

УДК 621.891

Н. М. СТЕБЕЛЕЦЬКА

*Бережанський агротехнічний інститут***МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЕВИХ ФРИКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ**

*Наведено методи визначення теплових характеристик металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв та використано метод регулярного режиму для оцінки темпів нагрівання та охолодження їх ободів. Усе це відіграє важливу роль при удосконаленні існуючих і конструюванні нових пар тертя барабанно-колодкових гальм. Енергоємність останніх визначає режими експлуатації гальмівних пристроїв.*

**Ключові слова:** гальмівні пристрої, фрикційні елементи, пара тертя, темп нагрівання, термічний опір.

**Вступ.** Тепловими параметрами тертя на сучасному етапі є темп нагрівання і охолодження ободів металевих елементів тертя ( $\Delta t / \Delta \tau$  – відношення зміни температури за час) при заданому тепловому потоку на границі контакту «робоча поверхня металевого елемента тертя-робоча поверхня фрикційних накладок». При відомому тепловиділенні в зоні контакту пар тертя гальмівних пристроїв виникає задача правильного визначення темпу нагрівання і охолодження ободів їхніх барабанів. Це дозволить правильно вибрати металомісткість фрикційного елемента і визначити впливи його бічної стінки (фланця) на теплоавантаженість ободу.

**Мета роботи.** Аналітично описати й розрахунковими методами встановити закономірності зміни темпів нагрівання та охолодження ободів металевих фрикційних елементів барабанно-колодкових гальм транспортних засобів, використовуючи метод регулярного режиму.

**Стан проблеми.** Відомі методи оцінки теплових характеристик (1–4), а саме темпів нагрівання і охолодження ободів гальмівних барабанів автотransпортних, засобів мають низку істотних недоліків, до яких слід віднести:

- у діапазоні температур, вищих за допустиму для матеріалу фрикційної накладки, необхідно враховувати вплив багатоатомної газової суміші, що виділяється з її приповерхневого шару, і тепловий стан робочої поверхні ободу барабана;
- урахування замість коефіцієнтів тепловіддачі від його внутрішньої і зовнішньої поверхонь коефіцієнти теплопередачі від багатоатомної газової суміші, що омиває робочу поверхню ободу гальмівного барабана;
- не враховано наявність і вплив конструктивних елементів (циліндричних кілець різного перерізу, підкріплюючого кільця, ободу і бічної стінки), оскільки вони мають різний термічний опір;
- не урахування впливу теплоавантаженості бічної стінки барабана на тепловий стан його ободу;
- нехтування металомісткістю гальмівного барабана, складеного з циліндричних кілець на величину темпу його нагрівання.

**Результати досліджень.** Методи нагрівання і охолодження гальмівних барабанів автотранспортного засобу при оцінці їх теплового балансу полягає у визначенні втрат теплоти від поверхонь гальмівного барабана радіаційним теплообміном, природною і вимушеною конвекцією, а також шляхом передачі теплоти теплопровідністю (кондуктивним теплообміном) від ділянки фланця гальмівного барабана, що взаємодіє з фланцем ступиці заднього моста автотранспортного засобу.

Методи нагрівання і охолодження гальмівних барабанів заднього моста (як найбільш теплонавантажених) автотранспортного засобу здійснюється в лабораторних і експлуатаційних умовах у чотири етапи. На першому етапі проводиться нагрівання теплоізолизованого від довкілля і не теплоізолизованого гальмівних барабанів. Різниця між кількостями виміряної в них теплоти складає її втрати на радіаційний і природний конвективний теплообмін у довкілля. На другому етапі визначаються втрати теплоти радіаційним і природним конвективним теплообміном від поверхонь нагрітого першого гальмівного барабана. На третьому етапі в експлуатаційних умовах визначають втрати теплоти кондуктивним теплообміном від частин поверхонь фланців гальмівних барабанів при їх взаємодії з поверхнями маточини заднього моста автотранспортного засобу. На четвертому етапі визначаються втрати теплоти радіаційним і вимушеним конвективним теплообміном від поверхонь нагрітих гальмівних барабанів заднього моста під час руху автотранспортного засобу.

Нагрівання гальмівного барабана на перших двох етапах проводиться електричним пристроєм, який дозволяє визначити за формулою  $Q = U \cdot I \cdot \tau$ , (де  $U$ ,  $I$  – напруга і сила струму;  $\tau$  – час роботи) кількість теплоти. Температурним методом за виміряними температурами нагрівання і охолодження поверхонь обода гальмівного барабана визначають частку теплоти, що припадає на різні види теплообміну. Після цього визначають коефіцієнти тепловіддачі від поверхонь обода гальмівного барабана. Останні використовуються для визначення коефіцієнтів теплопередачі в тепловій моделі фрикційного вузла гальма (рис.1), а потім коефіцієнтів розподілу теплоти між елементами пар тертя гальмівних пристроїв [5]. Теплопередача через елементи пар тертя барабанно-колодкового гальма автотранспортного засобу КрАЗ-250 і теплові процеси в його барабані зображені відповідно на рис.1 та рис.2.

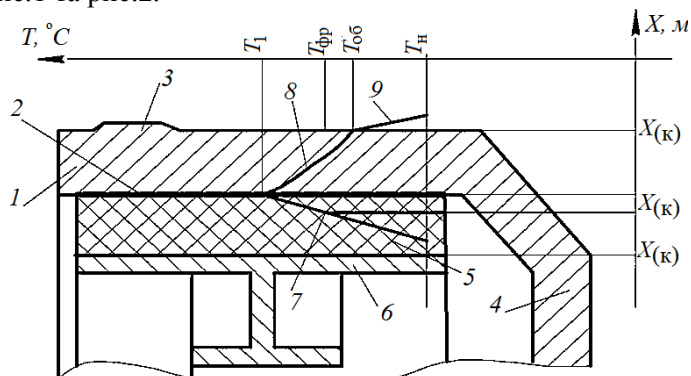


Рис. 1. Теплопередача крізь елементи пар тертя барабанно-колодкового гальма автотранспортного засобу КрАЗ-250: 1 – гальмівний барабан; 2, 3, 4 – обід, підкріплююче кільце і бічна стінка барабана; 5 – фрикційна накладка; 6 – гальмівна колодка; 7, 8, 9 – криві зміни температури по товщині накладки, обода і в повітрі, що омиває його зовнішню поверхню

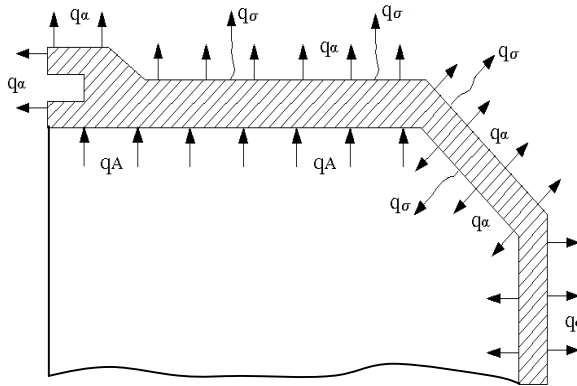


Рис. 2. Теплові потоки, які підводяться та відводяться від поверхонь ободу (1) і бокової стінки (2) гальмівного барабана:  $q_A$ ,  $q_\alpha$ ,  $q_\sigma$  – теплові потоки, які підводяться до робочій поверхні ободу та відводяться від його поверхонь конвекцією і випромінюванням

Для визначення термічного опору гальмівного барабана спочатку визначають термічні опори його елементів. Так, термічний опір ободу гальмівного барабана знаходять за формулою:

$$R_1 = \frac{L}{\lambda \pi (r_1^2 - r_2^2)}, \quad (1)$$

де  $L$  – довжина ободу;  $r_1$ ,  $r_2$  – радіуси зовнішньої і внутрішньої поверхні ободу барабана;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу ободу барабана.

Термічний опір бічної стінки (фланця) гальмівного барабана визначається за формулою:

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2 \lambda \pi L_1}, \quad (2)$$

де  $L_1$  – товщина бічної стінки барабана;  $r_4$ ,  $r_3$  – верхній і нижній радіуси циліндричного кільця, який являє собою бічну стінку барабана.

Сумарний термічний опір гальмівного барабана дорівнює:

$$\Sigma R = R_1 + R_2.$$

Наступним етапом розрахунків є визначення ваги гальмівного барабана, що включає вагу ободу ( $G_1$ ) і бічної стінки ( $G_2$ )

$$G \tau = G_1 + G_2 = V [L (r_1^2 - r_2^2) + L_1 (r_4^2 - r_3^2)] G, \quad (3)$$

де  $V$  – питомий об'єм матеріалу.

На підставі вищевикладеного перейдемо до математичного опису темпів нагрівання і охолодження ободів металевих елементів тертя гальмівних пристроїв.

Приймаємо, що нагрівання і охолодження ободів металевих елементів тертя відбувається у регулярному режимі за експоненціальною залежністю при сталій температурі довкілля.

Припустимо, що до моменту часу  $\tau_0$ , який береться за початок відліку, має місце мінімальний додатний напір між внутрішньою і зовнішньою поверхнями гальмівного барабана, тобто  $\Delta t > 0$ . При цьому внутрішня поверхня ободу барабана має надлишкову температуру  $\Delta t_{\text{надл}} = t_1 - t_2$  по відношенню до температури  $t_2$  зовнішньої поверхні ободу гальмівного барабана.

По закінченні часу  $\tau'_1$  і настання регулярного режиму необхідно, щоб різниця температур  $\Delta t_{\text{накл}} = t' - t_2 = \Delta t'$  почала змінюватися в часі згідно із законом:

$$t''(\tau) = \Delta t' e^{-m(\tau - \tau')}, \quad (4)$$

де  $e$  – основа натурального логарифма,  $m$  – коефіцієнт, який є функцією теплоємності, коефіцієнта теплопередачі і форми робочої поверхні ободу гальмівного барабана.

За час  $\Delta \tau = \tau_1 - \tau'$  внутрішня поверхня ободу барабана охолодиться багатоатомною газовою сумішшю, що омиває пари тертя гальма, до температури  $T_1$  і втратить кількість теплоти

$$\Delta Q = c_{\text{об}} \cdot (t' - t_1) = c_{\text{об}} \cdot t_1,$$

де  $c_{\text{об}}$  – теплоємність матеріалу ободу гальмівного барабана.

Якщо нехтувати теплоємністю багатоатомної газової суміші, то кількість теплоти  $Q(\tau)$ , що передається крізь зазор між парами тертя, у момент часу  $\tau$  за законом Фур'є складе:

$$Q(\tau) = \lambda_z \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_1}{r_n}} \Delta t(\tau), \quad (5)$$

де  $\lambda_z$  – коефіцієнт теплопровідності шару газової суміші;  $l$  – ширина ободу барабана;  $r_1, r_n$  – радіуси робочої поверхні: ободу барабана і накладок колодки.

Кількість теплоти  $Q$ , яка пройде крізь шар газового середовища від приповерхневого шару накладок за проміжок часу  $\Delta \tau = \tau_1 - \tau'$ , дорівнюватиме:

$$Q(\tau) = \lambda_z \frac{2\pi \cdot l}{\ln \frac{r_1}{r_n}} \Delta \bar{t}, \text{ де } \Delta \bar{t} = \frac{1}{\Delta \tau} \int_{\tau'}^{\tau_1} \Delta t' e^{-m(\tau - \tau')} d\tau = \frac{\Delta t' - \Delta t_1}{m \Delta \tau} = \frac{\Delta t_1}{m \Delta \tau}. \quad (6)$$

При цьому  $\Delta t_1 = \Delta t' e^{-m \Delta \tau} = t_1 - t_2$  і  $\Delta t_1 = t_1 - t_2$ .

Темп охолодження ( $m$ ) робочої поверхні ободу барабана визначається за результатами безпосередніх вимірів  $\Delta t$ ;  $\Delta t_1$  і  $\Delta \tau$ :

$$m = \frac{\ln \Delta t' - \ln \Delta t_1}{\Delta \tau}. \quad (7)$$

Вираз (7) може бути використаний для оцінки темпу нагрівання робочої поверхні ободу гальмівного барабана. У цьому випадку логарифмічна різниця відповідатиме тепловому стану в кінці гальмування за проміжок часу нагрівання.

Як приклад розглянемо закономірності зміни темпів нагрівання ободу і бічної стінки задніх гальмівних барабанів при попередньому випробуванні типу II гальм транспортного засобу КраЗ-250, а також їхню зміну при вимушеному охолодженні тривалістю 480 с (рис. 3).

Різка зміна темпів нагрівання ободу і бічної стінки гальмівного барабана спостерігається в перебігу першої половини попереднього етапу гальмування, тобто до 360 с. При цьому темп нагрівання ободу зменшився в 2,2 рази, а темп нагрівання бічної стінки гальмівного барабана збільшився в 1,75 рази. Це вказує на перетікання теплоти з ободу в бічну стінку барабана при деякій її втраті у навколишнє середовище радіаційним і вимушеним конвективним теплообміном. Стабілізація темпів нагрівання ободу і бічної стінки гальмівного барабана настає до завершення попереднього етапу гальмування.

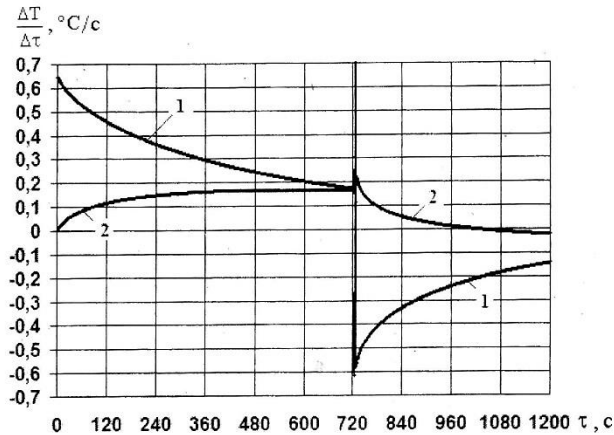


Рис. 3. Темпи нагрівання обода (1) і бічної стінки 2 гальмівного барабану протягом випробувань типу II транспортного засобу КрАЗ-250 та при вимушеному охолодженні тривалістю 480 с.

Після завершення попереднього етапу випробувань типу II видно, що темп вимушеного охолодження бічної стінки барабану різко зменшується, але до 1000 с зберігає ще знак «+». Це пояснюється тим, що від 720 с до 1000 с бічна стінка акумулює теплоту, що призводить до вирівнювання її середньої температури з температурою обода барабану. Остання обставина і може призвести до термостабілізаційного теплового стану обода гальмівного барабану на тривалий проміжок часу.

**Висновки.** З урахуванням втрат теплоти від поверхонь гальмівного барабану у довідку в роботі наведені методи оцінки теплових характеристик металевих фрикційних елементів та отримано аналітичні залежності для визначення термічного опору конструктивних елементів металевих елементів тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів та їхніх темпів нагрівання й охолодження при різних типах випробувань.

#### Список літератури

1. Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника); под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
2. Кіндрачук М.В. Трибологія / М.В. Кіндрачук, В.Ф.Лубенець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – Київ: Вид-во нац. авіац. ун-ту: «НАУ – друк», 2009. – 392 с.
3. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
4. Стрічково-колодкові гальма / [Є.І. Крижанівський, М.О. Вольченко, Д.О. Вольченко та ін.]. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – Том 2. – 2007. – 215с.
5. Вольченко А.И. Новый подход к тепловой динамике трения фрикционных узлов тормозных устройств (часть 3) / А.И.Вольченко, Н.А. Вольченко, Д.А.Вольченко, Н.М. Стебелецкая, П.А.Поляков, Ю.М. Бурда // Проблемы тертя та зношування: наук.- техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип.55. – С.47–64.

---

*N.M. STEBELETSKA*

### **METHODS OF ESTIMATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF METALLIC FRICTION ELEMENTS OF BRAKE DEVICES**

The peculiarities of determining thermal characteristics of metallic friction elements of brake devices are illustrated. The method of regular mode for estimation the rates of heating and cooling the rims of metallic friction elements of brake devices is used. The degree of participation of each type of heat exchange is established. The rates of heating the rim and lateral wall of rear brake drums of vehicles are shown. The possibility of getting the brake drum rim into the thermal stability area for a long period of time is depicted. It is important to know the pattern of rates of heating and cooling in improvement of conventional brake devices and designing the new ones, as well as in investigating the mode of operation of their friction pairs.

**Keywords:** brake devices, friction elements, friction pair, rate of heating, thermal resistance.

**Стебелецька Наталія Миронівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри загальноінженерної підготовки ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», вул. Академічна, 20, м. Бережани, обл. Тернопільська, Україна, 47501