УДК 621.8 DOI: 10.18372/0370-2197.3(112).21628

О. М. СЕМЕНІЙ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ВПЛИВ ВОЛОГИ НА ТРИБОДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ ГАЛЬМОВИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЇЇ ЛОКАЛЬНЕ ВИДАЛЕННЯ З ЇХ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ

В матеріалах статті показано вплив вологи на трибодинамічні параметри фрикційних вузлів гальмівних пристроїв. Встановлено термостабілізаційний стан обода барабана гальма, який необхідно враховувати при теплових розрахунках пар тертя поряд із допустимою температурою для матеріалів фрикційної накладки. Запропоновано пристрій для примусового видалення вологи з поверхонь пар тертя барабанно-колодкових гальм, що виконує функції обмежувача для вищезазначених теплових явищ. Теоретичні та експериментальні дослідження впливу вологи на трибодинамічні параметри пар тертя гальм при її локальному видаленні з міжконтатного середовища дозволили встановити та запропонувати: при експлуатації пар тертя барабанно-колодкового гальма в інтервалі поверхневих температур нижче допустимої вирішальна роль відводиться процесам теплопровідності його металевим елементам при недостатній ефективності конвективного та радіаційного теплообміну; при експлуатації пар тертя барабанно-колодкового гальма в інтервалі поверхневих температур вище за допустиму відбувається локальні ендотермічні реакції, що викликають деструкції поверхневих шарів полімерних накладок, що сприяють інтенсифікації конвективного та радіаційного теплообміну, але зниженню ефективності теплопровідності; пристрій для видалення вологи з полірованої поверхні металевого елемента за рахунок електроосматичного ефекту, запобігаючи водневому зносу.

Ключові слова: *барабанно-колодкове гальмо, елементи тертя, макровиступи пар тертя, плями контактів, процеси теплообміну, локальне видалення вологи.*

Вступ. Ефективність дії барабанно-колодкових гальм транспортних засобів залежить від того, скільки вологи потрапляє на поверхні їх пар тертя.

У парах тертя «м'яке залізо - м'яке залізо» при навантаженні p = 1,0 МПа зі збільшенням відносної вологості повітря в міжконтактній зоні збільшується і величина питомого зносу її елементів. У цьому випадку продуктом зносу є металевий порошок, який сприяє розвитку процесу схоплювання. При зменшенні питомих навантажень до $p = 5 \cdot 10^4$ Па залежність питомого зносу від збільшеної питомої вологості повітря у міжконтактній зоні знос пари тертя зменшується.

Зупинимося на роботах, присвячених впливу вологості повітря на експлуатаційні параметри пар тертя, що випробовуються.

Аналіз літературних джерел та стан проблеми. Виконані дослідження [1-4] свідчать, що зі збільшенням відносної вологості повітря в парах тертя спостерігається збільшення зносу їх робочих поверхонь, викликаного зростанням моменту тертя. Крім того, зазначається, що збільшення вологості навколишнього середовища може спричинити збільшення зносу полімерного фрикційного елемента більше ніж у 200 разів [1]. У той самий час у [2, 5] зазначалося, що з зростанням парціального тиску водяної пари в міжконтактному зазорі пар тертя

має місце зменшення моменту тертя, отже, і величини зносу фрикційного матеріалу.

Таким чином, з [1-5] випливає, що відносна вологість повітря в міжконтактній зоні пар тертя несе додаткове навантаження і викликає зміну їх експлуатаційних параметрів.

У роботі [6] не встановлено взаємозв'язку між стабільністю та стійкістю експлуатаційних параметрів барабанно-колодкових гальм транспортних засобів.

Вплив вологи на трибодинамічні параметри фрикційних вузлів гальмівних пристроїв транспортних засобів слід розглядати як зв'язну з такими питаннями:

- виникнення подвійних електричних шарів у парах тертя та між ними;
- електричного балансу струмів у зоні контактування пар тертя;
- прямого перетворення електричної енергії в теплову в парах тертя;
- міжконтактного газового середовища у фрикційних вузлах;
- нанотрибологічних процесів, що мають місце на робочих поверхнях пар тертя та у приповерхневих шарах фрикційних накладок;
- стабілізаційного теплового стану металевих фрикційних елементів.

Усі перелічені питання слід розглядати з погляду впливу рідини (води, пари і вологи), тобто багатокомпонентної системи з властивостями діелектрика, напівпровідника та провідника. Все це робить проблему видалення вологи з поверхонь тертя барабанно-колодкового гальма актуальною.

Мета роботи. Розробка ефективного пристрою для примусового видалення вологи з поверхонь тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів.

Режими роботи пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів та стабілізаційний тепловий стан металевого фрикційного елемента. Режими роботи пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів мають аперіодичний циклічний характер. Випробування гальмівних пристроїв транспортних засобів проводиться за нормами Європейської Економічної Комісії при Організації Об'єднаних Націй [6] на трьох типах режимів: «0», «I» та «II». Нульовий тип випробувань відноситься до попереднього. Перший тип випробувань відноситься до циклічного режиму, а другий – до тривалого. Як при першому, так і при другому типі випробувань барабанно-колодкових гальм транспортних засобів на їх елементах тертя розвиваються поверхневі температури, що перевищують допустимі для матеріалів фрикційних накладок. Проте вони знижують ефективність дії барабанно-колодкового гальма, а термостабілізаційний тепловий стан обода барабана.

Термостабілізаційний стан металевого фрикційного елемента відповідає триботермодинамічній рівновазі, в якій внутрішні параметри в ньому є однаковими. При цьому гальмівний барабан має складну форму і всі його внутрішні параметри не залежать від координат. З цього погляду процес встановлення термодинамічного рівноваги можна розглядати як процес вирівнювання внутрішніх параметрів, який супроводжується перенесенням теплової енергії від металевих фрикційних елементів у їх фланці доти, поки не матимемо негативний темп нагрівання металевого фрикційного елемента і позитивний темп нагрівання його фланця. Відомо, що в триботермодинамічних процесах температура визначається як локальний параметр, сталість якого характеризує термостабілізаційний стан. Крім того, вирівнювання температур відбувається за рахунок теплопровідності металевих фрикційних елементів та їх фланців, що супроводжуються слабким конвективним та радіаційним

теплообміном від їх матових та полірованих поверхонь. З цієї точки зору температура належить до узагальнених триботермодинамічних потенціалів, а її відхилення від рівноважного рівня визначають інтенсивність процесу теплопровідності залежно від того, що нагрівається або вимушено охолоджується металевий фрикційний елемент.

Розглянемо процес нагрівання фрикційного металевого елемента. У режимі енергія W_P, що надходить у систему ззовні, за рахунок дисипації механічної енергії в теплову при реалізації імпульсних питомих навантажень (W_H+ΔW) у фрикційних вузлах гальмівних пристроїв повинна розсіятися в навколишнє середовище від матових і полірованих поверхонь металевих фрикційних елементів.

З появою в трибосистемі збурення (термоокислювальної деструкції сполучних компонентів полімерних фрикційних матеріалів при температурах вище допустимої) змінюється тепловий стан металевих фрикційних елементів. Припустимо, що збурення проявляється у зміні лише одного параметра $П$, тобто. поверхневих температур металевих фрикційних елементів, і саме вони визначають їхній подальший тепловий режим. Припустимо далі, що зміна невелика, тобто, що розглядаються лише такі відхилення, у яких ділянки кривих поверхневих температур, визначальних тепловий режим, стають лінійними. У збуреному тепловому режимі при перерозподілі енергії між матовою та полірованою поверхнями металевого фрикційного елемента через примусове охолодження останньої (при появі $\Delta П$) цей баланс порушується, оскільки відбувається зміна властивостей трибосистеми, при якому енергія поглинається. Якщо властивості трибосистеми такі, що витрата енергії $W = W_H + \Delta W$ після відхилення теплового режиму (після збурення) буде відбуватися більш інтенсивно, ніж збільшення енергії $\Delta W = f(П)$, яку може дати після збурення чергова локальна взаємодія пар тертя, то новий (збурений) тепловий режим веде в трибо системі до підтримки попереднього теплового режиму (або близького до нього режиму), тобто трибосистема буде стійка. З цього визначення стійкості випливає, що математично записаною умовою її збереження, або, як кажуть, критерієм стійкості K виступає умова

$$\Delta W / \Delta П > \Delta W_H / \Delta П \tag{1}$$

або у диференціальній формі

$$d(W_P - W)/ dП. \tag{2}$$

Введемо позначення $W_P - W = \Delta W_I$ і назвемо його надмірною енергією. Ця енергія позитивна, якщо додаткова енергія термохімічної реакції деструкції сполучних компонентів матеріалів фрикційних накладок і радіаційного теплообміну між робочими поверхнями пар тертя гальмівного пристрою буде зростати інтенсивніше, ніж енергія навантаження трибосистеми, включаючи втрати на роботу тертя. Критерій стійкості зараз запишеться у вигляді

$$K = \frac{d(\Delta W_I)}{dП} < 0. \tag{3}$$

Тепловий режим стійкий, якщо похідна від надлишкової енергії за визначальним параметром $П$, тобто температура негативна полірованої поверхонь

фрикційного металевого елемента різних видів гальмівних пристроїв. Слід зазначити, що незначна частка енергії металевого фрикційного елемента витрачається формування подвійного електричного шару за схемою «полірована поверхню металевого фрикційного елемента - робоча поверхню фрикційної накладки».

Різка зміна питомих часток теплоти робочої зони фрикційної накладки, яка йде на акумулювання теплоти її приповерхневим шаром простежується в середині тривалого режиму випробувань барабанно-колодкового гальма, після чого темп нагрівання стабілізується і стає рівним нижньому рівню при поверхневого шару накладки. Пояснюється це тим, що у приповерхневому шарі накладки починається взаємодія компонентів фрикційних матеріалів, які мають характер ендотермічних реакцій.

При цьому значна частина енергії йде на формування подвійного електричного шару «робоча поверхня фрикційних накладок (що не взаємодіють з металевим фрикційним елементом) - нижній рівень приповерхневого шару накладок», а також на виділення газової суміші і її іонізацію, так і на десорбцію вологи з рідких фракцій, що утворилися в поверхневих шарах накладок.

Крім того, надалі після половини часу тривалого нагрівання можливі інверсія струмів електризації за схемою «полірована поверхня металевого фрикційного елемента - іонізоване газове середовище, так і десорбція вологи - робоча поверхня фрикційних накладок - нижній рівень приповерхневого шару накладок» при позитивному квазістабільному темпі їх нагрівання.

Що стосується темпів охолодження робочої зони приповерхневого шару та його нижнього рівня фрикційної накладки, то приблизно до кінця четвертої хвилини (після завершення випробувань) вони стабілізуються за чинних темпів охолодження.

Енергія ΔW_1 повинна визначатися для аналізованої трибосистеми в цілому, з урахуванням всіх впливових процесів (нагрівання, охолодження, радіаційного і конвективного теплообміну при ослабленому процесі теплообміну і термохімічної деструкції сполучних компонентів фрикційного матеріалу), тільки після за допомогою критерію ($K< 0$) проводиться оцінка енергосистеми із залученням струмів електризації, що виникають у парах «приповерхневий шар накладок - робочі поверхні накладок» (і що взаємодіють з металевим фрикційним елементом) і «робочі поверхні накладок - металевий фрикційний елемент», з'єднаних між собою іонізованою газовою сумішшю і десорбцією. Інверсія струмів здійснюється у зворотному напрямку, тобто відбувається зміна знака струмів електризації.

Проведена згідно з вищевказаним критерієм оцінка стійкості трибосистеми за співвідношенням: коефіцієнтів випромінювальної здатності полірованої і матової поверхонь металевого фрикційного елемента і енергією термохімічних реакцій, що відбуваються при деструкції сполучних компонентів, що знаходяться у фрикційній накладці, та їх енергетичних показників у чистому вигляді, тобто без структурних зв'язків з іншими компонентами в накладці, показує інтенсивність зовнішнього впливу на трибосистему з точки зору термостабілізації стану її металевого фрикційного елемента за зміни фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів фрикційних накладок.

Особливості конструкції та робота пристрою для видалення вологи з поверхонь тертя барабанно-колодкового гальма.

Видалення вологи з поверхонь тертя барабанно-колодкового гальма транспортного засобу проводиться з метою виключення зниження його ефективності та запобігання потраплянню робочих поверхонь фрикційних накладок в зону допустимої температури для їх матеріалів, а також запобігання попаданню обода гальмівного барабана в зону термостабілізаційного теплового стану.

На рис. 1 представлений поперечний розріз барабанно-колодкового гальма з пристроєм для примусового видалення вологи з поверхонь його тертя; на рис. 2 проілюстровано положення краплі води на увігнутих поверхнях обода гальмівного барабана; на рис. 3 показано положення краплі води на поверхнях фрикційних накладок з бічним, верхнім та нижнім розташуванням гальмівних колодок.

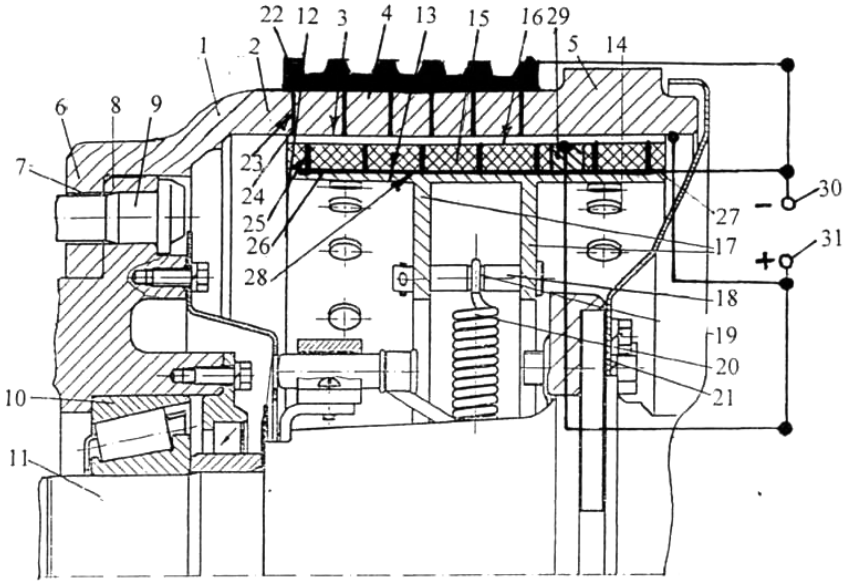


Рис.1 Поперечний переріз барабанно-колодкового гальма з пристроєм для примусового видалення вологи з його поверхонь тертя.

Барабанно-колодкове гальмо містить гальмівний барабан 1, що має обід 2 з внутрішньої 3 (робочої) і зовнішньої 4 (не робочої) поверхнями. На зовнішній поверхні 4 обода 2 з боку його вільного краю виконаний приплив у вигляді підкріплювального кільця 5. З протилежної сторони обід 2 барабана 1 пов'язаний з фланцем 6, в якому виконані отвори 7. За допомогою останніх гальмівний барабан 1 прикріплений до фланця маточини 8 знизу через роликовий підшипник 10 спирається на піввісь 11 заднього моста.

Всередині гальмівного барабана 1 встановлені гальмівні колодки 12, до основ 13 яких прикріплені за допомогою заклепок 14 фрикційні накладки 15, що мають робочу поверхню 16.

З неробочої сторони основи 13 колодок розміщені ребра жорсткості 17, які між собою з'єднані пальцем 18 з проточкою 19. В останню посаджена відтяжна циліндрична пружина 20.

З вільного краю обода 2 гальмівного барабана 1 встановлений напрямний диск 21.

Барабанно-колодкове гальмо працює наступним чином.

При гальмуванні транспортного засобу робочі поверхні фрикційних накладок

15 за допомогою гальмівних колодок 12 притискаються до робочої поверхні 3 обода 2 гальмівного барабана 1, це викликає генерування теплоти на їх локальних поверхнях. Генерована теплота відводиться в атмосферу за допомогою оребренного охолоджувача 22. Під час дощу, при переїзді транспортного засобу через водну перешкоду або у вологу сиру погоду включають джерело постійного струму, напруга від якого з від'ємного полюса 30 подають на охолоджувач 22 і капілярнопористий шар 26 основ 13 колодок 12, а з додатного полюса 31 - на поверхні тертя 3 обода 2 барабана 1 і металевих фрикційних елементів 29, розташованих по периметру гальмівних колодок. При цьому має місце процес електроосмосу, тобто рух вологи з поверхонь тертя обода 2 барабана 1 і фрикційних накладок 15 по капілярно-пористих циліндричних елементах 24 обода 2 барабана 1, накладок 15 і металевих фрикційних елементів 29 колодок 12 за рахунок створення різниці електричних потенціалів між гарячими і холодними торцями сприяє виникненню так званого потенціалу течії, і що забезпечує переміщення вологи до охолоджувача 22 і шару 26 капілярно-пористого матеріалу, де вона збирається і розсіюється в атмосферу.

Таким чином, запропоноване технічне рішення дозволяє видаляти з локальних зон поверхонь тертя барабанно-колодкового гальма не тільки вологу, а й рідкі фракції з поверхонь полімерних фрикційних накладок не тільки при замкнутому, але і розімкнутому гальмі, що дозволить підвищити його ефективність.

Пристрій для примусового видалення вологи з локальних зон поверхонь тертя барабанно-колодкового гальма містить охолоджувач 22, виконаний у вигляді оребренного кільця, виготовленого з капілярно-пористого матеріалу, з'єднаного за допомогою наскрізних радіальних отворів 23, виконаних в ободі 2 гальмівного барабана 1 з рівномірним кроком, в які встановлені капілярно-пористі циліндричні елементи 24. У фрикційних накладках 15 колодок 12 також виконані наскрізні радіальні отвори 25 більшого діаметра з рівномірним кроком з встановленими в них капілярно-пористими циліндричними елементами 24. Осі отворів 23 і 25 зміщені і тому не збігаються. Циліндричні елементи 24 накладок 15 своїми торцями контактують з шаром 26 капілярно-пористого матеріалу, розташованого в западині 27 основ 13 колодок 12, і має електроізоляційну підкладку 28. Аналогічною підкладкою покривається поверхня 22 перед напресовуванням на неробочу поверхню 4 обода 2 гальмівного барабана 1.

Конструктивними елементами капілярних структур є циліндричні дискретні волокна з міді, нержавіючої сталі, нікелю, алюмінію або деяких інших металів. Основу технології виготовлення капілярних структур складають процеси войлокування, спікання та пресування. Зрештою пористий матеріал із спечених металевих волокон є досить міцною конструкцією у вигляді охолоджувача 22 і циліндричних елементів 24, в яких дискретні циліндричні волокна розташовані перпендикулярно поверхням тертя гальма.

На рис. 2 проілюстровано положення краплі води (а) у найвищій і найнижчій точках на робочій поверхні 3 обода, що обертається 2 барабана 1. На рис. 3 зображені краплі води (б) на робочих поверхнях 16 фрикційних накладок 15 нерухомих гальмівних колодок 12, що мають бічне, верхнє та нижнє розташування в площині гальма. При цьому об'єми крапель води (а і б), що потрапили на поверхню 3 обода 2 барабана 1, що знаходиться у обертальному русі, і на поверхні фрикційних накладок 16 і металевих фрикційних елементів 29 гальмівних колодок 12 в залежності від теплового стану перерахованих вище

локальних зон поверхонь поводять себе по різному.



Рис. 2 *а*, *б*. Положення краплі води: *а*, *б* - на увігнутих поверхнях обода гальмівного барабана

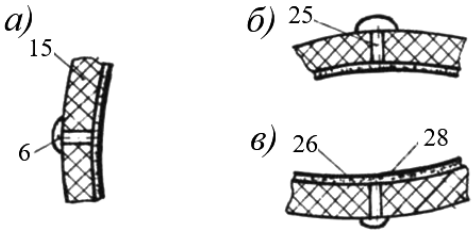


Рис. 3 *а*, *б*, *в*. Положення краплі води на поверхнях фрикційних накладок з бічним (*а*), верхнім (*б*) та нижнім (*в*) розташуванням гальмівних колодок

Щодо електричної схеми підключення пристрою для примусового видалення вологи з поверхонь тертя гальма, то в ньому охолоджувач 22 і капілярнопористий шар 26 основ 13 колодок 12 приєднаний до від'ємного полюса 30 джерела постійної напруги, а поверхні тертя 3 обода 2 барабана 1 і металеві фрикційні елементи 29, розташовані по периметру гальмівних колодок 12, з'єднані з додатнім полюсом 31 джерела постійної напруги.

Шляхом регулювання напруги і забезпечується видалення необхідної кількості вологи з локальних зон поверхонь тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів.

Обговорення результатів. Теоретичні та експериментальні дослідження впливу вологи на трибодинамічні параметри пар тертя гальм при її локальному видаленні з міжконтактного середовища дозволили встановити та запропонувати:

- при експлуатації пар тертя барабанно-колодкового гальма в інтервалі поверхневих температур нижче допустимої вирішальна роль відводиться процесам теплопровідності його металевим елементам при недостатній ефективності конвективного та радіаційного теплообміну;
- при експлуатації пар тертя барабанно-колодкового гальма в інтервалі поверхневих температур вище за допустиму відбувається локальні ендотермічні реакції, що викликають деструкції поверхневих шарів полімерних накладок, що сприяють інтенсифікації конвективного та радіаційного теплообміну, але зниженню ефективності теплопровідності;
- пристрій для видалення вологи з полірованої поверхні металевого елемента за рахунок електроосматичного ефекту, запобігаючи водневому зносу.

Висновки. Таким чином, поряд з урахуванням допустимої температури для матеріалів фрикційної накладки пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів необхідно враховувати термостабілізаційний стан обода гальмівного барабана. Як перше, так і друге стан можна запобігти лише за допомогою пристрою для примусового видалення вологи з поверхонь пар тертя гальма.

Список літератури

1. Wang Y., Lei T., Liu J. Tribo-metallographic behavior of high carbon steels in dry sliding: III. Dynamic microstructural changes and wear. Wear. 1999. Vol. 231, No. 1. P. 20–37.

2. Uetz T Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Gleitverschleiß metallischer Werkstoffe / L Uetz // Verstoffe und Korrosion. 1968. Het 8. P. 665-676.

3. Мадаминов Б.А. Исследование влияния влажности воздуха на степень наводораживания стали У8 при трении и ее износ / Б.А. Мадаминов, А.В. Сахаров // Влияние среды на взаимодействие твердых тел при трении: тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. Днепропетровск, 1987. С. 144-145.

4. Hutchings I.M. A review of the influence of environmental humidity and water on friction, lubrication and wear. Tribology International. 1990. Vol. 23, No. 6. P. 371–389.

5. Дедков А.К. Влияние влагосодержания атмосферы на фрикционно-износные характеристики пар трения / А.К. Дедков // Известия вузов: Машиностроение. 2001. № 1. С. 65-69.

6. Вольченко Н.А., Поляков П.А. Влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств и ее удаление с их поверхностей трения // Вестник СГТУ. 2012. Т.1, №1(63) С. 82-87.

7. Дисково-колодкові гальма / Д.О. Вольченко, Н. М. Фідровська, Н. А. Вольченко [та ін..]. Баку: Apostrof-A, 2025. – 424с.

8. Kindrachuk M.V. Polymeric Materials Modified by Semiconductor Substances in Friction Units of Braking Devices / Kindrachuk M.V., Volchenko O.I., Volchenko D.O., Volchenko N. O., Polyakov P. O., Kornienko A.O., Yurchuk A.O. // Journal of Nano- and Electronic Physics. - Vol. 11. №3, 2019. - P. 03014-1 - 03014- 8.

9. Kindrachuk M. Polymeres with enhanced energy capacity modified by semiconductor materials / M. Kindrachuk, A. Volchenko, D. Volchenko, O. Tisov, A. Kornienko / Functional Materials, 2019.

10. Volchenko N.A. Electrochemistry with double electrical layers in frictional interaction metal-polymer tribolink / Volchenko, N.A., Krasin, P.S., Volchenko, D.A., Voznyi, A.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.

Отримано: 15 вересня 2026
Прийнято: 22 вересня 2026
Опубліковано: 18 жовтня 2026

Семеній Олександр Михайлович – аспірант кафедри будівельних та дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, https://orcid.org/0009-0004-2464-6508 .

Semeniy Oleksandr Mykhailovych - graduate student of the Department of Construction and Road Machinery, Kharkiv National Automobile and Road University, str. Yaroslav the Wise, 25, Kharkiv, 61002, https://orcid.org/0009-0004-2464-6508

O. M. SEMENIY

THE INFLUENCE OF MOISTURE ON THE TRIBODYNAMIC PARAMETERS OF FRICTION UNITS OF BRAKE DEVICES AND ITS LOCAL REMOVAL FROM THEIR FRICTION SURFACES

The article examines the influence of moisture on the tribodynamic parameters of brake friction assemblies. It establishes the thermal stabilization state of the brake drum rim—a factor that, alongside the permissible temperature for friction lining materials, must be considered in thermal calculations for friction pairs. A device is proposed for the forced removal of moisture from the friction surfaces of drum-shoe brakes, serving to limit the aforementioned thermal phenomena. Theoretical and experimental studies of the influence of moisture on the tribodynamic parameters of brake friction pairs when it is locally removed from the intercontact medium have allowed us to establish and propose: when operating drum-pad brake friction pairs in the range of surface temperatures below the permissible one, the decisive role is played by the processes of thermal conductivity of its metal elements with insufficient efficiency of convective and radiation heat exchange; when operating at surface temperatures above the permissible limit, local endothermic reactions occur, causing degradation of the polymer lining surface layers; while this intensifies convective and radiative heat transfer, it reduces the efficiency of thermal conduction; and a device utilizing the electro-osmotic effect to remove moisture from the polished surface of the metal element, thereby preventing hydrogen-induced wear.

Key words: drum-and-shoe brake, friction elements, macro-asperities of friction pairs, contact patches, heat transfer processes, local moisture removal.

References

1. Wang Y., Lei T., Liu J. Tribo-metallographic behavior of high carbon steels in dry sliding: III. Dynamic microstructural changes and wear. Wear. 1999. Vol. 231, No. 1. P. 20–37.

2. Uetz T Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Gleitverschleiß metallischer Werkstoffe / L Uetz // Verstoffe und Korrosion. 1968. Het 8. P. 665-676.

3. Madaminov B.A. Issledovanie vliyaniya vlazhnosti vozduha na stepen' navodorazhivaniya stali U8 pri trenii i ee iznos / B.A. Madaminov, A.B. Saharov // Vliyanie sredy na vzaimodejstvie tverdyh tel pri trenii: tez. dokl. Vseros. nauch.-tehn. konf. Dnepropetrovsk, 1987. S. 144-145.

4. Hutchings I.M. A review of the influence of environmental humidity and water on friction, lubrication and wear. Tribology International. 1990. Vol. 23, No. 6. P. 371–389.

5. Dedkov A.K. Vliyanie vlagosoderzhaniya atmosfery na frikcionno-iznosnye harakteri¬stiki par treniya / A.K. Dedkov // Izvestiya vuzov: Mashinostroenie. 2001. № 1. S. 65-69.

6. Vol'chenko N.A., Polyakov P.A. Vliyanie vlagi na tribotehnicheskie parametry frikcionnyh uzlov tormoznyh ustrojstv i ee udalenie s ih poverhnostej treniya // Vestnik SGTU. 2012. T.1, №1(63) S. 82-87.

7. Diskovo-kolodkovi gal'ma / D.O. Vol'chenko, N. M. Fidrovs'ka, N. A. Vol'chenko [ta in..]. Baku: Apostrof-A, 2025. – 424s.

8. Kindrachuk M.V. Polymeric Materials Modified by Semiconductor Substances in Friction Units of Braking Devices / Kindrachuk M.V., Volchenko O.I., Volchenko D.O., Volchenko N. O., Polyakov P. O., Kornienko A.O., Yurchuk A.O. // Journal of Nano- and Electronic Physics. - Vol. 11. №3, 2019. - P. 03014-1 - 03014- 8.

9. Kindrachuk M. Polymeres with enhanced energy capacity modified by semiconductor materials / M. Kindrachuk, A. Volchenko, D. Volchenko, O. Tisov, A. Kornienko / Functional Materials, 2019.

10. Volchenko N.A. Electrochemistry with double electrical layers in frictional interaction metal-polymer tribolink / Volchenko, N.A., Krasin, P.S., Volchenko, D.A., Voznyi, A.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.