

## ТЕМПИ НАГРІВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ОБОДІВ МЕТАЛЕВИХ ФРИКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ

О.І. Вольченко, Д.О. Вольченко, І.О. Бекіш, Н.М. Стебелецька

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,  
e-mail: public@nimg.edu.ua

Для оцінки темпів нагрівання і охолодження ободів металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв використано метод регулярного режиму. Проілюстровано особливості визначення теплових характеристик металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв. Встановлена дольова частка кожного з видів теплообміну. Наведено закономірності зміни температур по шарах ободу гальмівного шківів в часі. Вказані темпи нагрівання обода та бічної стінки задніх гальмівних барабанів автотранспортних засобів. Проілюстрована можливість потрапляння обода гальмівного барабана в термостабілізаційну зону на тривалий проміжок часу. Картину темпів нагрівання та охолодження ободів металевих фрикційних елементів важливо знати при удосконаленні існуючих та конструюванні нових гальмівних пристроїв, а також при дослідженні режимів експлуатації їхніх пар тертя.

Ключові слова: фрикційні елементи, гальмівні пристрої.

Для оценки темпов нагревания и охлаждения ободов металлических фрикционных элементов тормозных устройств использован метод регулярного режима. Проиллюстрированы особенности определения тепловых характеристик металлических фрикционных элементов тормозных устройств. Установлен долевой вклад каждого из видов теплообмена. Проведены закономерности изменения температур по слоям обода тормозного шкива во времени. Показаны темпы нагревания обода и боковой стенки задних тормозных барабанов автотранспортных средств. Проиллюстрирована возможность попадания обода тормозного барабана в термостабилизационную зону на продолжительное время. Картину темпов нагревания и охлаждения ободов металлических фрикционных элементов важно знать при усовершенствовании существующих и конструировании новых тормозных устройств, а также при исследовании режимов эксплуатации их пар трения.

Ключевые слова: фрикционные элементы, тормозные устройства.

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 peculiarities of determining thermal characteristics of metallic friction elements of brake devices are illustrated. The degree of participation of each type of heat exchange is established. Regularities of temperature changes on the layers of brake pulley rim in time are given. 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: friction elements, brake devices.

**Вступ.** Картина темпів нагрівання та охолодження ободів металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв відіграє важливу роль при удосконаленні існуючих та конструюванні нових пар тертя. Енергоємність останніх і визначає режими експлуатації гальмівних пристроїв. Теплові задачі тертя на сучасному етапі, до яких відносяться темпи нагрівання і охолодження ободів металевих фрикційних елементів

( $\frac{\Delta T}{\Delta \tau}$  – залежність зміни температури від часу  $\tau$ ), вирішуються для граничних умовах другого роду, коли заданий тепловий потік на границі контакту (робоча поверхня металевого фрикційного елемента - робоча поверхня фрикційних накладок), а потім розподілюється всередину фрикційних накладок і обода металевого фрикційного елемента. При відомому тепловиділенні в зоні контакту пар тертя гальмівних пристроїв виникає задача правильного визначення темпу нагрівання і охолодження їхніх ободів. Знання останнього дозволяє встановити металоемність фрикційного елемента і

визначити впливи його бічної стінки (фланця) на теплонавантаженість обода.

**Метою роботи** є оцінка темпів нагрівання охолодження металевих фрикційних елементів (ободів шківів бурових лебідок та ободів гальмівних барабанів автотранспортних засобів) в діапазоні температур нижче та вище допустимої температури для матеріалів фрикційної накладки.

Виходячи з мети роботи, завданнями досліджень є:

- кількісне визначення складових теплового балансу металевих фрикційних елементів;
- аналітичний опис темпів нагрівання та охолодження металевих фрикційних елементів;
- встановлення закономірностей зміни темпів нагрівання та охолодження металевих фрикційних елементів.

**Стан проблеми.** Існуючі методи оцінки темпів нагрівання і охолодження ободів гальмівних барабанів автотранспортних засобів, ви-

кладені, в роботах [1-4], мають низку істотних недоліків, до яких слід віднести:

- у діапазоні температур, вищих допустимої для матеріалів фрикційної накладки, необхідно враховувати вплив багатоатомної газової суміші, що виділяється з приповерхневого шару фрикційних накладок колодок та впливає на тепловий стан робочої поверхні обода барабана;

- врахування замість коефіцієнтів тепловіддачі від внутрішньої і зовнішньої поверхонь обода гальмівного барабана коефіцієнтів теплопередачі від багатоатомної газової суміші, що омиває робочу поверхню обода гальмівного барабана;

- розгляд гальмівного барабана як вузла, складеного з циліндричних кілець різного перерізу, що дає змогу врахувати його підкріплююче кільце, обід і бічну стінку з різним термічним опором;

- облік впливу теплонавантаженості бічної стінки барабана на тепловий стан його обода;

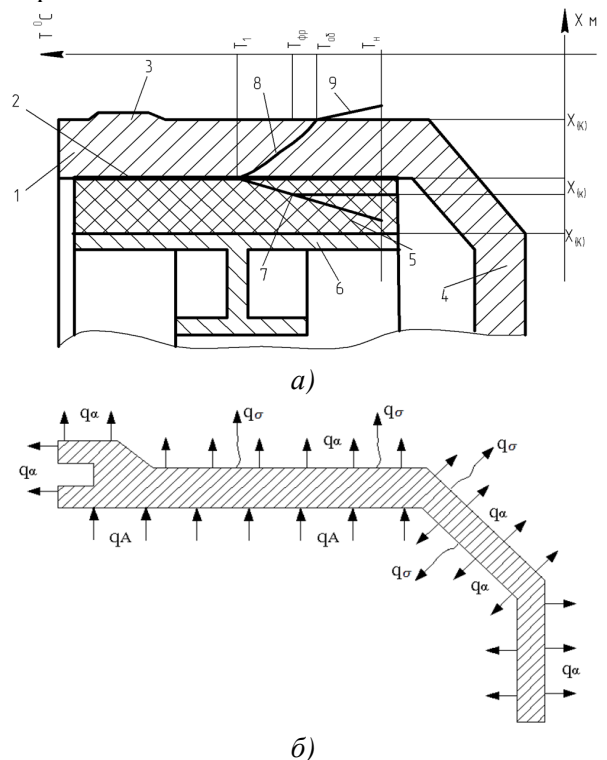
- визначення маси гальмівного барабана, складеного з циліндричних кілець, з урахуванням допустимої величини темпу його нагрівання.

Аналогічні недоліки при оцінці темпів нагрівання та охолодження властиві і ободам гальмівних шківів бурових лебідок.

**Особливості визначення теплових характеристик металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв.** 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 теплоізольованого від довкілля і не теплоізольованого 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 вимірними 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), а потім коефіцієнтів розподілу теплоти між елементами пар тертя гальмівних пристроїв [5]. Теплопередача через елементи пар тертя барабанно-колодкового гальма автотранспортного засобу ЗІЛ-130 (а) і теплові процеси в його барабані (б) зображені на рис. 1.



1 - гальмівний барабан; 2, 3, 4 - обід, що має 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

**Рисунок 1 – Теплопередача через елементи пар тертя барабанно-колодкового гальма автотранспортного засобу ЗІЛ-130 (а) і теплові процеси в його барабані (б)**

Результати розрахунків теплового балансу фрикційних вузлів барабанно-колодкових гальм транспортного засобу ЗІЛ-130 при роботі матеріалів накладок у зонах нижче (в чисельнику) та вище (в знаменнику) допустимої температури наведені в табл. 1. З аналізу отриманих відсоткових значень кількості теплоти, яка витрачається та теплообмінні процеси в галь-

Таблиця 1 – Тепловий баланс фрикційних вузлів барабанно-колодкових гальм при роботі матеріалів накладок у зонах нижче (в чисельнику) та вище (в знаменнику) допустимої температури

Гальмівні режими випробувань барабанно-колодкового гальма автотранспортного засобу ЗІЛ-130	Тепловиділення в елементи фрикційних вузлів, %			Конвекція від поверхонь, %		Випромінювання від поверхонь (А), %
	гальмівний барабан (А)		фрикційні накладки	вимушена (А)	природна (А)	
	обід	фланець				
Довготривалий (ІІ):						
в кінці 720 с	25,0	23,0	3,0	39,0	12,0	10,0
	25,0	19,0	5,5	35,0	12,5	25,0
протягом 720 с (сумарне)	50,0	21,0	4,0	20,0	16,0	5,0
	40,0	17,5	7,0	25,5	18,0	10,0

мівному барабані та у фрикційних накладках, видно:

– тепловиділення в обід та фланець гальмівного барабана майже не змінюється в кінці 720с, тільки протягом 720с в ободі зменшується з 50,0 до 40,0%, а в фланці – з 21,0 до 17,5% при роботі матеріалів накладок в зоні вище допустимої температури (більше 250<sup>0</sup>С) внаслідок того, що здійснюється інверсія теплових потоків від полірованої поверхні обода барабана в приповерхневі шари фрикційних накладок, що і призводить до збільшення кількості теплоти, яка в них акумулюється;

– вимушена конвекція від поверхонь гальмівного барабана при двох режимах його нагрівання суттєво не зростає, що не скажемо про випромінювання, яке для першого режиму збільшилося в 2,5 рази, а для другого – удвічі;

– природна конвекція від поверхонь гальмівного барабана при двох режимах його нагрівання суттєво не збільшується, так як в цей час транспортний засіб не рухається, і пари тертя перебувають у розімкнутому стані. Тому природна конвекція і не ввійшла до загального теплового балансу фрикційного вузла.

Особливо важливим є визначення температур у шарах обода гальмівного шківів методом Е. Шмідта.

Враховуючи те, що режим опускання бурильної колони складається з двох періодів. Тобто: розгін – вільне опускання бурильної свічки після відведення гальмівної стрічки з накладками і гальмування – зупинки, тіло обода гальмівного шківів підлягає періодичному циклічному нагріванню та вимушеному або природному охолодженню. Крім того, час охолодження обода шківів після опускання кожної свічки (підйом ненавантаженого елеватора, захоплення та загвинчування чергової свічки) складає приблизно 120–200 с. Час нагрівання обода шківів прийнято рівним часу гальмування в процесі опускання розглядуваної свічки складає усередньому 9,0–10,4 с. Тому перед опусканням чергової свічки тіло обода шківів мало визначену залишкову температуру, величини котрої, як показали результати безперервного заміру, коливалася на робочій поверхні обода

шківів від 170<sup>0</sup>С до 760<sup>0</sup>С, а на його неробочій поверхні – від 100<sup>0</sup>С до 140<sup>0</sup>С.

З табл. 2 видно, що температура внутрішньої поверхні обода гальмівного шківів при опусканні даної свічки досягала 137<sup>0</sup>С, що узгоджується з отриманими раніше експериментальними даними. В процесі гальмування максимальному нагріванню піддавався поверхневий робочий шар обода шківів (760<sup>0</sup>С); при цьому температура середніх шарів по його товщині була в декілька (в 3,36) разів нижчою температури поверхневого робочого шару, а темп нагрівання по товщині обода шківів відбувається менш інтенсивно, ніж нагрівання його поверхневого шару. Таким чином, для покращення умов роботи та підвищення працездатності гальмівних шківів бурових лебідок необхідно, в першу чергу, покращити тепловідведення з поверхневого робочого шару обода гальмівного шківів. Крім того, невисокий тепловий стан шару неробочої поверхні обода шківів уможливує його використання як якоря для допоміжного індукторного гальма.

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

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

де:  $L_1$  - довжина обода;  $r_1, r_2$  - радіуси зовнішньої і внутрішньої поверхонь обода барабана;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу обода барабана.

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

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

де:  $L_1$  - товщина бічної стінки барабана;  $r_4, r_3$  верхній і нижній радіуси циліндричного кільця, яким є бічна стінка барабана.

Сумарний термічний опір гальмівного барабана рівний

Таблиця 2 – Величини зміни температур по шарах ободу гальмівного шківів в часі

Час, с	Товщина шару ободу (в мм) та його температури °С										
	0,7	1	1,5	2,25	3,375	5	7,6	11,4	17,1	25,6	38,4
0,001	170	168	167	164	161	157	151	145	133	117	98
0,003	200	199	197	194	189	182	171	164	151	133	111
0,007	240	238	235	230	224	216	203	190	168	149	125
0,02	300	295	289	280	267	253	233	218	192	160	134
0,04	380	370	355	338	316	288	259	237	201	167	140
0,07	450	432	407	378	347	311	269	246	209	174	145
0,2	530	497	454	411	367	329	283	253	214	178	138
0,4	625	567	500	438	386	338	291	260	220	183	141
0,92	645	569	502	439	387	338	291	260	220	183	141
2,05	725	616	533	460	398	342	295	264	224	186	144
4,64	760	635	535	463	401	345	298	266	226	188	145
10,4	520	488	451	408	363	326	281	251	213	177	137

$$\sum R = R_1 + R_2$$

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

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

де:  $V$  - питомий об'єм матеріалу;  $g$  - прискорення вільного падіння тіла.

Методи нагрівання та охолодження гальмівних шківів проілюстровані в роботі [6], а визначення термічного опору їхніх елементів наведено в роботі [7].

На підставі вищевикладеного переходимо до математичного опису темпів нагрівання і охолодження ободів металевих фрикційних елементів.

**Математичний опис темпів нагрівання і охолодження ободів металевих фрикційних елементів.** Розглянемо суть регулярного режиму нагрівання і охолодження гальмівного барабана, що відбуваються за експоненціальною залежністю, при сталій температурі доквілля.

Припустимо, що до моменту часу  $\tau_0$ , який береться за початок відліку, має місце мінімальний позитивний напір між внутрішньою і зовнішньою поверхнями гальмівного барабана ( $\Delta T > 0$ ), тобто внутрішня поверхня обода барабана має надлишкову температуру  $\Delta T_{надл} = T_1 - T_2$  відносно температури  $T_2$  навантаженої поверхні обода гальмівного барабана.

Після закінчення часу  $\tau'_1$ , необхідного для настання регулярного режиму, різниця температур  $\Delta T_{надл} = T' - T_2 = \Delta T'$  почне змінюватися в часі за законом

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

де:  $e$  - основа натурального логарифма,  $m$  - коефіцієнт, який є функцією повної теплоємності, коефіцієнта теплопередачі і форми робочої поверхні обода гальмівного барабана.

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

$$\Delta Q = C_{об} \cdot (T' - T_1) = C_{об} \cdot T_1,$$

де  $C_{об}$  - теплоємність матеріалу обода гальмівного барабана.

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

$$Q(\tau) = \lambda_2 \frac{2\pi l}{\ln r_1 / r_n} \Delta T(\tau), \quad (5)$$

де:  $\lambda_2$  - коефіцієнт теплопровідності шару газової суміші;  $l$  - ширина обода гальмівного барабана;  $r_1, r_n$  - радіуси робочої поверхні: обода гальмівного барабана і фрикційних накладок гальмівної колодки.

Тому кількість теплоти  $Q$ , яке пройде через шар газового середовища від приповерхневого шару фрикційних накладок за проміжок часу  $\Delta \tau = \tau_1 - \tau'$ , буде рівна

$$Q(\tau) = \lambda_2 \frac{2\pi l}{\ln r_1 / r_n} \Delta \bar{T} \tau,$$

де

$$\Delta \bar{T} = \frac{1}{\Delta \tau} \int_{\tau'}^{\tau_1} \Delta T' e^{-m(\tau - \tau')} d\tau = \frac{\Delta T' - \Delta_1}{m \Delta \tau} = \frac{\Delta T_1}{m \Delta \tau} \quad (6)$$

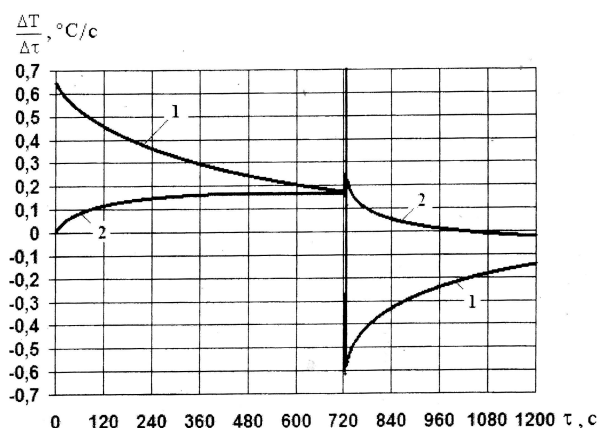
$$\Delta T_1 = \Delta T' e^{-m \Delta \tau} = T_1 - T_2 \text{ і } \Delta T_1 = T_1 - T_2.$$

Темп охолодження ( $m$ ) робочої поверхні обода гальмівного барабана визначається за результатами безпосередніх вимірів  $\Delta T, \Delta T_1, \Delta \tau$ :

$$m = \frac{\ln \Delta T' - \ln \Delta T_1}{\Delta \tau} \quad (7)$$

Вираз (7) може бути використаний для оцінки темпу нагрівання робочої поверхні обода гальмівного барабана, лише в цьому випадку логарифмічна різниця складатиме тепловий стан наприкінці процесу гальмування, віднесений до проміжку часу нагрівання.

Як приклад розглянемо закономірності зміни темпів нагрівання обода 1 і бічної стінки 2 задніх гальмівних барабанів при попередньому випробуванні типу II гальм автотранспортного засобу ЗІЛ-130, а також їх зміну при вимушеному охолодженні тривалістю 480 с (рис. 2). Різка зміна темпів нагрівання обода і бічної стінки гальмівного барабана простежується в перебігу першої половини попереднього етапу гальмування, тобто до 360 с. При цьому темп нагрівання обода зменшиться в 2,2 рази, а темп нагрівання бічної стінки гальмівного барабана збільшиться в 1,75 рази. Це вказує на перетікання теплоти з обода в бічну стінку барабана при деякій втраті теплоти в навколишнє повітря радіаційним і вимушеним конвективним теплообміном. Стабілізація темпів нагрівання обода і бічної стінки гальмівного барабана просліджується до завершення попереднього етапу гальмування.



**Рисунок 2 – Темпи нагрівання обода 1 і бічної стінки 2 заднього гальмівного барабана автотранспортного засобу ЗІЛ-130 в перебігу випробувань типу II та при вимушеному охолодженні тривалістю 480с**

Після завершення попереднього етапу випробувань типу II видно, що темп вимушеного охолодження бічної стінки барабана 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 барабана. Остання обставина і може призвести до термостабілізаційного теплового стану обода гальмівного барабана на тривалий проміжок часу.

**Висновки.** Таким чином, запропоновані методи оцінки теплових втрат у доквілля від гальмівного барабана і темпів нагрівання і вимушеного охолодження його обода і бічної стінки на попередньому етапі випробування гальм автотранспортного засобу. Проілюстрована можливість потрапляння обода гальмівного барабана в термостабілізаційну зону на тривалий проміжок часу.

**Література**

- 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 Миронов В.С. Электрические явления при трении полимеров. П. Кинематика электризации / В.С. Миронов, А.Ф. Климкович // Трение и износ – 1985. – №6. – Том VI. – С. 1026 – 1033.
- 4 Крижанівський Є.І. Модель трибологічних систем у парах тертя гальмівних пристроїв / Є.І. Крижанівський, М.О. Вольченко, Д.Ю. Журавльов, В.І. Снурніков // Вісник Вінницького політехн. ін-ту. – 2009. – №5. – С. 104–107.
- 5 Пат. 2386061 С2 Российская Федерация МПК F16D 49/08, F16D 65/813. Способ определения коэффициентов распределения тепловых потоков между парами трения различных видов фрикционных узлов в ленточно-колодочных тормозах буровых лебедок (варианты) / Вольченко А.И., Петрик А.А., Вольченко Н.А., Вольченко Д.А.; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковск. национал. техн. ун-т нефти и газа. – №2007128496/11, заявл. 24.07.2007; опубл. 10.04.2010. Бюл. №10. – 14с.
- 6 Стрічково-колодкові гальма / [Є.І. Крижанівський, М.О. Вольченко, Д.О. Вольченко та ін.]. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – Том 2. – 2007. – 215с.
- 7 Крыжановский Е.И. К вопросу определения коэффициентов распределения тепловых потоков во фрикционных узлах тормозных устройств / [Е.И. Крыжановский, Д.А. Вольченко, В.Я. Малык, Н.В. Кашуба, И.В. Бачук] // Вісті автомобільн. дорожн. ін-ту, наук.-вироб. зб. – Горлівка, 2008. – №1 (6). – С. 154 – 159.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 15.12.10  
Рекомендована до друку професором Б.В. Конесл*