменшується на 20-30 %
Збільшення опору рухові у поїздах	немає	3-5 %
Високотемпературні пошкодження поверхні кочення коліс	незначні	суттєві, їх велика кількість
Зменшення робочої поверхні колодок	немає	до 40 %
Кількість випадків появи такого зносу в сучасних умовах експлуатації вантажних вагонів	до 8 %	90-93 %

За результатами виробничих обстежень композиційних гальмових колодок вантажних вагонів встановлено, що незалежно від підприємства, яке виготовляє колодки і композиційного матеріалу з якого їх виготовляють під час експлуатації з'являються дефекти, які наведені в табл. 2.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 2. Оглядова картка для підсумку даних про кількість дефектних композиційних гальмових колодок вантажних вагонів

№ (позиція на гістограмі)	Найменування дефектів колодок	Відсоток
1	Клинодуальний знос гальмових колодок	90,68
2	Вкраплювання металу з поверхні кочення колеса в робочу поверхню гальмової колодки	41,18
3	Виривання й раковини тіла колодки та вкраплювання металу в робочу поверхню гальмової колодки	33,65
4	Виривання й раковини тіла колодки	24,2
5	Клиномоністичний знос гальмової колодки	7,71
6	Розлом колодки за температурною виїмкою	4,61

Отримані кількісні результати статистичних досліджень щодо наявності дефектів в обстежених 3735 гальмових колодок вантажних вагонів. За результатами досліджень у розгорнутому вигляді наведено статистичний аналіз обстежених композиційних гальмових колодок з наявними дефектами (рис. 8).

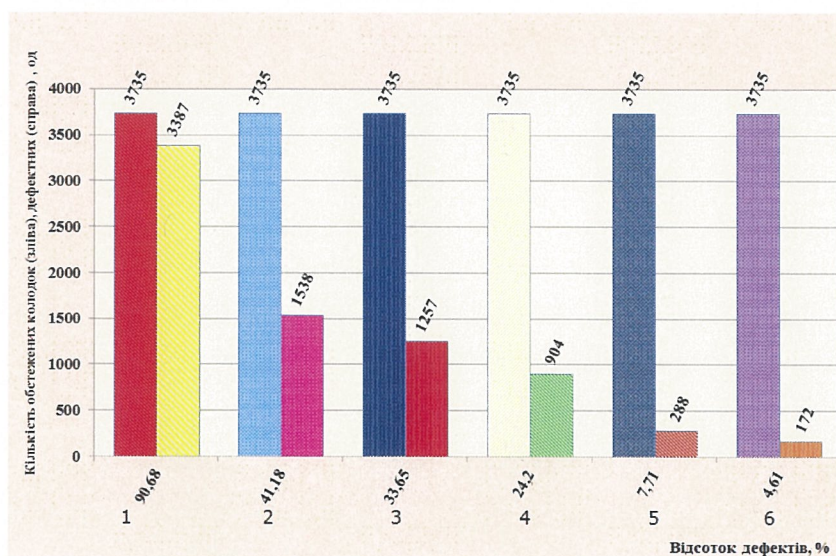










Рис. 8. Гістограма загальної кількості обстежених композиційних гальмових колодок вантажних вагонів з наявними дефектами

Отриманий статистичний матеріал за результатами обстежень колодок гальмових систем різних типів вантажних вагонів дозволяє проаналізувати процес утворення клинодуального зносу (табл. 3) і в подальших дослідженнях виконати оцінку термонапруженого стану композиційних гальмових колодок і їх вплив на ефективність процесу гальмування рухомого складу.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 3. Результати вимірювання геометричних параметрів клинодуально зношених гальмових колодок

Параметри (місця) вимірювання	Візок							
	1				2			
	Бік							
	зовнішній	внутрішній	зовнішній	внутрішній	зовнішній	внутрішній	зовнішній	внутрішній
Товщина вверху колодки, Δ	8	4	8	2	15	20	35	37
Товщина на лінії розмежування колодки, $\Delta_{лр}$	14	11	28	17	25	32	40	30
Товщина внизу колодки, Δ_n	24	21	56	42	34	39	55	50
Довжина шкідливої стертості колодки $l_{шт}$	43	55	80	85	60	70	45	75
Загальна довжина колодки, l_z	330		335		330		332	
Фото колодок								
Фото колодок								

Під час виробничого дослідження було звернено увагу на те, що працівники вагонного господарства коли виконують технічне обслуговування вагонів і виявляють гальмові колодки, що не відповідають вимогам «Інструкції» [21, 27] вимушені їх замінювати на нові. Тому непридатні до подальшого використання гумоазбестові гальмові колодки, що зняли з вагонів в умовах експлуатації на ПТО або у вагоно-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ремонтній дільниці депо під час ремонту (рис. 9), у великих обсягах вивозяться з підприємств вагонного господарства на сміттєзвалища.



Рис. 9. Вигляд відпрацьованих гальмових колодок, підготовлених до вивезення на смітник

Технології їх переробки, реставрації чи утилізації не існує, тому їх недопрацьована композиційна маса потрапляє в довкілля. При цьому виділяються тисячі тон високотоксичних хімічних речовин, які не враховуються природоохоронними службами. При збереженні сформованої тенденції розвитку залізничного транспортно-го комплексу прогнозована кількість зважених забруднюючих речовин, що надходять в довкілля населених пунктів, складе мільйони тон.

Висновки.

1. Виконано дослідження стосовно негативних наслідків від дії композиційних гальмових колодок з ненормативним зносом за якими можна констатувати, що збільшуються витрати, як на дизельне паливо, так і на електроенергію для тяги поїздів, в разі збільшуються й витрати на придбання нових композиційних колодок, які необхідно використовувати для заміни ненормативно зношених. Від дії спотворених колодок на поверхнях кочення коліс виникають - вищербини, повзуни, раковини, кільцеві виробки тощо. Це призводить до збільшення експлуатаційних витрат на ремонт колісних пар шляхом їх обточування і зменшення «дорогоцінного» ресурсу ободів. Погіршується ефективність гальмувань у поїздах на 20-30 % за рахунок зменшення робочої (корисної) площі контакту гальмової колодки до 40 %, що супроводжується й зменшенням розрахункового гальмового натиснення колодок на колеса до 20,3 %. А довкілля зазнає величезних екологічних збитків від «захоронення» таких клинодуально зношених композиційних колодок.

2. Запропоновано процедуру проведення виробничих досліджень щодо встановлення ненормативного зносу композиційних гальмових колодок. Вона містить шість етапів у яких детально описано послідовність виконання передбачених опе-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

рацій, що виконуються під час проведення обстежень елементів ГВП візків вантажних вагонів.

3. За результатами обстежень гальмових систем вантажних вагонів на полігоні пункту технічного обслуговування накопичено достатню кількість статистичного матеріалу про технічний стан колодок, який сформовано у розроблених відомостях та побудовано графічні залежності. За розробленою процедурою щодо проведення виробничих досліджень виконувалися вимірювання елементів ГВП для різних типів і пробігів вантажних вагонів. Розроблено класифікацію видів і типів зносу колодок й встановлені основні причини їх виникнення. Це дозволить розробити заходи щодо запобігання виникнення такого негативного явища, як клинодуальний знос колодок й створити передумови до визначення напруженого стану елементів важільних передач візків, що дасть змогу повноцінно використовувати ресурс композиційних гальмових колодок на увесь міжремонтний термін експлуатації вантажних вагонів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін О. В., Ловська А. О., Горбунов М. І. Вплив повздовжньо-динамічних навантажень на міцність гальмової важільної передачі візка вагона, обладнаного новим концептом уп'язного пристрою. Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. 2020. №5 (261). С. 67-73. doi: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-67-73>
2. Fomin, O., Lovska, A., Kovtun, O., & Nerubatskiy, V. (2020). Defining patterns in the longitudinal load on a train equipped with the new conceptual couplers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/7 (104), 33-40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198660>
3. Fomin, O. V., Gorbunov, N. I., & Lovska, A. O. Prospective concept of the draft system of open boxcars. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2016. Вип. 6 (101). Частина 1. С. 76-85.
4. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей дуального зносу колодок у гальмовій системі вантажних вагонів. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2019. Вип. 2 (80). С. 111-126. doi: 10.15802/stp2019/166114
5. Ambikaprasad, O., Chaubey, Abhijeet., & Raut, A. (2015). Failure Analysis of Brake Shoe in Indian Railway Wagon. *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering*, 3 (10), 37-41.
6. Koptovets, O., Haddad, J. S., Brovko, D., Posunko, L. & Tykhonenko, V. (2020). Identification of the conditions of a mine locomotive brake system as well as its functional and morphological model with the stressed closed kinematic circuit. E3S Web Conf., 201. 01033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101033>
7. Kiss, I., Vasile Cioata V., Alexa, V., & Ratiu, S. (2016). Investigations on the selection of friction materials destined to railway vehicles applications. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara. International Journal of Engineering*. Vol. XIV. Fascicule 4. pp. 231-240.
8. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Шкиунов О. А. Несправності гальмівного обладнання та дефекти колісних пар вантажних вагонів. Вісн. сертифікації залізн. трансп. 2021. № 3 (67). С. 5–15.
9. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винстрот Б. У., Муковоз С. П. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины. Локомотив-информ. 2015. № 7/8. С. 20–22.
10. Мазур В. Л., Найдек В. Л., Попов С. С. Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці. Метал та лиття України. 2021. №2 (29). С. 30-39.
11. Hodges, T. (2012). A life-cycle approach to braking costs. *International Railway Journal*. <http://www.railjournal.com>.
12. Мазур В. Л., Сіренко К. А. Економічні та екологічні аспекти використання гальмових колодок з чавуну чи композиційного матеріалу для залізничного транспорту. Журнал. «Метал та лиття України». 2022. №3 (149). С. 54 - 62.
13. Cruceanu, C. (2007). Brakes for railway vehicles, Matrix Rom Publishing House, Bucharest..
14. Cruceanu, C. (2012). Train Braking, Reliability and Safety in Railway, Intech.
15. Pascu L.V. (2015). Cercetări pri vindfım bunătăți reactualității saboți lorde frână destinați materialu luiurulant, University Politehnica Timisoara, doctoral thesis.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

16. Kiss, I., Cioata, V., Alexa, V. & Ratiu, R. (2016). Investigations on the election of friction materials destined to railway vehicles applications, International Conference on Applied Sciences. ICAS 2016. Hunedoara, Romania.
17. Kiss I. (2016). The chemical composition of phosphorous cast irons behavior in the manufacturing of brake shoes meant for the rolling stock, Acta Technica Corviniensis. Bulletin of Engineering, Fascicule 3, 77-84.
18. Равлюк В. Г. Виробничі дослідження гальмових систем і коліс вантажних вагонів. 2-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 27-29 квітня 2021 р. Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 164–167.
19. ЦВ-0043 Інструкція оглядачу вагонів: затв. Нак. Укрзалізниці № 737-Ц від 28.12.01. Вид. офіц. К.: 2002. 186 с.
20. СТП 04–010:2018 Вагони вантажні. Система технічного обслуговування та ремонту за технічним станом. Затв. Рішення правління ПАТ «Укрзалізня» від 05.09.2018. Вид. офіц. К.: 2018. 25 с.
21. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України.: затв. Наказом Укрзалізниці від 28 жовтня 1997 р. № 264-Ц. Київ, 2004. 146 с.
22. СТП 04-028: 2020 Вагони вантажні. Гальмівне обладнання. Протокол № Ц-45/83 Ком. т. засідання правління АТ «Укрзалізня» від 01.10.20 р. 2020. – 117 с.
23. Vostrikov Ya. A., & Zhatchenko V. M. (2016). Investigation of cast iron for a brakepad II Scientific-technical and economic cooperation of the countries of the Asia-Pacific region in the XXI century, 1, 48-51.
24. СТП 04-001:2015 Колісні пари вантажних вагонів. Правила технічного обслуговування, ремонту та формування. Затв. Нак. Укрзалізниці № 359 Ц 25.04.15. Вид. офіц. К. : 2015. с.138
25. СТП 04–013:2018 Вагони вантажні. Правила атестації. Пункт контрольний автогальм та відділення автоматне. Затв. Рішення правління ПАТ «Укрзалізня» від 05.09.2018. Вид. офіц. К. 2018. 29 с.
26. Равлюк В. Г. Спрощений кінетостатичний аналіз гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. Зб. наук. пр. Держ. універ. інфраструктури та технол. Серія: Транспортні системи і технології. 2018. № 32. С. 55–70.
27. Равлюк В. Г. Оцінювання факторів утворення дуального фрикційного зносу гальмових колодок. Зб. наук. пр. Держ. універ. інфраструктури та технол. Серія: Транспортні системи і технології. 2018. № 31 (2017). С. 109–126.

A. O. Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport
Feuerbakhsg., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
Tel.: 066-338-19-46, E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

V. G. Ravlyuk

Ukrainian State University of Railway Transport
Feuerbakhsg., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine
Tel.: 095-444-59-74, E-mail: ravvg@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>

RESEARCH OF ABNORMAL WEAR OF BRAKE PADS AND ITS IMPACT ON THE BRAKING EFFICIENCY OF FREIGHT TRAINS

The paper highlights the results of production studies of the nature and parameters of wear of composite brake pads of freight cars in operation. The main negative consequences of the action of pads with abnormal wear from which increase the cost of maintaining rolling stock are determined. During braking modes from the action of abnormally worn pads, high-temperature damage occurs on the rolling surfaces of the wheels, which results in their unscheduled repair by turning, which leads to a decrease

in the "precious" rim resource and an increase in operating costs. Due to the reduction of the useful area of the pads up to 40% as a result of abnormal wear, the calculated brake pressure of the pads on the wheels is reduced by up to 20.3% and the braking efficiency in trains is deteriorated by 20-30%. It is also necessary to replace such abnormally worn pads in freight cars in advance, and the remains of the underused composite rubber compound are taken to landfills, which significantly increases their volumes of such hazardous waste that cannot be disposed of and decompose for thousands of years, polluting the environment.

The procedure for conducting production research to establish abnormal wear of composite brake pads of cars is proposed. It contains the corresponding stages in relation to the sequence of the envisaged operations performed during the inspection of the elements of brake lever transmissions of freight car bogies.

The classification of types and types of wear of composite brake pads is developed and the main causes of their occurrence are established. It is proposed to create prerequisites for determining the stressed state of the elements of lever gears of bogies, which will allow to fully use the resource of composite brake pads for the entire overhaul life of freight cars.

Keywords: freight car, brake shoe, shoe wear, classification of shoe wear, train traffic safety.

REFERENCES

1. Fomin, O. V., Lovska, A. O., & Horbunov, M. I. (2020). Vplyv povzdovzhno-dynamichnykh navantazhen na mitsnist halmovo I vazhilnoi peredachi vizka vahona, obladnanoho novym kontseptom upriazhnogo prystroiu [The effect of longitudinal dynamic loads on the strength of the brake lever transmission of a wagon carriage equipped with a new concept of a harness device]. *Visnyk Skhidno ukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia - Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after V. Dahl*, 5(261), 67-73. doi: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-67-73>
2. Fomin O., Lovska A., Kovtun O., & Nerubatskyi V. (2020). Defining patterns in the longitudinal load on a train equipped with the new conceptual couplers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/7 (104), 33-40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198660>
3. Fomin, O. V., Gorbunov, N. I., & Lovska, A. (2016). Prospective concept of the draft system of open box cars. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho - Bulletin of Mykhailo Ostrogradskyi Kremenchuk National University*, 6 (101), 1, 76-85.
4. Ravlyuk, V. G. (2019). Doslidzhennia osoblyvosti dualnoho znosu kolodok u halmovii systemi vantazhnykh vahoniv [Study of the features of dual wear of pads in the brake system of freight cars]. *Visnyk Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana - Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan*, 2 (80), 111-126. doi: 10.15802 / stp2019 / 166114
5. Ambikaprasad, O., Chaubey, Abhijeet., & Raut A. (2015). Failure Analysis of Brake Shoe in Indian Railway Wagon. *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering*, 3 (10), 37-41.
6. Koptovets, O., Haddad, J. S., Brovko, D., Posunko, L. & Tykhonenko, V. (2020). Identification of the conditions of a mine locomotive brake system as well as its functional and morphological model with the stressed closed kinematic circuit. *E3S WebConf*, 201, 01033, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101033>
7. Kiss, I., Vasile, Cioata, V., Alexa, V., & Ratiu, S. (2016). Investigations on the selection of friction materials destined to railway vehicles applications. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*. Tome XIV. Fascicule 4, 231-240.
8. Muradian, L. A., Shaposhnyk, V. Yu., & Shykunov, O. A. (2021). Nespravnosti halmivnoho obladnannia ta defekty kolisnykh par vantazhnykh vahoniv [Malfunctions of braking equipment and defects of wheel pairs of freight cars]. *Visnyk.sertyfikatsii zaliznoho transportu - Bulletin of certification of railway transport*, 3 (67), 5-15.
9. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., Vinstrot, B. U., Mukovoz, S. P. (2015). Ispytaniya perspektivnykh tormoznykh kolodok na zheleznykh dorogah Ukrainy [Tests of promising brake pads on Ukrainian railways] *Lokomotiv-inform - 7/8*, 20-22.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

10. Mazur, V. L., Naidek, V. L., Popov, Ye.S. (2021). Porivniannia chavunnykh I kompozytsiinykh z chavunnymy vstavkami halmovykh kolodok dlia rukhomoho skladu zaliznytsi [Comparison of cast iron and composite brake pads with cast iron inserts for railway rolling stock]. *Metal ta lyttia Ukrainy - Metal and casting of Ukraine*, 2 (29), 30-39.
11. Hodges, T. (2012). A life-cycle approach to braking costs, *International Railway Journal*, <http://www.railjournal.com>.
12. Mazur, V. L., Sirenko, K. A. (2022). Ekonomichni ta ekolohichni aspekty vykorystannia halmovykh kolodok z chavunu chy kompozytsiinoho materialu dlia zaliznychnoho transportu [Economic and ecological aspects of using brake pads made of cast iron or composite material for railway transport]. *Metal ta lyttia Ukrainy - Metal and casting of Ukraine*, 3 (149), 54 - 62.
13. Cruceanu, C. (2007). Brakes for railway vehicles, Matrix Rom Publishing House, Bucharest.
14. Cruceanu, C. (2012). Train Braking, Reliability and Safety in Railway, Intech.
15. Pascu, L.V. (2015). Cercetări privind îmbunătățirea calității și a siguranței la fabricarea materialului rulănt, University Politehnica Timisoara, doctoral thesis.
16. Kiss, I., Cioata, V., Alexa, V. And Ratiu, R. (2016). Investigations on the selection of friction materials destined to railway vehicles applications, *International Conference on Applied Sciences – ICAS 2016*, Hunedoara, Romania.
17. Kiss, I. (2016). The chemical composition of phosphorous cast irons behavior in the manufacturing of brake shoes meant for the rolling stock, *Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Fascicule 3*, 77-84.
18. Ravlyuk, V. G. (2021). Vyrobnychi doslidzhennia halmovykh system i kolis vantazhnykh vahoniv [Production studies of brake systems and wheels of freight cars]. *Proceedings from II Mizhnarodna naukovo-tekhnicna konferentsiia «Intelektualni transportni tekhnologii» - The 2-nd International Scientific and Technical Conference "Intelligent transport technologies"*. (pp. 164 – 167). Kharkiv: UkrDUZT
19. Instruksia ohliadachu vahoniv [Instructions to the inspector of wagons]. (2002). *TsV-0043*
20. Vahony vantazhni. Systema tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu za tekhnichnym stanom [Freight cars. Maintenance and repair system according to specification]. (2018). *STP 04 – 010:2018*. Kyiv.
21. Instruksiiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy [Instructions for operating rolling stock brakes on the railways of Ukraine]. (2004). *TsT-TsV-TsL-0015*. Kyiv
22. Vahony vantazhni. Halmivne obladnannia [Freight cars. Braking equipment]. (2020). *STP 04-028*.
23. Vostrikov, Ya. A., Zhatchenko, V. M. (2016). Investigation of cast iron for a brake pad. *II Scientific-technical and economic cooperation of the countries of the Asia-Pacific region in the XXI century*, 1, 48-51.
24. Kolisni pary vantazhnykh vahoniv. Pravyla tekhnichnoho obsluhovuvannia, remontu ta formuvannia [Wheel pairs of freight cars. Rules of maintenance, repair and assembly]. (2018). *STP 04-001:2015*.
25. Vahony vantazhni. Pravyla atestatsii. Punkt kontrolnyi avtoham ta viddilennia avtomatne [Freight cars. Certification rules. Autobrake control point and automatic separation] (2018). *STP 04 – 013:2018*.
26. Ravlyuk, V. G. (2018). Sproshchenyi kinetostatychnyi analiz halmovoi vazhilnoi peredachi vizkiv vantazhnykh vahoniv [Simplified kinetostatic analysis of the brake lever transmission of freight cars bogies]. *Zbirnyk nauk.pr. Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnol. Serii: Transportni systemy i tekhnologii - Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. Series: Transport systems and technologies*, 32, 55–70.
27. Ravlyuk, V. G. (2018). Otsiniuvannia faktoriv utvorennia dualnogo fryktsiinoho znosu halmovykh kolodok [Evaluation of the factors of formation of dual frictional wear of brake pads]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho Universytetu Infrastruktury ta Tekhnologii. Serii: Transportni systemy i tekhnologii - Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. Series: Transport Systems and Technologies*, 31 (2017), 109–126.