

УДК 629.4.077-592

*Д. І. Волошин, к.т.н., доцент
(доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)
І. М. Афанасенко
(старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)
Я. В. Дерев'янчук
(асистент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)*

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬМІВНОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

У статті розглянуті технічні і конструкційні недоліки гальмової важільної передачі вантажного рухомого складу. Наведені переваги та недоліки різних типів колодок.

Встановлення композиційних колодок на вагони, важільна передача яких має передаточне число для чавунних колодок може привести до заклинання колісних пар, утворення повзунів, а також загрожує безпеці руху. Оптимізація гальмівної важільної передачі під композиційні колодки не тільки спростить конструкцію, технічне обслуговування і ремонт, зменшить її вагу та вартість, а й підвищить безпеку руху.

Проведена оцінка зусиль, що діють у типовій конструкції важільної передачі універсального вагона платформи при різних типах гальмівних колодок, розраховані на міцність за допомогою скінчено-елементного методу найбільш вагомі елементи механічної передачі.

Запропоновано, використовуючи можливості програмного комплексу Femap Siemens PLM Software, оптимізувати елементи гальмівної важільної передачі. Реалізований приклад топологічної оптимізації елементів гальмівної важільної передачі вантажного вагона.

Зроблений висновок, що модернізація елементів механічної передачі під композиційні колодки дозволить спростити їх конструкцію, технічне обслуговування та ремонт, зменшить їхню вагу і вартість, а також покращить безпеку руху.

Ключові слова: гальмівна важільна передача, вантажний вагон, гальмові колодки, міцність, оптимізація.

В статье рассмотрены технические и конструкционные недостатки тормозной рычажной передачи грузового подвижного состава. Приведены преимущества и недостатки разных типов колодок.

Установка композиционных колодок на вагоны, рычажная передача которых имеет передаточное число для чугунных колодок, может привести к заклинива-

© Волошин Д. І., Афанасенко І. М., Дерев'янчук Я. В., 2017

нию колесных пар, а также угрожает безопасности движения. Оптимизация тормозной рычажной передачи под композиционные колодки не только упростит конструкцию, техническое обслуживание и ремонт, уменьшит ее вес и стоимость, но и улучшит безопасность движения.

Проведена оценка усилий, действующих в типовой конструкции рычажной передачи универсального вагона платформы при различных типах тормозных колодок, рассчитаны на прочность с помощью конечно-элементного метода наиболее весомые элементы механической передачи.

Предложено, используя возможности программного комплекса Femap Siemens PLM Software, оптимизировать элементы тормозной рычажной передачи. Реализован пример топологической оптимизации элементов тормозной рычажной передачи грузового вагона.

Сделан вывод, что модернизация элементов механической передачи под композиционные колодки позволит упростить их конструкцию, техническое обслуживание и ремонт, уменьшит их вес и стоимость, а также улучшит безопасность движения.

Ключевые слова: тормозная рычажная передача, грузовой вагон, тормозные колодки, прочность, оптимизация.

Постановка проблеми. Гальмова важільна передача (ГВП) сучасних вагонів – це система тяг і важелів, за допомогою яких зусилля від ручного, пневматичного або електропневматичного гальма передається на гальмівні колодки або накладки, які притискаються до коліс.

При швидкостях руху до 120 км/год доцільно використовувати гальмо з одностороннім натисненням колодок, тому здебільшого усі вантажні вагони мають одностороннє натиснення. Перевагами ГВП із таким натисненням колодок є проста будова та невелика маса, до недоліків слід віднести негативний вплив на роботу буксового вузла та обмеження по тепловому режиму. Типова схема ГВП вантажного універсального вагона зображена на рис. 1.

У наш час, набули широкого застосування фрикційні колодки двох типів: чавунні та композиційні.

Стандартні чавунні колодки, що обертаються зі швидкістю до 120 км/год, застосовують переважно на пасажирських вагонах та на локомотивах. До переваг цих фрикційних елементів відносять: хороший відвід тепла, що виділяється при гальмуванні, і відсутність впливу вологи на коефіцієнт тертя. У той же час такі колодки мають нестабільний коефіцієнт тертя, що знижується зі зростанням швидкості. Це, зокрема, призводить до необхідності застосування на швидкісному рухомому складі складних і коштовних регуляторів сил натискання колодок залежно від швидкості руху. Крім того, чавунні колодки швидко зношуються, що вимагає великого обсягу робіт по заміні і регулюванню важільних передач.

Композиційні гальмівні колодки порівняно з чавунними отримали значно ширше застосування, оскільки вони мають вищий коефіцієнт тертя, менше зусилля натискання і кращу зносостійкість, у декілька разів вищий термін служби, меншу вагу, вартість, а також забезпечують безшумне та плавне гальмування поїзда.

Композиційні гальмівні колодки застосовують на всіх вантажних вагонах, а також на пасажирських вагонах, які експлуатуються при швидкостях понад 120 км/год. Вони в три–п'ять разів зносостійкіші, ніж чавунні, що відповідно знижує обсяг робіт по заміні та регулюванню важільних передач, і володіють підвищеними стабільністю та величиною коефіцієнта тертя щодо швидкості руху. Це збільшує гальмівну ефективність поїздів, полегшує технічне обслуговування та зменшує витрату стисненого пові-

тря, витраченого на гальмування завдяки зниженим зусиллям, що реалізується в ній, поліпшує керованість поїздів і невиснажливість їх гальмівних систем.

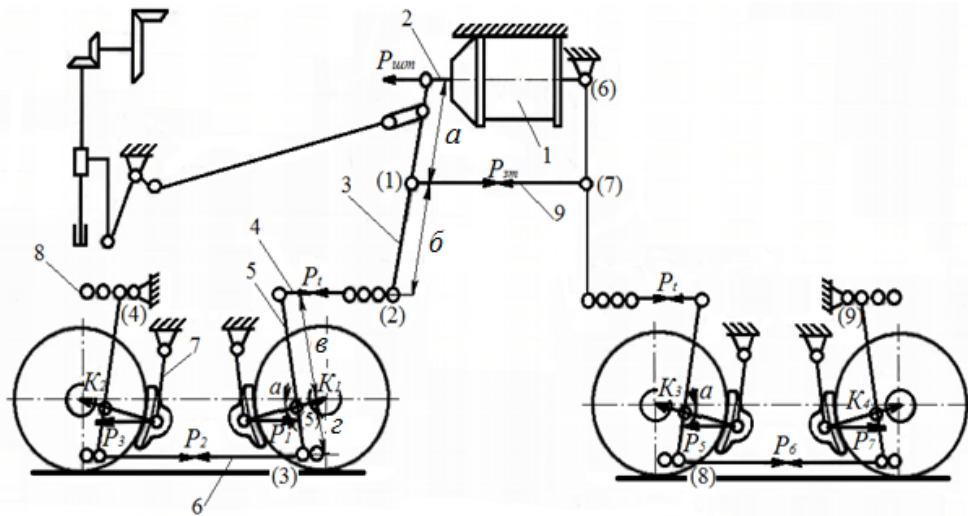


Рис. 1. Схема гальмової важільної передачі універсального вантажного вагона
1 – гальмівний циліндр; 2 – шток гальмівного циліндра; 3 – горизонтальний важіль; 4 – тяга;
5 – вертикальний важіль; 6 – затяжка вертикальних важелів; 7 – підвіска башмака; 8 – серги;
9 – криволінійна затяжка горизонтальних важелів

Горизонтальні важелі і їх затяжка мають отвори, що дозволяють змінювати її передаточне число. Для чавунних гальмівних колодок передаточне число більше, і елементи гальмівної важільної передачі передають значно більші зусилля, що збільшує їх вагу, вартість та ускладнює технічне обслуговування й ремонт.

Встановлення композиційних колодок на вагони, важільна передача яких має передаточне число для чавунних колодок, може привести до заклинення колісних пар, утворення повзунів, що руйнують рейки, рухомий склад, та загрожують безпеці руху. Також викликають несприятливі температурні режими на поверхні кочення коліс, що викликають їх пошкодження у вигляді наварів, зрушень металу, мікротріщин та інші. Таким чином, оптимізація ГВП під композиційні колодки не тільки спростить конструкцію, технічне обслуговування і ремонт, зменшить її вагу та вартість, а й покращить безпеку руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню удосконалення гальм рухомого складу присвячені роботи П. С. Анісимова [1], В. Р. Асадченко [2], А. М. Бабаєва, Д. В. Дмитрієва [3], В. М. Казарінова [4], В. А. Юдіна та інших учених. Вагомий вклад в широке застосування композиційних колодок внесли В. Г. Іноземцев, Л. О. Вуколов [5, 7]. Задачі удосконалення та оптимізації елементів рухомого складу розглядаються в роботах О.В. Фоміна [9–12] та інших.

Викладення основного матеріалу статті.

Для обґрунтованого дослідження доцільності удосконалення ГВП авторами проведена оцінка зусиль, що діють у типовій конструкції важільної передачі універсального вагона платформи при різних типах гальмівних колодок, розраховані на міцність за допомогою скінчено-елементного методу (СЕМ) найбільш вагомим елементом механічної передачі. Використовуючи можливості програмного комплексу реалізований приклад топологічної оптимізації елементів ГВП.

Максимальні зусилля, що діють на штоці гальмівного циліндра при i -тому типі гальмівних колодок розраховуються [12] за формулою

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

де p^i – тиск у гальмівному циліндрі при i -тому типі гальмівних колодок, МПа, згідно [6] допустима величина тиску при композиційних колодках $p^k = 340 \text{ кПа}$, для чавунних колодок $p^u = 450 \text{ кПа}$.

d – діаметр штоку гальмівного циліндра, м, для типових вантажних вагонів $d = 0,356 \text{ м}$.

Для визначення зусиль, які діють на затяжку горизонтальних важелів та самі важелі, розглянемо розрахункову схему (рис. 1).

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

тут a^i, b^i – розміри плеч горизонтального важеля при i -тому типі колодки, м. При типовій конструкції горизонтального важеля $a^k = 0,195 \text{ м}$, $b^k = 0,465 \text{ м}$, $a^u = 0,260 \text{ м}$, $b^u = 0,400 \text{ м}$.

Навантаження, що діє посередині одного горизонтального важеля, дорівнює половині зусилля на затяжці цих важелів.

Результати розрахунку за формулами (1-2) для типової конструкції гальмівної важільної передачі вагона платформи наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Зусилля, що діють у гальмівній важільній передачі універсальної платформи при певних типах гальмівних колодок, кН

Параметр	Тип колодок ГВП		Різниця зусиль, %
	Чавунні	Композиційні	
Зусилля на штоці гальмівного циліндра, P_{um}^i	44,792	33,843	24
Зусилля на затяжці горизонтальних важелів, $P_{зат}^i$	73,907	48,035	35
Зусилля посередині горизонтального важеля, $P_{важ}^i$	36,954	24,018	35

Розрахунок на міцність горизонтального важеля та затяжки було виконано у програмному комплексі Femap Siemens PLM Software з вирішувачем NX Nastran. При оцінці міцності конструкції важеля без отвору під чавунні колодки використовувались скінчені елементи тетраедральної форми (54119 скінчених елементів, 36021 вузлів, мінімальний розмір грані скінченого елемента – 5 мм). Для розрахунку затяжки обрана спрощена скінчено-елементна модель у вигляді пластини, яка складається з 10914 скінчених елементів, 22365 вузлів, мінімальний розмір трикутника становить 5 мм. В якості матеріала 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. 2-3.

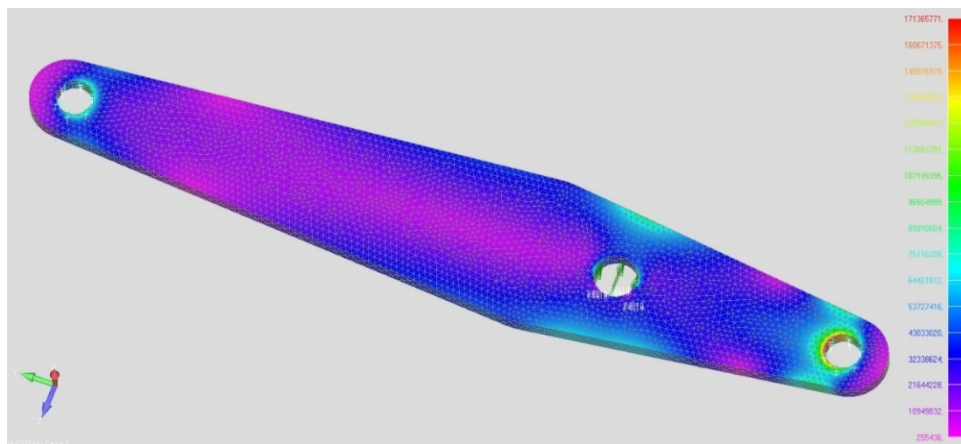


Рис. 2. Результати розрахунку горизонтального важеля при дії зусилля на середній отвір

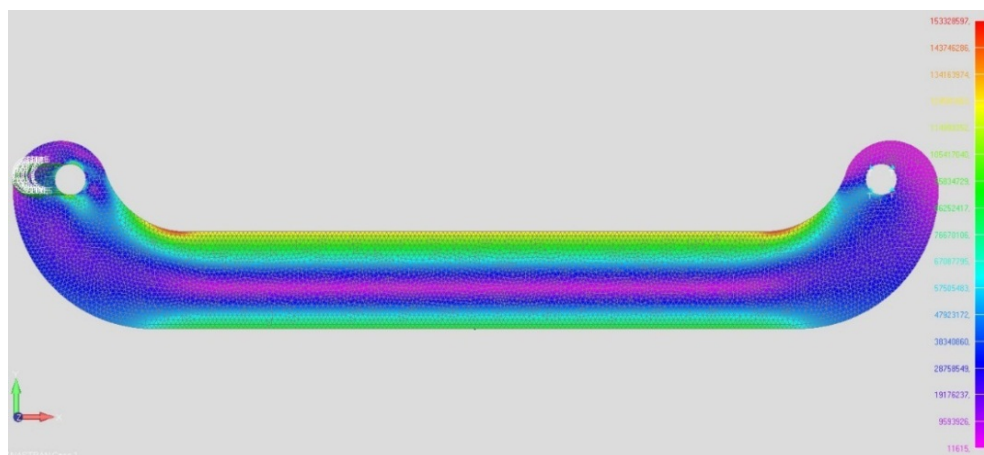


Рис. 3. Результати розрахунку зтяжки горизонтальних важелів на міцність

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 $[\sigma]=0,95\sigma_T$ [14] $[\sigma]=190$ МПа можна зробити висновки про виконання умов міцності.

Такі елементи ГВП як горизонтальні важелі та їх зтяжка мають форму та розміри, характерні для універсальних вагонів (критий, напіввагон, платформа) і виготовляють з прокату штампуванням. Нові технології розкрою сталевих прокатів (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 затяжки при забезпеченні умов міцності. Приклади результатів розв'язання такої задачі наведені на рис. 4–5.

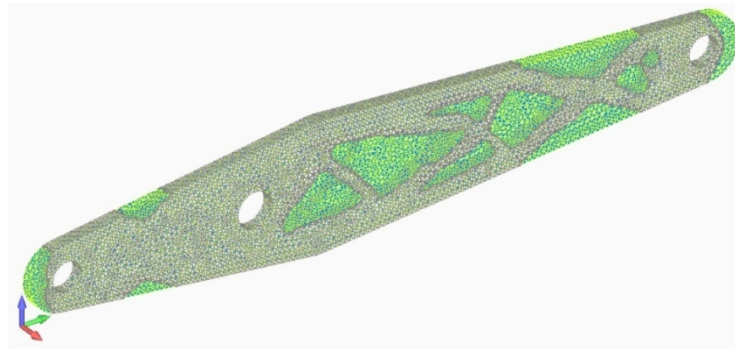


Рис. 4. Результат програмної топологічної оптимізації горизонтального важеля при зменшенні маси на 30%, виконаного за допомогою Femap

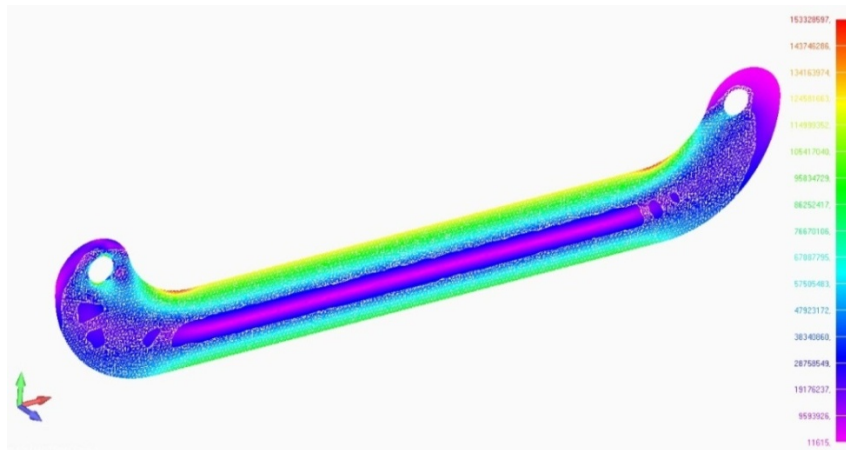


Рис. 5. Результат програмної топологічної оптимізації затяжки горизонтальних важелів при зменшенні маси на 30%

Висновки та перспективи подальших досліджень. Типова конструкція ГВП вантажних вагонів передбачає можливість застосування композиційних і чавунних колодок, але останнім часом усі вагони вантажного парку застосовують лише колодки композиційного типу. Модернізація елементів механічної передачі під композиційні колодки дозволить спростити їхню конструкцію, технічне обслуговування та ремонт, зменшить їхню вагу і вартість, а також покращить безпеку руху.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Анисимов П. С. Расчет и проектирование механической и пневматической частей тормозов вагонов: учеб. пособие / П. С. Анисимов, В. А. Юдин, А. Н. Шамаков, С. Н. Коржин ; под. общ. ред. П. С. Анисимова. – М. : Маршрут, 2005. – 248 с.
- 2 Асадченко В. Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава: учеб. пособие / В. Р. Асадченко. – М. : Маршрут, 2004. – 120 с.
- 3 Бабаєв А. М. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць: навч. посіб. / А. М. Бабаєв, Д. В. Дмитрієв. – К. : ДЕТУТ, 2007. – 176 с.

- 4 Казаринов В. М. Теоретические основы проектирования и эксплуатации тормозов / В. М. Казаринов, В. Г. Иноземцев, В. Ф. Ясенцев – М: Транспорт, 1968 – 400 с.
- 5 Иноземцев В. Г. Автоматические тормоза / В.Г. Иноземцев, В.М. Казаринов, В.Ф. Ясенцев. – М.: Транспорт, 1981. – 464 с.
- 6 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.
- 7 Вуколов Л. А. Фрикционные характеристики тормозных колодок из композиционных материалов без асбеста : // Тр. ВНИИЖТ / – 1987. – С. 27 – 33.
- 8 Киселев С. И. Температурные поля, деформации и напряжения в цельнокатанных вагонных колесах при различных режимах торможения: С.И. Киселев, В.Г. Иноземцев, С.Ю. Петров, А.С. Киселев // Вестн. ВНИИЖТ. – 1994. – № 7. – С. 13 – 17.
- 9 Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4 (193). – С. 267–271.
- 10 Fomin, O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P.250-256.
- 11 Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів / О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146–153.
- 12 Кельріх, М.Б. Впровадження круглих труб в несучі системи критих вагонів з забезпеченням раціональних показників міцності / О.В. М.Б.Кельріх, О.В. Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 5/7(25) – С. 41–44.
- 13 Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм / – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 356 с.
- 14 Конструирование и расчет вагонов / Под ред. проф. Лукина В.В. / М.: УМК МПС России, 2000. – 731с.

Dmitri Voloshin, PhD (Technical Sciences)

(Associate Professor of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)

Igor Afanasenko

(Senior Lecturer of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)

Iaroslav Derevianchuk

(Assistant of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)

THE MODERNIZATION MECHANICAL BRAKE ELEMENTS OF FREIGHT CAR

The article deals with technical and design deficiencies of brake linkage of freight rolling stock. Advantages and disadvantages of different types of pads are given.

The installation of composite shoes on cars, the lever transmission of which has a gear ratio for cast-iron pads, can lead to jamming of wheel sets, and also threatens the safety of traffic. Optimizing the brake linkage under the composite pads will not only simplify the design, maintenance and repair, reduce its weight and cost, but also improve traffic safety.

The forces acting in the standard design of universal transmission of the platform car for various types of brake pads have been estimated, the most weighty elements of the mechanical transmission have been calculated with the help of the finite element method.

It is proposed, using the capabilities of the Femap Siemens PLM Software, to optimize the elements of the brake linkage. An example of topological optimization of brake linkage elements of a freight car is implemented.

It is concluded that the modernization of the elements of mechanical transmission under the composite pads will simplify their design, maintenance and repair, reduce their weight and cost, and improve traffic safety.

Key words: brake linkage, freight car, brake pads, strength, optimization.

REFERENCES

- 1 Anisimov P. S. Raschet i proektirovanie mexanicheskoy i pnevmaticheskoy chastej tormozov vagonov: ucheb. posobie [Calculation and design mechanical and pneumatic parts of the brakes wagons]/ P. S. Anisimov, V. A. Yudin, A. N. Shamakov, S. N. Korzhin ; pod. obshh. red. P. S. Anisimova. – M. : Marshrut, 2005. – 248 s.
- 2 Asadchenko V. R. Raschet pnevmaticheskix tormozov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: ucheb. posobie [Calculation pneumatic brakes of railway rolling stock]/ V. R. Asadchenko. –M. : Marshrut, 2004. – 120 s.
- 3 Babaev A. M. Princip dii, rozrakhunki ta osnovi ekspluatacii galm ruxomogo skladu zaliznic: navch. posib. [The principle of operation, calculations and bases operating brake, for rail transport]/ A. M. Babaev, D. V. Dmitriev. – K. : DETUT, 2007. – 176 s.
- 4 Kazarinov V. M. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya i ekspluatacii tormozov [Theoretical basis of design and operation brakes]/ V. M. Kazarinov, V. G. Inozmecev, V. F. Yasencev – M: Transport, 1968 – 400 s.
- 5 Inozemcev V. G. Avtomaticheskije tormoza [Automatic brakes]/ V.G. Inozemcev, V.M. Kazarinov, V. F. Yasencev. – M. Transport, 1981. – 464 s.
- 6 Instrukciya z remontu galmivnogo obladnannya vagoniv: CV-CL-0013 [Manual braking equipment repair cars]: – Zatv. nak. Ukrzaliznici №22-CZ vid 25.01.05. – vid. ofic. – K.: TOV Vidavnichij dim «SAM», 2005. – 160 s.
- 7 Vukolov L. A. Frikcionnye xarakteristiki tormoznyx kolodok iz kompozicionnyx materialov bez asbesta: [Friction characteristics brake shoes made of composite materials without asbestos]/ Tr. VNIIZhT / – 1987. – S. 27...33.
- 8 Kiselev S. I. Temperaturnye polya, deformacii i napryazheniya v celnokatannyx vagonnyx kolesax pri razlichnyx rezhimakh tormozheniya [Temperature fields, deformations and stresses in solid-rolled car wheels under different braking regimes]: S.I. Kiselev, V.G. Inozemcev, S.Yu. Petrov, A.C. Kiselev // Vestn. VNIIZhT. – 1994. – №7. – S. 13... 17.
- 9 Fomin, O.V. Konceptiya ideal'nyh kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
- 10 Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
- 11 Fomin O. V. Analiz dotsilnosti zastosuvannya shestyhrannykh porozhnystrykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv //Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – C. 146-153.
- 12 Kel'rikh M.B. (2015) Vprovadzhennya kruhlykh trub v nesuchi systemy krytykh vahoniv z zabezpechenniam ratsional'nykh pokaznykiv mitsnosti [Introduction of round pipes in the bearing systems of covered wgons with providing rational indicators of durability]. Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva [Technological audit and reserves of production]. Kharkiv, No 5/7(25), p.p. 41-44.
- 13 Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznnyx dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmenenijami i dopolnenijami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm(nesamohodnuh) s Changes and additions]./ – M.: GosNIIV-VNIIZhT, 1996. – 356 s.
- 14 Konstruirovanie i raschet vagonov [Construction and calculation cars]/ Pod red. prof. Lukina V.V. / – M.: UMK MPS Rossii, 2000. – 731 s.