

УДК 629.4.077:629.463

*Василь Равлюк, к.т.н., доцент  
(доцент кафедри вагонів, Український державний університет  
залізничного транспорту)*

## **СПРОЩЕНИЙ КІНЕТОСТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГАЛЬМОВОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

*У роботі викладено новий науковий підхід і метод дослідження проблеми, пов'язаної зі зносом гальмових колодок. Проведено аналіз результатів натурних обстежень під час яких уточнена і доповнена класифікація видів і типів зносу колодок.*

*Розглянуто конструктивні рішення відомих пристроїв, які спрямовані на сповільнення інтенсивності зносу гальмових колодок вантажних вагонів і запропоновано заходи стосовно модернізації триангельної системи.*

***Ключові слова:** вагон, візок, колесо, гальмова важільна передача, гальмова колодка, знос, триангель.*

**Вступ.** Зростання об'ємів перевезень вантажів на залізницях України потребує збільшення ваги поїздів і підвищення швидкості їх руху. Це можливо тільки за умови безвідмовної працездатності автоматичних гальм рухомого складу. Однак, стан гальмового обладнання у більшості вантажних вагонів і локомотивів за останні роки значно погіршився. В цьому полягає основний стримуючий чинник, відносно збільшення обсягів перевезень вантажів і пасажирів на залізницях.

**Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми.** Зважаючи на гостру актуальність цієї проблеми, фахівцями і науковцями різних країн світу виконано велику кількість досліджень, на підставі яких розроблено різноманітні пристрої і механізми для усунення чи сповільнення інтенсивного зносу колодок, наприклад, клиноподібного [1]. Зокрема у патенті [2] при розробленні вітчизняного візка нового покоління вантажних вагонів авторами запропонований пристрій для відведення колодок із автоматичним корегуванням взаємного положення гальмових колодок і поверхонь кочення коліс.

Можна навести інші приклади виданих наукових робіт [3-5], де особливу увагу приділено впливу негативних чинників гальмової системи вантажних вагонів, які призводять до збитків в залізничній галузі від ненадійного спрацювання гальмових колодок. Все це зайвий раз підкреслює актуальність роботи, результати якої викладено в нашому дослідженні.

У патентно-технічній літературі за цієї темою виявлено більше двох десятків патентів на винаходи різних країн серед них: СРСР і РФ, Канади, США, Японії,

© *Равлюк В., 2018*

Китаю тощо. Їх вивчення і аналіз показав, що ні один із них не вирішує проблему через те, що автори передбачають і створюють всілякі допоміжні пристрої протидії силам, які нахиляють колодки до коліс колісних пар при гальмуванні тільки на підставі звичайного кінетичного аналізу механізму гальмової важільної передачі (ГВП), звіряючи результати з дослідними чи експериментальними даними.

Для зменшення кількості транспортних подій на залізничному транспорті України щорічно виконується аналіз [6], за яким розробляють ряд заходів, які дають можливість покращити ситуацію на залізниці. У багатьох випадках причиною виникнення транспортних подій є несправність механічної частини гальмового обладнання, яке не завжди вдається виявити при виконанні ТО вагонів і запобігти виникненню аварійних ситуацій на шляху їх прямування.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є спрощений кінетостатичний аналіз і синтез гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів.

Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

- провести дослідження і виконати аналіз пристроїв ГВП, які спрямовані на сповільнення інтенсивності зносу гальмових колодок візків вантажних вагонів;
- розробити підстави для створення динамічних моделей щодо підвищення працездатності гальмових механізмів і сформулювати напрями технічного рішення з ліквідації виникнення надмірного інтенсивного зносу гальмових колодок при гальмуванні вагонів і їх русі;
- провести спрощений кінетостатичний аналіз ГВП на основі якого навести шляхи вирішення модернізації гальмової системи візків вантажних вагонів.

**Матеріали та методи дослідження.** За результатами наших досліджень знос гальмових колодок може проявлятися (за геометрією) у вигляді двох якісних видів [6]: моністичного та дуального (рис. 1).

Перший, – моністичний вид зносу і його типи, де в основу закладено найбільш поширений його тип «клиноподібний» (рис. 1, п. 1). Він характеризується тим, що кривизна робочої поверхні колодки близька до циліндричної форми з постійним радіусом, хоча й має змінну товщину в поперечних своїх перетинах – у верхніх перетинах колодки її товщина менше ніж в нижніх перетинах.

Другий, – «дуальний» вид зносу і його типи. Наприклад, дуальний з провисанням (рис. 1, п. 5), теж можна вважати клиноподібним, але лише на малій частині робочої поверхні колодки, яка в поперечних перетинах своєї довжини зношується особливим чином і має «горби-провали» тощо.

Упорядкована нами класифікація різноманітності видів і типів зносу гальмових колодок заснована на припущенні про те, що гальмові важільні передачі не критичні до деформацій рами і ресорного підвішування. Тим більше, що підвіски триангелів кріпляться до кронштейнів на бокових невідресорених частинах рами візка, через що при русі вагона в прямих і кривих ділянках рейкової колії колодки і триангелі з деталями ГВП зміщуються відносно коліс, як елементи плоского механізму. Разом з цим внаслідок коливань вагона і візків в просторі, а також при змінах завантаження вагона майже усі ланцюги ГВП можуть мати технологічні зміщення та вібраційні відхилення від своїх положень. До того ж ця обставина посилюється тим, що один кінець гальмової тяги спирається на відповідний важіль необресореного візка, а другий – приєднано до гальмового пневмоциліндра, який зазвичай розміщено на рамі відресореного вагона. Природно, що при такій неоднозначній різноманітності зносів,

зведених до таблиці (див. рис.1) не можна дати більш-менш достовірну оцінку, не враховуючи динаміку руху вагона по нерівному рейковому шляху [5], а також без розсуду деяких особливостей процесу багатофазного гальмування візків вантажних вагонів, що оснащені ГВП з використанням триангелів різних конструкцій. До нині такі дослідження у публікаціях не висвітлювались.

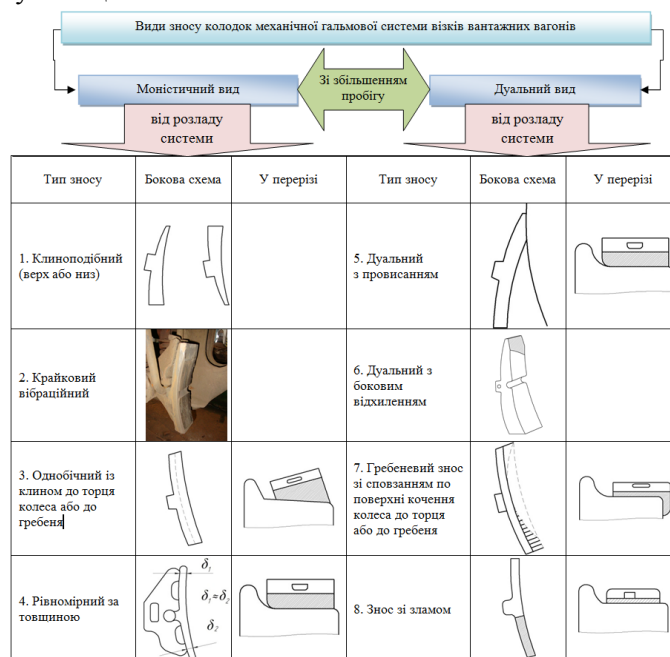


Рис. 1. Класифікація видів і типів зносу гальмових колодок вагонів

Проте, при існуючій системі ППР передбачається контроль лише кількісного перевищення норми клиноподібного зносу, який здійснюється при ТО гальм в процесі огляду і обміру колодок згідно [7]. Однак, цією «Інструкцією» оцінка якісних особливостей зносу фактично не передбачена.

З іншого боку, контрольована товщина колодки в контрольній точці залежить головним чином від пробігу візка з цієї колодкою. Причому, ця величина оцінюється тільки під час огляду вагона на кінцевих і проміжних ПТО: спочатку візуально, потім шляхом не зовсім легких і не завжди точних вимірювань з використанням звичайної лінійки. Тому природно, що не виявлено перевищення граничного зносу колодки за товщиною може спричинити втрату її працездатності. Але в чинній «Інструкції» [7] стосовно цього ніяких вказівок діагностичного спрямування (короткостроковий прогноз працездатності колодок) немає. Внаслідок всього цього вихід колодки з ладу (втрата її працездатності) може виникнути на шляху прямування поїзда через несприятливий вплив напружено-деформованих чинників, які впливають на зниження ефективності процесу гальмування вагона. А це неприпустимо, з точки зору безпеки руху.

Таким чином, існуюча до нині проблема досліджень зносу гальмових колодок на вантажному рухомому складі не може вирішуватися без урахування причино-наслідкових зв'язків типу «Знос – Причина – Наслідки».

**Загальні основи роботи системи гальмування вантажних вагонів.** Залишаючи «надалі» поглиблене уявлення щодо динаміки візків з ГВП, тут доречно зазначити, що при кінетостатичному аналізі будь-яку гальмову передачу відносять до плоского механізму, керуючись тим, що при попущеному гальмі вона є такою. Однак зауважимо, що лінійні й кутові зміни координат скріплень деталей гальмової передачі, а також неточності виготовлення ланок кінематичного ланцюга ГВП порушують умову плоского руху цього складного механізму [8].

Класичні дослідження, які орієнтовані на розрахунки при проектуванні й аналізі рівня повздовжньої динаміки руху вагона та визначення гальмових сил, що очікуються при службовому або екстремому гальмуванні доводять, що ці процеси характеризується кількома фазами відповідно до діаграм наповнення гальмових циліндрів стиснутим повітрям за часом.

Система управління пневмогальмуванням усього вантажного состава приводить у дію ГВП за часом послідовно і кожного вагона окремо при проходженні так званої гальмової хвилі необмеженої потужності, що теж відповідає квазістатичній схемі гальмування (рис. 2). Тут плоска координатна система  $gxz$  пов'язана з центром маси вагона  $G$  в центральній точці  $g$ .

У зв'язку з цим схема рис. 2 відповідає розгляду руху і гальмування вагона на прямих ділянках в площині симетрії рейкової колії. При цьому враховується перерозподіл квазістатичного вагового навантаження на візки так, що передній візок (рух вагона відбувається зліва направо) довантажуються пропорційно зменшенню швидкості руху настільки, наскільки задній візок розвантажуються порівняно з статичним навантаженням  $G/2$  або при рівномірному русі.

Відповідно до наведених позначень та виконаних припущень, що центри мас візків лежать на лінії, яка з'єднує центри обертання колісних пар, нескладно визначити вертикальні сили, що діють на візки в квазістатичному режимі гальмування вагона з урахуванням перерозподілу сил «статичної рівноваги».

За законами теоретичної механіки визначаючий перерозподіл сил при гальмуванні вагона залежить від параметрів (рис. 2):  $G$  і  $z$  – відповідно вага і координата центра ваги вагона при різному його наповненні, (на рис. 2  $z=h$ );  $\dot{x}$  – параметр зменшення швидкості руху вагона (сповільнення);  $g_n$  – прискорення вільного падіння;  $2l$  – база вагона.

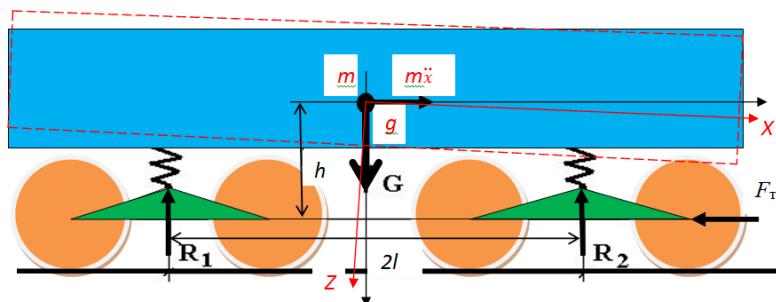


Рис. 2. Квазістатична схема перерозподілу навантажень, що припадають на візки чотиривісного вантажного вагона при гальмуванні

Тоді, у разі повної геометричної і вагогабаритної симетрії навантаження вагона на перший і другий візок будуть діяти зі сторони вагона при гальмуванні сили  $R_1$  і  $R_2$ , які визначаються згідно з формулою (1):

$$\begin{aligned} R_1 &= G \left( 1 + \frac{\ddot{x}}{g_n} \cdot \frac{h}{l} \right), & - \text{з довантажуванням першого по ходу візка;} \\ R_2 &= G \left( 1 - \frac{\ddot{x}}{g_n} \cdot \frac{h}{l} \right), & - \text{з розвантаженням другого.} \end{aligned} \quad (1)$$

Результати розрахунків за формулами (1) свідчать, що залежно від завантаження вагона при різних режимах його гальмування має місце значний розкид даних стосовно перерозподілу навантаження візків. А це слід враховувати при оцінюванні процесів зносу гальмових колодок [1].

З цих обставин, як свідчать матеріали [9], є припустимим досліджувати рух окремого візка, який навантажено силою  $R_1$  або силою  $R_2$ . Тоді, враховуючи квазістатичний перерозподіл ваги

на візок з прискореним або з уповільненим рухом по реальних нерівностях рейкової колії, неважко прийти до висновку, що будь-які зміни величин та напрямів дії силових факторів в роботі ГВП візка накладають свої динамічні особливості на процес гальмування й на знос колодок. При цьому рух і коливання (вібрації) складових елементів візка можна розглядати незалежно від руху та коливань вагона на прямих й на кривих ділянках колії.

Однак, так чи інакше, відзначимо, що кути повороту двовісних візків відносно кузова в горизонтальній площині, яка об'єднує осі колісних пар візка, досить малі й не перевищують 31 мрад в кривих рейкового шляху радіусом приблизно 600 м; та 22 мрад – в кривих радіусом від 576 до 2500 м [8]. Отже, щоб колісна пара зайняла радіальне положення на кривій ділянці, їй треба повернутися на відповідний кут щодо рами візка. З цієї причини для зменшення зносу гальмових колодок (див. рис. 1, п. 7) і гребенів коліс колісних пар, що супроводжують рух вантажних вагонів в кривих, треба дати можливість колісним парам вільно встановлюватися в кривих рейкового шляху. Ця особливість візків моделі 18-100 має самостійний інтерес, разом з цим вона не може не впливати на контактне тертя робочих поверхонь гальмових колодок і поверхонь кочення коліс при гальмуванні, особливо в кривих різного радіусу рейкового шляху.

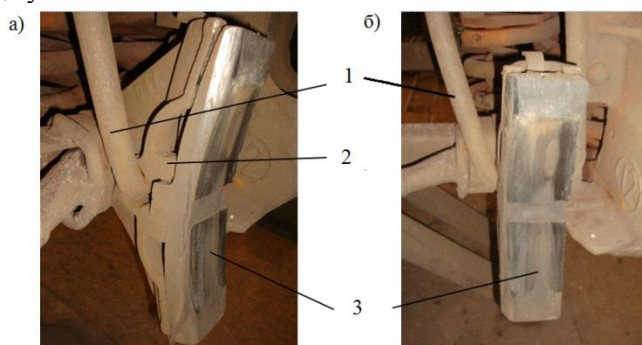
Особливістю трьохелементного візка вантажного вагона є відсутність жорсткої рами, яка є у візках пасажирських вагонів. Йдеться про те, що за технічним задумом елементи візка, а також змонтовані на його просторовій основі рухомі ланцюги ГВП, мають переміщуватися при своєму русі. Тобто при їх структурному синтезі форму і розміри кінематичних ланцюгів необхідно підбирати таким чином, щоб деталі ГВП могли б «прилаштуватися» до змін положень базових точок ланцюгів гальмової передачі з урахуванням положень колісних пар. А це можна зробити, якщо досліджувати статично визначенні схеми, що реально створюються в механізмі ГВП при гальмуванні з ліквідуванням в його конструкції зайвих зв'язків.

Таким чином візок вантажного вагона є складна механічна система, яка за своєю конструкцією не забезпечує рівномірний розподіл сил натискання колодок на колеса і відповідно тому виникає їх нерівномірний знос. Більш того, сили, що забезпечують гальмування вагона, діють не тільки в площині його повздовжньої симетрії, а й

обумовлюють появлення небажаних просторових сил в інших напрямках.

Що стосується першого найбільш розповсюдженого моністично-клиноподібного типу зносу гальмових колодок (див. рис. 1, «п. 1»), це явище вважається цілком природним і спостерігається на рухомому складі залізниць різних країн, де використовується триангельний спосіб задіяння колодкового гальма (рис. 3).

Тут, як і в інших випадках виникнення зносу окремих деталей ГВП, слід звернути особу увагу на ту обставину, що небажаний знос колодок (незалежно від виду та типу за класифікацією) є небезпечним не скільки з наднормативних їх величин залежно від пробігу [1, 9], що збільшує загальні експлуатаційні витрати залізниць на перевезення, а стільки зі створенням небезпечних умов виникнення транспортних подій на залізничному транспорті. А ця актуальна проблема, на жаль, майже не досліджувалася належним чином.



*Рис. 3. Елементи типового колодкового гальма:*

**а)** – вигляд з боку колеса; **б)** – фронтальний вигляд; **1** – підвіска гальма; **2** – гальмовий башмак; **3** – гальмова колодка

Розглянемо деякі конструктивні рішення відомих пристроїв, які спрямовані на сповільнення інтенсивності зносу колодок двовісних візків вантажних вагонів.

**Пристрій конструкції Уралвагонзавода (УВЗ).** У конструкції пристрою (рис. 4, а) до балки триангеля в середній частині приварюється гакоподібний кронштейн *1* для навішування на нього петлі *2*. Довжина петлі повинна бути такою, щоб із середини внизу на неї повністю спиралася затяжка *3* вертикальних важелів і сприймала на себе дію зусилля від маси вертикального важеля *4* і приєднаних до нього деталей. У такому стані триангель не навантажується силою, яка виникає від маси вертикальних важелів і утримується від нахилу до спірання гальмових колодок у поверхні кочення колісних пар.

Але під час руху вагона частини вертикального важеля і деталі, що навішені на нього, у своїх зазорах в шарнірних з'єднаннях створюють досить значні динамічні сили навантаження ударного характеру на петлю *2* і гакоподібний кронштейн *1*. Через це в експлуатації спостерігаються випадки розгинання, або повного відривання кронштейна *1*. В такому разі петля *2* падає на затяжку *3* і звисає, що загрожує безпеці руху зачепленням за частини стрілочних переводів. Тому цей пристрій заборонено до використання.

**Пристрій М 1180 ПКБ ЦВ (РФ).** У даний час на залізницях пострадянського простору перевагу віддано пристрою ПКБ ЦВ (рис. 4, б) – найбільш прийнятному

за умов безпеки руху. За принципом дії конструкція ПКБ ЦВ майже не відрізняється від аналогічної УВЗ. А конструктивна відмінність полягає у тому, що як петля тут застосована петлеподібна скоба 1, яка навішується безпосередньо на розпірку триангеля. Для цього скоба спеціально виготовляється як несучільне кільце. Стягування кінців скоби здійснюється за допомогою замка 2.

Разом з тим проблему клиноподібного зносу колодок такий пристрій не вирішує. Спостереження за станом цих пристроїв в експлуатації і за характером зносу гальмових колодок у вантажних вагонах вказує на те, що найбільш малонадійним вузлом у сучасних вантажних вагонах є пристрій ПКБ ЦВ, який у більшості випадків безцільно і небезпечно звисає на кожному триангелі, при цьому не запобігає клиноподібному зносу колодок.

Порівняльний аналіз останніх двох пристроїв та дані про їх працездатність вказують на те, що потрібні інші шляхи до вирішення проблеми синтезу таких конструкцій.

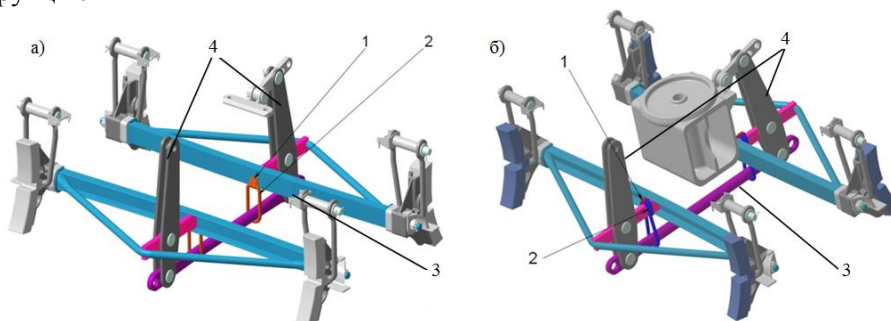


Рис. 4. Пристрій УВЗ (а) і ПКБ ЦВ (б) для запобігання зносу:  
1 – кронштейн/замок; 2 – петля суцільна/несучільна; 3 – нижня тяга;  
4 – вертикальні важелі

**Пристрій системи МІТ (РФ) та візка ASF (США).** Дещо іншу конструкцію (рис. 5) запропоновано російськими і американськими фахівцями. Запропоновано використовувати пристрої, які створюють протидію крутному моменту і мають схожу між собою будову та принцип дії.

Тут застосовано жорстке з'єднання верхнього кронштейна 3 з боковою рамою візка (що потребує змінювання лиття у конструкції бокових рам) через тягу 4. Тяга створює протидію силам нахилу триангеля, через це, така конструкція має невеликий ресурс.

Зважаючи на те, що таких пристроїв на кожний візок вагона потрібно встановити чотири (на вагон – вісім), вони в сукупності не тільки ускладнюють гальмову систему, але й збільшують масу невідресорених частин візка, до того ж потребують зміни лиття у конструкції бокових рам візка для створення кронштейна 3, через це така конструкція постає як проблематична.

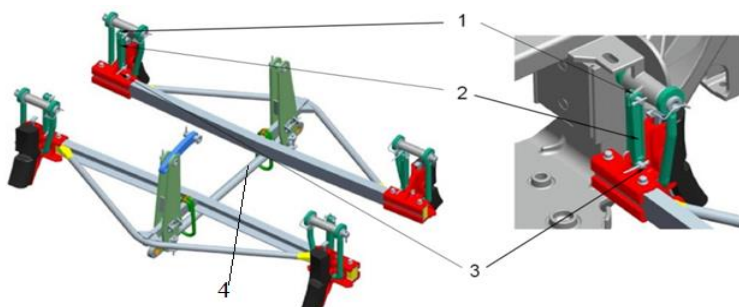


Рис. 5. Пристрій за системою МПТ (РФ) і візка ASF (США):

1 – шарнір верхній (до спеціально відлитого вуха на кронштейні підвіски бокової рами);  
2 – серга подвійна; 3 – шарнір верхній (до кронштейна на башмаку триангеля); 4 – розпірна тяга

**Пристрій ТОВ «Софія Інвест» (Україна).** У конструкції системи ТОВ «Софія Інвест» передбачено утворювати протидію крутному моменту, який виникає на триангелі від дії маси вертикального важеля і приєднаних до нього деталей, за таким же принципом, як і у попередній конструкції (рис. 6). Але для того, щоб запобігти зміні лиття у бокових рамах візка запропоновано у нижньому шарнірі розташувати фрикційний пристрій опору кутовому повертання триангеля.

Суть такої конструкції полягає у тому, що кожна підвіска 2 триангеля із башмаками 1 доповнюється системою важелів 3 і 6 та тяг 4. Ці деталі шарнірно з'єднані у вигляді нерівностороннього чотирикутника *А, Б, В, Г*. У нижній шарнір *В* конструкції ТОВ «Софія Інвест» вмонтовано пристрій 5 з фрикційним регулятором опору кутовому повороту. В ньому, під час регулювання, задається момент опору повертання таким, щоб цей опір був більшим за момент, який створює невідносна маса ГВП візка, але не меншим ніж момент, що створюється під час притиснення гальмових колодок до коліс при гальмуванні.

У порівнянні з розглянутими пристроями від «Софія Інвест» складніший за всіх. На кожний візок необхідно встановлювати чотири механізми, а на чотиривісний вагон – вісім. Кожен пристрій загалом складається з 11 деталей, таким чином на візок додається 44 деталі, відповідно на чотиривісний вагон 88. Тому тут значно збільшується трудомісткість монтажно-демонтажних робіт з їх встановлення на візки при всіх планових видах ремонту. Дуже небажаною властивістю такого пристрою є його регулювання затяжкою гайки і контргайки вручну. Під час збирання візків таку роботу виконувати хоча й не дуже складно, але з підвищеними працевитратами, внаслідок чого в безпечність користування цією гальмовою системою часто-густо втручається людський фактор.

Пристрої «Софія Інвест» також не можуть забезпечити рівномірність зносу гальмових колодок через те, що у їх принципі дії закладено в умовах експлуатації вирівнювання нахилу колодок натисненням верхніми їх краями на поверхню кочення колеса, що здійснюється найчастіше під час руху. При цьому сила такого натиснення повинна «перебороти» силу тертя у регульованому механізмі пристрою. Тільки після цього триангель з колодками повертається на шарнірах підвісок і колодки повністю притискаються до коліс. У цей же час верхні краї колодок примусово стираються, що і створює умови інтенсивного розвитку зносу: по-перше, – крайкового вібраційного, по-друге (в подальшому), – дуального.



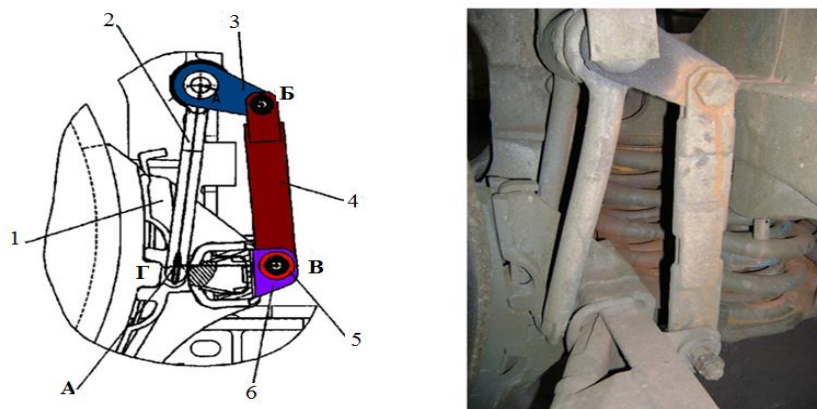


Рис. 6. Пристрій «Софія-Інвест»:

1 – гальмовий башмак; 2 – типова підвіска башмака; 3 – верхній важіль; 4 – тяга; 5 – фрикційний пристрій регулювання опору кутовому повороту триангеля; 6 – нижній важіль; А-Б-В-Г - нерівносторонній чотириланник створення протидії крутному моменту триангеля

На переборювання сил тертя восьми регульованих механізмів вагона витрачається деяка частка зусилля гальмового циліндра і таким чином зменшується ККД гальмової важільної передачі. Через це відбувається втрата сил гальмового натиснення, погіршується ефективність гальмування і збільшується гальмовий шлях поїзда, що впливає на безпеку руху.

**Перспективні підходи удосконалення гальм візків вантажних вагонів**

**Пристрій із запобіжним тросом візка моделі ZK1 (Китай)** [10] відповідає новому підходу з використанням пружних елементів в конструкції ГВП.

Модель ZK1 (рис.7, а) має не жорстку, а «піддатливу» підвіску триангеля ГВП. Сама підвіска триангеля виконана на шатуні необресореної частини, яка, в свою чергу, опирається на конусні втулки через гуму. Тут же у гальмовій важільній передачі активно використовуються запобіжні гнучкі троси.

Однак, деякі недоліки має і вона. Для використання гальмової передачі у бокових рамах візка ZK1 необхідно вилити спеціальні додаткові приливи, які будуть утримувати триангельну гальмову систему. У місцях контакту шипа триангеля з боковою рамою виникають втомлені тріщини, тому виникає загроза безпеці руху. Також у процесі експлуатації виникають несправності бокових рамах візка, через швидкий знос конусних втулок зменшується їх ресурс на 40-50%.

**Пристрій з пружними стрижнями візка моделі 18-578.** Дещо інший підхід до розв'язання проблеми клиноподібного зносу колодок здійснили на Уралвагонзаводі у співпраці з МПТ, де реалізовано візок моделі 18-578 для вантажних вагонів залізниць РФ (рис. 7, б).

У моделі 18-578 для протидії крутному моменту від нахилу двох суміжних триангелів 1 застосовується з'єднувальні пружні сталеві стрижні 2 з головкою на одному кінці. Кожен стрижень закріплено напрямними кронштейнами 3, привареними до швелера триангеля. В отвори кронштейнів встановлено зносостійкі

полімерні втулки 1. Утримання стрижнів від зсуву і випадання здійснюють кінцеві скоби біля головок, які надіваються і підгинаються до головок стрижня.

З усуненням нахилу двох суміжних триангелів візка у такій конструкції виникають саме ті реакції сил, які здатні протидіяти крутному моменту, відносно нахилу триангеля. З цією метою їх з'єднання здійснюється пружними сталевими стрижнями 2 в напрямному пристрої. Кінці кожного стрижня шарнірно з'єднано в чотирьох отворах напрямних кронштейнів 3. В такому з'єднанні, між напрямними стрижнями і кронштейнами, в отворах утворюються реактивні крутні моменти протидії крутному моменту нахилу триангеля. Таким чином пристрій утримує триангель у врівноваженому стані, забезпечуючи рівномірні зазори між гальмовими колодками і колесами, за рахунок чого сповільнюється нерівномірність їх зносу.

Поряд з такими позитивними властивостями цей пристрій має досить суттєві недоліки. По-перше, така конструкція складна, утворена на візку двома напрямними стрижнями, чотирма кронштейнами, вісьмома полімерними втулками та двома скобами. По-друге, у тонкостінних напрямних кронштейнах 3 полімерні втулки під дією значних динамічних навантажень швидко руйнуються, з'являються великі зазори між стрижнем і отворами кронштейнів, через що пристрій перестав виконувати свою функцію – не утримує триангелі, вони нахиляються до спірання верхніми краями колодок у колеса і знову ж відбувається клиновидний їх знос.

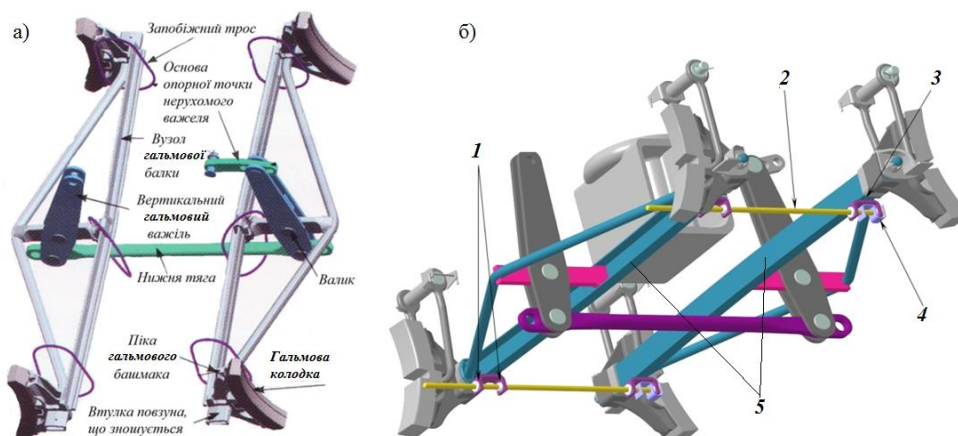


Рис. 7. Пристрої з пружними елементами візків:

а) – ЗК1; б) – мод. 18-578; 1. полімерна втулка; 2. пружний стрижень;

3. напрямний кронштейн; 4. скоба; 5. триангель

Головним недоліком у такій конструкції є те, що пристрій створюючи завчасно протидію крутному моменту сил нахилу триангеля, під дією значних додаткових динамічних навантажень досить швидко руйнується, повністю виходить із ладу і не вирішує ні проблеми зносу колодок, ні безпеки руху візка.

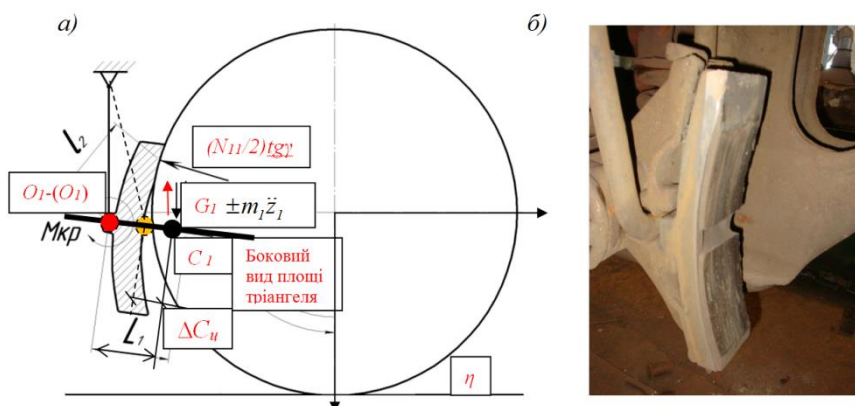
**Інноваційний пристрій УкрДАЗТ (Україна).** Як обґрунтовано патентом України [2, 11] для сповільнення інтенсивності клиноподібного зносу колодок ГВП доцільно зменшити до можливого мінімуму плече  $L_1$  (рис. 8) на якому (припустимо) в точці  $C_1$  знаходиться сумарна маса  $m_1$  вертикального важеля з

триангелем, з'єднаного з ним розпіркою. Тобто через цю точку проходить лінія дії сумарної ваги  $G_I$  вертикального важеля, триангеля й інших деталей, які створюють крутний момент ( $M_{кр}$ ) від невірноважених динамічних сил, зокрема – сил вертикальної динаміки руху візка ( $\pm m_I \ddot{z}_I$ ), що наїжджає на нерівності рейкової колії, наприклад, на «стик рейок» висотою  $\eta$ .

Подібні небажані силові фактори пов'язані з додатковим навантаженням елементів триангеля, а згадана вище зайва рухомість ГВП сприяє нахиленню його гальмових колодок триангеля (рис. 8, а), внаслідок цього останні під час руху візка своїми краями торкаються поверхні кочення коліс вагона й марно зношують свої крайні частини (рис. 8, б).

**Практичне обґрунтування модернізації ГВП візків вантажних вагонів**

Більше ніж три чверті гальмових колодок, що експлуатуються на вантажних вагонах, при русі з попущеними гальмами епізодично торкаються своїми краями поверхонь кочення коліс. З точки зору динаміки руху візка по нерівностях рейкової колії це явище є наслідком не тільки наявності ексцентриситету  $L_I$ , а також пов'язано з розбіжністю ( $L_I - \Delta C_U$ ) поміж віссю отвору розпірки, де вертикальний важіль шарнірно з'єднано з триангелем і віссю його підвішування  $O_I - (O_I)$ , яка об'єднана з осями підвісок гальмових башмаків до рами візка (рис. 8, а).



**Рис. 8. Виникнення додаткового навантаження в елементах ГВП і схема зменшення крутного моменту ( $M_{кр}$ ) від сил вертикальної динаміки ( $\pm m_I \ddot{z}_I$ ) при наїзді колеса на нерівність  $\eta$  стику рейок (а); наслідки у вигляді крайкового вібраційного зносу гальмових колодок (б)**

Цей висновок було підтверджено нами при випробуваннях вантажних вагонів у яких було здійснено конструктивні зміни розпірок триангелів ГВП за нашими пропозиціями [12].

Якщо розглядати схему (рис. 8, а), як проекцію елементів ГВП на фронтальну площину, тоді зрозуміло, щоб зменшити крутний момент ( $M_{кр}$ ) від вібраційних вертикальних сил динаміки руху візка ( $\pm m_I \ddot{z}_I$ ), доцільно, щоб шарнір з'єднання вертикального важеля з розпіркою триангеля (т.  $C_I$ ), був розташований так, щоб сумарна маса  $m_I$  триангеля з гальмовими башмаками і вертикальним важелем була б наближена до осі  $O_I - (O_I)$ , яка умовно об'єднує обидва шарніри гальмових башмаків

із колодками. При цьому це слід робити так, щоб зменшити до мінімуму в горизонтальному вимірі ланцюг параметрів:  $L_I \rightarrow \Delta C_u \rightarrow \min$ . Тобто не тільки наблизити на відстань  $\Delta C_u$  відповідний отвір розпірки до сумарного центра тяжіння, а ще й мінімізувати параметр  $(L_I - \Delta C_u)$ , як це можливо з конструктивних міркувань.

Як першого кроку модернізації ГВП нами було запропоновано отвір розпірки серійних тріангелів, де вони з'єднуються з вертикальними важелями ГВП, наблизити до цапфових осей, що попарно об'єднують шарнірні підвіски гальмових башмаків з колодками.

У звіті НДР [12] запропоновано зовсім не складне конструктивне удосконалення тріангеля ГВП, яке може бути виконано декількома розробленими нами способами поновлення його розпірок в звичайних умовах деповського ремонту. Завдяки чому без введення допоміжних пристроїв і суттєвих змін конструкції серійного тріангеля досягається зменшення крутного моменту  $M_{кр}$  та частково вирішується проблема сповільнення інтенсивності зносу колодок. У такому випадку модернізований тріангель буде виконувати гальмування колісної пари переважно за рахунок дії гальмового зусилля.

У серійному варіанті виконання розпірки тріангеля суттєвим є знос крайкового вібраційного типу (див. рис. 1, п. 2). Його підвищене значення (рис. 9, б) займає обсяг до 14% зношення маси нової колодки за перші 5 тис. км пробігу з подальшим проявленням дуального зносу з провисанням [1, 9].

Сумарна втрата маси колодки — до 47%. Тобто на процес гальмування й зносу колодок динаміка взаємодії коліс і рейкового шляху надала суттєвий вплив. При чому, вочевидь маса колодок витрачалася за часом нерівномірно — спочатку з підвищеною інтенсивністю із крайковим зносом, що супроводжувалося з втратою маси близько 14% від маси всієї колодки. Потім, при збільшенні пробігу гальмове зусилля стало наближати стан колодок коли вони «обіймали» колеса по колу їх кочення до 60-70% за своєю робочою поверхнею. В подальшому інтенсивність зносу стабілізувалася так, що при гальмуваннях тільки 47% маси колодок серійного тріангеля з звичайною розпіркою відповідало зносу корисного їх задіяння відповідно звичайного сумарного напрацювання на ресурс.

Інша частина робочої маси колодок (до 14%) шкідливо зношувалася третям по колесах під час руху без гальмування. В результаті 39% маси дуально зношених колодок залишалася не використаною, хоча колодки за Інструкцією [10] були забраковані з причини непридатності до подальшої експлуатації.



Рис. 9. Статистичні підсумки експлуатації гальмових колодок:  
а) при пробігу 48 тис. км; б) при пробігу 14 тис. км

Таким чином, як видно з рис. 9, перший крок модернізації ГВП за рахунок використання нової розпірки тріангеля з наближенням отвору шарніра його з'єднання з віссю підвіски гальмових башмаків дає позитивний результат.

Але таке конструктивне рішення ( $L_I \rightarrow \Delta C_{II}$ ), про яке щойно згадувалося, дає ефект зниження шкідливого  $M_{кр}$  не в достатньо повній мірі. Для триангеля №1, який підвішений до візка двома підвісками гальмових башмаків першої колісної пари, оптимальним в даному сенсі є рішення, коли згаданий центр мас  $C_I$  знаходиться безпосередньо на осі  $O_I(O_I)$ . Але цього досягти дуже не просто.

Пояснимо цю тезу розглядаючи рух візка без гальмування. У попущеному стані гальмової системи запропоновані конструктивні зміни розпірки триангеля передбачають утримання гальмових колодок без їх нахилу до поверхонь кочення коліс колісних пар, щоб більш-менш унеможливити крайковий вібраційний знос колодок.

Зважаючи на те, що статично врівноважений триангель утримується у подібному «вільному» стані в вузлах підвішування тільки силами тертя в шарнірних з'єднаннях, не виключено, що просторові коливання ходової частини вагона при русі по рейковому шляху з нерівностями можуть час від часу змушувати триангель з колодками нахилитися в той чи інший бік. В цьому випадку колодки у попущеному стані гальма за рахунок вказаних вимушених коливань своїми краями все-таки будуть торкатися за поверхні кочення коліс верхньою частиною (див. рис. 8, б), що в подальшому сприятиме розвитку клиноподібному моністичному і/або дуальному зносу колодок.

Зауважимо до сказаного. Взагалі об'єднаний центр мас триангеля з приєднаними до нього деталями ГВП не може знаходитися стаціонарно в якійсь конкретній точці хоча б тому, що в процесі гальмування візка в порівнянні з «вільним» його рухом центри мас кожного з елементів ГВП змінюють місця свого перебування. Тому термін «імовірно» про місце знаходження сумарного центру мас  $C_I$  триангеля з його деталями тут введено доречно.

З точки зору кінетостатичного аналізу роботи ГВП, де силові фактори діють на складові елементи гальмової системи візка, наприклад в класичній ситуації наїзду візка на ізольовану нерівність, чи при проходженні інших нерівностей рейкової колії, кінематичні схеми ГВП будуть мати різний вигляд та відповідати декільком фазам використання важільної передачі.

### **Висновки**

1. Виконано спрощений кінетостатичний аналіз гальмових важільних передач ходових частин вагонів, який доводить, що утворення різних видів і типів зносу гальмових колодок відбувається через вплив динамічних сил у результаті взаємодії 3-х елементних візків з нерівностями рейкової колії на прямих (клиноподібний знос) і кривих (дуальний знос) ділянках колії.

2. Встановлено, що причиною такого негативного явища поряд з впливом нестационарних умов руху візків є неузгодженість силових факторів, зумовлених конструкцією триангельної системи ГВП на маятниковій підвісці, завдяки дії яких порушуються умови контакту тріботехнічних пар – гальмових колодок з колесами.

3. Розглянуто деякі конструктивні рішення відомих пристроїв, які спрямовані на сповільнення інтенсивності зносу гальмових колодок двовісних візків вантажних вагонів, описані їх недоліки, а також запропоновано заходи стосовно модернізації триангельної системи. Це дасть можливість сповільнити клиноподібний знос колодок, істотно підвищити ефективність їх використання та підвищити безпеку руху на залізничному транспорті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Равлюк В. Г. Щодо визначення силових перетворень при клиноподібному зносі гальмових колодок вантажних вагонів / В. Г. Равлюк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 40 (1262). – С. 75–80.
2. Пат. 121889 Україна, МПК51 В60Т 1/02 (2006.01). Підсилюючий пристрій до паралельного відведення колодок від коліс у гальмівній системі візків вантажних вагонів [Текст] / Равлюк В. Г., Нечволода С. І.; заявник та патентовласник Український державний університет залізничного транспорту; заявл. 24.04.17; опубл. 26.12.17, Бюл. №24.
3. Vakkalagadda M. R. K. Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways [Text] / M. R. K. Vakkalagadda, D. K. Srivastava. // Original Research Article. 2015. -Vol. 328–329, - P.64-76.
4. Vineesh K. P. Non-uniformity in braking in coaching and freight stock in Indian Railways and associated causes [Text] / K. P. Vineesh, M. R. K. Vakkalagadda, A. K. Tripathi, A. Mishra, V. Racherla // Engineering Failure Analysis 2016. –Vol. 59, -P. 493-508.
5. Ловська А. О. Моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі / А. О. Ловська // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. Сєвєродонецьк: СХУ ім. В. Даля. – №2 (243), 2018. – С. 154 – 159.
6. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 2013 рік [Текст] / Головне управління вагонного господарства. – Київ, 2013. – 24 с.
7. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України : ЦТ – ЦВ – ЦЛ – 0015. – Затв. нак. Укрзалізниці № 264Ц 28.10.1997. – Вид. офіц. – К. : 2004. – 146 с.
8. Басов А. А. Пути совершенствования конструкции тележки грузового вагона /А. А. Басов, С. В. Мямлин, В. Я. Панасенко, И. В. Клименко // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. – 2009. – С. 27–32.
9. Равлюк В. Г. Оцінювання факторів утворення дуального фрикційного зносу гальмових колодок / В. Г. Равлюк // Зб. наук. пр. Держ. універ. інфраструктури та технол. Серія: Транспортні системи і технології. – К. : ДУІТ, 2018. – № 31 (2017). – С. 109–126.
10. Блохин Е. П. 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.
11. Патент на винахід (номер заявки а 2017 07650). Спосіб і пристрій для підвищення довговічності та надійності механічної частини гальмівної системи вантажних вагонів [Текст] / Равлюк В. Г., Нечволода С. І.
12. Розробка конструкторсько-технологічної документації на проведення модернізації гальмових важільних передач візків вантажних вагонів : Звіт про НДР (закл. ) : Укр. держ. акад. залізнич. трансп. ; кер. Мартинов І. Е. ; викон.: Равлюк В. Г. [та ін.] — Х., 2012. – 53 с. – Бібліогр.: с. 44. - № ДР 0111U008972.

REFERENCES

1. Ravlyuk, V.G. (2017). *Shchodo vyznachennia sylovykh peretvoren pry klynopodibnomu znosi halmovyykh kolodok vantazhnykh vahoniv* [Concerning the definition of power transformations with wedge-shaped demolition of brake pads of freight cars]. *Visnyk NTU "Kharkov Polytechnic Institute"* [Bulletin of the NTU "KhPI"], issue 40 (1262). 75–80. (In Ukrainian).
2. Ravlyuk, V.G., Nechvoloda, S.I. (2015). *Pidsyliuuyuchy prystrii do paralelnoho vidvedennia kolodok vid kolis u halmivnii systemi vizkiv vantazhnykh vahoniv* [Reinforcement device for parallel removal of pads from wheels in the braking system of carriages of freight cars]. *Kharkov. Ukrainian State University of Railway Transport*. (In Ukrainian).
3. Vakkalagadda, M. R. K., Srivastava D. K. (2015). *Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways*. Original Research Article. 64-76. (In Indian).
4. Vineesh, K. P. Vakkalagadda, M. R. K., Tripathi, 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. (In Indian).
5. Lovska, A. O. (2018). *Modeliuvannia dynamichnoi navantazhenosti vahona- platformy zchlenovanoho typu pry perevezenni na zaliznychnomu poromi* [Modeling of dynamic load of a wagon-platform of an articulated type during transportation on a railway ferry]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia*. [Bulletin of the East-Ukrainian National University named after Volodimir Dahl], issue 2(243), 154-159. (In Ukrainian).

6. *Analiz stanu bezpeky rukhu poizdiv na zaliznytsiakh Ukrainy za 2017 rik* [Analysis of the state of the safety of trains on the railways of Ukraine for 2017]. (2017). 19. Kyiv. (In Ukrainian).
7. *Instruktsiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy* [Instruction on operation of brake rolling stock on the railways of Ukraine]. (2004). 146. Kyiv. (In Ukrainian).
8. Basov, A.A., Miamlyn, S.V., Panasenko, V.Ya. & Klymenko, Y.V. (2009). *Puty sovershenstvovannia konstruksyy telezhky hruzovoho vahona* [Ways of perfecting the design of the truck of the freight wagon] *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 24-28. (In Ukrainian).
9. Ravlyuk, V.G. (2017). *Otsiniuvannia faktoriv utvorennia dualnoho fryktsiinoho znosu halmovykh kolodok* [Evaluation of the factors of formation of dual frictional wear of brake pads]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo universytetu infrastruktury ta tekhnologii* [Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies], issue 31(2017), 109-126. (In Ukrainian).
10. Blokhyn, E.P., Alpisbaev, K.T. & Panasenko, V.Ya. (2012). *Telezhky ZK1 poluvahonov, postroennikh v KNR* [ZK1 carts of gondola cars built in China]. *Car fleet*, issue 9 (66), 12-14. (In Ukrainian).
11. Ravlyuk, V.G., Nechvoloda, S.I. (2017). *Sposib i prystrii dlia pidvyshchennia dovhovichnosti ta nadiinosti mekhanichnoi chastyny halmivnoi systemy vantazhnykh vahoniv* [A method and device for increasing the durability and reliability of the mechanical part of the brake system of freight wagons]. Kharkov. (In Ukrainian).
12. Martynov, I.E. & Ravlyuk, V.G. (2012). *Rozrobka konstruktorsko-tekhnolohichnoi dokumentatsii na provedennia modernizatsii halmovykh vazhilnykh peredach vizkiv vantazhnykh vahoniv* [Development of design and technological documentation for modernization of brake lever gears of freight cars] (№ ДР 0111U008972), Kharkov: Ukrainian State Academy of Railway Transport. (In Ukrainian).

**Василий Равлюк, к.т.н., доцент**  
(доцент кафедри вагонов, Український державний університет залізничного транспорту)

### УПРОЩЕННИЙ КИНЕТОСТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОРМОЗНОЇ РЫЧАЖНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВИХ ВАГОНІВ

*В роботі изложено новий научний підхід і метод дослідження проблеми, пов'язаної з износом тормозних колодок. Проведен аналіз результатів натурних досліджень во время которых уточнена і доповнена класифікація видів і типів износа колодок.*

*Рассмотрены конструктивные решения известных устройств, направленных на замедление интенсивности износа тормозных колодок грузовых вагонов и предложены меры по модернизации треугольной системы.*

**Ключевые слова:** вагон, тележка, колесо, тормозная рычажная передача, тормозная колодка, износ, треугольник.

**Vasyl Ravlyuk, PhD (technical sciences), associate professor**  
(associate professor of Wagons department, Ukrainian State University of Railway Transport)

### SIMULTANEOUS KINETOSTATIC ANALYSIS OF BRAKE IMMEDIATE TRANSMISSION OF FREIGHT WAGONS

*The paper describes a new scientific approach and a method of studying the problem associated with dual friction wedge-shaped wear of brake pads due to the presence of an edge upper shear which is formed during the train movement from imperfection of the*

*brake system. The causes of uneven wear of brake pads are investigated, which leads to the slope of the pads and the pressure of the upper loop in the moving object of braking (wheel).*

*The analysis of the results of field inspections during which the classification and types of demolition of the brake pads of the freight rolling stock were specified and updated, which allowed to approach the identification of the dynamic factors that correspond to the real scheme "Demolition of brake pads - Reason - Consequences" regarding the occurrence of transport events in the railway transport.*

*To solve this problem, it is proposed to carry out the modernization of the brake lever transmission of freight carriages and to develop fundamental changes in its design, which substantially slows down the wedge-shaped demolition of the booms, will significantly increase the efficiency of their use and significantly increase the safety of the movement of rolling stock in the railroad.*

*Also, some constructive solutions of known devices are considered in the article, which are aimed at slowing down the intensity of wear of brake pads of biaxial freight wagons, describing their shortcomings, and also measures for the modernization of the triangular system are proposed.*

**Keywords:** *wagon, trolley, wheel, brake lever gear, brake pad, wear, triangles.*