

УДК 629.4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕТОДІВ І РЕЖИМІВ ОХОЛОДЖЕННЯ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ І ТЕМПЕРАТУРУ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ

Горбунов М.І., Просвірова О.В., Ковтанець М.В., Кравченко К.О.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF METHODS AND MODES OF COOLING ON THE COEFFICIENT OF FRICTION AND TEMPERATURE OF CONTACTING SURFACES

Gorbunov M., Prosvirova O., Kovtanets M., Kravchenko K.

*Проведена експериментальна оцінка впливу охолодження фрикційних поверхонь на коефіцієнт тертя і температуру контактуючих поверхонь при різних методах і режимах охолодження. Дослідження процесу гальмування проводилися на лабораторному гальмівному стенді, призначеному для випробування різних конструкцій гальмових пристроїв і контролю їхніх вихідних параметрів. Експериментальним дослідженням встановлено, що математична модель теплофізичних характеристик дискового гальма, яка враховує систему адаптивного охолодження, забезпечує задовільний відповідність результатів розрахунків з експериментальними даними, розбіжність не перевищує 12%. Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок про позитивний вплив адаптивного охолодження фрикційних поверхонь на стабілізацію коефіцієнта зчеплення. Так, коефіцієнт тертя при використанні даної системи на 15-30% більше, а температура поверхонь, при цьому нижче в середньому на 20-30%, в залежності від продуктивності та температури охолоджуючого повітря, ніж без її використання. **Ключові слова:** фрикційний контакт, експериментальне дослідження, машина тертя, дискове гальмо.*

Вступ. Ефективність гальмівних засобів є однією з найважливіших умов, які визначають можливість підвищення ваги та швидкості руху поїздів, пропускну і провізної спроможності залізних доріг та безпеку руху. Експлуатований рухомий склад застосовує відомі конструкції колодкового та дискового гальма, обмежені їх зносо-фрикційними характеристиками та границями допустимого нагріву.

Для підвищення ефективності гальмування рейкового рухомого складу необхідно створити гальмівними пристроями достатню гальмівну потужність і забезпечити стійке зчеплення коліс із рейками та фрикційних елементів гальм.

Аналіз проблеми. На підставі проведеного аналізу теоретичних і експериментальних до-

сліджень фрикційного контакту встановлено, що управління механічною складовою недостатньо для досягнення стабільно високих зчепних якостей трибологічних вузлів. Недостатньо вивченим є питання впливу температури на стабілізацію коефіцієнта тертя.

Встановлено, що при досягненні температури в металевому контакті від 200 до 400 °С змінюються міцнісні властивості поверхневого шару. Тому пропонується управління зчепленням трибологічної системи «диск-накладка» та «колесо-колодка-рейка» за рахунок керування і контролю локально-механічної температурної складової в залежності від фрикційних умов контакту.

Мета роботи. Метою роботи є висвітлення експериментальних досліджень процесу гальмування.

Викладення основного матеріалу дослідження. Експериментальні дослідження процесу гальмування проводилися за допомогою лабораторного гальмівного стенда, розробленого кафедрою підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля [1]. Стенд призначений для випробування різних конструкцій гальмових пристроїв і контролю їхніх вихідних параметрів.

Загальний вигляд стенда та його принципова схема показані на рисунках 1 і 2.

Гальмо 1 (рис. 2) встановлено на хиткій рамі 2 і за допомогою пружних муфт 3 з'єднаний з приводним електродвигателем 4 і обертовою масою 5, яка складається з 18 дисків і дозволяє змінювати момент інерції від 2 до 60 кг м² приєднанням до валу або від'єднанням від нього дисків махової маси. Рама 2 і обертається маса 5 спирається на підшипники кочення, укріплені на стійках. Стенд дозволяє варіювати момент інерції за допомогою обертових дисків,

частоту обертання, тривалість роботи приводу і реєструвати такі вихідні параметри гальма і приводу, як гальмівний момент, зусилля в тязі, час розмикання гальма і розгону приводу, час спрацьовування і гальмування гальма, частота обертання приводу, температура поверхонь тертя.

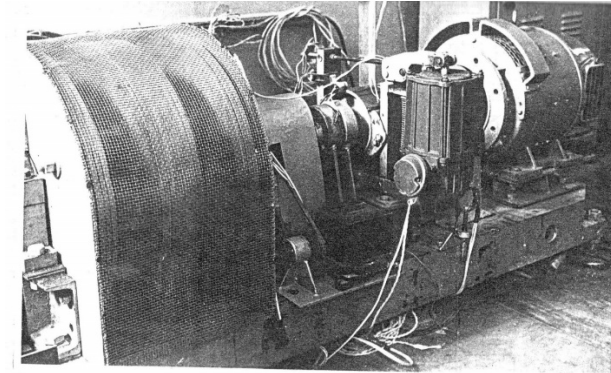


Рис. 1. Загальний вигляд станда

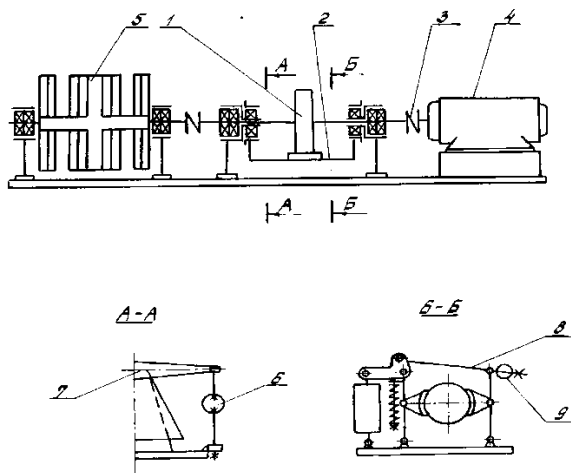


Рис. 2. Схема принципової конструкції станда

Гальмівний момент, створюваний гальмом, вимірюється за допомогою динамометричних кілець 6 (рис. 2, А-А), з'єднаних сферичними шарнірами з підставою. Коромисло 7 жорстко закріплено на хиткій рамі 2. На динамометричних кільцях наклеєні тензорезистори, з'єднані по полумостової схемою. Електричні сигнали з тензорезисторів посилюються підсилювачем 8АНЧ-7М і реєструються світлопроменевим шлейфовим осциллографом типу Н-117.

Зусилля в тязі, яка пропорційна гальмівному моменту, вимірюється за допомогою датчика 9, виконаного у вигляді динамометричного кільця з наклеєними тензорезисторами і встановленого на тязі гальма (рис. 2. Б-Б). Електричні сигнали з датчика надходять на підсилювач, а потім на реєструючий прилад, який представляє собою аналогово-цифровий перетворювач типу В7-35.

Час розмикання і розгону, час спрацьовування і гальмування вимірюються і реєструються приладом для контролю вихідних параметрів гальм, який включає в себе генератор імпульсів, лічильник імпульсів і комплект датчиків. Час розмикання відраховується з моменту подачі живлення на привід гальма до моменту відходу колодок, з встановленим на одній з них датчиком контакту від гальмівного шківів. Час розгону приводу відраховується з моменту подачі напруження на привід (М) до моменту досягнення ним номінальної частоти обертання. Частота обертання валу приводу знімається тахогенератором постійного струму типу ТГП-5. Час спрацьовування гальма вимірюється з моменту відключення живлення від приводу гальма до моменту першого контакту колодок з гальмівним шківом, на одній з яких встановлено датчик контакту (ДК). Датчик контакту при торканні колодками поверхні гальмівного шківів відключає генератор імпульсів від лічильника імпульсів. Час гальмування вимірюється з моменту закінчення реєстрації часу спрацьовування до моменту повної зупинки гальмівного шківів, що контролюється величиною напруги на виході тахогенератора ТГП-5.

Частота обертання приводу (М) вимірюється тахогенератором постійного струму ТГ-1 типу ТМГ-38. Для візуального спостереження за частотою обертання валу махової маси (ММ) використовується тахогенератор ТГ-2 типу Д1-ММ з вимірювальним приладом (П) типу ТМ і ЗП. Вал обертових мас з валами тахогенераторів з'єднаний ременною передачею.

Температура поверхонь тертя гальма вимірюється за допомогою датчика-термопари. Застосована хромель-копелеві термопара, розрахована на нагрівання до 600 °С. Конструктивно термопара виконана у вигляді порцелянового циліндра, через отвори якого пропущені електроди термопари. Термопара встановлена в тілі колодки гальма і зафіксована гвинтом. Як реєструючого приладу використаний універсальний прилад типу В7-35.

Конструкція станда доповнюється компресором і вихровою трубою, конструкція якої заснована на ефекті Ранка-Хілша (рис. 3, 4).



Рис. 3. Вихрова трубка



Рис. 4. Вимірвальна апаратура. Пірометр, анемометр

За допомогою компресора здійснюється подача повітря в трубу, в якій відбувається температурне розділення на холодний і гарячий повітря, які відводяться з різних отворів. Охолоджене повітря подається в область фрикційного контакту.

Завдання дослідження - експериментально показати залежність коефіцієнта тертя і температури в контакті «гальмівний диск - накладка» від фактора подачі охолодженого повітря у фрикційний контакт під час процесу гальмування.

Усі значення експериментальних величин, отриманих у паралельних дослідах, перевірені на відсутність помилок за допомогою критерію Стюдента [2, 3]. Результати експериментів представлені на рис. 5, 6.

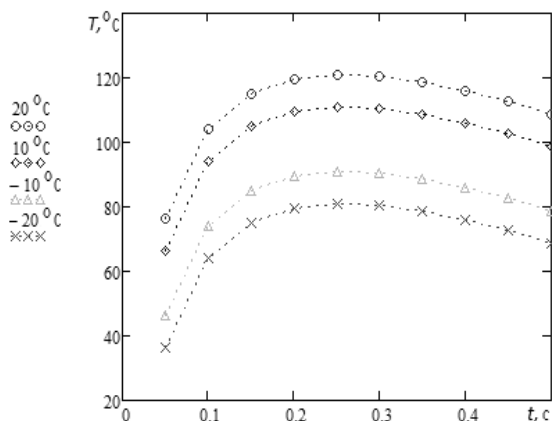


Рис. 5. Середня температура фрикційних поверхонь в процесі гальмування; зусилля притиску однієї гальмової колодки складає 1500 Н

На кафедрі залізничного транспорту СХУ ім. В. Даля спроектований досліджувано-вимірвальний комплекс для дослідження тягово-зчіпних якостей локомотива (ДВК) [4, 5], що дозволяє досліджувати реалізацію сили зчеплення при розгоні, буксуванні і юзі в прямих і кривих ділянках шляху. При цьому задаються: динамічні вертикальні й горизонтальні зусилля в контакті, поперечного зсуву колеса щодо рейки, кут набігання, коливання крутного моменту приводу, фрикційний стан контакту колеса з рейкою. З використанням ДВК можливе моделювання верти-

кальних коливаний рейкового шляху, зміна характеристик підрейкової основи, поперечні коливання рейки, осідання рейкової нитки у вертикальній площині.

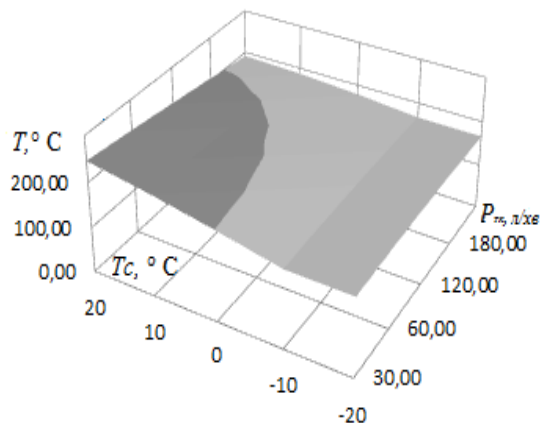


Рис. 6. Залежність контактної температури від продуктивності та температури локального охолодження; зусилля притиску однієї гальмової колодки складає 1500 Н

На базі стендової установки «Машина тертя», розробленої на кафедрі залізничного транспорту СХУ ім. В. Даля, створена автоматизована вимірально-моделююча установка (АВМУ) для дослідження фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» [6-8], що дозволяє вирішувати наступні завдання:

- визначати коефіцієнт тертя колеса з рейкою в умовах реальних забруднень (дощ, масло, дизельне паливо);
- оцінювати вплив активації поверхонь на реалізований коефіцієнт тертя (вплив електричного струму, струмино-абразивна обробка, подача озонованого повітря, подача мастильного матеріалу);
- автоматично моделювати із застосуванням мікроконтролерів, процеси набору крутного моменту для зриву в боксування;
- визначати коефіцієнт тертя в режимі чистого тертя ковзання (юза) контактуючих поверхонь, при цьому реалізується режим кочення з ковзанням;
- одержувати залежності коефіцієнта тертя ковзання від питомого тиску, швидкості ковзання, температури й інших факторів.

Перевагою створеної автоматизованої вимірально-моделюючої установки є:

- простота керування фрикційними умовами контактування, шляхом контрольованої подачі в контакт досліджуваних речовин;
- можливість моделювання тяги, гальмування, боксування і юза;
- наявність програмного комплексу, що дозволяє за експериментальними даними одержувати характеристику зчеплення.

Представлена АВМУ для дослідження фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» і методика проведення досліджень дозволяє експериментальним шляхом вивчати вплив різних забруднень

(дош, масло, дизельне паливо) на коефіцієнт тертя, а також оцінювати ефективність різних способів підвищення коефіцієнта зчеплення (вплив електричного струму, струмино-абразивна обробка, подача озонowanego повітря).

Орієнтація робочого ролика здійснюється переміщенням сегментів по напрямній, поворотом важелів щодо сегментів і переміщенням поперечини по напрямних важелів. Крутний момент від двигуна, розташованого на площадці, через кутовий редуктор, карданний вал, вісь - передається робочому ролику.

Завдяки навантаженню робочого ролика вертикальним зусиллям, відбувається його зчеплення з рейкою. Під дією обертаючого моменту й завдяки тому, що рама візка кріпиться до рейки за допомогою системи важелів і роликів, з можливістю лінійного переміщення уздовж її осі, візок починає рухатися по рейці.

Висновки. Експериментальним дослідженням встановлено, що математична модель теплофізичних характеристик дискового гальма, яка враховує систему адаптивного охолодження, забезпечує задовільний відповідність результатів розрахунків з експериментальними даними, розбіжність не перевищує 12%.

Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок про позитивний вплив адаптивного охолодження фрикційних поверхонь на стабілізацію коефіцієнта зчеплення. Так, коефіцієнт тертя при використанні даної системи на 15-30% більше, а температура поверхонь, при цьому нижче в середньому на 20-30%, в залежності від продуктивності та температури охолоджуючого повітря, ніж без її використання.

За результатами отриманих експериментальних значень побудовані залежності коефіцієнта тертя від температури та відносної швидкості ковзання в контакт при різному фрикційному стані поверхні рейки. Ефект стабілізації коефіцієнта тертя охолодженням фрикційних поверхонь гальма становить до 25%. Потужність охолодження при використанні вихрового ефекту залежить від об'єму холодної фракції і продуктивності постачання повітря.

Л и т е р а т у р а

1. Бойко Г.А., Будилов Л.Я. Стенд для диагностирования тормозов кранов. В сб. Подъемно – транспортное оборудование. ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, No 6–88–39, М.1988. 4 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Наука, М.1976. 255 с.
3. Комп'ютерна програма «Планування експерименту при підвищенні зчеплення в системі «колесо-рейка» шляхом впливу комбінованого двофазного струмінно-абразивного потоку» свідоцтво №43748 Україна опубл. 15.05.2012.

4. Стенд для дослідження плями контакту в системі «колесо-рейка»: пат. №7108U Бюл. №6, 2005.
5. Стенд для дослідження зчеплення колеса з рейкою та випробування елементів буксового ресорного підвищення: пат. 82903 Україна; № 201214566 заявл. 19.12.201; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. 3 С.
6. Машина тертя для визначення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка»: пат. 65999 Україна. опубл. 26.12.2011. Бюл. № 24 3 С.
7. Автоматизированная измерительно-моделирующая стендовая установка «машина трения» для исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» /А.И. Костюкевич, Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко [та ін.] // Сб. научных трудов X Междун. конф. «ТРИБОЛОГИЯ и НАДЕЖНОСТЬ» (27–30 октября 2010 г., Санкт-Петербург, Россия) Санкт-Петербург. 2010. С. 165 – 174.
8. Комп'ютерна програма «VDEUNU CONTACT» свідоцтво №49477 Україна опубл. 02.09.2013.
9. Машина тертя для вивчення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» : пат. 115547 Україна; № 201609295 заявл. 06.09.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 6 С.

References

1. Boyko G.A., Budykov L.Ya. Stand for diagnostics of crane brakes. In sat Podemno - transport equipment. TsNIITETYAJMASH, No. 6-88-39, M.1988. 4 с.
2. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. Planning an experiment in search of optimal conditions. Science, M.1976. 255 s.
3. Computer program "Experiment planning in case of increased coupling in the" wheel-rail system "by the influence of combined two-phase jet-abrasive flow" certificate №43748 Ukraine was published. May 15, 2012
4. Stand for the study of the contact spot in the wheel-rail system: p. №7108U BUL. No. 6, 2005.
5. A bench for researching a wheel-clutch with a rail and testing of elements of a box-shaped spring suspension: Pat. 82903 Ukraine; No. 201214566 application. 19.12.2013; published Aug 27, 2013, Bul. No. 16. 3 S.
6. Friction machine for determining the frictional properties of the wheel-rail contact: Pate. 65999 Ukraine. published 26.12.2011. Bul. No. 24 3 S.
7. Automated measuring and modeling bench unit "friction machine" for research of friction properties of contact "wheel-rail" / А.И. Kostyukevich, N.I. Gorbunov, E.A. Kravchenko [and others] // Sb. scientific papers X International. conf. "TRIBOLOGY AND RELIABILITY" (October 27-30, 2010, St. Petersburg, Russia) St. Petersburg. 2010. 165 - 174.
8. Computer program «VDEUNU CONTACT» certificate №49477 Ukraine published. 02.09.2013.
9. Friction machine for studying the frictional properties of the wheel-rail contact: Pate. 115547 Ukraine; No. 201609295 Statement. 09/06/2016; published Apr 25, 2017, Bul. No. 8. 6 S.

Горбунов Н., Просвірова О.В., Ковтанец М.В., Кравченко Е.А. Экспериментальная оценка влияния методов и режимов охлаждения на коэффициент трения и температуру контактирующих поверхностей.

Проведена экспериментальная оценка влияния охлаждения фрикционных поверхностей на коэффициент трения и температуру контактирующих поверхностей при различных методах и режимах охлаждения. Исследование процесса торможения проводилось на лабораторном тормозном стенде, предназначенном для испытания различных конструкций тормозных устройств и контроля их выходных параметров. Экспериментальным исследованием установлено, что математическая модель тепловых характеристик дискового тормоза, которая учитывает систему адаптивного охлаждения, обеспечивает удовлетворительное соответствие результатов расчетов с экспериментальными данными, расхождение не превышает 12%. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о положительном влиянии адаптивного охлаждения фрикционных поверхностей на стабилизацию коэффициента сцепления. Так, коэффициент трения при использовании данной системы на 15-30% больше, а температура поверхностей, при этом ниже в среднем на 20-30%, в зависимости от производительности и температуры охлаждающего воздуха, чем без ее использования.

Ключевые слова: фрикционный контакт, экспериментальное исследование, машина трения, дисковый тормоз.

Gorbunov M., Prosvirova O., Kovtanets M., Kravchenko K. Experimental evaluation of the influence of methods and modes of cooling on the coefficient of friction and temperature of contacting surfaces.

Experimental estimation of the influence of cooling of friction surfaces on the coefficient of friction and temperature of contacting surfaces under different methods and modes of cooling is carried out. Investigations of the braking process were carried out on a laboratory brake stand designed to test various designs of brake devices and control their output parameters. Experimental research has established that the mathematical model of thermophysical characteristics of the disk brake, which takes into account the system of adaptive cooling, ensures satisfactory conformity of the results of calculations with the experimental data, the difference does not exceed 12%. The analysis of the experimental data obtained allows us to conclude that the positive effect of adaptive cooling of the friction surfaces on the stabilization of the coefficient of adhesion. So, the coefficient of friction with the use of this system is 15-30% more, and the temperature of the surfaces, while lower on average by 20-30%, depending on the performance and temperature of the cooling air, than without its use.

Keywords: frictional contact, experimental research, friction machine, disk brake.

Горбунов М.І. – д.т.н., проф., кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Просвірова О.В. – к.т.н., кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Ковтанець М.В. – к.т.н., кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Кравченко К.О. – к.т.н., доцент, кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 10.04.2019