

Горбунов М.І., Просвірова О.В., Ковтанець М.В., Ковтанець Т.М.

АНАЛІЗ МЕТОДУ ТЕРМОЕНЕРГЕТИЧНОГО ГАЗОРОЗДІЛЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ ФРИКЦІЙНОГО КОНТАКТУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ГАЛЬМ

У статті систематизовано результати досліджень вихрового ефекту та надано оцінку можливості використання конструкцій вихрової труби з метою здійснення впливу на фрикційні властивості поверхонь тертя залізничних гальмівних елементів. Використання ефекту температурного розділення газу дозволить покращити умови взаємодії в фрикційній трибосистемі залізничних гальм. Переваги використання вихрового ефекту полягають у його екологічності та доступності для запровадження. В статті наводиться огляд конструкцій газороздільних трубок, зазначаються їх особливості. Відомі експериментальні дослідження дозволили створити напівемпіричні математичні моделі для розрахунку газороздільних трубок. Важливою проблемою трибопар є підтримання стабільного рівня коефіцієнта тертя. Знаний спосіб удосконалення характеристик фрикційної взаємодії в системі «накладка - диск» чи «колодка - колесо», який передбачає використання стислого повітря з гальмівної магістралі для охолодження трибологічного контакту, не забезпечує достатньо ефективний конвективний теплообмін, що зумовлено постачанням до контактуючих поверхонь стислого повітря, яке не було охолоджено. Температура в трибоконтакті збільшується у процесі гальмування, відповідно, потребує зниження для недопущення юзу та утворення пластичних деформацій. Авторами запропоновано використання ефекту термічного розділення газів для керування охолодженням поверхонь тертя. Під час гальмування для терморегулювання поверхонь у гальмівний контакт постачається холодна фракція повітря. Удосконалений метод поліпшення умов взаємодії фрикційних елементів дискового гальма, який було запропоновано, призведе до стабілізації коефіцієнта зчеплення поверхонь тертя фрикційних елементів, та відповідно забезпечить кращу безпеку руху залізничного транспорту та покращити його екологічність.

Ключові слова: гальмування, фрикційний контакт, охолодження, вихровий ефект, газорозділення.

Актуальність дослідження. Умови взаємодії фрикційних елементів дискового або колодкового гальма в значній мірі впливають на ефективність гальмування та безпека руху на залізничному транспорті [1-3].

Базуючись на виконаному аналізі провідних робіт по вивченню трибологічної взаємодії у гальмівній системі з'ясовано, що керування механічною частиною не забезпечує отримання стабільно високих значень зчеплення фрикційних сполучень. Не повною мірою дослідженою є проблема стабілізації коефіцієнта тертя залежно від температури. Експертне дослідження, проведене серед фахівців за обраною тематикою, і аналіз сучасного стану проблеми допомогли віднайти перспективні способи покращення фрикційних для стабілізації коефіцієнта тертя та зменшення опору руху. З обробки результатів експертного дослідження отримано, що найперспективніший метод впливу на властивості трибоконтакту є постачання повітря низької температури залежно від режиму руху. Ще одним чинником, що є важливим для недопущення юзу є обезбруднення та зниження температури контактуючих поверхонь колеса та рейки, так само, як і фрикційних елементів гальма.

Вихровий ефект має широке застосування у різних галузях промисловості. Вихрові трубки використовуються для охолодження ріжучих інструментів (токарних та фрезерних верстатів, як ручних, так і верстатів з ЧПУ) під час механічної обробки. Вихрова трубка добре підходить для цього застосування: машинні цехи, як правило, вже використовують стиснене повітря, а швидкий струмінь холодного повітря забезпечує як охолодження, так і видалення «стружки», виробленої інструментом. Це повністю виключає або різко зменшує потребу в рідкому теплоносії, який є брудним, дорогим та екологічно небезпечним.

Постановка проблеми. Використання ефекту температурного розділення газу дозволить покращити умови взаємодії в фрикційній трибосистемі залізничних гальм. Вихровий ефект виникає при закручуванні в циліндричній або конічній камері за умови, що потік газу в трубці проходить не тільки прямо, але і назад. На периферії утворюється закручений потік з більшою температурою, а з центру - в протилежну сторону виходить охолоджений потік. Температурне розділення відбувається шляхом теплопередачі від стисненого кумулятивним ефектом центрального джгута до незжатої периферії, має температуру як на вході. У міру руху до "гарячого" кінця периферія нагрівається від рухається їй назустріч стисненого гарячого центрального джгута, який в свою чергу навпаки остигає. Таким чином вихор, що утворюється в трубці, є тепловим насосом компресійного типу з протитечієм теплообмінником, здатним передати до 100% різниці температур. Тому для терморозділення необхідний не тільки прямий, а й зворотний хід.

Дослідження можливостей використання вихрового ефекту при керуванні фрикційними властивостями

поверхонь тертя гальмівного трибоконтакту має ґрунтуватися на аналізі сукупності досліджень, як теоретичних, так і експериментальних а також відомих конструктивних рішень.

Метою статті є аналіз можливостей використання вихрової трубки Ранка-Хілша для керування охолодженням фрикційного контакту залізничних гальм.

Викладення основного матеріалу дослідження. Сутність ефекту енергорозділення полягає в тому, що стиснений газ у закрученій течії поділяється на два потоки, один з яких виходить у вигляді охолодженого потоку з діафрагми, а другий – у вигляді гарячого потоку – з прохідного перетину дроселя. Схематична конструкція пристрою, за допомогою якого реалізується зазначений ефект, – вихрової трубки Ранка-Хілша, представлена на рис. 1.

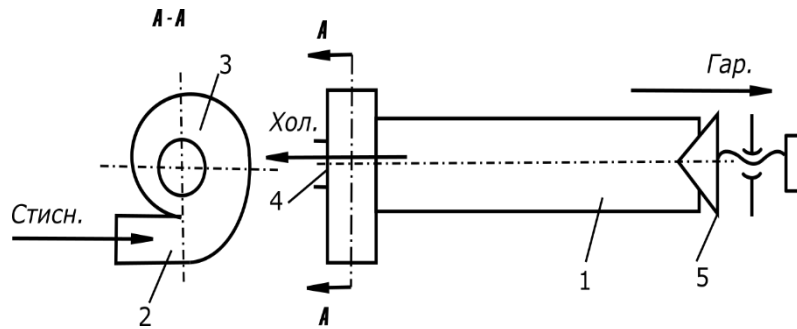


Рис.1. Схема вихрової трубки Ранка-Хілша:
1 – циліндрична труба, 2 – тангенціальне сопло, 3 – равлік,
4 – діафрагма з осьовим отвором, 5 - дросель

Розглянемо декілька найбільш значимих варіантів виконання газороздільних труб та їхні особливості.

Конструкції розрізняються, зокрема, формою сопла, через яке стиснене повітря подається в трубу, і розміром її вихрової камери, що вимірюється в калібрах.

Запропоновані Р. Хілшем [4] конструкції мають один сопловий вхід, у поперечному перетині якого круг, і прямокутний вхідний равлік. Таким чином у зріза сопла утворюється простір, що сприяє утворенню турбулентності.

В.С. Мартинівський і В.П. Алексєєв [5], пропонують спосіб усунення цієї проблеми, що полягає у використанні тангенційно-лоткового соплового входу. Така модель призвела до усунення зони турбулентності та покращення роботи газороздільника, однак вхід сопла став складнішим у виконанні. Найкраща довжина вихрової зони для подібних конструкцій становить 50 калібрів.

Конструкційна особливість виробу [6] має перетин соплового входу формі прямокутника, так само, як і вхідний равлік має подібну форму. В основі побудови равліка застосовується архімедова спіраль. Це сприяє усуванню зони турбулентності на зрізі сопла, зберігаючи конструктивне рішення неускладненим додатковими елементами. Ще одна відмінність полягає у зменшенні вихрової камери до 9 калібрів вздовж, що можливо отримати завдяки спрямлюючій хрестовині, яка має чотири лопаті, розташовується перед дроселем гарячого потоку і обмежує вихрову зону. Додавання зазначених відмінностей дозволило удосконалити вихрову трубку і зменшити її у розмірах.

Вихрова трубка Фултона [7] має 4 (або 6) конічних соплових входи і довжину циліндричної вихрової зони в 33 калібри.



Рис. 2. Загальний вигляд вихрової трубки

У своїй роботі Хілш ввів величини і критерії, які є і в даний час основними для побудови характеристик вихрової труби.

Якщо повні температуру і тиск у поступаючого в сопло стисненого газу позначити через T_1^* і p_1^* , холодного потоку через T_x^* і p_x^* , а у гарячого потоку - через T_2^* і p_2^* , то ефект охолодження холодного потоку можна виразити так:

$$\Delta t_x = T_1^* - T_x^* \quad (1)$$

а ефект підігріву гарячого потоку

$$\Delta t_2 = T_2^* - T_1^* \quad (2)$$

При загальній секундній ваговій витраті стисненого повітря G , витраті холодного потоку G_x і гарячого потоку G_2 відносна вагова витрата μ (або вагова частка) холодного потоку складе

$$\mu = G_x / G \quad (3)$$

а відносна вагова витрата гарячого потоку визначається в рівнянні витрати

$$G = G_x + G_2 \quad (4)$$

звідки після ділення на G отримуємо:

$$\frac{G_2}{G} = 1 - \mu \quad (5)$$

Починаючи з Хілша характеристики вихрової труби будувалися у вигляді $\Delta t_x = f(\mu)$.

На рис. 3 представлений типовий вигляд характеристик теплоізолюваної вихрової труби при заданих розмірах, параметрах T_1^* і p_1^* , на вході і тиску p_x^* в холодному потоці.

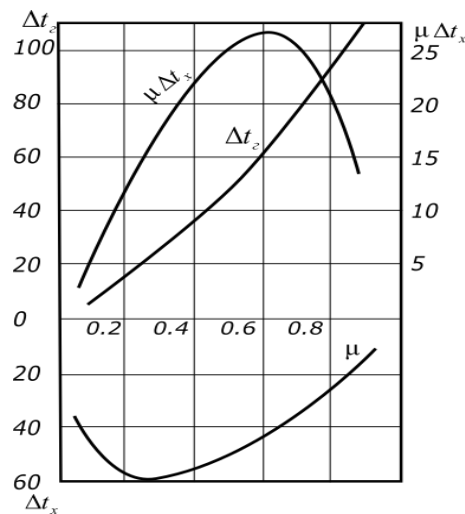


Рис. 3. Характеристика теплоізолюваної вихрової труби

Як видно з характеристик, зі зростанням від нуля вагової частки холодного потоку різко збільшується ефект його охолодження і досягає максимуму при $\mu \approx 0,25$. При подальшому збільшенні μ ефект охолодження зменшується і зникає при $\mu = 1$, тобто тоді, коли дросель гарячого кінця труби повністю закритий і весь потік виходить через отвір діафрагми.

Підігрів гарячого потоку, зростаючи із зростанням μ , досягає максимального значення при μ , близькому до 1, а потім різко падає до нуля при наближенні μ до одиниці.

Якщо відомий ефект охолодження Δt_x холодного потоку, то неважко підрахувати ефект підігріву Δt_2 гарячого потоку, так як при відсутності теплообміну з навколишнім середовищем енергія, яка виходить з вихрової труби потік дорівнює енергії вхідного потоку.

Використання ефекту термічного розділення газів для керування охолодженням поверхонь тертя запропоновано у [8, 9]. Метод полягає у постачанні холодної фракції повітря під час гальмування для терморегулювання поверхонь у гальмівний контакт. Удосконалений метод поліпшення умов взаємодії фрикційних елементів дискового гальма дозволить стабілізувати коефіцієнт зчеплення поверхонь тертя фрикційних елементів.

Висновки. Використання ефекту енерго розділення є перспективним напрямом поліпшення ефективності взаємодії поверхонь тертя залізничних гальм. Вибір оптимальних конструкцій і геометричних параметрів вихрових труб здійснюється за допомогою проведення фізичних експериментів. Поряд з фізичними експериментами вибір оптимальних геометричних параметрів може здійснюватися за допомогою математичного моделювання в сучасних пакетах обчислювальної гідродинаміки. Авторами запропоновано використання ефекту термічного розділення газів для керування охолодженням поверхонь тертя. Під час гальмування для терморегулювання поверхонь у гальмівний контакт постачається холодна фракція повітря. Удосконалений метод поліпшення умов взаємодії фрикційних елементів дискового гальма, який було запропоновано, призведе до стабілізації коефіцієнта зчеплення поверхонь тертя фрикційних елементів, та відповідно забезпечити кращу безпеку руху залізничного транспорту та покращити його екологічність.

Подяка. Дослідження проводилося в рамках виконання технічного завдання науково-дослідної роботи ДН-01-20 «Теорія та практика системного підходу створення новітнього рухомого складу залізниць мультифункціональним управлінням термомеханічною навантаженістю «колесо-колодка-рейка» для

підвищення безпеки, енерго- та ресурсозаощадження» (№ державної реєстрації 0120U102220).

Література

1. Перспективні напрями досліджень з удосконалення залізничного гальмівного обладнання / Горбунов М.І., Просвірова О.В., Кравченко К.О., Ковтанець М.В. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: СНУ ім. В. Даля. № 1 (225) Северодонецьк. 2016. С. 44 – 49.
2. Gorbunov N., Prosvirova O., Kravchenko E.. Analysis of railway vehicle braking and assessment of technical solutions efficiency using risk-based methods for technical systems. // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Poland 2014, Lublin – Lugansk. Vol. 14, No. 1, p. 73 - 85.
3. Новий підхід до теплової динаміки тертя фрикційних вузлів гальмівних пристроїв (частина 5) / О.І. Вольченко, М.В. Кіндрачук, Д.О. Вольченко [та ін.] // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. К.:НАУ, Вип. 57. Київ. 2012.С. 34–47.
4. Hilsch R., Die Expansion von Gasen in Zentrifugalfeld als Aelterprozess, Zeitschrift fur Naturforschung, Jan., 1946.
5. Мартыновский В. С., Алексеев В. П., Вихревой эффект охлаждения и его применение, Холодильная техника, 1953, № 3.
6. Меркулов А. П. Характеристики и расчет вихревого холодильника, Холодильная техника, 1958, № 3.
7. Fröhlingdorf W., Unger H. Numerical investigations of the compressible flow and the energy separation in the Ranque-Hilsch vortex tube // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1999. – Vol. 42, iss. 3. – P. 415–422.
8. Experimental study of brake frictional contact properties under the impact of local cooling and surfaces cleaning / Gorbunov, M., Prosvirova, O., Kovtanets, M., Steišūnas, S., Fomin, O. // Transport Means - Proceedings of the International Conference. 2019
9. The innovative design of rolling stock brake elements / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko [et alii] // COMMUNICATIONS. VOLUME 19 2A/2017. P. 23-28.

References

1. Perspective directions of researches on improvement of the railway brake equipment / Gorbunov MI, Prosvirova OV, Kravchenko KO, Kovtanets MV // Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University: SNU named after V. Dahl. № 1 (225) Severodonetsk. 2016. S. 44 - 49.
2. Gorbunov N., Prosvirova O., Kravchenko E.. Analysis of railway vehicle braking and assessment of technical solutions efficiency using risk-based methods for technical systems. // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Poland 2014, Lublin – Lugansk. Vol. 14, No. 1, p. 73 - 85.
3. A new approach to the thermal dynamics of friction of friction units of brake devices (part 5) / O.I. Вольченко, М.В. Кіндрачук, Д.О. Волченко [etc.] // Problems of friction and wear: scientific and technical. zb. K.: NAU, Vip. 57. Kyiv. 2012.S. 34–47.
4. Hilsch R., Die Expansion von Gasen in Zentrifugalfeld als Aelterprozess, Zeitschrift fur Naturforschung, Jan., 1946.
5. Martynovsky V.S., Alekseev V.P., Vortex cooling effect and its application, Refrigeration, 1953, № 3.
6. Merkulov A.P. Characteristics and calculation of a vortex refrigerator, Refrigeration, 1958, № 3.
7. Fröhlingdorf W., Unger H. Numerical investigations of the compressible flow and the energy separation in the Ranque-Hilsch vortex tube // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1999. – Vol. 42, iss. 3. – P. 415–422.
8. Experimental study of brake frictional contact properties under the impact of local cooling and surfaces cleaning / Gorbunov, M., Prosvirova, O., Kovtanets, M., Steišūnas, S., Fomin, O. // Transport Means - Proceedings of the International Conference. 2019
9. The innovative design of rolling stock brake elements / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko [et alii] // COMMUNICATIONS. VOLUME 19 2A/2017. P. 23-28.

The article systematizes the results of vortex effect studies and evaluates the possibility of using vortex tube structures in order to influence the frictional properties of the friction surfaces of railway brake elements. Using the effect of temperature separation of the gas will improve the interaction conditions in the friction tribosystem of railway brakes. The advantages of using the vortex effect are its environmental friendliness and availability for implementation. The article provides an overview of the designs of gas separation tubes, their features are noted. Known experimental studies have made it possible to create semi-empirical mathematical models for the calculation of gas separation tubes. An important problem of tribopairs is the maintenance of a stable level of coefficient of friction. The known method of improving the characteristics of frictional interaction in the system "pad - disk" or "pad - wheel", which involves the use of compressed air from the brake line to cool the tribological contact, does not provide efficient convective heat transfer due to the supply to the contact surfaces of compressed air. was not cooled. The temperature in the tribocontact increases during braking, respectively, needs to be reduced to prevent use and the formation of plastic deformations. The authors propose to use the effect of thermal separation of gases to control the cooling of friction surfaces. During braking, a cold fraction of air is supplied to the brake contact for thermoregulation of the surfaces. The improved method of improving the interaction conditions of the friction elements of the disc brake, which was proposed, will stabilize the coefficient of

adhesion of the friction surfaces of the friction elements, and accordingly ensure better safety of railway transport and improve its environmental friendliness.

Key words: *braking, frictional contact, cooling, vortex effect, gas separation.*

В статье систематизированы результаты исследований вихревого эффекта и дана оценка возможности использования конструкций вихревой трубы с целью оказания влияния на фрикционные свойства поверхностей трения железнодорожных тормозных элементов. Использование эффекта температурного разделения газа позволит улучшить условия взаимодействия в фрикционной трибосистеме железнодорожных тормозов. Преимущества использования вихревого эффекта заключаются в его экологичности и доступности для внедрения. В статье приводится обзор конструкций газоразделительных трубок, указываются их особенности. Проведенные экспериментальные исследования позволили создать полуэмпирические математические модели для расчета газоразделительных трубок. Важной проблемой трибопар является поддержание стабильного уровня коэффициента трения. Известный способ усовершенствования характеристик фрикционной взаимодействия в системе «накладка - диск» или «колодка - колесо», который предусматривает использование сжатого воздуха из тормозной магистрали для охлаждения трибологического контакта, не обеспечивает достаточно эффективный конвективный теплообмен, что обусловлено поставкой в контактирующих поверхностях сжатого воздуха, который не был охлажден. Температура в трибоконтате увеличивается в процессе торможения, соответственно, требует снижения для недопущения юза и образования пластических деформаций. Авторами предложено использование эффекта термического разделения газов для управления охлаждением поверхностей трения. Во время торможения для терморегулирования поверхностей в тормозной контакт поставляется холодная фракция воздуха. Усовершенствованный метод улучшения условий взаимодействия фрикционных элементов дискового тормоза, который был предложен, приведет к стабилизации коэффициента сцепления поверхностей трения фрикционных элементов, и соответственно обеспечит безопасность движения железнодорожного транспорта и улучшит экологичность.

Ключевые слова: *торможение, фрикционный контакт, охлаждения, вихревой эффект, газоразделение.*

Горбунов М.І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Просвірова О.В. – к.т.н., докторант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Ковтанець М.В. – к.т.н., доц., доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Ковтанець Т.М. – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.