

УДК 629.4.077:621.1.016.7: 546.26

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ДИСКОВИХ ГАЛЬМ****Просвірова О.В.****METHOD TO IMPROVE OPERATIONAL CHARACTERISTICS  
AND ENERGY EFFICIENCY OF RAILWAY DISK BRAKES****Prosvirova O.**

*Розглядається проблема безпеки руху на залізничному транспорті. Оцінюється вплив роботи тертя елементів гальмівної системи на ефективність гальмування. Температура в зоні контакту колодки з диском або колодками робить істотний вплив на фрикційні елементи гальмування. Важливим фактором у досягненні максимальної потужності гальмування є контроль температури в контактній зоні. Проведено аналіз методів і конструкцій для відводу тепла від фрикційних елементів. Запропоновано технічні рішення для контролю температури в елементах тертя при гальмуванні. На основі аналізу розроблена інноваційна конструкція гальмівного диска. Використання запропонованої конструкції дозволяють літ зменшити знос тертьових поверхонь, значно спростити технологічний процес заміни гальмових дисків, зменшити ймовірність виникнення тріщин у глибині диска і підвищити надійність його роботи.*

**Ключові слова:** залізничний транспорт, гальмування, фрикційна взаємодія, дискове гальмо, енергоефективність.

**Вступ.** При гальмуванні, внаслідок сил тертя, місце контакту колеса з гальмівними колодками нагрівається, що негативно впливає на поверхню кочення колеса (температура в зоні контакту досягає 700 - 800<sup>0</sup>С). Встановлено, що теплові навантаження обернено пропорційні площі взаємодії поверхні колеса з колодкою. Температурні поля при значних градієнтах - неодмінне, непереможне фізичне явище перетворення механічної енергії в теплову. Це приведе до зміни в гіршу сторону як фрикційних властивостей, так і міцнісних у зв'язку зі структурними змінами в матеріалах. При тривалому впливі високих температур можливі появи термічних тріщин з виходом їх на зовнішню грань. У таких умовах тертя відбувається швидкий тепловий знос поверхонь гальмівних елементів. При цьому швидкість зносу визначається виникненням і розвитком високої температури в зоні тертя. Для гальмових дисків підвищення температури диска приводить до аксіального перекосу (екранування) диску, а температурна деформація в бли-

зько реберній області обов'язково викликає хвилястість або горбистість поверхні тертя диску, тим самим збільшуючи тиск на фрикційні накладки й створюючи локальні температурні плями на поверхні тертя диску [1].

Від стабільно працюючої гальмівної системи в значній мірі залежить безпека руху транспортного засобу. Температура в контактній зоні трибоелементів чинить значний вплив на гальмівну ефективність. При взаємодії гальмівних елементів значно зростає температура в зоні контакту, при тривалих гальмуваннях це призводить до підвищеного зносу і передчасного виникнення тріщин. Проведені в лабораторних умовах на машині тертя і стенді випробування показали, що в початковий момент часу з ростом температури в контактній зоні збільшується коефіцієнт тертя, проте при досягненні критичної температури, яка залежить від матеріалу, структури контактуючих тіл, температури навколишнього повітря та інших факторів, відбувається різке падіння коефіцієнта тертя, що негативно позначається на гальмівних властивостях рухомого складу. Для конструкторів і експлуатаційників стоїть завдання розробки нових конструкцій гальмівних елементів, які дозволяють управляти температурою в контактній зоні, підтримувати оптимальний коефіцієнт тертя, забезпечувати високу зносостійкість поверхонь тертя.

**Мета статті** – визначення ефективних методів підвищення експлуатаційних характеристик залізничних гальмових систем.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проблема забезпечення ефективності та безпеки гальмування рухомого складу загострюється зі зростанням швидкості руху залізничного транспорту в Україні та світі. Значне збільшення кінетичної енергії, яка при гальмуванні впливає на підвищення температури фрикційних елементів гальма, зумовлює необхідність розробки наукових основ прогнозування і ресурсозберігаючого управління високонавантаженим динамічним фрикційним контактом в ре-

жимах граничного стану, дослідження нових методів удосконалення гальмівних характеристик рухомого складу залізниць. Це зумовлює необхідність встановлення і розвиток фундаментальних залежностей для управління тертям для збільшення граничних значень гальмівного зусилля при циклічній стабілізації температури і силового навантаження.

Сучасні світові дослідження з підвищення ефективності фрикційної взаємодії складаються з робіт за наступними основними напрямками:

- математичне моделювання теплофізичних і механічних процесів в зоні фрикційного контакту в системі колесо-гальмо рейка, необхідне для аналізу існуючого та перспективного гальмового обладнання;

- оцінка надійності та технічних ризиків експлуатації гальмового обладнання;

- комп'ютерне моделювання теплофізичних і механічних процесів в зоні фрикційного контакту елементів гальма з використанням кінцево-елементних моделей та аналіз його результатів;

- дослідження з обчислювальної гідрогазодинаміки;

- експериментальні дослідження фрикційних процесів при циклічній стабілізації температури при високій швидкості;

- розробка інструментарію, спрямованого на керування фрикційними процесами, в тому числі для удосконалення гальмових пристроїв.

Автором пропонується декілька способів вирішення цієї задачі, один з яких полягає в тому, що при гальмуванні в зону контакту пари тертя вводиться активне газоподібне середовище [5]. Для цього конструкцію гальмівної колодки забезпечено вставками з газоутворюючих матеріалів – порофорів. При гальмуванні залізничного рухомого складу колодки притискаються до колеса або диску. Температура в трибопарі підвищується. Під дією температури в колодці починається процес термічного розкладання елементів колодки порофорів, що приводить до виділення з великою швидкістю значної кількості газових продуктів. Одним з основних продуктів розкладу є газ – азот, який взаємодіє з тонкими поверхневими шарами фрикційних вузлів. Це позитивно впливає на фрикційні властивості пари тертя – підвищує коефіцієнт зчеплення, різко змінює і стабілізує поверхню матеріалів, тим самим підвищуючи їх довговічність та зносостійкість.

Також проблема охолодження фрикційної пари, підвищення ефективності способу гальмування локомотива та обладнання для його здійснення може бути вирішена шляхом ефективного використання стисненого повітря [6], яке стравлюється з гальмівного циліндру, та сприяє охолодженню гальмових фрикційних поверхонь, віднесення продуктів фрикційного зносу від трибопари.

Для цього стиснене повітря з гальмівного циліндру через розподільник повітря та зворотний клапан стравлюється в сильфон, при наступному гальмуванні спрацьовує регульований клапан, який пов'язує гальмову колодку з сильфоном, за допомогою якого акумульоване повітря по гумовому трубопро-

воду через виконані в гальмівній колодці отвори та жолобоподібні канали подається в зону контакту фрикційних поверхонь, охолоджує його і відносить продукти зносу у довкілля.

До відомих недоліків конструкцій гальмівних дисків слід віднести:

- Складність заміни гальмівних дисків при використанні на залізничному транспорті. При осьовому розміщенні гальмівного диска необхідно демонтувати колісний центр, а після його заміни знову напрусувати на вісь колісної пари.

- Високі витрати на заміну гальмівного диска.

- Недостатнє охолодження поверхні контакту.

- Тріщини.

Для усунення цих недоліків та з урахуванням переваг відомих конструкцій дисків запропоновано інноваційну конструкцію гальмівного диска [3]. Суть конструкції полягає в виконанні диску в виді двох навивних пластин, одна з яких фрикційна, інша – тепловідвідна (Рис. 1). Гальмівний диск формується за рахунок накручування і закріплення цих пластин на вісь колісної пари. Смуга зовнішньої контактної пластини на зовнішній стороні має виступи для охолодження, на внутрішній стороні має пази для розміщення смуги внутрішньої тепловідвідної вставки. Між смугами зовнішньої контактної пластини утворюється вентиляційні канали для охолодження.

Смуга внутрішньої тепловідвідної вставки 7 виконана з матеріалу з більш високою теплопровідністю, ніж матеріал смуги зовнішньої контактної пластини 4.

Смуга зовнішньої контактної пластини 4 повинна бути виготовлена зі сталі з підвищеною стійкістю до зносу при терті металу по фрикційному матеріалу.

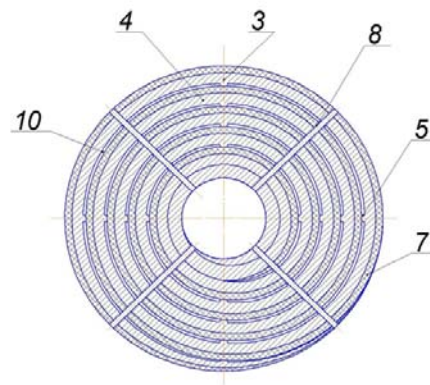


Рис. 1. Вид гальмівного диска в поздовжньому перерізі

Смуги можуть мати однакову ширину (рис. 2) або змінюватися від центру диска до його периферії (рис.3), це дозволить виконувати додаткове захоплення повітря у вентиляційні канали.

Перед навивкою смуг, в пази 6 смуги зовнішньої контактної пластини 4, вставляється смуга внутрішньої тепловідвідної вставки 7. Товщина смуги внутрішньої тепловідвідної вставки 7 більше глиби-

ни паза 6, а її ширина менш смуги зовнішньої контактної пластини 4. Це дозволяє забезпечити утворення вентиляційних каналів 10 в диску по всій його поверхні тертя. Кромки смуги зовнішньої контактної пластини 4 закруглені для зниження зносу пари тертя «гальмівний диск 3 - фрикційна накладка 2». В обох смугах виконані отвори 8 для кріплення до осі 9 колісної пари.

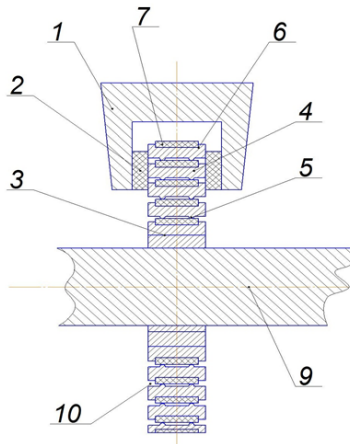


Рис. 2. Вид дискового гальмівного механізму в поперечному перерізі з однією шириною смуг

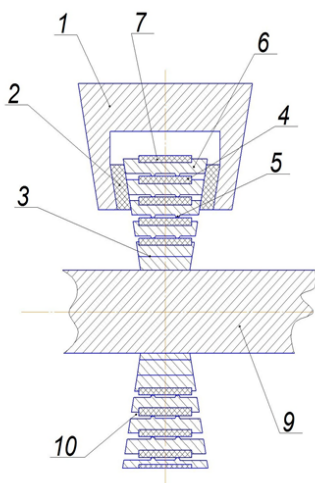


Рис. 3. Вид дискового гальмівного механізму в поперечному перерізі з шириною смуг, які змінюються від центру диска до периферії

Збірка гальмівного диска 3 здійснюється за допомогою навівки смуг на вісь 9 колісної пари. Після навівки гальмівний диск 3 закріплюється на осі 9 колісної пари. Виконується балансування гальмівного диска 3 для зменшення дисбалансу до прийнятного рівня.

Діаметр гальмівного диска 3, товщина обох смуг і ширина вентиляційних каналів залежать від співвідношення їх матеріалів, виду рухомого складу, умов експлуатації та швидкості руху поїздів.

При гальмуванні гальмівні колодки 1 притискаються до гальмівного диска 3. Тепловідведення із зони тертя здійснюється:

1. За рахунок біметалічної пари - наявність різниці в теплопровідних властивостях смуги зовнішньої контактної пластини 4 і смуги внутрішньої тепловідводної вставки 7 створює різницю в швидкостях передачі теплоти по цим двом елементам гальмівного диска 3. Смуга внутрішньої тепловідводної вставки 7 забезпечує більш швидку передачу теплоти через свій перетин, ніж смуга зовнішньої контактної пластини 4. В результаті на кордоні «смуга зовнішньої контактної пластини 4 - смуга внутрішньої тепловідводної вставки 7» виникає перепад температур. Менш нагріта поверхня смуги внутрішньої тепловідводної вставки 7 виконує функцію холодильника для відповідної поверхні смуги зовнішньої контактної пластини 4, прискорюючи відтік теплоти з її обсягу і, відповідно, із зони тертя.

2. За рахунок конвективного теплообміну – тепло, яке утворилося на поверхні смуг відноситься через вентиляційні канали 10.

Зниження температури розігріву поверхні тертя дозволяє зберегти протягом тривалішого часу вихідні значення коефіцієнту тертя, а, отже, і ефективність гальмування. Разом з цим, зниження температури нагріву сприяє збереженню механічних властивостей контактної поверхневого шару, підвищуючи тим самим його стійкість до зношування.

Прискорення відтоку теплоти із зони гальмування призводить до зниження температури розігріву смуги зовнішньої контактної пластини 4 гальмівного диска 3 в 1,5 - 2,0 рази в залежності від розмірів і матеріалу смуги внутрішньої тепловідводної вставки 7. В результаті підвищується ефективність гальмування і знижується знос контактної поверхні.

Використання навивної конструкції гальмівного диска дозволяє знизити ймовірність розподілу тріщин в глибину диска, таким чином підвищується надійність його експлуатації.

Використання запропонованої конструкції дозволить забезпечити додаткове охолодження поверхні гальмівного диска, знизити знос поверхонь тертя, підвищити стійкість до поширення тріщин в глибину диска, значно спростити технологічний процес заміни гальмівного диска, у зв'язку із тим, що не потрібно проводити демонтаж коліс.

**Висновки.** Питання ефективної системи гальмування є важливою частиною безпеки руху та ресурсозбереження при експлуатації рухомого складу. В статті розглянута проблема взаємодії гальмівних елементів. Представлені основні та перспективні методи стабілізації температури в трибоконтаті гальмівних елементів. Встановлено, що на сьогодні найбільш поширене методом стабілізації температури в контакті є використання дисків з вентиляційними каналами. Таке рішення ефективно при гальмуванні, але на вибігу приводить до опору руху транспортного засобу. Проведні дослідження впливу вентиляційних дисків на опір руху для різних потя-

гів показали, що в залежності від конструкції дисків, їх кількості в поїзді та швидкості руху втрата потужності поїзда складає від 1 % до 23 %. У зв'язку із чим, в статті запропонована конструкція диска з елементами з формою пам'яті, які дозволяють закривати та відкривати вентиляційні канали в залежності від температури диску і тим самим усунути явище самовентиляції. Наприкінці запропонований інноваційний гальмівний диск покращеної конструкції з урахуванням переваг існуючих конструкцій.

#### Л і т е р а т у р а

1. Горбунов М.І. Аналіз технічних рішень по підвищенню енергетичної спроможності елементів гальмових систем / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, О.В. Просвірова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: в 2 - х ч. Ч.1. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013 – № 18(207) – С. 57-61.
2. Топал А.С. Моделі та методи автоматизованої підтримки прийняття рішень щодо технологічної підготовки складального виробництва в літакобудуванні / А.С. Топал // Автореф. дис... канд. техн.: 05.13.06; Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського „ХАР”. Харків, 2006.
3. Горбунов М. Заявка на винахід № а201701575 від 20.02.2017, Дискове гальмо / Горбунов М., Герлічі, Я., Лак Т., Хаусер, В., Лоулова М., Харусинец Я., Кравченко К., Ноженко О., Просвірова О., Кравченко К, 2017.
4. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев // – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
5. Пат. 91595 Україна МПК (2014.01): F16D 69/00. Спосіб взаємодії гальмівної колодки із колесом залізничного транспортного засобу / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Ноженко В.С., Просвірова О.В.; заявник і власник СХУ ім. В.Даля. – опубл. 10.07.2014, бюл. № 13/2014.
6. Пат. 109064 Україна МПК (2015.01): B61H 1/00, F16D 65/04 (2006.01), F16J 3/00. Спосіб гальмування локомотива та система для його здійснення / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Просвірова О.В., Слюсарева Л.О.; заявник і власник СХУ ім. В.Даля. – опубл. 10.07.2015, бюл. № 13/2015.

#### R e f e r e n c e s

1. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Prosvirova O.V. Analiz tekhnichnykh rishen po pidvyschennyu enerhorozsiyuyuchoyi spromozhnosti elementiv halmovykh system [Analysis of technical solutions to improve energoresursu ability of braking systems] / Vestnik of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl: in 2 p. p. 1. No. 18(207). Lugansk, VDEUNU, 2013. P. 57-61.
2. Topal A.S. Modeli ta metodi avtomatizovanoi pidtrimki priynjattja rishen' shhodo tehnologichnoi pidgotovki skladalnogo virobnictva v litakobuduvanni / A.S. Topal // Avtoref. dis... kand. tehn.: 05.13.06; Nacional'nij aerokosmichnij universitet im. M.S. Zhukovskogo „HAR”. Harkiv, 2006.
3. Gorbunov, M., Gerlici, J., Lack, T., Hauser, V., Loulova, M., Harusinec, J., Kravchenko, K., Nozgenko, O., Prosvirova, O., Kravchenko, K. Application for invention № a 2017 01575 from 20.02.2017, Disc brakes (in ukr).
4. Batishhev D.I. Metody optimal'nogo proektirovaniya / D.I. Batishhev // – М.: Radio i svjaz', 1984. – 248 s.
5. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Nozhenko V.S., Prosvirova O.V. Sposib vzayemodiyi halmivnoyi kolodky iz kolesom zaliznychnoho transportnoho zasobu [The method

of interaction of the brake pads with the wheel of the rail vehicle] Patent UA, no. 91595, 2014.

6. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Prosvirova O.V., Slusareva L.A. Sposib halmuvannya lokomotyva ta systema dlya yoho zdiysnennya [The method of braking a locomotive and system for its implementation] Patent UA, no. 109064, 2015.

#### Просвірова О.В. Оценка методов повышения эксплуатационных характеристик железнодорожных тормозных систем.

*Рассмотрена проблема безопасности движения на железнодорожном транспорте. Оценивается влияние работы трения элементов тормозной системы на эффективность торможения. Температура в зоне контакта колодки с диском или колодками с колеса оказывает существенное влияние на фрикционные элементы тормоза. Важным фактором в достижении максимальной мощности торможения является контроль температуры в контакте. Проведен анализ методов и конструкций для отвода тепла от фрикционных элементов. Предложены технические решения для контроля температуры в элементах трения при торможении. На основе анализа разработана инновационная конструкция тормозного диска. Использование предлагаемой конструкции позволит уменьшить износ трущихся поверхностей, значительно упростит технологический процесс замены тормозных дисков, уменьшит вероятность возникновения трещин в глубине диска и повысит надежность его работы.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, торможение, фрикционное взаимодействие, дисковый тормоз, энергоэффективность.

#### Prosvirova O. Method to improve operational characteristics and energy efficiency of railway disk brakes.

*The problem of traffic safety on railway transport is discussed. The influence of the work of the friction elements of the braking system on braking performance is evaluated. The temperature in the contact of the pads with the disk or pads with the wheel has significant influence on the friction brake elements. Important factor in achieving maximum braking power is the control of the temperature in the contact. The analysis of methods and designs for heat dissipation from contact friction elements is carried out. The effect of disk brakes ventilation channels on the running resistance of the vehicle is considered. The technical solutions for temperature control in friction elements during braking are proposed. The innovative wound design brake disc is developed based on the analysis. Usage of the proposed design will reduce the wear of the friction surfaces, significantly simplify the technological process of replacing the brake disc, reduce the probability of cracks in the depth of the disk and increase the reliability of its operation.*

**Key words:** rail transport, braking, friction interaction, disc brake, energy efficiency.

**Просвірова О.В.** – старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк, Україна.

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 18.05.2017.