

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

УДК 629.4.077-592

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ РЕФРИЖЕРАТОРНОГО ВАГОНА

Канд. техн. наук Д. І. Волошин, старші викладачі І. М. Афанасенко, Я. В. Дерев'янчук

IMPROVEMENT MECHANICAL BRAKE ELEMENTS OF REFRIGERATOR CAR

PhD (Tech.) D. Voloshin, Senior lecturer I. Afanasenko, Senior lecturer Y. Derevianchuk

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.185.2019.180724>

У статті розглянуто технічні і конструкційні недоліки гальмової важільної передачі рефрижераторного рухомого складу. Проведена оцінка зусиль та напружень, що діють у типовій конструкції передачі цих вагонів при різних режимах. Розраховані на міцність окремі елементи гальмової передачі. Виконана перевірка на міцність спеціалізованих під композиційні колодки важелів за допомогою програмного комплексу Autodesk Inventor. Використовуючи програмний комплекс Siemens Solid Edge, запропоновано їх удосконалення.

Ключові слова: гальмова важільна передача, вантажний вагон, рефрижераторний вагон, гальмові колодки, міцність.

The brake systems perform an important function in ensuring the safety of railway rolling stock. Improving the brake systems of rolling stock increases their efficiency and reliability, simplifies repair and maintenance. Different types of brake systems of refrigeration rolling stock are compared. The advantages and disadvantages of various lever gears are considered depending on the type of brake pads used in the refrigeration rolling stock.

The erroneous installation of composite pads on wagons, the lever gear of which is set for cast iron pads, can damage wheel sets. Damage to wheel pains, such as pebbles, cracks, and other defects due to incorrect operation, threaten the safety of the movement.

The well-known structures of the levers used in foreign railways are analyzed. Using the stamped levers, the American firm Wabtec reduces the mass due to the changed shape of the lever.

The efforts made in the transmission of the refrigerated wagon for different types of brake pads have been evaluated. It is established that when using composite pads in the brake lever transmission, the forces acting in its components are smaller than those of cast iron pads. This leads to the conclusion about the possibility of improving the geometric shape of the elements in their specialization in composite pads. Autodesk Inventor software package was used to test the strength of specialized components for composite brake pads.

It is proposed, using the software package Siemens Solid Edge, and new functional as generative design, to improvement the elements of the brake linkage. An example of improvement of brake linkage elements of a refrigerator car is implemented.

Thus, the specialization of the levers of a refrigerator car under the composite pads will reduce the levers weight by 19,8%, and with the possible improving - 43,8% per car, which will reduce the mass and the coefficients of the tare of the car.

Keywords: brake linkage, freight car, refractor wagon, brake pads, strength.

Вступ. Парк рефрижераторних вагонів України, представлений рефрижераторними секціями побудови ВО БМЗ, Дессау, і критими, переобладнаними із рефрижераторних вагонів моделей 16-380-03, 16-3000-03, ЦБ5-651-04, ЦБ5-659-04, МК4-424-08, МК4-424-09. Ці вагони обладнані візками моделі КВЗ-ІІ2 і представлені переважно філією «РВК» АТ «Укрзалізниця».

На пасажирських і рефрижераторних вагонах встановлені гальмові важільні передачі (ГВП) з двостороннім натисненням на колесо. Вони конструктивно складніші, більш важкі та складні в обслуговуванні у порівнянні з односторонніми системами. Однак у двосторонніх ГВП величина натиснення на одну колодку вдвічі менша при більшому коефіцієнті тертя і ефективності гальма. При двосторонньому натисненні колодки діють на протилежні сторони колеса, взаємно врівноважуються і суттєво не навантажують буксовий вузол.

У наш час найбільш розповсюджені на вантажних і рефрижераторних вагонах композиційні колодки. В порівнянні з чавунними колодками вони мають більш високий коефіцієнт тертя, менше зусилля натискання та кращу зносостійкість, у декілька разів більший термін служби, меншу масу. Більший термін експлуатації впливає на показники технічного обслуговування та підвищує економічність. Менше натиснення на колодку дозволяє зменшити тиск у гальмовому циліндрі та витрати стисненого повітря на забезпечення гальмової мережі, що у свою чергу дозволяє спростити і полегшити конструкцію системи.

Типова схема ГВП рефрижераторного вагона зображена на рис. 1. Зміна типу колодок вимагає зміни передаточного числа горизонтальних важелів. Для цього горизонтальні важелі 7 та затяжка 6 мають спеціальні отвори для встановлення шарнірних валиків.

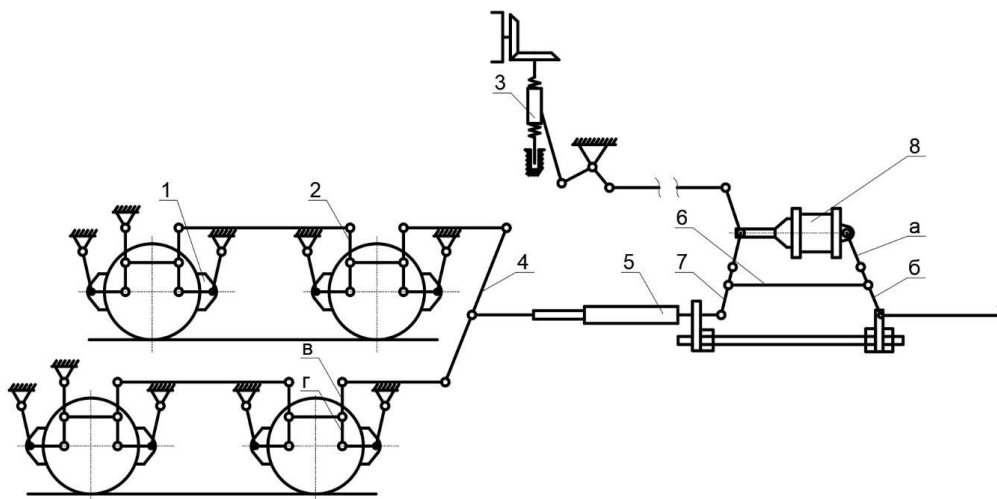


Рис. 1. Схема гальмової важільної передачі рефрижераторного вагона:
 1 – гальмові колодки; 2 – вертикальний важіль візка; 3 – ручне гальмо;
 4 – горизонтальний балансір; 5 – авторегулятор; 6 – затяжка горизонтальних важелів;
 7 – горизонтальний важіль; 8 – гальмовий циліндр; а, б – плечі горизонтального важеля;
 в, г – плечі вертикального важеля візка моделі КВЗ-ІІ2

При неправильному регулюванні ГВП значні сили, що призначені для чавунних

колодок, можуть передатися на композиційні колодки. Внаслідок цього

виникає заклинення колісних пар. Це призводить до пошкодження колісних пар та рейок. Можуть виникати несприятливі температурні режими на поверхні кочення коліс, що сприяє пошкодженням у вигляді наварів, зрушень металу, мікротріщин та ін. Таким чином, спеціалізація ГВП під композиційні колодки є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Удосконаленню гальм рухомого складу, розрахунку реалізації властивостей зчеплення коліс з рейками присвячені роботи П. С. Анісімова [1], проектуванню механічної частини гальмової системи вагонів – В. Р. Асадченко [2]. Принцип дії, розрахунки та особливості експлуатації гальм рухомого складу висвітлені у працях А. М. Бабаєва, Д. В. Дмитрієва [3], теоретичні основи проектування та експлуатації гальм – у дослідженнях В. М. Казарінова [4] та інших науковців. Важливо зазначити, що питання зменшення маси елементів ГВП у даних роботах не розглядалися.

Значному розповсюдженню композиційних колодок на рухомому складі сприяли роботи В. Г. Іноземцева, Л. О. Вуколова [5, 7]. В сучасних закордонних працях розглядаються питання дослідження різних типів гальмових колодок та імітації випробування гальмових систем вагонів [11, 12]. Однак оптимізація елементів механічної частини гальм в даних роботах не проводилася.

Задачі удосконалення та оптимізації елементів кузовів рухомого складу розглядаються в роботах В. І. Мороза, О. В. Фоміна [9] та ін. Разом з цим, питання зменшення матеріалоємності елементів ГВП даними вченими не висвітлювалися.

Аналізуючи неведені джерела, можна зробити висновок, що більшість праць спрямовані на дослідження та удосконалення елементів повітряної частини гальм, гальмових колодок, випробування різних матеріалів для виготовлення колодок, імітацію їх роботи,

удосконалення конструкції вагомих частин кузова вагона. Таким чином, питання удосконалення конструкції елементів гальмової важільної передачі потребують додаткових досліджень.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є обґрунтування доцільності удосконалення форми найбільш вагомих елементів ГВП. Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання:

- провести оцінку зусиль, що діють у важільній передачі рефрижераторного вагона при різних типах гальмових колодок,

- розрахувати на міцність за допомогою скінченноелементного методу (СЕМ) найбільш вагомий елемент передачі,

- удосконалити, використовуючи можливості програмного забезпечення, форми елементів ГВП за прототипом закордонних конструкцій відповідних елементів.

Викладення основного матеріалу статті. З метою удосконалення елементів гальмової важільної передачі необхідно визначити зусилля, що діють на її елементи. Зусилля, що діють на штоці гальмового циліндра при певному типі гальмових колодок, можна визначити за такою формулою [9]:

$$P_{um}^i = p^i \frac{\pi d^2}{4}, \quad (1)$$

де p^i – тиск у гальмовому циліндрі при i -му типі колодок, кПа. Відповідно до [6] максимальний тиск для композиційних колодок (середній режим роботи повітророзподільника) $p^* = 340$ кПа, для чавунних колодок (вантажний режим) $p^* = 450$ кПа;

d – діаметр штоку гальмового циліндра, м, для вагонів рефрижераторного парку використовується типовий гальмовий циліндр з $d = 0,356$ м.

Зусилля P_{zop} , що діє на зтяжці 6 горизонтальних важелів 7 (рис. 1), при різних типах гальмових колодок визначається як

$$P_{zop}^i = P_{um}^i \frac{a^i + b^i}{b^i}, \quad (2)$$

де a^i, b^i – розміри плеч важеля при i -му типі колодки, м. Відповідно до інструкції [6] $a^k = b^u = 0,295$ м, $b^k = a^u = 0,365$ м.

Зусилля на авторегуляторі 5 або посередині горизонтального балансира 4 P_{σ} розраховується за такою формулою:

$$P_{\sigma}^i = P_{um}^i \frac{a^i}{b^i}. \quad (3)$$

Величину зусилля, що діє на зтяжці вертикальних важелів 2 візка КВЗ-И2, можна визначати як

$$P_{\sigma}^i = \frac{1}{2} P_{\sigma}^i \frac{v + z}{z}, \quad (4)$$

де v, z – розміри плеч вертикального важеля візка, м. Згідно з [6], $v = z = 0,210$ м, формула (4) змінить свій вигляд:

$$P_{\sigma}^i = P_{\sigma}^i. \quad (5)$$

З урахуванням того, що горизонтальні 7 та вертикальні важелі 2 складаються з двох частин, зусилля P_{zop}^i, P_{σ}^i необхідно зменшити навпіл. Результати розрахунку зображені на рис. 2.

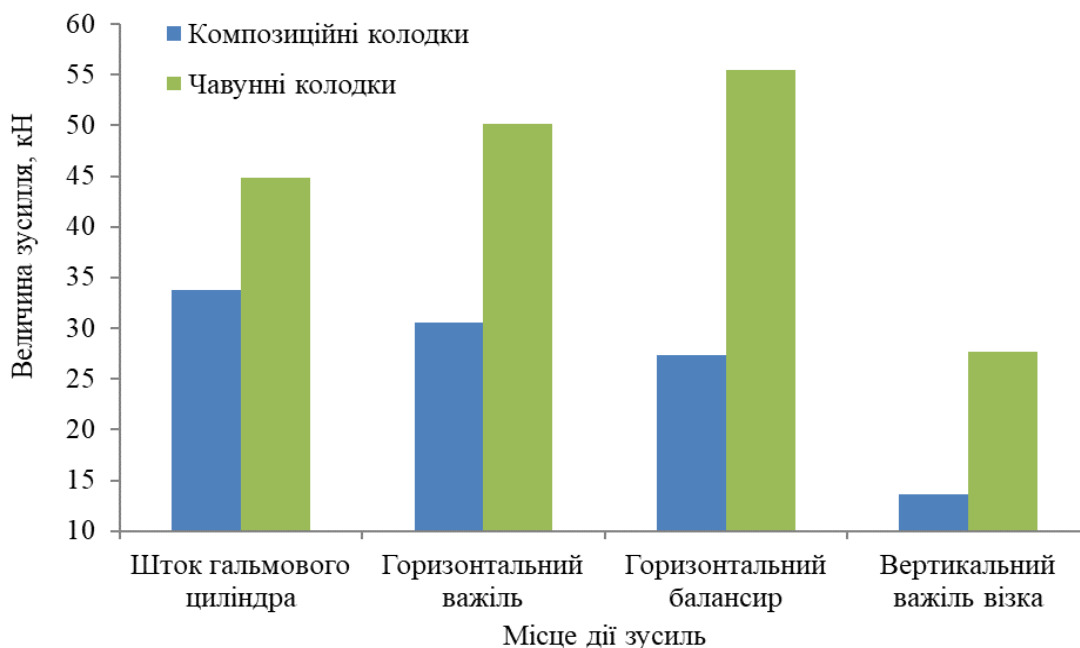


Рис. 2. Залежність величини зусиль від типу гальмових колодок та місця дії в гальмовій важільній передачі

Згідно з [9], важелі гальмової передачі вагонів зазнають переважно деформації згину. Умова міцності для заданого важеля має вигляд

$$[\sigma_3] \geq \frac{M_3}{W}, \quad (6)$$

де $[\sigma_3]$ – допустиме напруження при згині, МПа;

M_3 – максимальний згинальний момент, кН·м;

W – момент опору в перерізі з найбільшим напруженням, м³.

Для важеля 7 максимальний згинальний момент можна визначити, як $M_3^i = 0,5P_{шт}^i \cdot a^i$, відповідно, для горизонтального балансира $M_{3б}^i = 0,5P_6^i \cdot e$ (e – плече балансира, $e = 0,590$ м), для вертикального важеля $M_{3в}^i = 0,5P_6^i \cdot v$.

Момент опору цього перерізу має прямокутну форму, з отвором $d_{отвору}$ під втулку

$$W = \frac{t(h^3 - d_{отвору}^3)}{6h}, \quad (7)$$

де t, h – відповідно товщина та висота важеля, м.

З формул (6–7) можна визначити висоту важеля за кубічним рівнянням

$$h^3 - \frac{6M_3}{t[\sigma_3]}h = d_{отвору}^3. \quad (8)$$

Результати розрахунку за рівнянням 8 зводимо до таблиці. Допустиме напруження сталі Ст.3 $[\sigma] = 0,95\sigma_T$ [8, 10], де σ_T – напруження плинності, МПа. Звідси $[\sigma] = 190$ МПа.

Таблиця

Значення допустимої ширини важеля при деформації згинання для різних типів гальмових колодок у найбільш напруженому перерізі важеля, м

Важіль	Тип колодок ГВП		Різниця ширини, %
	Чавунні	Композиційні	
Горизонтальний важіль	0,16	0,138	13,75
Горизонтальний балансір	0,19	0,104	45,26
Вертикальний важіль	0,12	0,084	30

Для перевірки на міцність спеціалізованих під композиційні колодки важелів використовувався програмний комплекс Autodesk Inventor. Як скінченні елементи використовувались елементи тетраедральної форми (важіль горизонтальний – 668 186 елементів, 962 020 вузлів, горизонтальний балансір – 326 875 елементів, 477 345 вузлів, вертикальний важіль візка – 851 147 елементів, 1214 940 вузлів, мінімальний розмір елемента – 3 мм), див. рис. 3–5.

Порівнюючи отримані значення максимальних напружень Мізесу з допустимими, можна зробити висновок про забезпечення міцності.

Найчастіше виготовляються важелі ГВП штампуванням з листового прокату. Відома конструкція важелів закордонних

залізниць, так, американська фірма Wabtec використовує відштамповані важелі зменшеної маси за рахунок зміненої форми (рис. 6).

Користуючись новими функціональними можливостями програмного комплексу Solid Edge ST10 (генеративний дизайн), автори здійснили один з варіантів удосконалення конфігурації важелів за прототипом фірми Wabtec. Метою генеративного проектування є оптимізація маси моделі на основі її геометрії, прикладених навантажень і обмежень, які визначає користувач. Під час аналізу приймалися такі умови: необхідність забезпечення міцності із запасом 1,1 та зменшенням маси на 30%. Навантаження прикладалися на середній отвір величиною, зазначеною в таблиці. Приклади побудови генеративного дизайну важелів наведені на рис. 7–9.

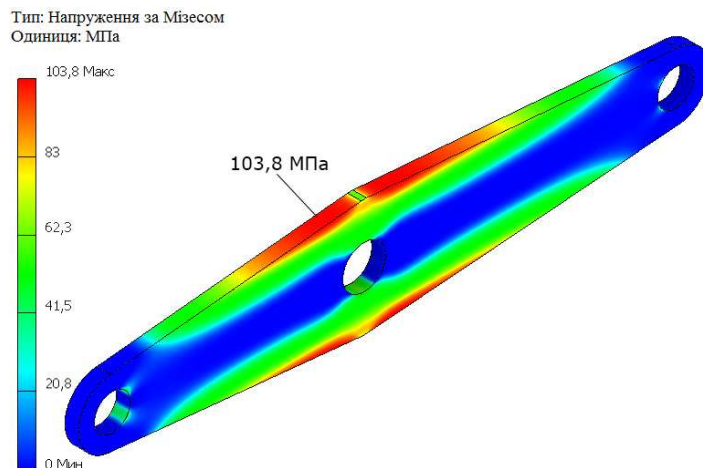


Рис. 3. Напружений стан горизонтального важеля при прикладанні зусилля на середній отвір

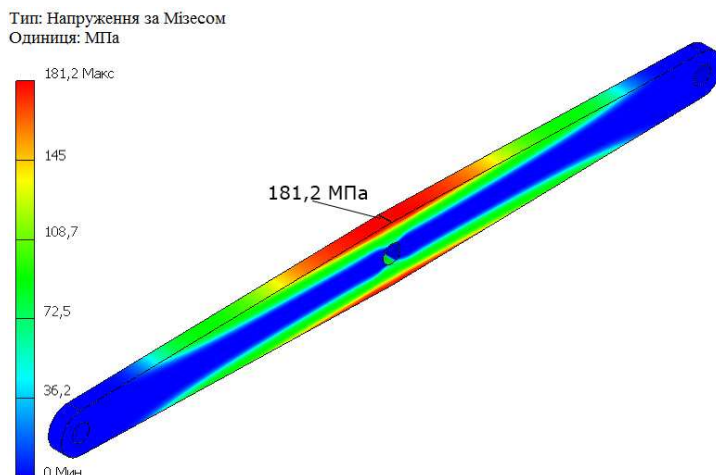


Рис. 4. Напружений стан горизонтального балансира при прикладанні зусилля на середній отвір

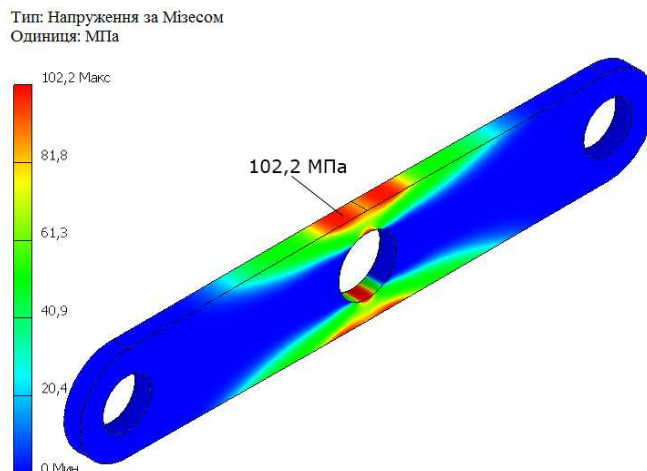


Рис. 5. Напружений стан вертикального важеля при прикладанні зусилля на середній отвір

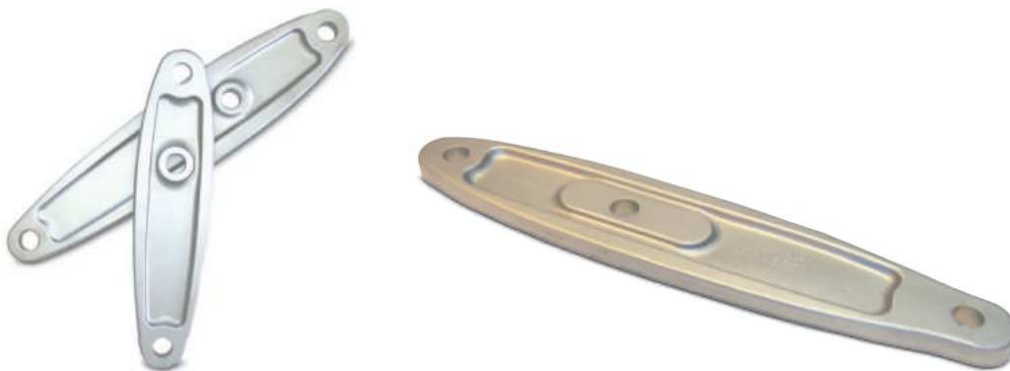


Рис. 6. Видяг вагонних важелів закордонних залізниць



Рис. 7. Результат удосконалення горизонтального важеля в програмному комплексі Solid Edge ST10 зі зменшенням маси на 30 %



Рис. 8. Результат удосконалення горизонтального балансира в програмному комплексі Solid Edge ST10 зі зменшенням маси на 30 %



Рис. 9. Результат удосконалення вертикального важеля в програмному комплексі Solid Edge ST10 зі зменшенням маси на 30 %

Зміна маси елементів гальмової важільної передачі при спеціалізації на композиційні колодки та з урахуванням удосконалення зображена на рис. 10.

Проведені дослідження дозволять знизити витрати на виготовлення елементів

важільної передачі за рахунок спрощення конструкції, на ремонт, експлуатацію, а також покращити надійність та безпеку руху.

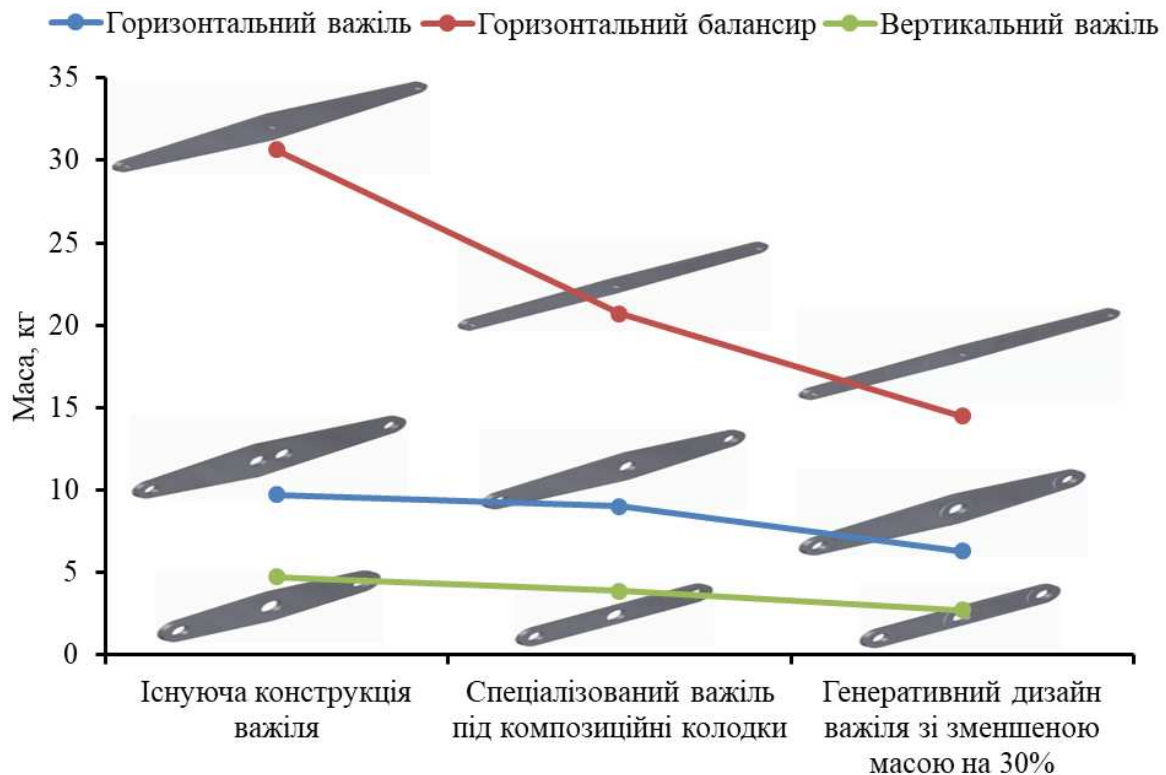


Рис. 10. Зміна маси важеля при спеціалізації на композиційні колодки та удосконаленні зі зменшенням на 30 %

Висновки:

1. Проведено оцінку зусиль, що діють у важільній передачі рефрижераторного вагона при різних типах гальмових колодок. Встановлено, що при використанні композиційних колодок у ГВП зусилля, які діють у її складових, менші, ніж при чавунних колодках. Це дозволяє зробити висновок про можливість проведення удосконалення геометричної форми елементів при їх спеціалізації на композиційні колодки.

2. Розраховані на міцність за допомогою СЕМ найбільш вагомі елементи передачі. Розрахунок на міцність показав можливість суттєвого зменшення ширини вертикальних важелів і балансира. Для перевірки на міцність спеціалізованих під композиційні колодки важелів використовувався програмний комплекс Autodesk Inventor. Максимальні

еквівалентні напруження при цьому складають близько 180 МПа, тобто не перевищують допустимі.

3. Удосконалені, з використанням можливостей програмного забезпечення, форми елементів ГВП за прототипом закордонних конструкцій відповідних елементів. Користуючись новими функціональними можливостями програмного комплексу Solid Edge ST10 (генеративний дизайн), автори здійснили один з варіантів удосконалення конфігурації важелів за прототипом фірми Wabtec.

Таким чином, спеціалізація важелів ГВП рефрижераторного вагона під композиційні колодки дозволить зменшити їх масу на 19,8 %, а з удосконаленням форми – 43,8 % на вагон, що дозволить зменшити тару та відповідно коефіцієнти тари вагона.

Список використаних джерел

1. Анисимов П. С., Юдин В. А., Шамаков А. Н., Коржин С. Н. Расчет и проектирование механической и пневматической частей тормозов вагонов: учеб. пособ. Москва: Маршрут, 2005. 248 с.
2. Асадченко В. Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава : учеб. пособ. Москва: Маршрут, 2004. 120 с.
3. Бабаєв А. М., Дмитрієв Д. В. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць: навч. посіб. Київ: ДЕТУТ, 2007. 176 с.
4. Казаринов В. М., Инозমেцев В. Г., Ясенцев В. Ф. Теоретические основы проектирования и эксплуатации тормозов. Москва: Транспорт, 1968. 400 с.
5. Инозमेцев В. Г., Казаринов В. М., Ясенцев В. Ф. Автоматические тормоза. Москва: Транспорт, 1981. 464 с.
6. Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів: ЦВ-ЦЛ-0013. Київ: ТОВ Видавничий дім «САМ», 2005. 160 с.
7. Вуколов Л. А. Фрикционные характеристики тормозных колодок из композиционных материалов без асбеста. *Тр. ВНИИЖТ*. 1987. С. 27-33.
8. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Чинний від 2015-07-01. Київ, 2015. 162 с.
9. Фомін О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія. Донецьк: ДонІЗТ, 2013. 251 с.
10. Конструирование и расчет вагонов / под ред. проф. В. В. Лукина. Москва: УМК МПС России, 2000. 731 с.
11. Dong-Chan Lee, Chul-Goo Kang A mechanical brake hardware-in-the-loop simulation of a railway vehicle that accounts for hysteresis and pneumatic cylinder dynamics: *Advances in Mechanical Engineering* 2015, Vol. 7(11) p. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1177/1687814015616086> (last access: 13.06.2019).
12. Akkus A., Yeğin M. Research on wear rate and mechanical properties of brake sabots (shoes) used in railway rolling stocks: *International Journal of Applied Science and Technology* 2014. Vol. 4. No. 7. pp. 76-84. URL: http://www.ijastnet.com/journals/Vol_4_No_7_December_2014/10.pdf (last access: 13.06.2019).

Волошин Дмитро Ігорович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-35. E-mail: voloshin@kart.edu.ua.

Афанасенко Ігор Миколайович, старш. викл. кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел (066) 76-79-844. E-mail: afanasenkoigor@kart.edu.ua.

Дерев'янчук Ярослав Володимирович, старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (050) 977-53-70. E-mail: derevyanchuk@kart.edu.ua.

Voloshin Dmitri, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Railway Vehicles, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-35. E-mail: voloshin@kart.edu.ua.

Afanasenko Igor, Senior Lecturer, Department of Railway Vehicles, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-35. E-mail: afanasenkoigor@kart.edu.ua.

Derevianchuk Yaroslav, Senior Lecturer, Department of Railway Vehicles, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-35. E-mail: derevyanchuk@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 14.06.2019 р.