

Василь Равлюк¹, Ярослав Дерев'янчук^{2*}, Сергій Погорєлов³

¹ Доцент, Кафедра інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050. ORCID: orcid.org/0000-0003-4818-9482

^{2*} Старший викладач, Кафедра інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4932-2751>

³ Магістр, Кафедра інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2291-210X>

*Автор відповідальний за листування: slavad2der@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА

У роботі проведено комплекс теоретичних наукових досліджень, який доводить, що за використання різних типів гальмових колодок у пасажирських вагонах деякі елементи типової конструкції механічної гальмової системи необхідно модернізувати.

На основі 2D схеми-моделі виконано аналітичні розрахунки гальмової важільної передачі пасажирських вагонів. Завдяки цьому запропоновано шляхи удосконалення найбільш вагомих елементів важільної передачі у пасажирських вагонах за умов застосування композиційних колодок. Виконано аналіз зусиль, які діють у типовій конструкції важільної передачі пасажирського вагона для різних типів колодок. Проведено розрахунок на міцність важливих елементів механічної гальмової системи шляхом застосування скінчено-елементного методу.

Запропоновано використовувати можливості програмного комплексу Femap Siemens PLM Software, який дає можливість виконати оптимізацію елементів механічної системи пасажирських вагонів. Наведено приклад топологічної оптимізації деяких елементів гальмової важільної передачі пасажирського вагона.

За рахунок удосконалення елементів механічної гальмової системи для застосування композиційних колодок у пасажирських вагонах, значно спрощується їх конструкція, полегшується технічне обслуговування та ремонт, так само зменшується вага системи в цілому та вартість і значно підвищується рівень безпеки руху на залізничному транспорті.

Ключові слова: гальмова важільна передача, пасажирський вагон, гальмові колодки, міцність, оптимізація, удосконалення, система.

Вступ. Створення сучасного пасажирського рухомого складу повинно здійснюватися на основі інноваційного підходу, тобто створення якісно нових конструкцій вагонів, які характеризуються високою надійністю, економічністю в експлуатації та технічному утриманні.

Для забезпечення своєчасних перевезень рухомий склад, нарівні з іншими технічними засобами, повинен працювати безвідмовно та гарантувати безпеку руху особливо під час гальмування. Тому гальмова система є однією з основних складових частин сучасного рухомого складу від рівня досконалості конструкції, ефективності, надійності й безвідмовної роботи яких в значній мірі залежить безпека руху поїздів, а також пропускна та перевізна здатність залізниць [1].

За останні роки стан гальмового обладнання рухомого складу в АТ «Укрзалізниця» істотно погіршився й став суттєвим макроекономічним фактором, який стримує збільшення обсягів перевезень на регіональних філіях залізниці й підвищує їх собівартість.

У сучасних вагонах гальмова важільна передача (ГВП) представляє собою механічну гальмову систему у вигляді тяг та важелів, за допомогою яких зусилля від ручного, пневматичного або електропневматичного гальма передається на гальмові колодки або накладки, які притискаються до коліс.

У наш час, набули широкого застосування фрикційні колодки двох типів — чавунні й композиційні. Композиційні гальмові колодки порівняно з чавунними отримали значно більш широке застосування, так як вони мають більш високий коефіцієнт тертя, менше зусилля натискання і кращу зносостійкість, у декілька разів збільшений термін служби, меншу вагу і вартість, а також забезпечують безшумне та плавне гальмування поїзда.

Механічна гальмова система пасажирських вагонів до якої відносяться горизонтальні важелі із зтяжками, останні мають отвори, які дозволяють змінювати передаточне число ГВП. Для чавунних гальмових колодок передаточне число більше і елементи ГВП передають значно більші зусилля. А це в свою чергу збільшує їх вагу та вартість й ускладнює їх технічне обслуговування та ремонт.

Встановлення композиційних колодок на пасажирські вагони у яких важільна передача має передаточне число для чавунних колодок, може спричинити явища «юз», утворення повзунів, що руйнують рейки та рухомий склад і загрожують безпеці руху. Так само спричиняють негативні температурні режими на поверхні кочення коліс, що викликають їх пошкодження у вигляді зсувів металу, мікротріщин тощо. Таким чином, удосконалення елементів ГВП пасажирського рухомого складу для застосування композиційних гальмових колодок не тільки спростить конструкцію, полегшить технічне обслуговування та ремонт, а ще й зменшить їх вагу та вартість і значно підвищить рівень безпеки руху на залізничному транспорті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням аналізу роботи гальмового обладнання пасажирських вагонів приділялось достатньо уваги в роботах багатьох фахівців [2], [3]. Так, у роботі [4] доведено, що передавальне число є одним з основних параметрів ГВП, яке не залежить від типу вагона, що дозволяє вирішувати завдання уніфікації. Однак слід зауважити, що передавальне число безпосередньо пов'язане з коефіцієнтом корисної дії (ККД) ГВП вагона. А це, в свою чергу, є величиною, що залежить від таких факторів, як тип вагона, конструктивні особливості ГВП, що призводить до втрати узагальненості цільової функції. Крім того ККД ГВП також залежить від експлуатаційних умов таких як зміна товщини колодки і обода колеса внаслідок зносу тощо [5]. Дослідження ГВП при використанні чавунних і композиційних колодок на вантажних вагонах розглянуто у роботі [6], [7]. У праці [8] виконано дослідження зносу чавунних і композиційних колодок в залежності від кута розташування важелів ГВП. Згідно з результатами цих досліджень, композиційні колодки мають стабільний коефіцієнт тертя і високу зносостійкість в широкому діапазоні швидкостей, але викликають термомеханічні пошкодження коліс внаслідок низької теплопровідності [9].

У роботі [10] автором виконано комплекс завдань з удосконалення й оптимізації елементів рухомого складу. Проте питання, що стосуються оптимізації елементів механічних гальмових систем пасажирського рухомого складу не розглядалися.

У праці [11] колектив авторів наводить результати натурних випробовувань, що дозволяють виконати порівняльну оцінку характеристики міцності деяких типів гальмових колодок вітчизняного виробництва з їх закордонними аналогами, які зазвичай використовують у ГВП візків вагонів. Дослідні випробовування вітчизняних гальмових колодок зі спеціальними вставками у порівнянні з колодками закордонних виробників дозволили встановити, що виникнення дефектів експлуатаційного характеру по колу кочення коліс значно зменшиться. Однак необхідно зазначити, що у цій роботі мова велася тільки про вантажний рухомий склад.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є розроблення практичних заходів з удосконалення механічної гальмової системи пасажирських вагонів.

Для досягнення вище зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючої механічної гальмової системи пасажирських вагонів з метою визначення чинників, які впливають на безпеку руху.
2. Розробити практичні рекомендації з удосконалення конструкції гальмової важільної передачі пасажирських вагонів за рахунок використання комплексного підходу.
3. Оптимізувати елементи механічної гальмової системи пасажирських вагонів для використання композиційних колодок.

Матеріали та методи дослідження. Нині найбільш розповсюджені на рухомому складі є композиційні колодки. В порівнянні з чавунними колодками вони мають більш високий коефіцієнт тертя, менше зусилля натискання і кращу зносостійкість, у декілька разів більший термін служби, меншу вагу, значно меншу вартість, а також забезпечують безшумне та плавне гальмування поїзда. Збільшений термін експлуатації впливає на показники технічного обслуговування та підвищує економічність. Не значне натиснення на колодку дозволяє зменшити тиск в гальмовому циліндрі та зменшити витрату стисненого повітря. Що у свою чергу дозволяє спростити й полегшити конструкцію гальмової системи пасажирського вагона.

Заміна типу колодок спричиняє необхідність зменшення передаточного числа горизонтальних важелів. Для цього слід виконати переставлення шарнірних валиків у горизонтальні важелі й затяжку в яких передбачені спеціальні отвори (рис. 1) [12, 13].

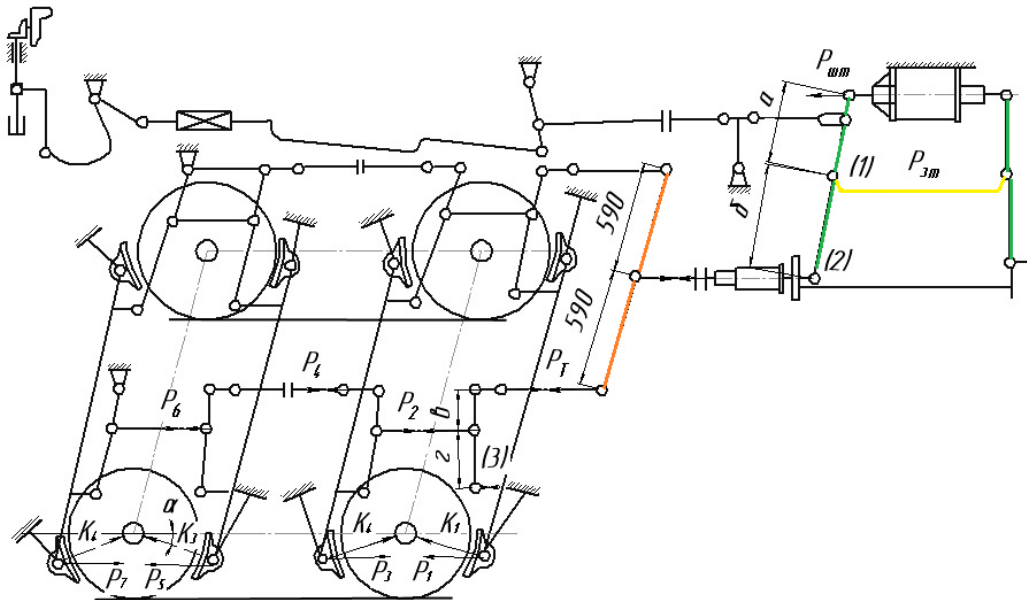


Рис. 1. 2D схема-модель ГВП пасажирського вагона:

a, б – плечі горизонтального важеля; *в, з* – плечі вертикального важеля візка;

P_1 - P_6 – зусилля, що діють в елементах; K_1 - K_4 – зусилля, що передаються від гальмових колодок на колесо вагона; $P_{шт}$, $P_{зм}$, $P_т$ – зусилля, що діють відповідно на штоці гальмового циліндра, затяжці й тязі; α – кут, що проходить між серединою колодки і горизонтальною віссю колеса

Для дослідження доцільності удосконалення ГВП проведена оцінка зусиль, що діють у важільній передачі пасажирського вагона за різних типів гальмових колодок, розраховані на міцність за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ) найбільш вагомі елементи передачі [14]. Використовуючи можливості програмного комплексу реалізований приклад оптимізації форми елементів ГВП за прототипом закордонних конструкцій відповідних елементів.

Зусилля, що діють на штоці гальмового циліндра при певному типі гальмових колодок можна визначити за формулою:

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

де p^i – тиск у гальмовому циліндрі при i -му типі колодок, МПа;

d – діаметр гальмового циліндра, м, для пасажирського вагона $d = 0,356$ м.

Зусилля $P_{зоп}^i$ (рис. 1), що діє на зтяжці горизонтальних важелів за різних типів гальмових колодок визначається як:

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

де a^i, b^i – розміри плеч горизонтального важеля при i -му типі колодок, м. При типовій конструкції важеля $a^k = b^k = 0,260$ м, $b^k = a^k = 0,390$ м [6].

Зусилля на авторегуляторі або посередині горизонтального балансира P_{σ}^i розраховується за такою формулою

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

Величину зусилля, що діє на зтяжці вертикальних важелів візка 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. Приймаємо $v = z = 0,230$ м формула (4) змінить свій вигляд

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

Горизонтальні й вертикальні важелі складаються з двох частин, тому зусилля $P_{зоп}^i, P_{\sigma}^i$ необхідно зменшити навпіл.

За наведеною методологією отримані результати, які наведені на рис. 2.

Важелі ГВП випробовують переважну деформацію згину, тому умова міцності для такого важеля буде мати вигляд

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

де $[\sigma_3]$ – допустиме напруження, що виникає у важелі при згині, МПа;

M_3 – максимальний згинальний момент, кН·м;

W – момент опору в найбільш напруженому перерізі, м³.

Найбільш напруженим є переріз, де важіль з'єднується з зтяжкою, тоді, для горизонтального важеля максимальний згинальний момент, можна визначити, як $M_3^i = 0,5 P_{зоп}^i \cdot a^i$, відповідно, для горизонтального балансира $M_{3\sigma}^i = 0,5 P_{\sigma}^i \cdot e$ (e – плече балансира, $e = 0,590$ м), для вертикального важеля $M_{3\sigma}^i = 0,5 P_{\sigma}^i \cdot v$.

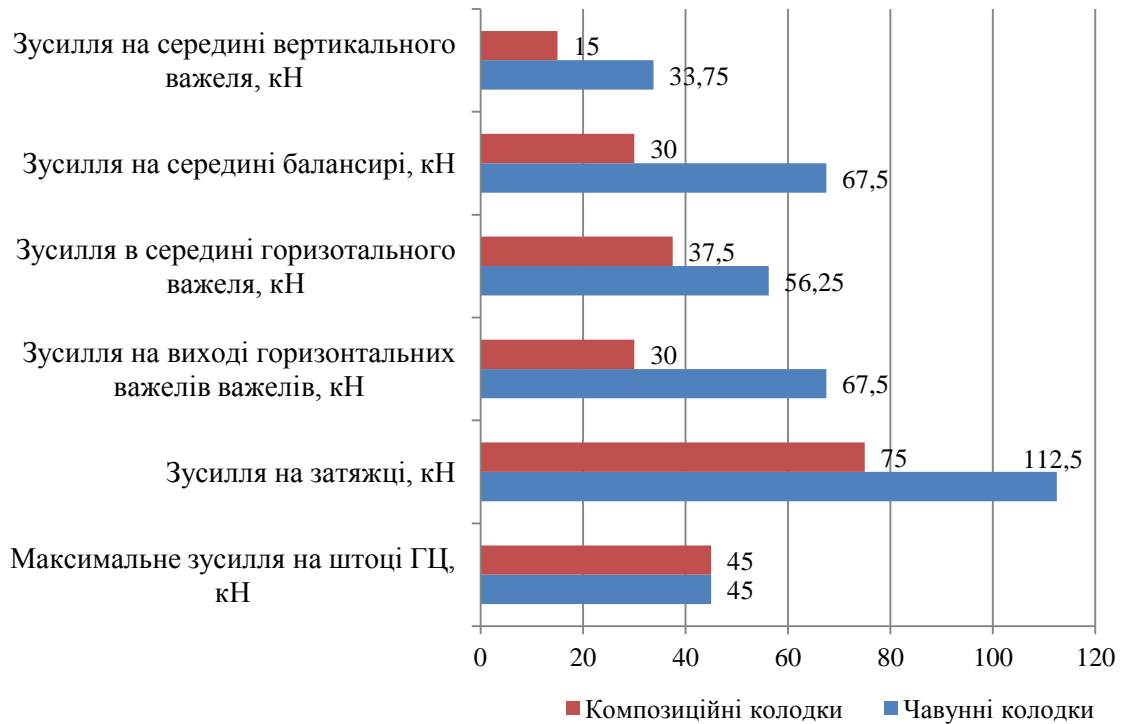


Рис. 2. Величина зусиль в елементах ГВП, що залежить від типу гальмових

Момент опору найбільш напруженого перерізу, що має прямокутну форму, з отвором, висотою $d_{отвору}$ під втулку та валик дорівнює

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

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

З формул (6-7) отримаємо допустиму висоту важеля у вигляді кубічного рівняння

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

Розв'язуючи рівняння (8) отримаємо допустимі значення максимальної ширини важелів при певних типах колодок, при цьому величини товщини та діаметра отвору приймаємо як у існуючої конструкції. Отримані результати розрахунку зводимо в табл. 1.

Таблиця 1. Значення допустимої ширини важеля при деформації згину для різних типів гальмових колодок у найбільш напруженому перерізі важеля, м

Найменування	Тип колодок ГВП		Різниця ширини, %
	чавунні	композиційні	
Горизонтальний важіль	0,16	0,138	13,75
Горизонтальний балансир	0,19	0,104	45,26
Вертикальний важіль візка	0,12	0,084	30

Для перевірки на міцність спеціалізованих під композиційні колодки важелів використовувався програмний комплекс Autodesk Inventor. В якості зусиль використовувались зусилля обчислені за формулами 1–5, що рівномірно розподілені по вушку зони контакту з валиком. Граничні умови – шарнірне закріплення в крайніх отворах під валики ГВП. Результати розрахунку наведені на рис. 3. При розрахунках максимальні напруження не перевищують допустимі [15, 16].

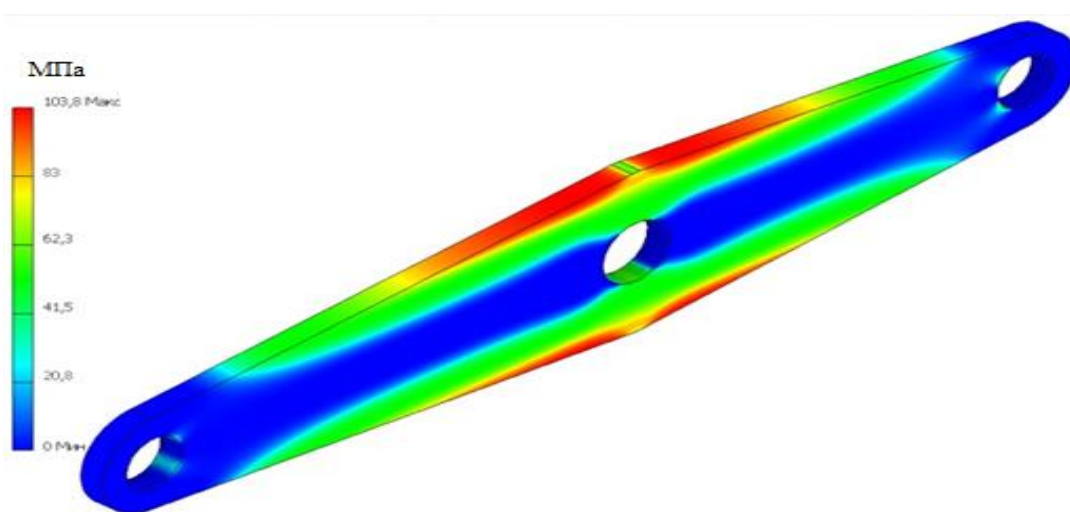


Рис. 3. Напруження, які виникають у горизонтальному важелі

Розрахунок на міцність горизонтального важеля та зтяжки було виконано у програмного комплексу Femap Siemens PLM Software з вирішувачем NX Nastran. При оцінці міцності конструкції важеля без отвору під чавунні колодки використовувались скінченні елементи тетраедральної форми (54119 скінчених елементів, 36021 вузлів, мінімальний розмір грані скінченого елемента – 5 мм). Для розрахунку зтяжки обрана спрощена скінчено-елементна модель у вигляді пластини, яка складається з 10914 скінчених елементів, 22365 вузлів, мінімальний розмір трикутника становить 5 мм. В якості матеріалу використовувалась сталь Ст.3, з якої переважно виготовляються елементи ГВП, прийнято допущення про ізотропність та однорідність матеріалу. Скінчено-елементна модель навантажувалась попередньо розрахованими зусиллями (табл. 1), при цьому, зусилля вважались рівномірно розподіленими по вушку зони контакту з валиком, таке прикладення зусиль обумовлене припрацюванням елементів дотику. В якості граничних умов використовувалось шарнірне закріплення в отворах під валики. Результати розрахунку наведені на рис. 3-4.

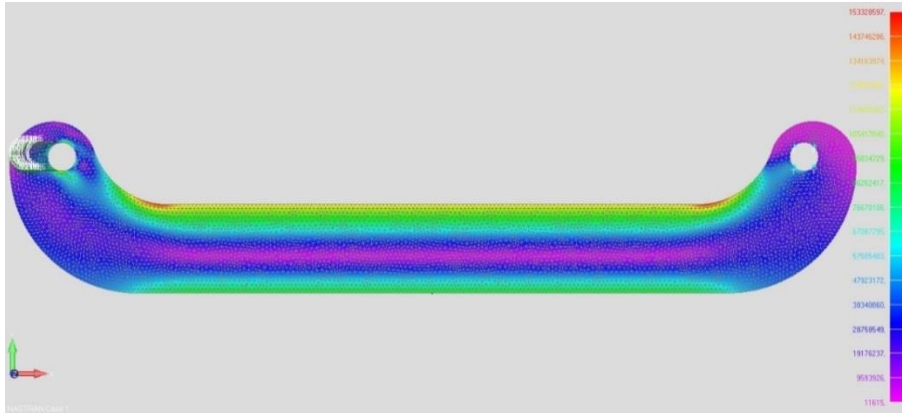


Рис. 4. Результати розрахунку зтяжки горизонтальних важелів на міцність

Порівнюючи отримані максимальні еквівалентні напруження (171 МПа та 153 МПа відповідно для горизонтального важеля та зтяжки, необхідно відмітити, що ці напруження локальні виникають у місцях дотику з валиком або в зонах переходу, середні значення напружень мають меншу величину) з допустимими напруженнями для сталі Ст.3 $[\sigma]=0,95\sigma_T$ [16] $[\sigma]=190$ МПа можна зробити висновки про виконання умов міцності.

Такі елементи ГВП як горизонтальні важелі та зтяжка мають характерні форму та розміри характерні і їх виготовляють з прокату штампуванням. Нові технології розкрою сталевого прокату (плазмова, лазерна, гідроабразивна різка) дозволяють виготовляти елементи більш складної конфігурації. Ця обставина обумовлює можливість зміни форми елементів важільної передачі та раціонального розкрою прокатного листа.

Використовуючи можливості програмного комплексу Femap авторами проведено топологічну оптимізацію важеля та зтяжки при забезпеченні умов міцності. Приклади результатів розв'язання такої задачі наведені на рис. 5 – 6.

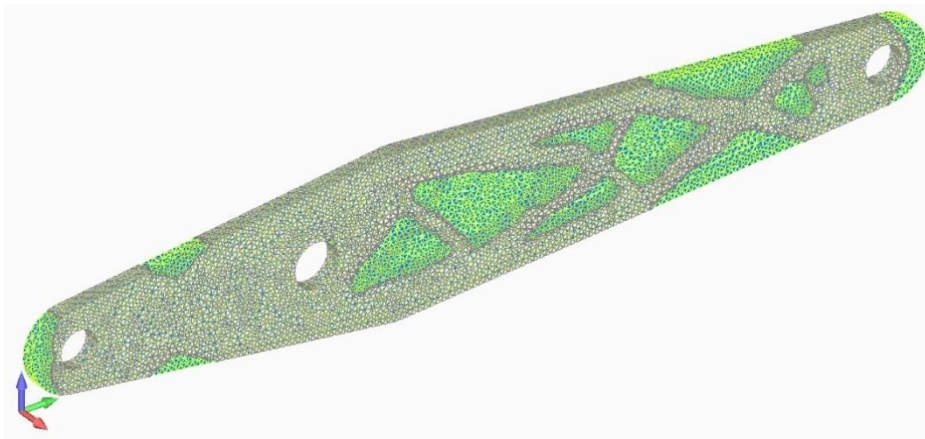


Рис. 5. Результат програмної топологічної оптимізації горизонтального важеля при зменшенні маси на 30% виконаного за допомогою Femap

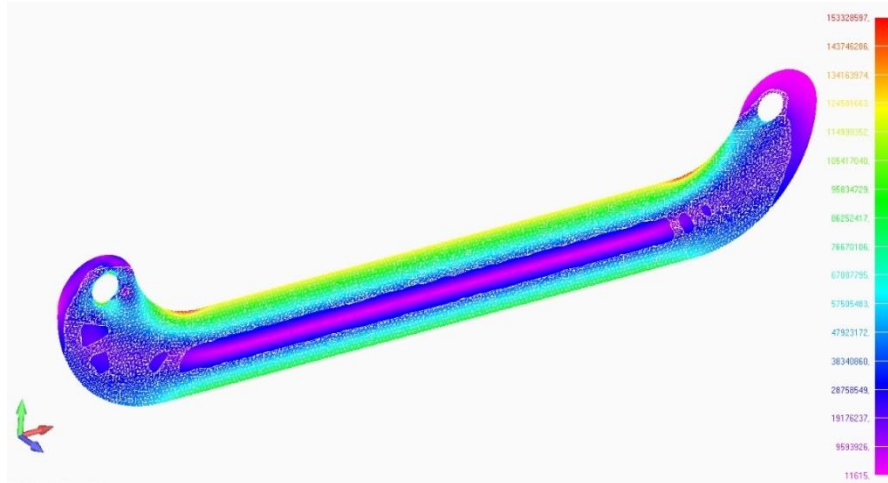


Рис. 6. Результат програмної топологічної оптимізації зтяжки горизонтальних важелів при зменшенні маси на 30%

Висновки та перспективи подальших досліджень. 1. Виконано аналіз існуючої механічної гальмової системи пасажирських вагонів з метою визначення чинників, які впливають на безпеку руху. Проведено оцінку зусиль, що діють у важільній передачі пасажирського вагона для різних типів гальмових колодок. Встановлено, що за використання композиційних колодок у ГВП зусилля, які діють у складових менші ніж для чавунних колодок. Це дає змогу провести удосконалення геометричної форми елементів механічної гальмової системи за їх спеціалізації на композиційні колодки.

2. Розраховано на міцність найбільш вагомні елементи механічної гальмової системи пасажирського вагона шляхом використання СЕМ. Розрахунок 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 склали близько 180 МПа, тобто не перевищують допустимі.

3. За рахунок удосконалення елементів механічної гальмової системи для застосування композиційних колодок у пасажирських вагонах, значно спрощується їх конструкція, полегшується технічне обслуговування та ремонт, так само зменшується вага системи в цілому та вартість і значно підвищується рівень безпеки руху на залізничному транспорті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Равлюк В. Г., Захарченко В. В. Теоретичні засади проектування та вдосконалення гальмових систем вантажних вагонів // I Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології засобів транспорту», Харків-Миргород, 23-24 вересня 2021 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 123 – 125.
2. Бабаєв А. М., Дмитрієв Д. В. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць: навч. посіб. / Київ: ДЕТУТ, 2007.
3. Равлюк В.Г., Дерев'янчук Я.В., Афанасенко І. М., Равлюк М. Г. Розробка електронної діагностичної системи для підвищення достовірності діагностування гальм пасажирських вагонів. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: 2016. Т. 5, №4, с. 35-40. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66007
4. Аввакумов А.С. Совершенствование механической части тормоза специализированных вагонов-хопперов бункерного типа: Дис. канд.техн. наук.05.22.07/МИИТ.М., 1995.
5. Ravlyuk V. H., Mykhalkiv S. V., Rybin A. V., Derevianchuk Ya. V., Plakhtii O. A. Forecasting of wear of pads of modernized brake system devices of bogies of freight cars using ARIMA models. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020, № 6, pp. 48-54, <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/048>
6. Волошин Д. І., Афанасенко І. М., Дерев'янчук Я. В. Модернізація елементів гальмівної важільної передачі вантажного вагона. // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 30. К.: ДЕТУТ, 2017. С. 65-72.

7. Afanasenko I., Derevianchuk I., D. Voloshin Improvement of brake lever transmission for dump cars // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 708, 2019, 012037. doi:10.1088/1757-899X/708/1/012037 (Great Britain)
8. Асташкевич, Б. М. Исследование эксплуатационных дефектов фрикционного сопряжения тормозной колодки с колесом вагона // Вестник ВНИИЖТ, 2004, № 4. С. 35-39.
9. Шакина А. В., Фадеев В. С., Штанов О. В. Новые тормозные колодки повышенной износостойкости // Вагоны и вагонное хозяйство. 2014. № 4. С. 42-44.
10. Фомін О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: Монографія / Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. 251 с.
11. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винстрот Б. У., Муковоз С. П. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины. Локомотив-информ. 2015. № 7/8. С. 20-22.
12. Вагоны вантажні. Гальмівне обладнання. СТП 04-028: 2020. Протокол № Ц-45/83 Ком. т. засідання правління АТ «Укрзалізниця» від 01.10.20 р. 2020. 117 с.
13. Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів: ЦВ-ЦЛ-0013 : Затв. нак. Укрзалізниці №22-ЦЗ від 25.01.05. вид. офіц. К.: ТОВ Видавничий дім «САМ», 2005. 160 с.
14. Равлюк В. Г., Дерев'янчук Я. В. Рациональный способ модернизации элементов гальмової важільної передачі пасажирських вагонів // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали V міжнар. наук.-прак. конф. / Академія технічних наук України. (Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2021 р.). Івано-Франківськ: Кушнір Г. М., 2021. С. 366 – 370.
15. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм / М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 356 с.
16. Конструирование и расчет вагонов/ Под ред. проф. Лукина В.В. / М.: УМК МПС России, 2000. 731 с.

REFERENCES

1. Ravlyuk V. G., Zakharchenko V. V. (2021). Teoretychni zasady proektuvannia ta vdoskonalennia halmovykh system vantazhnykh vahoniv [Theoretical principles of design and improvement of brake systems of freight cars]. *1-a mizhnarodna naukovo-tehnichna konferentsiia «Prohresyvni tekhnologii zasobiv transportu», Kharkiv-Myrhorod [1st International Scientific and Technical Conference "Progressive Technologies of Vehicles", Kharkiv-Myrhorod]*, 1. 123 – 125. [in Ukrainian]
2. Babaiev A. M., D. V. Dmytriiev (2007) Pryntsyyp dii, rozrakhunky ta osnovy ekspluatatsii halm rukhomoho skladu zaliznyts: navch. posib. Kyiv: DETUT. [in Ukrainian].
3. Ravlyuk V.H., Derevianchuk Ya.V., Afanasenko I. M., Ravliuk M. H. (2016) Rozrobka elektronnoi diahnostychnoi systemy dlia pidvyshchennia dostovirnosti diahnostuvannia halm pasazhyrskykh vahoniv. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy*. T. 5, №4, pp. 35-40 [in Ukrainian].
4. Avvakumov A.C. (1995) Sovershenstvovanie mehanicheskoy chasti tormoza spetsializirovannykh vagonov-hopperov bunkernogo tipa: *Dis. kand.tehn. nauk.-05.22.07/MIIT,-M*. [in Russian]
5. Ravlyuk V. H., Mykhalkiv S. V., Rybin A. V., Derevianchuk Ya. V., Plakhtii O. A. Forecasting of wear of pads of modernized brake system devices of bogies of freight cars using ARIMA models. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2020, № 6, pp. 48-54, <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/048>
6. Voloshyn D. I., Afanasenko I. M., Derevianchuk Ya. V. (2017) Modernizatsiia elementiv halmivnoi vazhilnoi peredachi vantazhnoho vahona. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu Ministers-tva osvity i nauky Ukrainy: Seriia «Transportni systemy i tekhnologii»*. Vyp. 30, DETUT pp. 65-72. [in Ukrainian].
7. Afanasenko I., Derevianchuk I., Voloshin D. (2019) Improvement of brake lever transmission for dump cars. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 708, 012037. doi:10.1088/1757-899X/708/1/012037 (Great Britain)
8. Astashkevich, B. M. (2004) Issledovanie ekspluatatsionnykh defektov friktsionnogo sopryazheniya tormoznoy kolodki s kolesom vagona. *Vestnik VNIIZhT*, № 4. - pp. 35-39. [in Russian]
9. Shakina A. V., Fadeev V. S., Shtanov O. V. (2014) Novyye tormoznyie kolodki povyshennoy iznosostoykosti. *Vagony i vagonnoe hozyaystvo*. № 4. - pp. 42-44. [in Russian]
10. Fomin O. V. (2013) Optymizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvahoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva: Monohrafiia. *DonIZT UkrDAZT*, Donetsk [in Ukrainian].
11. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., & Vinstrot, B. U. (2015). Ispytaniya perspektivnykh tormoznykh kolodok na zheleznykh dorogah Ukrainyi [Tests of promising brake pads on the railways of Ukraine]. *Lokomotiv-inform [Lokomotiv-inform]*, 7-8, 20-22. (in Russian)
12. Vahony vantazhni. Halmivne obladnannia. (2020) *STP 04-028: 2020*. [Freight cars. Braking equipment], 117. [in Ukrainian]
13. Instrukciya z remontu galmivnogo obladnannya vagoniv: CV-CL-0013 [Manual braking equipment repair cars] (2005). *Zatv. nak. Ukrzaliznici №22-CZ vid 25.01.05. – vid. ofic. – K.: TOV Vidavnichij dim «SAM», 2005. – 160 s.* [in Ukrainian]
14. Ravlyuk V. G., Derevianchuk I. (2021). Ratsionalnyi sposib modernizatsii elementiv halmivnoi vazhilnoi peredachi pasazhyrskykh vahoniv [A rational way to modernize the elements of the brake lever transmission of passenger cars].

Prykladni naukovo-tekhnichni doslidzhennia [Applied scientific and technical research]. Akademiia tekhnichnykh nauk Ukrainy [Academy of Technical Sciences of Ukraine]. Ivano-Frankivsk [Ivano-Frankivsk], 5, 366-370. [in Ukrainian]

15. Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm.(1996) *GosNIIV-VNIIZhT*, 356 s. [in Russian].

16. Konstruirovaniye i raschet vagonov [Construction and calculation cars] (2000). UMK MPS Rossii. 731s. [in Russian].

Vasyl Ravlyuk¹, Yaroslav. Derevianchuk^{2*}, Pohorielov Serhii³

¹ Associate Professor, Department of Wagon Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach Square, Kharkiv, 61050, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>

^{2*} Senior Teacher, Department of Wagon Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach Square, Kharkiv, 61050, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4932-2751>

³ Master student, Department of Wagon Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach Square, Kharkiv, 61050, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2291-210X>

THE IMPROVEMENT MECHANICAL BRAKE SYSTEM OF THE PASSENGER CAR

A set of theoretical scientific researches is carried out in the work, which proves that with the use of different types of brake pads in passenger cars some elements of the typical design of the mechanical brake system need to be modernized.

Analytical calculations of the brake lever transmission of passenger cars are performed on the basis of the 2D scheme-model. Due to this, ways to improve the most important elements of lever transmission in passenger cars under the conditions of composite pads are proposed.

The analysis of the forces acting in the typical design of the lever transmission of a passenger car for different types of pads is performed. The strength of important elements of the mechanical brake system is calculated by applying the finite element method.

It is proposed to use the capabilities of the software package Femap Siemens PLM Software, which allows you to optimize the elements of the mechanical system of passenger cars. An example of topological optimization of some elements of brake lever transmission of a passenger car is given.

By improving the elements of the mechanical brake system for the use of composite pads in passenger cars, greatly simplifies their design, facilitates maintenance and repair, also reduces the weight of the system as a whole and cost and significantly increases the level of traffic safety.

Keywords: brake lever transmission, passenger car, brake pads, strength, optimization, improvement, syste.