

УДК 629.4.077:629.463

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

Микола Равлюк, старший викладач
(старший викладач кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)

Яна Фісіна, магістр
(магістр кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)

Рашиад Нуруллаєв, магістр
(магістр кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)

УТОЧНЕНІ РОЗРАХУНКИ 2D СХЕМ-МОДЕЛЕЙ ГАЛЬМОВИХ ВАЖІЛЬНИХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ КОЛОДОК ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

У роботі проведено комплекс наукових досліджень, який доводить, що типова конструкція гальмової важільної передачі трьохелементних візків не забезпечує нормативний знос колодок, тому потребує коректних досліджень, а її структура – модернізації та перегляду функціонального призначення деяких елементів. На основі 2D схем-моделей важільних передач виконано аналітичні розрахунки, за результатами яких запропоновано практичні зміни у вузлі з'єднання вертикального важеля з розпіркою триангеля.

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

Вступ. Досвід експлуатації вантажних вагонів на трьохелементних візках з гальмовими важільними передачами (ГВП) свідчить, що існує безперечний взаємозв'язок між конструктивним виконанням та зносом гальмових колодок, що натискають на колеса візка при гальмуванні. Аналіз досліджень і патентів з цього приводу показує, що між проектними та реальними навантаженнями елементів ГВП й експлуатаційним зносом гальмових колодок виникають небажані розбіжності. Тому, прийнята типова конструкція ГВП трьохелементних візків і пов'язана з нею інтенсивність зносу колодок потребує коректних досліджень, а їх структура – модернізації та перегляду функціонального призначення деяких її елементів.

Дійсно, на візках вантажних вагонів гальмові колодки в поперечних перерізах своєї довжини зношуються нерівномірно, зменшуючи при експлуатації свою товщину.

Результат цього фізичного явища наведено на рис. 1., де чітко видно, що в процесі експлуатації гальмові колодки можуть зношуватися клиноподібно (рис. 1, а), але це дуже зрідка, а в основному тіло колодок зношується подвійним чином з розмежуванням двох площин тертя через те, що колодки в процесі руху вагона звисають і торкаються коліс. У зв'язку з цим, такий тип зносу колодок визначено окремо, як клинодувальний фрикційний знос (рис. 1, б) [1].

Як показали дослідження, трьохелементні візки вантажних вагонів сконструйовано таким чином, що їх просторові моделі мають зайві зв'язки [2, 3]. Тому при розрахунках і проектуванні гальмових важільних передач, такий стан питань обумовлює використання інших спрощених 2D – моделей.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-3



Рис. 1. Гальмові колодки з експлуатаційними явищами зносу:
а) – «клиноподібного»; б) – «клинодуального»

Також необхідно зазначити, що багато хто з науковців й інженерів, які пов'язані з проектуванням і ремонтом вузлів і деталей вагонів не достатньо коректно відображають на них особливості процесів гальмування вантажних составів, а це перешкоджає поліпшенню якісних показників ГВП – зниженню інтенсивності зносу гальмових колодок.

Не вдаючись в особливості виникнення клиноподібного або клинодуального виду зносу колодок, зауважимо, що його інтенсивність, з точки зору теорії тертя, в основному залежить від співвідношення величини натискання гальмової колодки на колесо до площі контакту, на якій це натискання здійснюється.

У свою чергу слід зазначити, що клинодуально зношені колодки в процесі гальмування приводять до виникнення на поверхнях кочення коліс таких дефектів, як термомеханічні пошкодження (рис. 2), які спричиняють місцеве викришування металу на їх поверхнях, а це загрожує безпеці руху на залізничному транспорті та збільшує експлуатаційні витрати на ремонт вагонів.

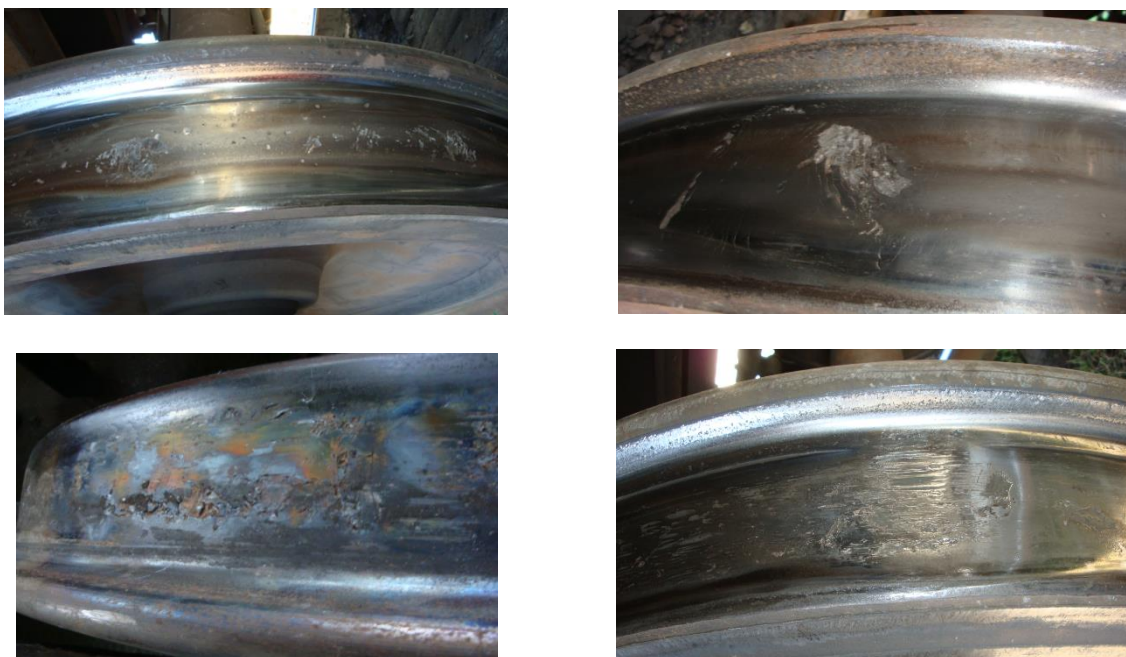


Рис. 2. Термічні пошкодження поверхонь кочення коліс

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У роботі [4] доведено, що силові фактори, які діють в гальмових системах візків вагонів, залежать від динаміки перехідних процесів у ГВП і можуть розділятися по тілу колодок нерівномірно. Однак, ці перехідні процеси значно малі за час дійсного гальмування вагона, тому в зоні контакту триботехнічної пари «колодка-колесо» тривалий час діє максимальна сила натискання. Практично таку ж критичну оцінку можна навести з роботи [5], де досліджувався факт впливу нелінійних змін натискання колодки на колесо в цьому перехідному процесі. Тим більше, що тут знос колодки при гальмуванні вивчався на відокремленому стенді. Дослідження у праці [6] і в подібній їй [7] навпаки ігнорують такі особливості гальмування, як перехідні процеси руху розглянутих візків по нерівному рейковому шляху з гальмуванням. А роботи [8-9] базуються на занадто спрощеному статичному аналізі навантажень елементів ГВП з дією середнього значення гальмового зусилля, прикладеного до колеса.

Більш-менш достовірний підхід до даної проблеми запропоновано в роботі [10]. Але й він однобічною дією сил інерції, що пов'язані з вертикальною динамікою візка при проходженні нерівності рейкової колії, наприклад, стик рейок, спрямованою лише вертикально вниз, вказує на неповноту досліджень.

У роботі [11] описано динамічне випробовування на стенді інноваційної гальмової системи візків вантажних вагонів, яка є предметом значних статичних і динамічних навантажень. Проте необхідно зазначити, що було б доцільно виконати експлуатаційні експериментальні випробовування для дослідження показників надійності й працездатності роботи гальмової важільної передачі візків, з обов'язковим контролем при цьому нормативного зносу гальмових колодок.

В інших відомих дослідженнях, присвячених працездатності візків вантажних вагонів і їх вузлів, переважну увагу приділено конструктивним змінам ГВП з додатковим введенням різних пристроїв, які призначені зменшувати інтенсивність зносу гальмових колодок [12-17]. Але, як показує практика, такий підхід пов'язаний з ускладненням конструкції ГВП, підвищенням її собівартості виготовлення і ремонту, збільшення трудомісткості ремонту тощо. Однак при цьому не вирішується головна проблема – ліквідація клинодуального зносу гальмових колодок.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є удосконалення розрахункових 2D схем-моделей гальмової важільної передачі трьохелементного візка вантажного вагона з визнанням альтернативних критеріїв щодо їх раціонального проектування.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

розробити універсальну 2D схему-модель ГВП сучасного трьохелементного візка, що допускає коректну інтерпретацію її роботи, яка дасть змогу вирішувати завдання раціонального конструювання гальмових систем візків вантажних вагонів;

на основі створеної універсальної 2D схеми-моделі ГВП визначити силові фактори, що відповідають її роботі в складних умовах експлуатації трьохелементних візків вантажних вагонів на нерівній рейковій колії;

за допомогою відповідних аналітичних розрахунків і експлуатаційних випробувань працездатності ГВП трьохелементних візків оцінити технічні можливості стосовно до збільшення використання ресурсу гальмових колодок;

виконати порівняльні розрахунки силових факторів, які діють в елементах важільних передач при гальмуванні візка для випадків знакозмінних вертикальних сил інерції, при наїзді візків на нерівності рейкового шляху типу «стик рейок».

Матеріали та методи дослідження. У сучасних умовах експлуатації, коли вантажні вагони підвищили свою вантажну спроможність та стали швидше рухатися, їх вимоги до гальмування стали більш вибагливішими. Принцип гальмування і відповідний при цьому знос колодок зазвичай пояснюється плоскими схемами-моделями [10].

Відхилення від нормативного (в сторону збільшення) зносу гальмових колодок є природним при сучасних умовах підвищення вантажних перевезень, але коли вісь загального центру ваги триангельної ГВП не співпадає з шарнірами маятникового підвішування башмаків з колодками, тоді при експлуатації таких ГВП слід очікувати прискорений вихід з ладу гальмових колодок з їх передчасною заміною.

Для знаходження раціональних конструктивних рішень щодо зменшення зносу гальмових колодок від шкідливих явищ, які обумовлені динамікою руху вантажних вагонів, слід розглянути схеми роботи триангеля ГВП трьохелементного візка і більш ретельно проаналізувати шляхи щодо їх удосконалення.

На рис. 3 зображено модель ГВП трьохелементного візка вантажного вагона моделі 18-100. Досліджуючи структуру цього механізму не важко усвідомити, що він має надлишкові (зайві) зв'язки, тому одразу визначити кінематику та провести його динамічний аналіз неможливо, так як і неможливо знайти інерційні силові фактори, які діють на ГВП зі сторони його елементів [18]. Внаслідок цього для проведення силового кінестатичного аналізу такого складного механізму потрібно або на щось накладати відповідні обмеження, або розглядати його динаміку в межах рівнянь Лагранжа.

На рис. 3, як і в дослідженні [10] зображено силові фактори, які забезпечують квазістатичну рівновагу ГВП при гальмуванні. Проте з міркувань геометричної симетрії задіяння гальмових важелів можна так відрегулювати гальма, щоб силові натискання колодок на колеса були однакові, тобто

$$T_1 = T_2. \quad (1)$$

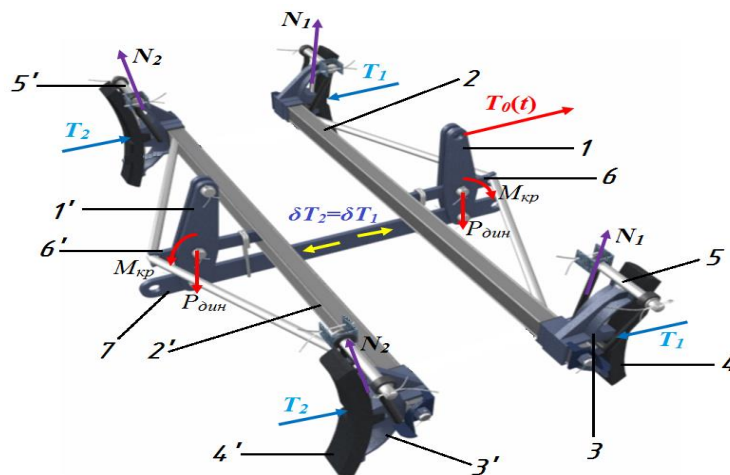


Рис. 3. Модель силової рівноваги ГВП візка вантажного вагона при гальмуванні:
 1; 2 – вертикальні важелі; 3 - триангелі; 4 - гальмові колодки; 5 – гальмові башмаки; 6 – маятникові підвіски; 7 – затяжка важелів; 8 - розпірки триангелів; $T_0(t)$ – зовнішня гальмова сила; $N_1(X_1, Z_1)$ і $N_2(X_2, Z_2)$ - сили в маятникових підвісках триангелів (зовнішні); T_1 і T_2 – зовнішні гальмові реакції від колес на колодки; $\delta T_2 = -\delta T_1$ – розпірні внутрішні «віртуальні» зусилля

Цьому стану силової рівноваги відповідає 2D схема-модель рис. 4 з додатковими інерційними зусиллями, які прикладені до центрів мас триангелів ГВП візка вертикально вниз (рис. 4, а), або вертикально вгору (рис. 4, б), згідно прискоренням вертикальної динаміки візка. Надалі, як і в дослідженні [10], розглядається перша по ходу руху колісна пара візка моделі 18-100.

Виходячи з раніше розробленої методики, ГВП візка поділена на відповідні частини: з вертикальним важелем, який з'єднаний з повздовжньою тягою і авторегулятором, через ці елементи передається зусилля $T_0(t)$ від гальмового циліндра. Зусилля на штоці гальмового циліндра залежить від режиму роботи повітророзподільника ум. №483, для нашого випадку приймаємо завантажений режим [19]. Зусилля, яке передається на вертикальний важіль візка

спочатку гальмує першу колісну пару притискуючи колодки до коліс, а далі завдяки системі тяг і важелів й другу колісну пару (її на рисунку не наведено). Таким чином, вирішення питань цієї проблеми для різних моделей у форматі 2D слід визначати за схемами (рис. 4).

У попередніх дослідженнях детально було доведено те, як за конструктивними виконання ГВП візків вантажних вагонів можна позбутися занадто надмірної інтенсивності зносу гальмових колодок. Однак, як зазначено вище, в одній з останніх робіт [10] не було враховано знакозмінний характер динамічних навантажень на елементи ГВП, що тут якраз уточнено на рис. 4: (рис 4, а – додаткова інерційна сила з прискоренням діє вертикально вниз; рис. 4, б – додаткова сила інерції з прискоренням діє вгору).

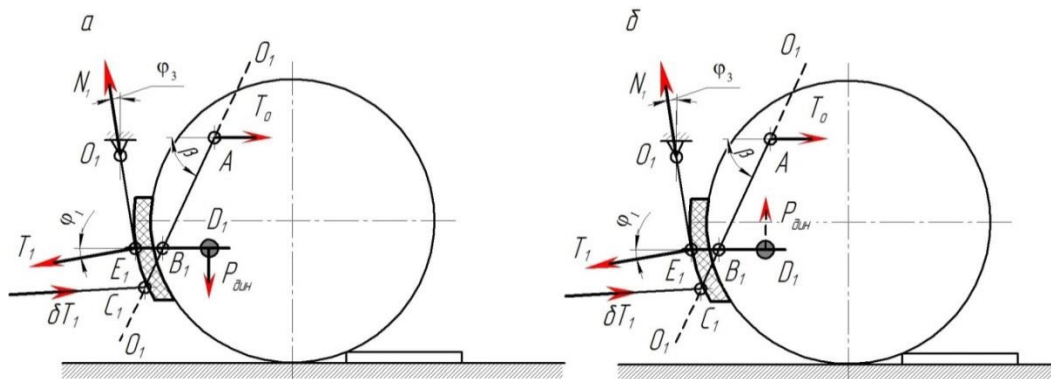


Рис. 4. Універсальна 2D схема-модель гальмування колісної пари при проходженні нерівності типу стик рейок

Моделі та розрахунково-експериментальний аналіз роботи ГВП. У роботі [10] розрахунками також було встановлено, зменшення силового натискання колодок на колеса візка при його проходженні вздовж нерівностей стику рейок, сприяє зменшенню експлуатаційного їх зносу (схема рис.4, а). Тому це дослідження автор вважає продовженням попередніх робіт, де розглянуто дію ГВП за бажаним міркуванням, щодо приведення до єдиної вісі підвішування триангеля його центра мас і вузла з'єднання розпірки триангеля з вертикальним (ведучим) важелем.

Хоча попередніми розрахунками встановлено, що в цьому випадку очікуємо результат, щодо сприятливої дії силових факторів в усіх ланках триангельної ГВП, але досягти цей результат можливо тільки теоретично (рис. 5, а).

У цьому сенсі методика розрахунків було спочатку перевірено на наближеній до реальності 2D схемі-моделі (рис. 5, в), без ніяких змін в конструкції триангеля. В результаті зменшення дії шкідливого зносу вверху гальмових колодок не спостерігалось, до того часу поки конструкцію триангеля не було модернізовано, як зображено на схемі-моделі (рис. 5, б). В цьому випадку було частково вирішено проблему сповільнення інтенсивності зносу гальмових колодок, що було підтверджено експериментально.

Таким чином, в результаті незначних змін вузла з'єднання вертикального важеля з розпіркою триангеля, модернізовані триангелі ГВП стали працювати надійніше. Результатом такої модернізації є зменшення показників інтенсивності зносу гальмових колодок, ніж в типових гальмових системах трьохелементних візків.

Тому з теоретичного аналізу та практичного його підтвердження можна зробити попередній висновок, щодо вирішення даної проблеми, яка розглядається. А саме: центр мас конструкції триангеля потрібно якомога ближче наблизити до вузла з'єднання вертикального важеля з розпіркою триангеля – балки триангеля.

Тобто маємо коректну універсальну розрахункову 2D схему-модель гальмування колісної пари, при її проїзді нерівності типу «стик рейок» з урахуванням дії сил гравітаційного тяжіння (рис. 5, б).

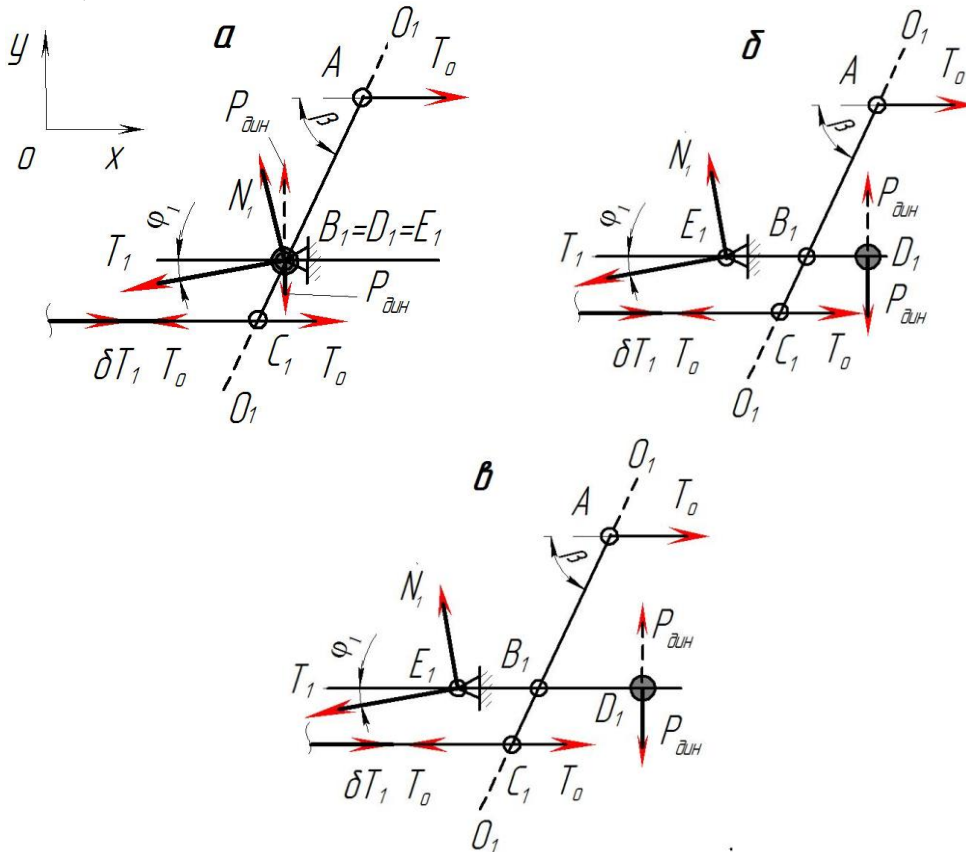


Рис. 5. Розрахункові схеми-моделі загальмованої колісної пари при наїзді на нерівність «стик рейок»:

а – ідеальний варіант ($l_{B_1D_1} = l_{B_1E_1} = 0$); б – модернізований варіант ($l_{B_1D_1} = 0,112$);

в – типовий варіант ($l_{B_1D_1} = 0,224$)

Як і в попередніх дослідженнях умови використання та розрахунків елементів ГВП візків розглядаються таким самим чином — з прикладенням сили $T_0(t)$. З часом закінчення перехідного процесу гальмове зусилля зростає до номінального значення T_0 , з напруженням зусиль N_1 в стрижнях підвішування триангелів. Одночасно частка сили T_0 у вигляді внутрішнього зусилля δT , діє на колодки і впирає їх в колеса. Сама сила δT взагалі може пересувати розпірку з'єднання важелів в обох протилежних напрямках.

У кінцевому етапі відбувається гальмування усіх коліс візка. Для розрахунків загальмованого стану візка з ГВП маємо такі універсальні рівняння статyki:

Динамічне навантаження вниз

$$\left\{ \begin{array}{l} T_0 + \delta T - N_1 \sin \varphi_1 - T_1 \cos \varphi_1 = 0 \\ N_1 \cos \varphi_1 - T_1 \sin \varphi_1 - P_{avn} = 0 \\ T_0 \cdot l_{B_1C_1} \cdot \sin \beta - P_{avn} l_{B_1D_1} - N_1 \cdot l_{B_1E_1} \cdot \cos \varphi_1 - \\ - T_1 \cdot l_{B_1E_1} \cdot \sin \varphi_1 + \delta T \cdot l_{B_1C_1} \cdot \sin \beta - M_0 = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

Динамічне навантаження вверх

$$\left\{ \begin{array}{l} T_0 + \delta T - N_1 \sin \varphi_1 - T_1 \cos \varphi_1 = 0 \\ N_1 \cos \varphi_1 - T_1 \sin \varphi_1 + P_{\text{дин}} = 0 \\ T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta + P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1 D_1} - N_1 \cdot l_{B_1 E_1} \cdot \cos \varphi_1 + \\ + T_1 \cdot l_{B_1 E_1} \cdot \sin \varphi_1 + \delta T \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta - M_0 = 0 \end{array} \right.$$

Як зазначено в роботі [10]: M_0 - компенсуючий момент, який утворюється при натисканні колодки на колесо й дорівнює $M_0 = T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta$; $P_{\text{дин}}$ – сила інерції, яка виникає в триангелі при наїзді колеса на перепону та посуває триангель з колодками до колеса (приймаємо $P_{\text{дин}} = 1 \text{ кН}$); $l_{B_1 C_1}$, $l_{B_1 D_1}$, — геометричні параметри елементів ГВП (табл. 1).

Таблиця 1. Вихідні параметри для виконання розрахунків

Позначення за схемою	Значення, мм	Значення, м
$l_{B_1 C_1}$	160	0,16
$l_{B_1 D_1}$	Див. примітку	Див. примітку
$l_{B_1 E_1}$	50	0,05
$l_{C_1 A}$	560	0,56
φ_1	10°	$\cos \varphi_1 = 0.984$, $\sin \varphi_1 = 0.1736$
β	$64^\circ 43' = 64.72^\circ$	$\cos \beta = 0.427$, $\sin \beta = 0.904$

Примітка. Для ідеального варіанта $l_{B_1 D_1} = l_{B_1 E_1} = 0$, для модернізованого $l_{B_1 D_1} = 0,112$ м, для типового варіанта $l_{B_1 D_1} = 0,224$ м.

Слідуючи класичному методу Крамера для розв’язання системи рівнянь, маємо матрицю системи G та її праву частину R у вигляді (2):

$$\begin{array}{cc} \text{Динамічне навантаження вниз} & \text{Динамічне навантаження вверх} \\ G = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 & -\cos \varphi_1 & 1 \\ -\cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ -l_{B_1 E_1} \cdot \cos \varphi_1 & -l_{B_1 D_1} \cdot \sin \varphi_1 & l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}, & G = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 & -\cos \varphi_1 & 1 \\ \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ -l_{B_1 E_1} \cdot \cos \varphi_1 & l_{B_1 D_1} \cdot \sin \varphi_1 & l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}, \\ & (3) \end{array}$$

$$R = \begin{bmatrix} -T_0 \\ P_{\text{дин}} \\ -T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta + P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1 D_1} + T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} -T_0 \\ -P_{\text{дин}} \\ -T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta - P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1 D_1} + T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}.$$

Невідомі зусилля N_1 , T і T_0 , які виникають в елементах ГВП при гальмуванні вантажного вагона знаходяться чисельним розрахунком. Усі вихідні дані для його виконання наведено в

табл. 1. Для розрахунків використовуємо програмне забезпечення MathCad, а всі отримані їх результати зводимо до табл. 2.

Таблиця 2. Порівняння визначених зусиль, які діють в елементах ГВП

Розрахунок виконується для	T_1 , кН		T_2 , кН		N_1 , кН		N_2 , кН	
	$P_{дин}$ напрямок дії							
	вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вниз
Схеми а)	40,97		40,97		7,13		7,13	
Схеми б)	45,031	47,409	45,031	47,409	6,928	9,38	6,928	9,38
Схеми в)	44,69	47,75	44,69	47,75	6,868	9,44	6,868	9,44

Із табл. 2 видно, що схемні рішення конструкції триангельних важільних передач гальмових систем візків вантажних вагонів, впливають на величини розрахункових значень її елементів.

Висновки. 1. Виконано комплексні дослідження, доводять що зміни розрахункових 2D схем-моделей ГВП, які віддзеркалюють експлуатацію візків вантажних вагонів суттєво впливають на достовірність визначення силових навантажень елементів триангельних гальмових систем візків.

2. Розроблено універсальну 2D схему-модель гальмової важільної передачі сучасного візка вантажного вагона, що допускає коректну інтерпретацію її роботи. Запропонована схема дозволить вирішувати завдання щодо проектування усучаснених елементів важільних передач і дасть змогу обирати раціональну конструкцію гальмових систем візків вантажних вагонів.

3. За допомогою створеної універсальної 2D схеми-моделі гальмової важільної системи візка, визначено силові фактори, що відповідають роботі гальмових передач в складних умовах експлуатації вантажних вагонів особливо на нерівній рейковій колії.

4. За результатами проведених аналітичних розрахунків і експлуатаційних випробувань працездатності гальмових важільних передач трьохелементних візків вантажних вагонів, виконано оцінку технічних можливостей щодо збільшення у 1,67 рази використання ресурсу гальмових колодок.

5. Виконано комплексні порівняльні розрахунки силових факторів, які діють в елементах важільних передач при гальмуванні візка для різних випадків знакозмінних вертикальних сил інерції, при наїзді візків на нерівності рейкового шляху типу «стик рейок».

6. Результати, які були отримані в дослідженні, будуть надалі враховуватися для зниження сумарної маси та динамічного балансування конструкції гальмової важільної передачі, а також для вирішення проблемних питань стосовно до ненормативного зносу гальмових колодок у трьохелементних візках вантажних вагонів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Равлюк В. Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів // Зб. наук. пр. Укр. держ. універ. залізнич. трансп. Харків, 2019. Вип. 183. С. 46 – 59.
2. Басов А. А., Мямлин С. В., Панасенко В. Я., Клименко И. В. Пути совершенствования конструкции тележки грузового вагона // Вестник Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна. — Днепропетровск, 2009. Вип. 12. С. 27–32.
3. Болотина А. Б. Исследование параметров и совершенствование механической части тормозной системы грузовых вагонов с учетом перспективных условий эксплуатации : дисс... канд. техн. наук; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – М., 2000. – 244 с.
4. Smileski S., Smileski T. Integrated bogie brake and slack adjuster for the use with said integrated bogie brake, Patent WO 2013098350 A2, December 27, 2011.
5. Балон Л. В. Коропец П. А., Косаревский В. В. Динамические характеристики рычажной тормозной системы в установившихся режимах // Вестник РГУПС. Ростов на Дону. 2009. – №4. С. 17–22.

6. Wu Q., Luo S., & Cole C. Longitudinal dynamics and energy analysis for heavy haul trains // Journal of Modern Transportation, 2014. Vol. 22(3), P. 127-136. doi: 10.1007/s40534-014-0055-x.
7. Zhang Z., Dhanasekar M. Dynamics of railway wagons subjected to braking/traction torque // International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 2009. Vol. 47, Issue 3, P. 285-307.
8. Коропец П. А., Черников В. Д., Костюкевич А. И. О неравномерном износе подвижных фрикционных пар // Вестник СНУ им. Даля. Луганск, 2010. №5 (147). С. 41-45.
9. Павлюков А. С., Черепов О. В., Шалупин И. А. Тормозные колодки грузовых вагонов: анализ повреждаемости и факторов, влияющих на создание тормозной силы // Вестн. Уральского Гос. Университета путей сообщения, Екатеринбург, УрГУПС, 2009. 4 (36). 2017. С. 4-11.
10. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Ткачук М. Р. Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів // Зб. наук. пр. Укр. держ. універ. залізнич. трансп. Харків, 2019. (подана до друку).
11. Vrtanoski G., Smileski T. Dynamic testing of innovative railway brake system for freight wagons // ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering Tome XVII 2019. P. 83-89.
12. Блохин Е. П., Алпысбаев К. Т., Панасенко В. Я. Тележки ZK1 полувагонов, построенных в КНР // Вагонный парк. Харків, 2012. №9 (66). С. 12-14.
13. Турутин И. В., Рудакова Е. А. Конструкция тележек моделей 18-9889 и 18-9890 для инновационных четырех- и шестиосных грузовых вагонов // Транспорт РФ. Москва, 2013. №3(46). С. 10-12.
14. Тулузин С. В., Горский Д. В. Оценка работоспособности тормозной рычажной передачи тележки грузового вагона на различных стадиях износа колодок и колес // Вестник ВНИИЖТ. Москва, 2015. №2. С. 38-44.
15. Картычев В. А., Никитин Г. Б., Андреев П. А. К вопросу оценки и контроля тормозных нажатий колодок на колеса в зависимости от положений рычагов при регулировках рычажной передачи тележки 18-100 // Вестник ВНИИЖТ. Москва, 2013. №5. С. 43– 48.
16. Смольянинов А. В., Смольянинов П. В. Размерные расчеты тормозной рычажной передачи грузового вагона как метод обоснования путей повышения качества ремонта // Научно-технический журнал «Известия Транссиба». Москва, 2012. №2(10). С. 27– 36.
17. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України : ЦТ – ЦВ – ЦЛ – 0015. – Затв. нак. Укрзалізниця № 264-Ц 28.10.1997. Вид. офіц. Київ: 2004. 146 с.
18. Шпачук В. П., Пушня В. О., Рубаненко О. І., Гарбуз А. О. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретична механіка. Динаміка». Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 222 с.
19. Wynd D., Connelly M. Advanced Bogie Brakes, Proceedings, Conference on Railway Engineering, Wellington, September 12-15, 2010. P. 560-564.

REFERENCES

1. Ravlyuk, V. G. (2019). *Definitsiia osoblyvostei dualnogo znosu halmovykh kolodok vantazhnykh vahoniv [Definition of features of dual wear of brake pads of freight wagons]*. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnogo universytetu zaliznychnoho transport [Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport], 183, 46-59.
2. Basov, A. A., Myamlin, S. V., Panasenko, V. YA., Klimenko, I. V. (2009). *Puti sovershenstvovaniya konstrukcii telezkiy gruzovogo vagona [Ways to improve the design of the truck wagon]*. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 12, 27-32.
3. Bolotina, A. B. (2000). *Issledovanie parametrov i sovershenstvovanie mekhanicheskoy chasty tormoznoj sistemy gruzovykh vagonov s uchetom perspektivnykh uslovij ekspluatatsii [Study of parameters and improvement of the mechanical part of the brake system of freight cars, taking into account the promising operating conditions]*. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk [Dissertation of the candidate of engineering sciences], 244.
4. Smileski, S., Smileski, T. (2011). *Integrated bogie brake and slack adjuster for the use with said integrated bogie brake*. Patent WO 2013098350 A2, December 27. (in English).
5. Balon, L. V. Koropec, P. A., Kosarevskij, V. V. (2009). *Dinamicheskie harakteristiki rycheznoj tormoznoj sistemy v ustanovivshisya rezhimakh [Dynamic characteristics of the lever brake system in steady state]*. Vestnik RGUPS [Gazette of RSUPE], 4, 17–22.
6. Wu, Q., Luo, S., & Cole, C. (2014). *Longitudinal dynamics and energy analysis for heavy haul trains*. Journal of Modern Transportation, 22(3), 127-136. doi: 10.1007/s40534-014-0055-x. (in English).
7. Zhang, Z., Dhanasekar, M. (2009). *Dynamics of railway wagons subjected to braking/traction torque*. International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 47, 285-307. (in English).
8. Koropec, P. A., Chernikov, V. D., Kostyukevich, A. I. (2010). *O neravnomernom iznose podvizhnykh friktsionnykh par [On the uneven wear of moving friction pairs]*. Vestnik SNU imeni Dalya [Dahl SNU Newspaper], 5(147), 41-45.
9. Pavlyukov, A. S., Cherepov, O. V., Shalupin, I. A. (2017). *Tormoznye kolodki gruzovykh vagonov: analiz povrezhdaemosti i faktorov, vliyayushchih na sozdanie tormoznoj sily [Freight wagon brake pads: analysis of damage and factors affecting the creation of braking force]*. Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya [Bulletin of the Ural State University of Communication], 4 (36), 4-11.

10. Ravlyuk, V. G., Ravlyuk, M. G., Grebenyuk, V. A., Tkachuk, M. R. (2019). *Vyznachennia faktoriv, shcho vplyvaiut na nadiinist roboty halmovoi vazhilnoi peredachi vizktiv vantazhnykh vahoniv [Determination of factors affecting the reliability of brake lever transmission of freight wagons]*. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transport [Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport], (podana do druku).
11. Vrtanoski, G., Smileski, T. (2019). *Dynamic testing of innovative railway brake system for freight wagons*. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XVII 83-89.
12. Blohin, E. P., Alpysbaev, K. T., Panasenko, V. YA. (2012). *Telezhki ZK1 poluvagonov, postroennykh v KNR [Carts ZK1 gondola cars built in China]*. Vagonnyj park [Car park], 9 (66), 12-14.
13. Turutin, I. V., Rudakova, E. A. (2013). *Konstrukciya telezhek modelej 18-9889 i 18-9890 dlya innovacionnykh chetyreh- i shestiosnykh gruzovykh vagonov [The design of the trolleys models 18-9889 and 18-9890 for innovative four- and six-axle freight cars]*. Transport RF [Transport of the Russian Federation], 3(46), 10-12.
14. Tuluzin, S. V., Gorskiy, D. V. (2015). *Ocenka rabotosposobnosti tormoznoj rychazhnoj peredachi telezhki gruzovogo vagona na razlichnykh stadiyah iznosa kolodok i koles [Evaluation of the performance of the brake linkage of a freight car truck at various stages of wear of pads and wheels]*. Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT newspaper], 2, 38-44.
15. Karpychev, V. A., Nikitin, G. B., Andreev, P. A. (2013). *K voprosu ocenki i kontrolya tormoznykh nazhatij kolodok na kolese v zavisimosti ot polozenij rychagov pri regulirovках rychazhnoj peredachi telezhki 18-100 [On the issue of assessment and control of brake pads on the wheels depending on the positions of the levers when adjusting the linkage of the trolley 18-100]*. Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT newspaper], 5, 43-48.
16. Smol'yaninov, A. V., Smol'yaninov, P. V. (2012). *Razmerye raschety tormoznoj rychazhnoj peredachi gruzovogo vagona kak metod obosnovaniya putej povysheniya kachestva remonta [Dimensional calculations of the brake linkage of a freight car as a method of substantiating ways to improve the quality of repair]*. Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Izvestiya Transsiba» [Scientific and technical journal "Izvestia Transsib"], 2(10), 27– 36.
17. *Instruktsiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy : TsT – TsV – TsL – 0015 [Operating Instructions for Rolling Stock Brakes on Railways of Ukraine: CT - CB - CL - 0015]* (2004). Zatverdzhena nakazom Ukrzaliznytsi №264-Ts 28.10.1997 [Approved by the order of Ukrzaliznytsia No. 264-Ц on October 28, 1997], Kiev, 146.
18. Shpachuk, V. P., Pushnia, V. O., Rubanenko, O. I., Harbuz, A. O. (2016). *Konspekt leksii z dystsypliny «Teoretychna mekhanika. Dynamika» [Summary of lectures in the discipline "Theoretical Mechanics. Dynamics"]*. Kharkiv, O. M. Beketov KhNUMG, 222.
19. Wynd, D., Connelly, M. (2010). *Advanced Bogie Brakes*, Proceedings. Conference on Railway Engineering, Wellington, September 12-15, 560-564. (in English).

Василий Равлюк, к.т.н., доцент
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Николай Равлюк, старший преподаватель
(старший преподаватель кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Фисина Яна, магистр
(магистр кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Рашид Нуруллаев, магистр
(магистр кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

УТОЧНЕННЫЕ РАСЧЕТЫ 2D СХЕМ-МОДЕЛЕЙ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА КОЛОДОК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В работе выполнен комплекс научных исследований, который доказывает, что типовая конструкция тормозной рычажной передачи трехэлементной тележки не обеспечивает нормативный износ колодок, поэтому нуждается в корректных исследованиях, а ее структура — модернизации и пересмотра функционального назначения некоторых элементов. С помощью 2D схем-моделей рычажных передач выполнены аналитические расчеты, по результатам которых предложены практические изменения в узле соединения вертикального рычага с распоркой триангеля.

Ключевые слова: вагон, тележка, тормозная рычажная передача, тормозная колодка, износ, триангель.

*Vasyl Ravlyuk, Candidate of technical sciences, associate professor
(associate professor department wagons, The Ukrainian State University of Railway Transport)
Ravliuk Mikola, senior lecturer
(senior lecturer department of cars, The Ukrainian State University of Railway Transport)
Fisina Yana, master student
(master student department of cars, The Ukrainian State University of Railway Transport)
Nurullaiev Rashad Sadahat ohly, master student
(master student department of cars, The Ukrainian State University of Railway Transport)*

UPDATES OF 2D CALCULATIONS OF BRAKE LEVER TRANSMISSIONS FOR INCREASING THE RESOURCE OF THE WAGON PADS

The complex of theoretical scientific researches is conducted in the work, which proves that the typical design of brake lever transmission of three-element carts does not provide normative wear of the pads, therefore it requires correct researches, and its structure - modernization and revision of functional purpose of some elements. On the basis of 2D circuit models, analytical calculations were performed with a comparative analysis of their different design solutions — elements of the brake levers of three-element trucks of freight wagons. As a result, practical changes were made to the knot of the vertical linkage with the triangel spacer, and a reasonable distance between the hinge joint and the triangel beam.

Comprehensive comparative calculations of the power factors acting in the elements of the lever gears during braking of the trolley for different cases of alternating vertical forces of inertia, at the collision of the carts on the inequality of the rail track of the type "rail joint", were made.

The results of the theoretical calculations, which were obtained were confirmed by the experimental operation of freight wagons with innovative three-element trolley braking systems, which makes it possible to choose a rational calculation 2D circuit model of the brake lever transmission during design.

Thanks to the proposed methodology and its application in railway and railcar enterprises, it is possible to significantly increase their competitiveness, reduce the intensity of brake pad wear and increase their life during the operation of freight wagons.

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