

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.027.27-048.35

В. Г. РАВЛЮК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта ravvg@ukr.net, ORCID 0000-0003-4818-9482

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬМОВОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

**Мета.** Це дослідження спрямоване на модернізацію елементів гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. **Методика.** Виконано теоретичні та експлуатаційні дослідження, які стосуються конструктивних обмежень появи ненормативного зносу на гальмових колодках важільних передач вантажних вагонів. Використано аналітичний підхід до обґрунтування технічного й технологічного способу вдосконалення наявної конструкції гальмової важільної передачі. Наведено рекомендації щодо модернізації розпірок триангелів вантажних вагонів. **Результати.** Установлено недостатню ефективність роботи наявних гальмових важільних передач, що пов'язано з нахилом і притискуванням верхніх крайок колодок до поверхонь кочення коліс під час руху поїздів без гальмування. Шкідливе тертя з утворенням подвійного фрикційного зносу робочого тіла призводить до стану, коли за рахунок ексцентричної дії динамічних навантажень до 95 % загальної кількості колодок знаходяться у пошкодженому стані. Запропоновані рішення, щодо відновлення наявних конструкцій триангелів. Вибрана простота способу ремонтних робіт полягає в тому, що місце розташування технологічного отвору в розпірках триангелів переносять у раціональне місце. Запропонований у роботі спосіб модернізації зводиться до того, що за спеціальними розрахунками в наявній розпірці триангеля під час її відновлення виконують мінімальну кількість ремонтних операцій. **Наукова новизна.** Теоретично доведено, що в триангелі утворюється шкідливий крутний момент від динамічних сил, який є причиною ненормативного зносу гальмових колодок. Розрахунковим силовим аналізом з урахуванням зазначених факторів виявлено вказаний головний недолік і визначено можливість його ліквідації. Уперше розроблено модель зменшення ненормативного зносу гальмових колодок за рахунок раціонального способу модернізації розпірки триангеля. Адаптовано математичні розрахунки до формулювання силових навантажень елементів гальмових важільних передач, що нахиляють триангель до впирання верхніми крайками колодок у поверхні кочення коліс. **Практична значимість.** Результати проведених досліджень апробовано на рухомому складі. Сформульовано практичні рекомендації, які доцільно використовувати під час проектування, модернізації й експлуатації гальмових систем як експлуатаційного парку, так і трьохелементних візків нового покоління.

*Ключові слова:* ненормативний знос; гальмова колодка; гальмова важільна передача (ГВП); розпірка; триангель; вагон; момент сили; динамічні сили; раціональний спосіб; модернізація

### Вступ

Експериментально-теоретичні дослідження останніх років спрямовано на раціональне конструювання гальм вантажних вагонів залізничного транспорту, а саме на модернізацію розпірки триангеля колодкового гальма, що працює в режимах значних силових навантажень і вібрацій.

Серед причин відмов тут переважають природна вразливість елементів систем гальмування з підвищенням вантажності й швидкості руху сучасних вантажних поїздів і триботехнічний знос механічних деталей гальмових важільних передач (ГВП). Експлуатаційні дані

щодо зносу гальмових колодок різних типів вантажних вагонів свідчать, що у них виникає ненормативний знос – клиноподібний і/або дуальний. Це відбувається під впливом багатьох факторів, що мають як детермінований, так і стохастичний характер [2, 8]. У цьому зв'язку за останні десятиріччя стан гальмового обладнання рухомого складу вантажних вагонів в АТ «Укрзалізниця» істотно погіршився й став суттєвим макроекономічним фактором, який стримує збільшення обсягів вантажних перевезень на залізницях і підвищує їх собівартість.

Таким чином, стає вкрай актуальним завдання пошуку шляхів підвищення надійності й працездатності гальм вантажних поїздів, зок-

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

рема гальмових колодок, уточнювання функціональних залежностей між пробігами, навантаженням і середньою швидкістю руху вагонів, що важливо для своєчасного ремонту й безпечної експлуатації. Нехтування цими обставинами може призвести до аварій і катастроф. Поміж цим у разі достовірного визнання термінів працездатності колодок, дотримання правил експлуатації й ремонту, а також за раціонального конструювання ГВП можна подовжити їх безпечно використання.

Слід зазначити, що загалом у візках вантажних вагонів застосовують більше ніж 1,0 млн триангелів, яким потрібно виконати ремонт або модернізацію розпірки, тобто здійснити перенесення технологічного отвору на задану відстань у раціональне місце. Це дасть можливість зекономити сотні мільйонів гривень на матеріалах для виготовлення нових триангелів, а також майже вдвічі подовжити термін служби гальмових колодок за рахунок здійснення згаданої модернізації.

Простіший загальновідомий спосіб запобігання нерівномірного зносу деталей ГВП – це «заміна зношених елементів на нові» з досягненням потрібної врівноваженості триангеля. Однак це потребує виконання складних ремонтних робіт, пов'язаних не тільки із заміною колодок чи інших зношених елементів ГВП на нові або на заздалегідь відремонтовані. Тому, на наш погляд, з точки зору ремонтної придатності, безпеки та економіки доцільно розробляти шляхи створення нових конструкцій триангеля ГВП, про що йдеться у [12]. Запропонована конструкція має спеціальну скобу, що верхньою частиною навішується на розпірку триангеля в замку, а нижньою частиною охоплює розпірку й утримує її разом із вертикальним важелем у виваженому стані. Така модернізація на деякий час збільшує довговічність, надійність і безпечність гальмової системи вантажних вагонів.

Проте цей спосіб під час виконання деяких ремонтних операцій з модернізації має деякі недоліки. Пристрій у вигляді скоби потребує спеціального виготовлення нових деталей до триангеля, які приєднуються до нього. Як показала практика, такий спосіб модернізації забезпечує лише нетривалу довговічність і надійність гальмової системи вагонів. Це пояснюється

тим, що під час руху вагона виникають значні вібраційні навантаження, які негативно впливають на навішену скобу й розпірку, де внаслідок динаміки руху з'являється місцевий знос розпірки. Тому виникають залишкові деформації вищевказаної скоби, а саме: за довжиною її розміри збільшуються, і вона перестав виконувати свою основну функцію – забезпечувати рівномірний знос колодок.

Цей недолік частково можна усунути за допомогою використання пристрою для рівномірного відведення гальмових колодок [10], який має два жорсткі, закріплені з одного кінця стрижні, які проходять в отвори кронштейнів, приварених до триангеля. В отвори кронштейнів встановлюють зносостійкі полімерні втулки. Для утримання від випадання на кожний стрижень установлюють скоби, які підгинають до їх головок.

Однак у цьому рішенні є причини, які перешкоджають отриманню бажаного технічного результату. Тут, як і раніше, панує традиційний спосіб «заміни зношених елементів на нові». Крім того, модернізований таким чином пристрій має два жорсткі стрижні, які проходять через вісім отворів у чотирьох кронштейнах, приварених до триангелів, що являє собою складну конструкцію. До того ж в отворах кронштейнів виникають знакозміні поздовжні пересування стрижнів, що викликає інтенсивне тертя й деформацію кронштейнів із передчасним виходом із ладу гальмової системи.

Одним із варіантів вирішення проблеми, є пристрій для рівномірного зносу колодок [5, 6]. Функція цього пристрою – це співпадіння осей шарнірного з'єднання вертикальних важелів і розпірок триангелів із вісьми цапф, на яких підвішені гальмові башмаки з колодками. Конструктивне виконання цього пристрою дає змогу в декілька разів підвищити довговічність й надійність роботи гальмової системи вантажних вагонів. Для цього розпірки триангелів виконують зі зміщенням технологічних отворів в інше (більш «придатне») місце, що дозволяє зменшити дію дисбалансу невірноваженості триангеля та чітко фіксувати його розташування у поупущеному стані гальма (рис. 1). Також досягається бажане відведення й утримання гальмових колодок без шкідливого спирання їх на колеса.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

*Конструктивний вигляд пристрою.* На рис. 1 зображено пристрій, який призначений для рівномірного зносу гальмових колодок. Він складається з вертикальних важелів 10, які навішують через циліндричні шарніри 11 на модернізовані розпірки з перенесеним технологічним отвором 19 триангелів 14 таким чином, щоб центр шарніра 11 на модернізованій розпірці 1 триангелів 14 розташовувався на одній прямій умовній лінії підвішування (на рис. 1, б показано осьовою лінією А–А) центрів нижніх шарнірів підвіски 12, гальмових башмаків 16, розташованих на протилежних кінцях обох підвісок 13 кожного триангеля 14.

Між парою триангелів 14 у середніх їх частинах розташовано напрямний криволінійний стрижень 15, кінці якого входять у циліндричні ковзуни 17, жорстко приєднанні уздовж до розпірок 1 симетрично відносно технологічного отвору 19 розпірки циліндричного шарніра 11. Величина ексцентриситету  $\epsilon$  повинна бути не менше ніж максимально допустиме зміщення вниз надресорної балки 18 залежно від завантаження вантажного вагона, а частини стрижня, вигнуті вертикально вниз, розташовують біля торців циліндричних ковзунів 17.

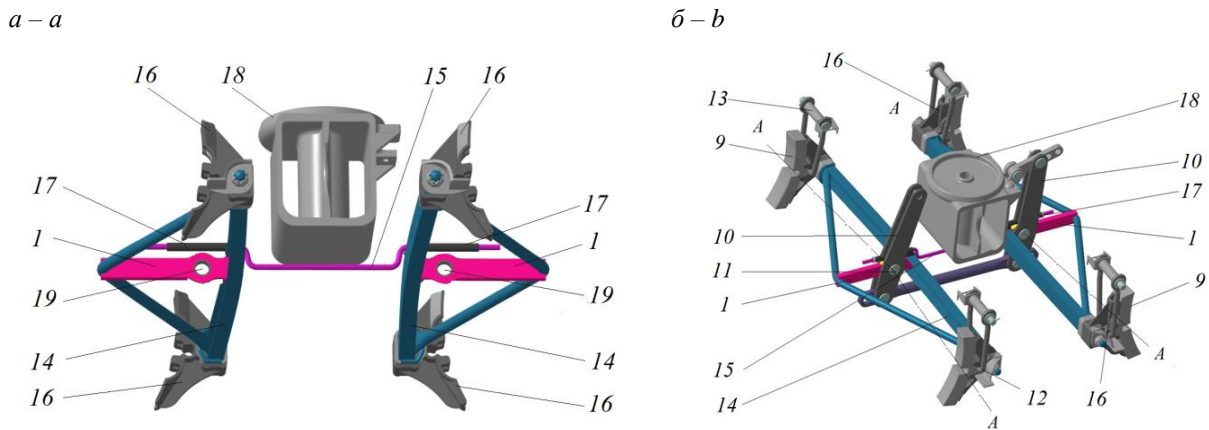


Рис. 1. Вигляд збоку (а) і зверху (б) пристрою для рівномірного зносу гальмових колодок

Fig. 1. Side view (a) and top (b) of the device for uniform wear of the brake pads

У розпірці відповідно до такого рішення змінено за спеціальними підрахунками розташування технологічного отвору для встановлення циліндричного шарніра, який з'єднує вертикальний важіль із розпіркою триангеля так, що центр вказаного шарніра розташовується на одній прямій із центрами шарнірів підвісок гальмових башмаків та впроваджується напрямний криволінійний стрижень, кінці якого шарнірно закріплені в циліндричних ковзунах. Ковзуни жорстко приєднані уздовж до розпірок двох суміжних триангелів симетрично відносно циліндричного шарніра, який приєднує вертикальні важелі. Для недопущення деформації від завантаженості вагона у криволінійному стрижні виконані радіуси згину колін таким чином, що величина ексцентриситету  $\epsilon$  дорівнює величині максимально можливого зміщення вниз

надресорної балки візка, а вертикальні його частини розташовані безпосередньо біля торців циліндричних ковзунів. За рахунок таких особливостей криволінійний стрижень утримується від поздовжнього зсуву та випадання під час руху вагона.

Цей пристрій у наш час застосовують як дослідницький зразок на візках вантажних вагонів. І хоча це дає попередні позитивні результати, проте потребує значних коштів: по-перше, для цього потрібно виготовити його на вагонобудівному заводі з подальшим транспортуванням на вагоноремонтні підприємства для заміни під час виконання ремонтних робіт у трюхелементних візках вантажних вагонів; по-друге, потрібна чітка організація системи технічного обслуговування та ремонту в умовах експлуатації.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Серед аналогічних конструкцій у праці [11] запропоновано пристрій для відведення колодок у візках вантажних вагонів з автоматичним корегуванням їх взаємного положення відносно поверхонь кочення коліс. Але такий пристрій ускладнює ГВП й потребує в умовах експлуатації непередбачених трудомістких регулювань, через це його застосування стало недоцільним.

У праці [15] проаналізовано динамічні зусилля, що діють на несучу конструкцію кузовів вантажних вагонів і пов'язані з гарантуванням безпеки руху під час експлуатації в міжнародному сполученні, але при цьому динаміку гальмової системи трьохелементних візків не розглянуто.

З інформації про конструкцію візка китайського виробництва (мод. ZK1) [13] можна зазначити, що зміна кріплення триангеля спираючим на спеціально відлиті в бокових рамах візка напрямні кронштейни має суттєві недоліки. Вони пов'язані з істотним втручанням у конструкцію найбільш важливих несучих частин візка – литих бокових рам. До того ж надійність указаних прилитих кронштейнів за умов динаміки навантажень у невіднесених частинах візка, що діють від гальмової системи, буде зниженою порівняно із загальною надійністю бокових рам. У місцях контакту шипа триангеля з боковою рамою можуть виникати втомні тріщини, що також створює загрозу безпеці руху. Крім того, у процесі експлуатації можна прогнозувати підвищений знос гумових втулок і зменшення їх ресурсу. Таке кріплення ГВП у візку загрожує відривом і падінням триангелів на колію.

Заходи щодо забезпечення безпеки руху комбінованих транспортних засобів запропоновані в праці [3]. Однак при цьому завдання з удосконалення ГВП, яка є однією з найвідповідальніших вузлів від надійності якої залежить безпека руху на залізничному транспорті, в роботі не вивчалися.

Автори у роботі [1] визначають основні характеристики гальма вантажного вагона нового покоління, які оцінюють його гальмову ефективність. Проте питання, пов'язані зі збільшенням гальмового шляху за зменшення площі контакту гальмових колодок у результаті неправиль-

ної роботи пристроїв для рівномірного зносу колодок через їх шкідливий верхній знос під час руху без гальмувань в роботі не розглядалися.

У проаналізованих закордонних роботах надана перевага експериментальним підходам, які базуються на дослідженнях триботехнічних і температурних показників працездатності елементів гальмових систем рухомого складу [16, 19], а деякі зосереджені на використанні спеціальних чавунних гальмових колодок [17].

У роботі [14] виконано аналіз напружень, що виникають у гальмовій колодці, і термічний аналіз із використанням програмного забезпечення SolidWorks, а також запропоновано альтернативне рішення щодо удосконалення матеріалу гальмових колодок і збільшення їх ресурсу.

Автори статті [18] наводять різноманітні фрикційні гальмові пристрої, які використовують під час механічного гальмування. Зазначено, що фрикційні гальмові механізми, у яких використовують гальмові колодки, негативно впливають на поверхню кочення коліс, оскільки виникають високі температури в зоні тертя «колодка–колесо», тому перевагу надають дисковим гальмам.

З аналізу закордонних літературних джерел видно, що проблемам експлуатації гальмових систем трьохелементних візків, у яких відбувається ненормативний знос гальмових колодок, уваги приділено не було.

### Мета

Це дослідження спрямоване на актуалізацію модернізації пристрою для підвищення довговічності й надійності механічної частини гальмової системи всього експлуатаційного парку вантажних вагонів шляхом поновлення розпірки триангеля.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати дослідження причин виникнення ненормативного зносу гальмових колодок у процесі експлуатації вантажних вагонів;
- запобігти явищу виникнення ненормативного зносу гальмових колодок на увесь регламентований термін експлуатації візка вантажних вагонів за рахунок урівноважених деталей

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

і виконання дій, пов'язаних із балансуванням триангеля в осях його з'єднань;

– запропонувати найбільш простий, доступний для вагоноремонтних підприємств спосіб модернізації розпірки триангеля на наявній технологічній елементній базі з ремонту механічної частини гальмової системи вантажних вагонів, який суттєво дозволить зекономити десятки тисяч гривень.

## Методика

Відомо, що типові ГВП вантажних вагонів як головні робочі елементи мають триангелі з додатковими деталями, які врівноважено підвішені на бокових рамах візків. Конструктивне виконання ГВП з триангелями передбачає рівномірне відведення гальмових колодок від поверхонь кочення коліс за попушеного стану гальма та їх утримання на нормативній відстані під час руху поїзда. Останнє, серед інших вимог, має забезпечити довговічну та безвідмовну роботу гальмових пристроїв, а також дотримання нормативного зносу елементів ГВП [2, 4].

Унаслідок конструкційно-технологічних особливостей експлуатації триангелів та приєднаних до них через розпірки складових елементів статична врівноваженість ГВП кожного візка може порушуватися. Дійсно, як видно з рис. 2, *a*, під час руху вагона, у разі проходження колісних пар по нерівностях рейкової колії («стик рейок»), на центр тяжіння (*C*), який знаходиться на розпірці триангеля, діє вертикальна сила ( $P+P_{\text{дин}}$ ), що складається з ваги деталей

триангеля ( $P$ ) й динамічного додатку ( $P_{\text{дин}}$ ), який обумовлений вертикальним прискоренням візка ( $\ddot{z}$ ) за умови найждання на вказану нерівність. Тобто з їх дією на плечі  $l_0$  (рис 2, *a*) виникає шкідливий крутний момент  $M_{\text{кр}}$ , що порушує врівноваженість. При цьому триангель (на рис. 2, *b* його умовно зображено як стрижень штрихпунктирною лінією) зміщується до колеса впритул і стає шарнірно нерухомою опорою з можливістю повертання, як показано на рис. 2, *a*. У подальших чисельних розрахунках цим повертанням можна знехтувати.

Зі схеми навантаження правої частини ГВП (рис. 2, *b*) під час гальмування маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} T_0 + \delta T - N_1 \sin \varphi_1 - T_1 \cos \varphi_1 = 0; \\ N_1 \cos \varphi_1 - T_1 \sin \varphi_1 - P_{\text{дин}} = 0; \\ T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta + \delta T \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta - M_0 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де  $M_0$  – момент, що утворюється під час натискання колодки на колесо, його визначають за виразом  $M_0 = T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta$ ;  $P_{\text{дин}}$  – сила інерції, що виникає в ГВП під час наїзду колеса на нерівність типу «стик рейок» і притискає триангель із колодками до колеса. Згідно з орієнтовними розрахунками, її беремо з коефіцієнтом динамічності 2,  $P_{\text{дин}} = 1 \text{ кН}$ .

Геометричні параметри ланцюгової системи ГВП наведено в табл. 1.

Перетворюємо систему рівнянь (1) у векторний вигляд (2):

$$G = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 & -\cos \varphi_1 & 1 \\ \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}; \quad R = \begin{bmatrix} -T_0 \\ P_{\text{дин}} \\ T_0 \cdot (l_{AC_1} - l_{B_1 C_1}) \cdot \sin \beta \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Тоді розв'язок рівняння можна виконати за формулами Крамера:

$$N_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad T_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad \delta T = \frac{\Delta_3}{\Delta}, \quad (3)$$

де  $G = G(N_1, T_1, \delta T)$  – вектор невідомих зусиль;  $R$  – вектор-стовпчик правих частин;  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  – визначники матриць, у яких згідно з індексом стовпчика матриці системи замінено стовпчиком правої частини.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

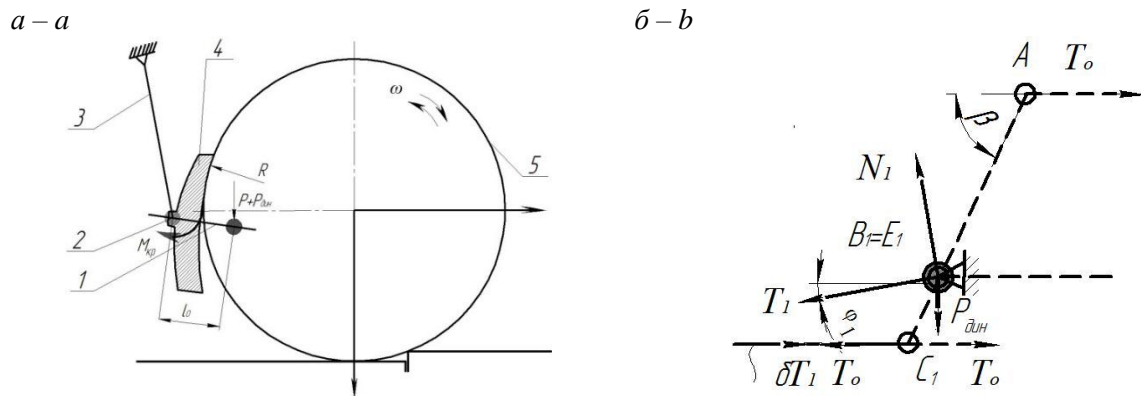


Рис. 2. Схема впливу сил на триангель щодо визначення раціонального місця отвору в розпірці з метою ліквідації крутного моменту, який спричиняє ненормативний знос гальмових колодок: *a* – утворення ненормативного зносу верху колодки під час руху без гальмування; *b* – силове навантаження правого триангеля ГВП з урахуванням впливу динамічної сили  $P_{\text{дин}}$  з потрібним розташуванням центра мас триангеля ( $l_0=0$ );  $P$  – зусилля від ваги деталей триангеля;  $M_{\text{кр}}$  – крутний момент;  $l$  – розпірка з триангелем;  $2$  – шарнір з технологічним отвором;  $3$  – маятникова підвіска;  $4$  – гальмова колодка;  $5$  – колесо;  $R$  – реакція, що виконує функцію опору сили контакту колодки з колесом;  $N_1$  – зусилля в першій маятниковій підвісці;  $T_0$  – зусилля, що передається від гальмового циліндра;  $T_1$  – реакція від натиснення колодок на колеса першої колісної пари;  $\delta T_1$  – зусилля в з'язці вертикальних важелів;  $B_1, E_1$  – точки прикладення реакції  $N_1$  і динамічної сили  $P_{\text{дин}}$ ;  $A, C_1$  – шарніри з'єднання вертикального важеля

Fig. 2. Diagram of the effect of forces on the brake beam to determine the rational location of the opening in the strut in order to eliminate the torque, which causes abnormal wear of the brake pads: *a* – formation of abnormal wear of the top of the pad when running without braking; *b* – power loading of the right brake strut taking into account the influence of the dynamic force  $P_{\text{дин}}$  with the desired location of the brake beam mass center ( $l_0=0$ );  $P$  – effort from the weight of the brake beam parts;  $M_{\text{кр}}$  – torque;  $l$  – brake strut;  $2$  – pivot with service opening;  $3$  – pendulum suspension;  $4$  – brake pad;  $5$  – wheel;  $R$  – a reaction that performs the function of the resistance of the contact force of the pad and the wheel;  $N_1$  – efforts in the first pendulum suspension;  $T_0$  – the force transmitted from the brake cylinder;  $T_1$  – the reaction from pressing the pads on the wheels of the first wheel set;  $\delta T_1$  – efforts in the truck lever connection;  $B_1, E_1$  – points of application of reaction  $N_1$  and dynamic force  $P_{\text{дин}}$ ;  $A, C_1$  – connection pivot of the upright lever

Таблиця 1

## Геометричні параметри до розрахунків за даними робочих креслень

Table 1

## Geometric parameters for calculations according to the working drawings

Позначення	Значення, мм	Значення, м	Відповідність кресленню
$l_1$	320	0.32	Відстань від лінії дії сили $T_1$ до т. $O_1$ і $O_2$
$l_2$	434.1	0.4341	Відстань від лінії дії сили $T_2$ до т. $O_1$ і $O_2$
$l_3$	680	0.68	Відстань між точками $O_1$ і $O_2$ є плечем для проєкцій $Z_1$ і $Z_2$ , відносно точок $O_1$ і $O_2$
$l_4$	612	0.0612	Відстань від лінії дії сили $T_0$ до т. $O_1$ і $O_2$
$l_5$	450	0.45	Відстань від лінії дії сили $\delta T_1$ до т. $O_1$
$l_6$	480	0.48	Відстань від лінії дії сили $\delta T_2$ до т. $O_2$
$l_{B_1C_1}$	160	0.16	Відстань від лінії дії сили $\delta T$ до т. $B$

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Продовження таблиці 1

Continuation of Table 1

Позначення	Значення, мм	Значення, м	Відповідність кресленню
$\varphi_1$	$10^\circ$	$\cos\varphi_1 = 0.984$	$\sin\varphi_1 = 0.1736$
$\varphi_2$	$10^\circ$	$\cos\varphi_2 = 0.984$	$\sin\varphi_2 = 0.1736$
$\varphi_3$	$10^\circ$	$\cos\varphi_3 = 0.984$	$\sin\varphi_3 = 0.1736$
$\varphi_4$	$10^\circ$	$\cos\varphi_4 = 0.984$	$\sin\varphi_4 = 0.1736$
$\varphi_5$	$3^\circ 58' = 3.97^\circ$	$\cos\varphi_5 = 0.997$	Кут нахилу сили $\delta T_1$ до осі x
$\varphi_6$	$3^\circ 58' = 3.97^\circ$	$\cos\varphi_6 = 0.997$	Кут нахилу сили $\delta T_2$ до осі x

Визначені зусилля треба обчислювати за відповідними формулами мінімум для двох моментів часу, наприклад, для моменту часу, коли динамічні зусилля довантажують і розвантажують елементи ГВП.

Вектор невідомих зусиль  $\Delta = (N_1, T_1, \delta T)$ , щодо матриці системи  $G$ , з вектором-стовпчиком правої частини рівнянь має вигляд:

$$G = \begin{bmatrix} \cos(90^\circ - \varphi_1) & \cos\varphi_1 & 1 \\ \sin(90^\circ - \varphi_1) & \sin\varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & l_{B,C_1} \times \sin\beta \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} -T_0 \\ 0 \\ T_0 \cdot (l_{AC_1} - l_{B,C_1}) \cdot \sin\beta \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Другий розрахунок виконують для зворотної хвилі дії динамічної сили, із направленням у протилежну сторону (інший варіант прискорення центра мас триангеля). Формули та розрахунки ідентичні. Усі результати для зручності порівняльного аналізу зведено до табл. 2.

**Контрольний приклад.** Розглядаємо останній кадр анімаційного плану положень

ГВП під час гальмування (у заключній фазі) візка вантажного вагона мод. 18–100. Усі необхідні вихідні дані для отриманих рішень наведено в табл. 1. Користуючись програмним забезпеченням MathCad, визначаємо силові фактори, які діють у складових елементах ГВП трьохелементних візків (табл. 2).

Таблиця 2

## Порівняння визначених зусиль, які діють в елементах ГВП

Table 2

## Comparison of the identified efforts in the brake lever transmission elements

Схема, для якої виконують розрахунок	Зусилля, які визначають			
	$T_1$ , кН	$T_2$ , кН	$N_1$ , кН	$N_2$ , кН
Типова	46,0	46,0	–	–
Гібридна	45,53	45,53	8,03	8,03

Продовження таблиці 2

Continuation of Table 2

Схема, для якої виконують розрахунок	Зусилля, які визначають			
	$T_1$ , кН	$T_2$ , кН	$N_1$ , кН	$N_2$ , кН
Гібридна з динамікою, варіант 1	45,93	45,93	9,119	9,119
Гібридна з динамікою, варіант 2	46,278	46,278	7,148	7,148

Примітка:  $T_0 = 13\,400$  Н і  $P_{\text{дин}} = 1000$  Н задано орієнтовно з міркувань коефіцієнта динамічності, який дорівнює двом одиницям

### Результати

На підставі проведених досліджень встановлено, що спирання колодок на колеса під час гальмування здійснюється верхніми крайками в зоні їх зіткнення з колесами, що супроводжується дією реакції  $R$  (рис. 2, а), яка починає виконувати функцію моменту опору сили як у режимі тяги, так і вибігу. У результаті цього відбувається інтенсивне тертя і знос верхніх кінців гальмових колодок (за статистикою, має місце у більше ніж у 80 % вагонів експлуатаційного парку вантажних поїздів). А на кінцевих частинах робочих майданчиків гальмових колодок інтенсивно зростає місцева стертість і виникає осередок їх ненормативного (дуального або клиноподібного) зносу. Унаслідок цього утворюється ще більша невірноваженість триангеля, що суттєво впливає (зменшує) нормативний термін експлуатації гальмової системи в цілому. Таке становище не сприяє надійності й довговічності експлуатації гальмових систем, а з точки зору недотримання безпеки руху на залізничному транспорті взагалі недопустиме. Крім цього, істотно збільшуються сумарні експлуатаційні витрати залізничної інфраструктури на вантажні перевезення [8, 9].

Суть нового пристрою для підвищення довговічності й надійності механічної частини ГВП вантажних вагонів пояснюється схемами, які наведені на рис. 3 [7].

Принцип розв'язання поставлених завдань базується на спеціальних розрахунок пошуку

раціонального місця розташування отвору для шарнірного з'єднання розпірки триангеля з вертикальним важелем ГВП. Тобто для модернізації механічної гальмової частини вантажних вагонів у контексті сформульованих завдань необхідні ремонтні роботи, які потрібно виконати на наявних ГВП. Ці роботи полягають у тому, що місця розташування вказаних отворів у технологічно-раціональний спосіб зміщуються в тих же розпірках триангелів у найбільш придатне місце, як знаходять відповідно до розрахунків.

*Технологічні міркування щодо модернізації розпірки триангеля.* Запропонований у роботі спосіб модернізації полягає в тому, що за спеціальними розрахунками в наявній типовій розпірці триангеля, під час її модернізації, виконують такі ремонтні операції (рис. 3): по-перше, вирізають серединний фрагмент розпірки з наявним технологічним отвором, що посилений «бобишкою»; по-друге, вирізаний фрагмент розпірки повертають на  $180^\circ$  у вертикальній або горизонтальній площині та встановлюють поміж тих частин розрізаної розпірки, що залишилися; по-третє, у цьому стані серединний фрагмент розпірки приварюють до лівої та правої частин по перерізах ліній шва, знайдених у розрахунковий спосіб. Геометрію ліній перерізу ліворуч і праворуч від отвору розташовують таким чином, що після повертання вирізаного фрагмента і його приварювання технологічний отвір займає раціональне місце на розпірці триангеля.



## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

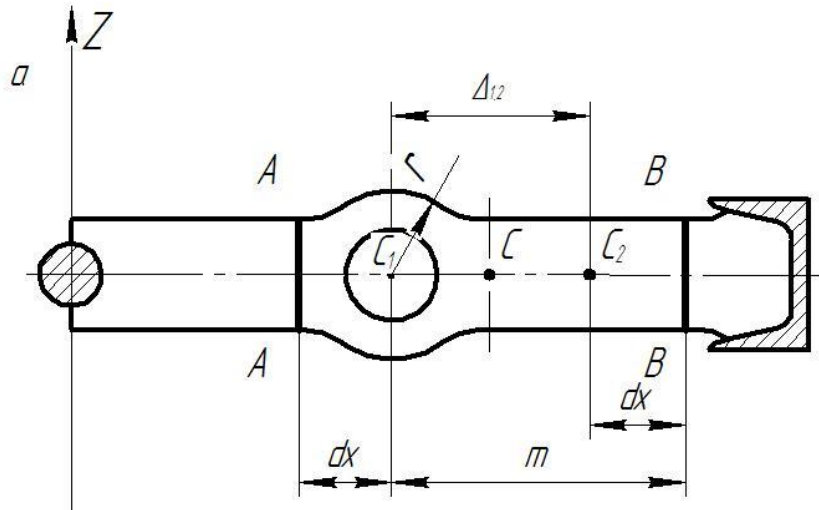
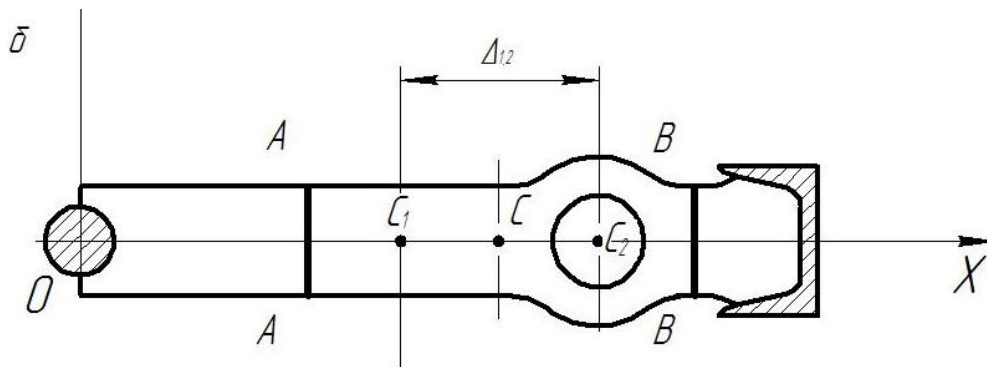
*a – a**b – b*

Рис. 3. Схема розпірки триангеля гальмової важільної передачі:  
*a* – до модернізації; *b* – після модернізації

Fig. 3. Diagram of the brake strut:  
*a* – before modernization; *b* – after modernization

Розрахунки способу запропонованої модернізації. Для реалізації запропонованого способу (рис. 3) під час «перенесення» отвору в найбільш придатне місце на розпірці триангеля визначають такі місця виконання поперечних перерізів *A–A* і *B–B* (рис. 3, *a*), щоб вирізаний за цими лініями серединний фрагмент розпірки з отвором, після повертання відносно вертикальної або горизонтальної осі на 180°, дозволив переміститися технологічному отвору з точки  $C_1$  у точку  $C_2$  на визначену розрахунками відстань:

$$\Delta_{1,2} = OC_2 - OC_1, \quad (5)$$

де  $OC_2$  – відстань від початку координат  $O$  до центра модернізованого отвору розпірки  $C_2$ ;  $OC_1$  – відстань від початку координат  $O$  до центра наявного отвору розпірки  $C_1$ .

Таке зміщення забезпечить переміщення центра повертання триангеля з розпіркою до осі підвіски всього триангеля в цілому.

Якщо визначати потрібне місце розташування технологічного отвору на розпірці триангеля з центром в точці  $C_2$ , яка повинна знаходитися на відстані  $OC_2$  за віссю  $OX$  від початку

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

координат  $O$ , то за нескладними математичними діями можна знайти геометрію та розміри розпірки відносно розташування перерізів  $A-A$  і  $B-B$ , що забезпечуватимуть можливість перенесення центра наявного технологічного отвору з точки  $C_1$  на потрібне (визначене) місце з центром у точці  $C_2$  з повертанням вирізаного серединного фрагмента на  $180^\circ$ . Цей розмір знаходимо за виразом:

$$dx = m - \Delta_{1,2}, \quad (6)$$

де  $dx$  – відстань від центра перенесеного отвору  $C_1$  розпірки до перерізу  $A-A$ ;  $m$  – відстань від центра наявного отвору  $C_1$  розпірки до перерізу  $B-B$ ;  $\Delta_{1,2}$  – відстань, на яку переносять центр отвору розпірки.

Для того, щоб вирізаний серединний фрагмент розпірки за цими розрахунками забезпечив (після його повертання на  $180^\circ$ ) перенесення технологічного отвору в зазначене місце з центром  $C_2$ , потрібно спочатку визначити розмір  $dx$  і відповідно до схеми (рис. 3, *a*) зробити на розпірці перший переріз  $A-A$ . Рациональна величина розміру  $dx$  у нашому випадку залежить від відстані між місцем розташування перенесеного технологічного отвору з центром  $C$  серединного фрагмента розпірки як частки швелерної балки. Ця відстань невелика, тому величину  $dx$  потрібно взяти якомога меншою. Але, виходячи з обмежень за міцністю розпірки, розмір  $dx$  повинен бути не менше ніж величина розміру  $r$  – радіуса бобишки (тобто  $dx \geq r$ ).

Знайдений за математичними розрахунками розмір  $dx$  (рис. 3, *b*) слід відкласти від точки  $C_2$  у бік швелера, тоді отримаємо місце розташування другого перерізу  $B-B$ , який за виконаними математичними розрахунками забезпечуватиме перенесення технологічного отвору розпірки з бобишкою у відповідне місце, після повертання на  $180^\circ$  вирізаного серединного фрагмента та його з'єднання (зварюванням) за місцем розташування перерізів  $A-A$  і  $B-B$ .

*Робота розробленого пристрою.* Пристрій працює таким чином (рис. 1). Під час відпуску гальм триангелі 14 із гальмовими башмаками 16 і колодками 9 рухаються під дією гравітаційних сил на підвісках 13 так, що відводять гальмові колодки від поверхні кочення коліс. Завдяки врівноваженості гальмової системи відносно

шарнірів підвісок 13, гальмові колодки 9 відходять від коліс рівномірно. У випадку появи випадкових зусиль від коливань та нахилів вагона під час руху працює криволінійний стрижень 15, який за рахунок знаходження його кінців у циліндричних ковзунах 17 не дає можливості нахилитися триангелю 14, а значить, і гальмовим колодкам 9 до спирання верхньою або нижньою частиною на колеса. У ковзунах 17 у цей час створюються реактивні сили, які завдяки симетричному розташуванню ковзунів відносно отвору шарніра 11 урівноважуються на тих частинах криволінійного стрижня, які знаходяться в ковзунах. А розпірка 1 триангеля 14 запобігає накопиченню втомлених напружень, що подовжує термін експлуатації усієї конструкції триангеля в цілому. Частини стрижнів, що вигнуті вертикально вниз і розташовані біля торців циліндричних ковзунів 17, утримують стрижень від поздовжнього зсуву й випадання від дії на нього поздовжніх сил під час гальмувань і дії випадкових зусиль від коливань і нахилів кузова вагона.

### Наукова новизна та практична значимість

Теоретично доведено, що в триангелі утворюється шкідливий крутий момент від динамічних сил, який є причиною ненормативного зносу гальмових колодок. Розрахунковим силовим аналізом з урахуванням зазначених факторів виявлено вказаний головний недолік і визначено можливість його ліквідації. Уперше розроблено модель для зменшення ненормативного зносу гальмових колодок за рахунок рационального способу модернізації розпірки триангеля. Адаптовано математичні розрахунки до формулювання силових навантажень елементів гальмових важільних передач, що нахилиють триангелю до впирання верхніми крайками колодок у поверхні кочення коліс. Результати проведених досліджень апробовано на рухомому складі. Сформульовано практичні рекомендації, які доцільно використовувати під час проектування, модернізації й експлуатації гальмових систем як експлуатаційного парку, так і трьохелементних візків нового покоління.

**Висновки**

1. Доведено, що основною причиною ненормативного зносу гальмових колодок вантажних вагонів стає невірноваженість конструкції триангеля з приєднаним вертикальним важелем відносно маятникового підвішування, через що під час попускання гальм відбувається нахилання триангеля до впирання й тертя верхівками гальмових колодок об поверхні кочення коліс.

2. Аналітично визначено раціональне місце розташування отвору приєднання вертикального важеля до розпірки триангеля, де можна досягти врівноваженості мас деталей відносно маятникового підвішування й знешкодити крутний момент сил на триангелі. Це використано для модернізації гальмової важільної передачі трьохелементного візка вантажного вагона.

3. Теоретично доведено, що довговічність елементів триангелів, які знаходяться в експлуа-

тації, підвищується до 1,3 раза, а ремонтпридатність – до 100 %.

4. Здійснено конструктивне перенесення технологічного отвору розпірки триангеля в конкретному випадку технічно доступним та економічно доцільним способом в умовах вагоне-ремонтного підприємства на наявній елементній базі з ремонту механічної частини гальмових систем вантажних вагонів, що не потребує капітальних вкладень.

5. Розв'язано завдання запобігання ненормативному зносу гальмових колодок у візках вантажних вагонів на увесь регламентований термін експлуатації візка за рахунок урівноваження триангеля в осях підвішування, з фіксацією його розташування у попущеному стані гальма, з рівномірним відведенням колодок без неконтрольованого їх спирання на колеса.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Бабаев, А. М. Влияние размещения тормозных колодок на колесе грузового вагона на эффективность его торможения / А. М. Бабаев, П. Д. Даньш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вып. 22. – С. 7–9.
2. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України : ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 : затв. наказом Укрзалізничці від 28 жовтня 1997 р. № 264-Ц. – Київ, 2004. – 146 с.
3. Ловська, А. О. Визначення стійкості контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі // Наука та прогрес транспорту. – 2019. – № 1 (79). – С. 139–150. doi.: 10.15802/stp2019/160182
4. Моделирование рабочих процессов трения в колодочном колесном тормозе шахтных локомотивов : монография / А. Н. Коптовец, Л. Н. Ширин, Э. М. Шляхов, А. В. Денищенко, В. В. Зиль, В. В. Яворская. – Днепро : Гос. высш. учеб. завед. «Нац. горный ун-т», 2017. – 258 с.
5. Пат. 87764 Україна, МПК В61Н 15/00, В61Н 13/00. Пристрій для рівномірного зносу колодок в гальмівній системі візків вантажного вагона / Нечволода С. І., Нечволода К. С., Кутішенко О. В., Романюха М. О. ; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. залізн. трансп. ; заявл. 02.01.2008 ; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 15.
6. Пат. 121889 Україна, МПК51 В60Т 1/02 (2006.01), В61Н 15/00, В61Н 13/00. Підсилюючий пристрій до паралельного відведення колодок від коліс у гальмівній системі візків вантажних вагонів / Равлюк В. Г., Нечволода С. І. ; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. залізн. трансп. ; заявл. 24.04.17 ; опубл. 26.12.17, Бюл. № 24.
7. Пат. 118624 Україна, МПК В61Н 15/00, В61Н 13/36 (2006.01), В61Н 13/22 (2006.01). Спосіб і пристрій для підвищення довговічності та надійності механічної частини гальмівної системи вантажних вагонів / Равлюк В. Г., Нечволода С. І. ; заявник та патентовласник Равлюк В. Г., Нечволода С. І., ; заявл. 19.07.17 ; опубл. 11.02.19, Бюл. № 3.
8. Равлюк, В. Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів / В. Г. Равлюк // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун-ту залізн. трансп. – Харків, 2019. – Вип. 183. – С. 46–59. doi.: 10.18664/1994-7852.183.2019. 169643
9. Равлюк, В. Г. Дослідження особливостей дуального зносу колодок у гальмовій системі вантажних вагонів / В. Г. Равлюк // Наука та прогрес транспорту. – 2019. – № 2 (80). – С. 111–126. doi: 10.15802 / stp2019 / 166114.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

10. Равлюк, В. Г. Спрощений кінетостатичний аналіз гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів / В. Г. Равлюк // 36. наук. пр. Держ. ун-ту інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні системи і технології. – Київ, 2018. – Вип. 32 (1). – С. 55–70.
11. Радзиховский, А. А. Устройство отвода тормозных колодок / А. А. Радзиховский, И. А. Омеляненко, Л. А. Тимошина // Вагонный парк. – 2009. – № 11/12. – С. 18–21.
12. Тележка двухосная. Руководство по эксплуатации 578.00.000 РЭ; ФГУП «ПО Уралвагонзавод». – Нижний Тагил, 2004. – 56 с.
13. Тележки ZK1 полувагонов, построенных в КНР / Е. П. Блохин, К. Т. Алпысбаев, В. Я. Панасенко [и др.] // Вагонный парк. – 2012. – № 9 (66). – С. 12–14.
14. Ambikarasad, O. Chaubey. Failure Analysis of Brake Shoe in Indian Railway Wagon / O. Chaubey, Ambikarasad, A. Raut Abhijeet // IPASJ International Journal of Mechanical Engineering. – 2015. – Vol. 3. – Iss. 12. – P. 37–41.
15. Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry [Електронний ресурс] / A. Lovskaya, J. Gerlici, O. Fomin, K. Kravchenko, P. Prokopenko, T. Lack // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 254. – Режим доступу: <https://clck.ru/FrMs9> – Назва з екрана. – Перевірено : 15.10.2019. doi: 10.1051/mateconf/201925402035
16. Non-uniformity in braking in coaching and freight stock in Indian Railways and associated causes / K. P. Vineesh, M. R. K. Vakkalagadda, A. K. Tripathi, A. Mishra, V. Racherla // Engineering Failure Analysis. – 2016. – Vol. 59. – P. 493–508. doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.11.023
17. Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways / M. R. K. Vakkalagadda, D. K. Srivastava, A. Mishra, V. Racherla // Wear. – 2015. – Vol. 328–329. – P. 64–76. doi: 10.1016/j.wear.2015.01.044
18. Sharma, R. C. Braking systems in railway vehicles / R. C. Sharma, M. Dhingra, R. K. Pathak // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) – 2015. – Vol. 4. – P. 206–211.
19. Vernersson, T. Thermally induced roughness of tread-braked railway wheels : Part 1: brake rig experiments / T. Vernersson // Wear. – 1999. – Vol. 236. – Iss. 1/2. – P. 96–105. doi: 10.1016/s0043-1648(99)00261-6

В. Г. РАВЛЮК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагоны», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61500, тел. +38 (057) 730 10 35, эл. почта [ravgv@ukr.net](mailto:ravgv@ukr.net), ORCID 0000-0003-4818-9482

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

**Цель.** Данное исследование направлено на модернизацию элементов тормозной рычажной передачи тележек грузовых вагонов. **Методика.** Выполнены теоретические и эксплуатационные исследования, касающиеся конструктивных ограничений появления ненормативного износа на тормозных колодках рычажных передач грузовых вагонов. Использован аналитический подход к обоснованию технического и технологического способа усовершенствования существующей конструкции тормозной рычажной передачи. Приведены рекомендации по модернизации распорок триангелей грузовых вагонов. **Результаты.** Установлена недостаточная эффективность работы существующих тормозных рычажных передач, что связано с наклоном и нажатием верхних кромок колодок на поверхности катания колес во время движения поездов без торможения. Вредное трение с образованием двойного фрикционного износа рабочего тела приводит к состоянию, когда за счет эксцентричного действия динамических нагрузок до 95 % общей численности колодок находятся в поврежденном состоянии. Предложены решения по восстановлению существующих конструкций триангелей. Избранная простота способа ремонтных работ заключается в том, что место расположения технологического отверстия в распорках триангелей переносят в рациональное место. Предложенный в работе способ модернизации сводится к тому, что по специальным расчетам в существующей распорке триангеля при его восстановлении выполняют минимальное количество ремонтных операций. **Научная новизна.** Теоретически доказано, что в триангеле образуется вредный крутящий момент от динамических сил, который является причиной ненормативного износа тормозных колодок. Расчетным силовым анализом с учетом указанных факторов выявлен главный недостаток и определена возможность его ликви-

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

дании. Впервые разработана модель уменьшения ненормативного износа тормозных колодок за счет рационального способа модернизации распорки триангеля. Адаптированы математические расчеты к определению силовых нагрузок элементов тормозных рычажных передач, которые наклоняют триангель до упирания верхними кромками колодок в поверхность катания колес. **Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований апробированы на подвижном составе. Сформулированы практические рекомендации, которые целесообразно использовать при проектировании, модернизации и эксплуатации тормозных систем как эксплуатационного парка, так и трехэлементных тележек нового поколения.

*Ключевые слова:* ненормативный износ; тормозная колодка; тормозная рычажная передача (ТРП); распорка; триангель; вагон; момент силы; динамические силы; рациональный способ; модернизация

V. G. RAVLYUK<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Cars», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38(057) 730 10 35, e-mail ravvg@ukr.net, ORCID 0000-0003-4818-9482

## THE MODERNIZATION OF THE ELEMENTS OF THE BRAKE LEVER TRANSMISSION OF FREIGHT CARS BOGIES

**Purpose.** This study seeks to identify a rational way to modernize the brake lever transmission elements of freight car bogies. **Methodology.** Theoretical and operational studies concerning the structural limitations of the appearance of abnormal wear on the brake pads of the lever transmission of freight cars have been performed. The analytical approach to the justification of the technical and technological way of improving the existing design of the brake lever transmission is used. The recommendations of the modernization of the brake struts of the freight cars are given. **Findings.** Existing performance of existing brake lever transmissions has been found to be inefficient due to the inclination and pressing of the upper edges of the pads on the rolling surfaces of the wheels while running of trains without braking. Harmful friction with the formation of double friction wear of the working fluid leads to a condition where, due to the eccentric action of dynamic loads, up to 95% of the total number of pads are in a damaged state. The solutions for the restoration of existing brake beams designs were proposed. The chosen simplicity of the method of repair work is that the location of the service opening in the brake struts is transferred to a rational place. The method of modernization offered in the work is reduced to the fact that according to special calculations in the existing brake strut, at its restoration the minimum number of repair operations is performed. **Originality.** It is theoretically proved that in a brake beam a harmful torque from dynamic forces is formed, which causes abnormal wear of the brake pads. Calculated force analysis, taking into account these factors, identified the main disadvantage and identified the possibility of its elimination. A model was developed for the first time to reduce the non-normative wear of the brake pads due to the rational way of upgrading the brake strut. Mathematical calculations have been adapted to the formulation of the force loads of the elements of the brake levers, which tilt the brake beam to rest against the upper edges of the pads at the rolling surface of the wheels. **Practical value.** The results of the research were tested on real rolling stock and received practical recommendations, which should be used in the design, modernization and operation of brake systems of both operating fleet and three-element bogies of the new generation.

*Keywords:* abnormal wear; brake pad; brake lever transmission (BLT); strut; brake beam; car; moment of force; dynamic forces; rational way; modernization

### REFERENCES

1. Babaev, A. M., & Danysh, P. D. (2008). Vliyanie razmeshcheniya tormoznykh kolodok na kolese gruzovogo vagona na effektivnost ego tormozheniya. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 22, 7-9. (in Russian)
2. *Instruktsiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy: TsT-TsV-TsL-0015, No. 264-Ts.* (2004). Kyiv. (in Ukrainian)
3. Lovska, A. O. (2019). Determination of the tank container stability relative to the frame of a flat car during train ferry transportation. *Science and Transport Progress*, 1(79), 139-150. doi.: 10.15802/stp2019/160182. (in Ukrainian)

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

4. Koptovets, A. N., Shirin, L. N., Shlyahov, E. M., Denishchenko, A. V., Zil, V. V., & Yavorskaya, V. V. (2017). *Modelirovanie rabochnykh processov treniya v kolodochnom kolesnom tormoze shahtnykh lokomotivov : Monografiya. Dnipro: Gosudarstvennoe vysshee uchebnoe zavedenie «Natsionalnyy gornyy universitet»* (in Russian)
5. Nechvoloda, S. I., Nechvoloda, K. S., Kutishenko, O. V., & Romaniukha, M. O. (2009). *UA Patent № 87764* Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti (Ukrpatent).
6. Ravlyuk, V. G., & Nechvoloda S. I. (2017). *UA Patent № 121889* Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti (Ukrpatent).
7. Ravlyuk, V. G., & Nechvoloda S. I. (2019). *UA Patent № 118624* Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti (Ukrpatent).
8. Ravlyuk, V. G. (2019). Definition of the dual wear features of the brake shoes of freight cars. *Zbirnyk naukovykh prats USURT. 183*, 46-59. (in Ukrainian)
9. Ravlyuk, V. G. (2019). Investigation of features of dual wear of pads in brake system of freight cars. *Science and Transport Progress, 2(80)*, 11-126. doi.: 10.15802 / stp2019 / 166114 (in Ukrainian)
10. Ravlyuk, V. G. (2018). Simultaneous kinetostatic analysis of brake immediate transmission of freight wagons. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriya: Transportni systemy i tekhnolohii, 32(1)*, 55-70. (in Ukrainian)
11. Radzikhovskiy, A. A., Omelyanenko, I. A., & Timoshina, L. A. (2009). Ustroystvo otvoda tormoznykh kolodok. *Vagonnyy park, 11-12*, 18-21. (in Russian)
12. Telezhka dvuhosnaya. Rukovodstvo po ekspluatatsii 578.00.000 RE (2004). *FGUP «PO Uralvagonzavod»*. Nyzhnyi Tahyl. (in Russian)
13. Blokhin, Y. P., Alpysbaev, K. T., & Panasenko, V. Y. (2012). Telezhki ZK1 poluvagonov, postroennykh v KNR. *Vagonnyy park, 9(66)*, 12-14. (in Russian)
14. Ambikaprasad, O. Chaubey, & Abhijeet, A. Raut. (2015). Failure Analysis of Brake Shoe in Indian Railway Wagon. *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering. 3 (12)* 37-41. (in English)
15. Lovskaya, A., Gerlici, J., Fomin, O., Kravchenko, K., Prokopenko, P., & Lack, T. (2019). Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry. *MATEC Web of Conferences, 254*. Retrieved from <https://clck.ru/FrMs9> doi: 10.1051/mateconf/201925402035 (in English)
16. Vineesh, K. P., Vakkalagadda, M. R. K., Tripath, A. K., Mishra, A., & Racherla, V. (2016). Non-uniformity in braking in coaching and freight stock in Indian. Railways and associated causes. *Engineering Failure Analysis, 59*, 493-508. doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.11.023 (in English)
17. Vakkalagadda, M. R. K., Srivastava, D. K., Mishra, A., & Racherla, V. (2015). Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways. *Wear, 328-329*, 64-76. doi: 10.1016/j.wear.2015.01.044 (in English)
18. Sharma, R. C., Dhingra, M., Pathak, R. K. (2015). Braking systems in railway vehicles. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 4* 206-211. (in English)
19. Vernersson, T. (1999). Thermally induced roughness of tread-braked railway wheels: Part 1: brake rig experiments. *Wear, 236(1-2)*, 96-105. doi: 10.1016/s0043-1648(99)00261-6 (in English)

Надійшла до редколегії: 07.05.2019

Прийнята до друку: 11.09.2019