

РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБТ

УДК 536.531

П.І. Ванкевич¹, Є.Г. Іваник¹, О.В. Сікора²

¹ Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

² Дрогобицький державний педагогічний університет, Дрогобич

МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТИВ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ СТАЦІОНАРНО ВМОНТОВАНИМИ ДІАГНОСТИЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ

У рамках вирішення актуальних завдань з дослідження і розробки систем передачі інформації при вимірюваннях температурного стану рухомих об'єктів розроблено методика контактної термометрії даного типу технічних систем, яка полягає в нерухомому встановленні термоперетворювача на об'єкті, а передача інформації від рухомого об'єкта до нерухомої вимірювальної апаратури відбувається за допомогою провідного зв'язку. Побудовано розрахункову схему вивчення теплових явищ, що мають місце в процесі механічного сухого тертя-ковзання елементів контактних термоперетворювачів (зокрема, струмознімальних пристроїв та засобів технічних систем), яка ґрунтується на постановці нестационарної задачі теплопровідності, що моделює роботу типової пари тертя фрикційної трибосистеми у вигляді диска, який контактує зі штифтом (стержень прямокутного або круглого перерізу).

Ключові слова: теплові явища, теплопередача, трибосистема, нестационарна задача теплопровідності, термоперетворювач, диск, стержень, тепловіддача, струмознімальний пристрій, військово-технічні системи.

Вступ

Діагностичні засоби термометрії, що стаціонарно закріплені на рухомих дослідних об'єктах, базуються на використанні різноманітних фізичних явищ, пов'язаних із впливом температури на відповідні фізичні величини (геометричні розміри, електричний опір, термо-ЕРС, магнітна проникність, колір тощо). Найбільш поширеними серед пристроїв для вимірювання температури рухомих об'єктів є пристрої, що функціонують на основі явищ, пов'язаних із впливом температури на електричні параметри. Засоби, що ґрунтуються на термоелектричних явищах, є компактними, простими в реалізації та нечутливими до зовнішніх впливів, пов'язаних із рухомістю дослідних об'єктів, легко адаптуються до систем дистанційного вимірювання та можуть бути використані в системах діагностування. В даному випадку, однак, виникає проблема забезпечення надійності передачі вимірюваної інформації від термоперетворювача (ТП), закріпленого на рухомому об'єкті, до вимірювальної апаратури, яка знаходиться за межами зони вимірювань.

Одна із різновидностей контактної термометрії рухомих об'єктів полягає в нерухомому встановленні термоперетворювача на об'єкті, а передача інформації від рухомого об'єкта до нерухомої

вимірювальної апаратури відбувається за допомогою провідного зв'язку. Проводовий зв'язок передачі вимірювальної інформації базується на застосуванні струмознімальних пристроїв різноманітних типів, які складаються із кілець-тролей, закріплених на рухомих об'єктах за допомогою ізоляторів та щіток, чи інших струмопровідних елементів, закріплених зовні рухомого об'єкта [1]. Ще одним із способів вимірювання температури рухомих об'єктів може бути спосіб з використанням давачів, що нерухомо закріплені відносно рухомих поверхонь і безпосередньо контактують з ними. Цей же спосіб можна використати при періодичних регламентних замірах температури, коли немає потреби використовувати ТП, що стаціонарно вмонтовуються в тіло дослідного об'єкта та комплектуються конструктивно складними системами передачі вимірюваної інформації. При використанні цих засобів вимірювань існує проблема точності отримуваних результатів та їх інтерпретації, і вирішення її може бути досягнуте на основі використання відповідних розрахункових даних і схемних рішень, в тому числі з вибором способів отримання інформації про температуру приповерхневих шарів рухомого об'єкта, які знаходяться в детерміністичних залежностях з температурою глибинних шарів цього ж об'єкта і системи машини в цілому [2–4].

Аналіз досліджень і публікацій

Одним із найбільш ефективних видів технічної діагностики машин є теплова діагностика, тобто діагностика за тепловими показами, оскільки теплота і температура є основними чинниками всіх без винятку механічних процесів – тертя, деформування, руйнування тощо. Теплові поля технічних об'єктів мають велику інформативність і можуть бути використані як для удосконалення технологічних процесів, так і для оцінки технічного стану машин, а також пошуку дефектів, несправностей їх окремих вузлів і деталей [5–9]. Зміна структурних параметрів технічного стану – лінійних розмірів, допусків, посадок, шорсткостей контактувальних елементів машин миттєво відображається зміною їх робочих теплових режимів.

Наприклад, сучасний автотранспортний засіб (у тому числі певні види військово-технічних систем) обладнано, як мінімум, чотирма тепловими діагностичними системами – температура охолоджувальної рідини, змащувальних агрегатів, антиблокувальна система ABS, клімат-контроль.

Слід мати на увазі, що використання щіткових струмознімачів передбачає введення в коло ТП ряду побічних провідників, за рахунок чого при різниці температур на їх границях виникає паразитна термо-ЕРС, яка тим більша, чим більший нагрів щітки. Паразитна термо-ЕРС є джерелом похибки вимірювання, значення якої змінюється із зміною кінетичних параметрів, які впливають на ступінь нагріву щітки та кільця-тролеї, а саме сили притискання щітки, швидкості обертання кільця-тролеї і коефіцієнта тертя. Тому під час проведення вимірювань в одержані результати необхідно вносити певні корективи, однак це зовсім не просто, оскільки паразитна термо-ЕРС при значних градієнтах температури між елементами пари тертя може перевищувати корисний сигнал ТП [6, 7]. Огляд і аналіз струмознімальних пристроїв із сухим механічним тертям між рухомою і нерухою частинами, призначених для передачі малих електричних сигналів ТП, дозволяє зробити висновок, що головною причиною виникнення паразитної термо-ЕРС є теплові явища – невід'ємні супутники всіх без винятку процесів тертя [2–6].

Постановка задачі. Коректні оцінки надійної та безпечної роботи технічної системи, отримані за результатами вимірювань параметрів технічного стану в процесі експлуатації або випробувань, як правило, відображають характер констатації результатів роботи та технічного стану відповідного інженерного об'єкта. В окремих випадках вони можуть набувати характеру прогнозуючих оцінок, якщо, наприклад, на підставі результатів кількох послідовних вибіркового вимірювань визначається

динаміка зміни діагностичних параметрів і робиться прогноз стану машини, якого вона набуде через деякий термін експлуатації [8]. Тобто, оцінка надійності стає прогнозованою тоді, коли на підставі вимірювань параметрів технічного стану діючих машин або існуючих аналогів, в результаті вивчення закономірностей, яким підкоряється процес формування показників надійності, робиться припущення про майбутній стан надійності обладнання, якого в даний момент може ще й не бути (він може існувати в проекті). Таке прогнозування надійності здійснюється на етапі проектування виробів.

Для покращення технічних характеристик і підвищення точності вимірювань слід використати коректно сформульовані крайові задачі нестационарної теплопровідності з відповідними крайовими умовами та умовами контакту, які враховують всі можливі види теплообміну між складниками вимірювальної системи та можливі джерела тепловиділень.

Мета статті полягає у вивченні теплових явищ, які мають місце в процесі механічного сухого тертя-ковзання елементів контактних струмознімальних пристроїв та засобів автотранспортних систем, і визначенні параметрів, що найбільш суттєво впливають на значення температурного градієнта між суб'єктами тертя.

Виклад основного матеріалу

При ковзаючому контакті двох тіл значна частина енергії, яка утворюється внаслідок сил тертя, перетворюється в теплову. Далі генерована теплота перерозподіляється між контактувальними тілами, що обумовлює підвищення температури в області контакту. Визначення температури в зоні контакту має важливе значення для прогнозування оцінки трибологічних характеристик фрикційної пари тертя [9]. Оскільки теплова задача тертя розв'язується на основі концепції температурного спалаху [10, 11], то при цьому виникає проблема визначення коефіцієнта розподілу тепла між трибоелементами фрикційної пари.

Розглянемо трибосистему диск-стержень, що притискається до нього (рис. 1). Під час обертання циліндра з куговою швидкістю ω за одиницю часу виконується робота A_s , що визначається залежністю $A_s = fNR\omega$, де f – коефіцієнт тертя ковзання. Зрозуміло, що частина теплоти, яка утворюється в умовах фрикційного тепловиділення, розсіюється у середовищі, прилеглому до зони контакту, але згідно з [12, 13] при такому контакті вона не перевищує 1%.

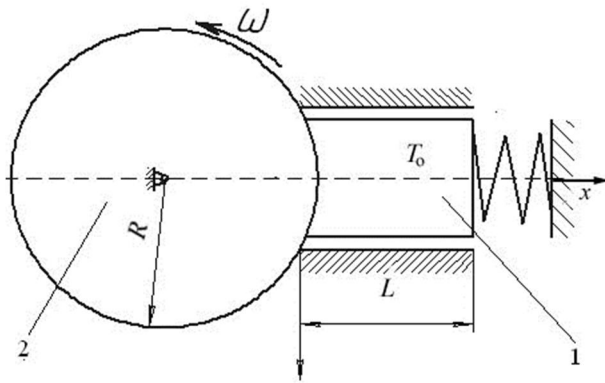


Рис. 1. Схема взаємодії стержня і диска:

1 – стержень; 2 – дослідний об'єкт (у вигляді циліндра скінченної товщини – диска)

Методика контролю теплового стану розглядуваного трибосприєження полягає у вивченні явищ, що мають місце в процесі роботи типової пари тертя фрикційної трибосистеми у вигляді диска, який контактує із штифтом (стержень прямокутного або круглого перерізу). Круглий диск радіуса R обертається з постійною кутовою швидкістю ω , і в початковий момент часу $t = 0$ до його бічної поверхні (ободу) притискається штифт. Робота сил тертя $A_s = fNR\omega$ зумовлює теплоутворення в області контакту, внаслідок чого виникають теплові потоки, які спрямовуються в кожне із контактувальних тіл. Вважається, що ширина d ділянки контакту мала ($d \ll R$), а поза її межами відбувається конвективний теплообмін з оточуючим середовищем (не обмежуючи загальності, можна покласти його температуру рівною нулю).

Диференціальне рівняння, якому задовольняє температура $T(r, \theta, t)$, що приймається сталою за товщиною диска, має вигляд [13–15]

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} - \sigma^2 \right] T = \frac{1}{k} \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (1)$$

Крайові умови матимуть вигляд:

$$K \frac{\partial T}{\partial r} = -\alpha_R T - q(\phi), \text{ при } r = R, t > 0, \\ T(0, 0, t) \neq \infty, T(r, \theta, 0) = T_0. \quad (2)$$

У (1), (2) позначено: $\sigma^2 = \alpha_\delta / (K\delta)$; k, K – коефіцієнти теплопроводності; α_R, α_δ – коефіцієнти тепловіддачі з поверхонь $r = R$ в області контакту і $z = \pm\delta$ відповідно; δ – півтовщина диска; (r, θ) – радіальна і кутова координати циліндричної системи координат (r, θ, z) .

Тепловий потік, обумовлений контактною взаємодією, можна подати наступним чином

$$q(\phi) = \begin{cases} q_0, & 0 \leq \phi \leq \phi_0, \\ 0, & \phi_0 < \phi \leq 2\pi, \end{cases} \quad (3)$$

де $q_0 = \frac{A_s}{S}$ – інтенсивність теплового потоку на контакті диска і стержня внаслідок теплоутворення від тертя; $\phi_0 = d/R$.

Розв'язок нестационарної крайової задачі (1)–(2) для диска будується методом розділення змінних [15]; розв'язок стаціонарної задачі з врахування суцільності диска дано через тригонометричні функції та модифіковані функції Бесселя першого роду $I_n(\cdot)$, $n = 0, 1, 2, \dots$; поклавши в отриманому розв'язку $r = R$ та провівши інтегрування за областю нагріву $0 \leq \phi \leq \phi_0$, знайдемо усереднену стаціонарну температуру

$$t_s = \frac{q_0 R}{K} S^s. \quad (4)$$

$$\text{Тут } S^s = A_0 I_0(\sigma R) + \sum_{n=1}^{\infty} A_{sn} I_n(\sigma R) \frac{1 - \cos n\phi_0}{n\phi_0}.$$

Усереднюючи нестационарну частину температурного поля диска, визначаємо

$$t_h(\text{Fo}) = \frac{q_0 R}{K} S^h(\text{Fo}). \quad (5)$$

В залежностях (4), (5) позначено:

$$S^h(\text{Fo}) = B_{c0} \sum_{m=1}^{\infty} C_{m0} e^{-\mu_{m0}^2 \text{Fo}} J_0(\mu_{m0}) + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} E_{mn}(\text{Fo}) e^{-\mu_{mn}^2 \text{Fo}} J_n(\mu_{mn}),$$

$$E_{mn}(\text{Fo}) = \frac{C_{mn}}{n\phi_0} \{ B_{cn} [\sin(n\phi_0 + nP_\omega \text{Fo}) - \\ - \sin(nP_\omega \text{Fo})] - B_{sn} [\cos(n\phi_0 + nP_\omega \text{Fo}) - \\ - \sin(nP_\omega \text{Fo})] \}, P_\omega = \omega R^2 / k; B_{s0} = 0; \rho = r / R;$$

$$\text{Fo} = kt / R^2; D_n(\theta) = B_{cn} \cos(n\theta) + B_{sn} \sin(n\theta); \\ B_{c0} = -A_0; B_{cn} = -A_{sn} \sin(n\phi_0); B_{sn} = A_{sn} \cos(n\phi_0);$$

$$C_{mn} = \frac{\int_0^1 \rho I_n(\sigma \rho) J_n(\mu_{mn} \rho) d\rho}{N^2};$$

$$N^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{Bi_R^2}{\mu_{mn}^2} + \left(1 - \frac{n^2}{\mu_{mn}^2} \right) \right] J_n(\mu_{mn});$$

μ_{mn} – корені трансцендентного рівняння $nJ_n(\mu) - \mu J_{n-1}(\mu) = Bi_R \mu J_n(\mu)$;

$J_n(\cdot)$ – функція Бесселя першого роду порядку n ;

$$A_0 = \frac{\phi_0}{2\pi} [\sigma R I_1(\sigma R) + Bi_R I_0(\sigma R)]^{-1};$$

$$A_{sn} = \{ \pi n [\sigma R I_{n-1}(\sigma R) + (Bi_R - n) I_n(\sigma R)] \}^{-1};$$

$Bi_R = \alpha_R R / K$ – критерій Біо, який характеризує теплообмін на площадці контакту диска і стержня.

Площа зони нагріву дорівнює $\Omega_0 = 2\delta d = 2\delta R\phi_0$, і тому кількість тепла, що йде на розігрів диска, складає $Q_0 = q_0\Omega_0$. Приймаючи до уваги рівності (4), (5), (6), отримуємо усереднену температуру диска в області теплоутворення

$$t_0(\text{Fo}) = \frac{Q_0 R}{\Omega_0 K} \left[S^s + S^h(\text{Fo}) e^{-\sigma^2 R^2 \text{Fo}} \right]. \quad (6)$$

При розгляді питань, що стосуються теплоутворення при роботі трибоз'єднання, необхідно знайти температурне поле штифта. Вважаючи його поперечний переріз достатньо малим, за рахунок чого температурне поле $T_1(x, t)$ є однорідним за координатою $0 \leq x \leq l$, приходимо до крайової задачі типу

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} - v^2 T_1 = \frac{1}{k_1} \frac{\partial T_1}{\partial t}, \quad (7)$$

$$-K_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = q_1 \text{ при } x = 0, \quad T_1 = T_0 \text{ при } x = L;$$

$$T_1(x, 0) = T_0, \quad (8)$$

де $v^2 = \frac{\alpha_l p}{K_1 S}$, α_l – коефіцієнт тепловіддачі з бокової поверхні штифта; k_1 , K_1 – коефіцієнти температуро- і теплопровідності матеріалу штифта; S, p – відповідно площа та периметр його поперечного перерізу; q_1 – інтенсивність теплового потоку, що перерозподіляється між диском і стержнем в області їх контакту.

Розв'язок крайової задачі (7), (8) шукаємо у виразі

$$T_1(x, t) = T_1^s(x) + T_1^h(x, t). \quad (9)$$

У залежності (9) позначено

$$T_1^s(x) = \frac{q_1}{K_1 v} \frac{\text{sh}v(L-x)}{\text{ch}vL}. \quad (10)$$

Поклавши в (10) $x = 0$ та врахувавши рівність $Q_1 = q_1 S$, матимемо для температури в області ділянки контакту

$$t_1^s = \frac{Q_1}{SK_1 v} \text{th}vL. \quad (11)$$

Для $T_1^h(x, t)$ – розв'язку нестационарної задачі з однорідними граничними умовами (8) і початковою $T_1^h(x, 0) = T_0 - T_1^s(x)$, з допомогою методу розділення змінних одержуємо

$$T_1^h(x, t) = T_0 - \frac{2Q_1 L}{\Omega_1 K_1} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\cos \gamma_j X}{v^2 L^2 + \gamma_j^2} e^{-(v^2 L^2 + \gamma_j^2) \text{Fo}_1},$$

де позначено:

$$\gamma_j = (2j-1)\pi/2; \quad X = x/L; \quad \text{Fo}_1 = k_1 t / L^2.$$

Звідси для усередненої нестационарної температури штифта в області нагрівання ($x = 0$) маємо

$$t_1^h(\text{Fo}_1) = T_0 - \frac{2Q_1 L}{SK_1} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{v^2 L^2 + \gamma_j^2} e^{-(v^2 L^2 + \gamma_j^2) \text{Fo}_1}.$$

На основі отриманих залежностей та співвідношення (10) отримуємо

$$t_1(\text{Fo}_1) = T_0 - \frac{Q_1 l}{SK_1} \left[\frac{\text{th}vL}{vL} - 2 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{e^{-(v^2 L^2 + \gamma_j^2) \text{Fo}_1}}{v^2 L^2 + \gamma_j^2} \right]. \quad (12)$$

Параметр $K = vL = \sqrt{\frac{\alpha_l p}{K_1 S}} L$ визначає характер

зміни температури вздовж стержня. Залежно від його значення, а саме від співвідношення величин, що його визначають, характер зміни температури отримується різним [16, 17]. Зокрема, для найбільш розповсюджених типів притискального стержня матимемо:

- прямокутний переріз, для якого $S = a \times b$, $p = 2(a+b)$ (a і b – розміри поперечного січення)

$$K = vL = \sqrt{\frac{\alpha_l 2(a+b)}{K_1 ab}} L = \sqrt{2 \frac{L}{a} \left(1 + \frac{a}{b}\right)} \sqrt{\text{Bi}_L};$$

- квадратний переріз, для якого $S = a \times a$, $p = 4a$ (a – розмір поперечного січення)

$$K = vL = \sqrt{\frac{\alpha_l 4a}{K_1 a^2}} L = 2 \sqrt{\frac{L}{a}} \sqrt{\text{Bi}_L};$$

- круглий переріз, для якого $S = \frac{\pi d^2}{4}$, $p = \pi d$

(d – радіус круглого січення)

$$K = vL = \sqrt{\frac{\alpha_l \pi d}{K_1 \frac{\pi d^2}{4}}} L = 2 \sqrt{\frac{L}{d}} \sqrt{\text{Bi}_L},$$

де $\text{Bi}_L = \frac{\alpha_l L}{K_1}$ – критерій Біо, який характеризує

процес тепловіддачі з бокової поверхні штифта.

З використанням отриманих виразів (5), (6), (10), (11) визначається кількість тепла, яка перерозподіляється між стержнем і диском. Це здійснюється прирівнюванням середніх температур трибоелементів у зоні контакту, тобто $t_s = t_1^s$. Тоді, з співвідношень (4) і (11) отримуємо

$$\frac{q_0 \Omega_0}{K} \cdot S^s = \frac{q_1 S}{K_1} \cdot \frac{\text{th}vL}{vL}. \quad (13)$$

Прийнявши для коефіцієнта розподілу теплових потоків залежність $\gamma = Q/Q_1$, де $Q = q_0 \Omega_0$, $Q_1 = q_1 S$, та врахувавши значення площі ділянки нагрівання, з (13) одержуємо

$$\gamma = \frac{2\sqrt{2} K \Delta \text{th}vL}{\pi K_1 S^s \sqrt{\text{Bi}_L}}, \quad \Delta = \delta R\phi_0.$$

Усталене значення температури притискального стержня для випадку, коли з протилежного до торця стержня, що притискається до диска, відбувається тепловіддача, а з бокових поверхонь вона відсутня, отримаємо з виразу

$$T(\eta) = T_0 - qT_1(X),$$

де $T_1(\eta) = 1 - X + \frac{1}{Bi_L}$; $X = \frac{x}{l}$ – безрозмірна поздовжня координата.

Дослідження зміни величини $T_1\left(\frac{x}{l}\right)$ вздовж стержня залежно від значення критерію Біо свідчать, що температура змінюється за лінійним законом і зростає зі зменшенням коефіцієнта тепловіддачі за гіперболічною залежністю.

На рис. 2 зображено залежність функції $T_1\left(\frac{x}{l}\right)$, віднесеної до початкової температури T_0 , від параметра Bi_L в крайніх перерізах стержня. З графіків, наведених на рис. 2, видно, що зі збільшенням тепловіддачі температура в граничних перерізах стержня суттєво зменшується.

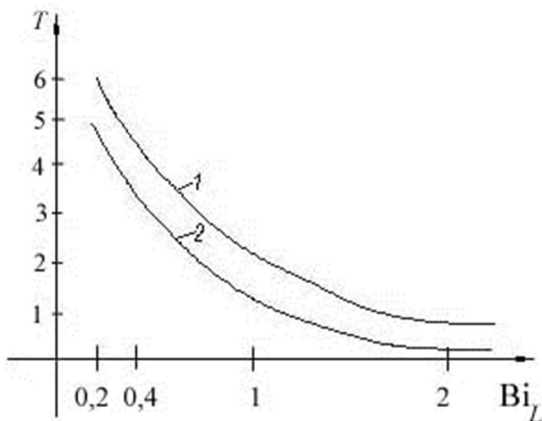


Рис. 2. Графік зміни усталеної температури вздовж стержня в двох крайніх точках залежно від критерію Біо:

$$1 - x = 0; 2 - x = L$$

На рис. 3 відображено зміну стаціонарної складової температури в різних перерізах стержня залежно від зміни кутової швидкості обертання диска і коефіцієнта тертя ковзання.

Кутова швидкість кільця та коефіцієнт тертя між кільцем і стержнем є одними з основних параметрів, що впливають на величину роботи, яка виконується в результаті механічного сухого тертя ковзання між кільцем та стержнем щітки. Зростання вказаних параметрів призводить до стрімкого зростання температури в тілі стержня, тобто до наведення температурного градієнта між кільцем та

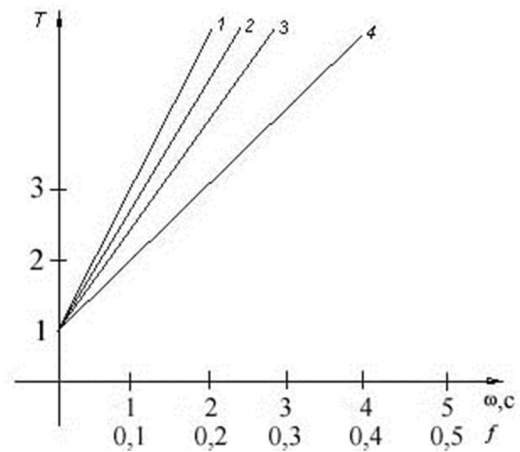


Рис. 3. Графік залежності температури від кутової швидкості обертання диска ω і коефіцієнта тертя ковзання f при $Bi_L = 1$:

$$1 - x = 0; 2 - x = L/4; 3 - x = L/2; 4 - x = L$$

стержнем. Отже, мінімізація роботи, що виконується в результаті тертя, яке супроводжується виділенням тепла, повинна відбуватись в напрямі зменшення параметрів ω та f .

Висновки

Проведені теоретичні дослідження теплових явищ, які відбуваються в елементах контактів струмознімальних пристроїв внаслідок механічного сухого тертя ковзання, показали, що температурні градієнти між контактувальними щіткою та кільцем є незворотними, їх значення залежить від таких параметрів, як коефіцієнт тертя, сили притискання контактувальних елементів та швидкості руху кільця. Відповідним підбором вказаних параметрів можна мінімізувати роботу, яка виконується в результаті тертя, але повністю усунути небажані ефекти, пов'язані з тепловиділенням від тертя, неможливо, а це означає, що повністю уникнути наведення температурних градієнтів між щіткою та кільцем, а отже паразитної термо-ЕРС, що наводиться в температурних колах відповідних трибо-систем, неможливо.

Подальші дослідження слід зосередити в напрямі розвитку теоретичного обґрунтування створення струмознімальних пристроїв, які базуються на інших принципах передачі сигналів і здатні усувати саму можливість наведення в контактувальних елементах температурних градієнтів і, як наслідок, паразитні електричні сигнали. Перспективними проблемами в електротермометрії, на наш погляд, є метод передачі малих електричних сигналів термоперетворювачів за допомогою струмопровідних рідин, оскільки контакт рідини, обмеженої в замкнутому об'єкті з твердим тілом, не приводить до нагрівання жодного з контактувальних елементів.

Список літератури

1. Анатычук Л.Н. Термоэлементы и термоэлектрические устройства / Л.Н. Анатычук. – Киев: Наук. думка, 1979. – 256 с.
2. Луцкич Я.Т., Гук О.П., Лах О.І., Стадник Б.І. Вимірювання температури: Теорія і практика / Я.Т. Луцкич, О.П. Гук, О.І. Лах, Б.І. Стадник. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 560 с.
3. Автоматизоване проектування контактних термоперетворювачів / Б.І. Стадник, М.М. Семерак, І.П. Дмитраш. – Київ: Наук. думка, 1991. – 152 с.
4. А.С. № 1610313 СССР Устройство для измерения температуры вращающихся объектов / П.И. Ванкевич, И.В. Кузьо, Б.В. Панкевич // Бюл. изобрет. № 44. 1999.
5. А.С. № 1647289 СССР Токосъемное устройство для контроля температуры вращающейся печи / П.И. Ванкевич, И.В. Кузьо, В.А. Пашистый и др. // Бюл. изобрет. № 17. 1991.
6. Ванкевич П.І. Обґрунтування експлуатаційних характеристик струмозмінального пристрою / П.І. Ванкевич, Б.І. Затхей, М.О. Медиковський // Науково-виробничий журнал НАУ «Електрифікація та автоматизація сільськогосподарства». – 2005. – Вип. № 1 (10). – С. 28–31.
7. Ванкевич П.І. Структура систем діагностики, контролю, метрології, стандартизації, якості та їх взаємозв'язок / П.І. Ванкевич, М.С. Козут, Б.І. Затхей // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Збірник наукових праць підприємств України по виробництву автобусів «Автобус». – 2000. – Вип. № 4. – С. 22–34.
8. Гордов А.Н. Основы температурных измерений / А.Н. Гордов, О.М. Жагулло, А.Г. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
9. Гудмэн Д. Диссипация энергии при контактном трении / Д. Гудмэн, О. Браун // Прикладная механика. – М.: Мир, 1962. – Т. 29, № 1. – С. 20–26.
10. Blok H. The flash temperature concept / H. Blok // Wear. – 1963. – V. 6, № 6. – P. 483–494.
11. Гинзбург А.Г. Расчет средней температуры скользящего контакта пары контактный провод-токосъемные пластины пантографа / А.Г. Гинзбург, А.М. Миханько, А.В. Чичинадзе // Трение и износ фрикционных материалов. – М.: Наука, 1977. – С. 20–26.
12. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
13. Корнев Б.Г. Задачи теории теплопроводности и термоупругости / Б.Г. Корнев. – М.: Наука, 1980. – 400 с.
14. Мелан Э., Паркус Г. Термоупругие напряжения, вызываемые стационарными температурными полями / Э. Мелан, Г. Паркус. – М.: Физматгиз, 1958. – 167 с.
15. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 736 с.
16. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
17. Kounas P.S. The distribution of friction heat between a stationary pin and a rotating cylinder / P.S. Kounas, A.D. Dimarogonas // Wear. – 1972. – V. 19, № 3. – P. 415–424.

Рецензент: д.ф.-м.н., с.н.с. Б.Д. Дробенко, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Львів.

Методика контроля теплового состояния узлов и агрегатов военной техники стационарно смонтированными диагностическими устройствами

П.И. Ванкевич, Е.Г. Иваник, О.В. Сикора

В рамках решения актуальных задач исследования и разработки систем передачи информации измерения температурного состояния движущихся объектов разработана методика контактной термометрии данного типа технических систем, состоящая в установлении термопреобразователя на объекте, а передача информации от движущегося объекта к неподвижной измерительной аппаратуре осуществляется при помощи проводной связи. Построена расчетная схема изучения тепловых явлений, имеющих место в процессе механического сухого трения-скольжения элементов контактных термопреобразователей (в частности, токосъемных устройств и средств технических систем), базирующаяся на формулировке нестационарной задачи теплопроводности, моделирующей работу типовой пары трения фрикционной трибосистемы в виде диска, контактирующего со штифтом (стержень прямоугольного или круглого сечения).

Ключевые слова: тепловые явления, теплопередача, трибосистема, нестационарная задача теплопроводности, термопреобразователь, диск, стержень, теплоотдача, токосъемное устройство, военно-технические системы.

Methodology of the heat state control of junctions and units military technics by stationary assembly diagnostic devices

P. Vankevych, E. Ivanyk, O. Sikora

Solving of actual tasks of research and of the system of transmission information in the measuring of the temperature state of the moving object were developed methods of the contact thermometric for technical system which means in unmoving install of thermotransformer in the object, and transmission of information from moving to unmoving measure equipment happens by use of wire connection. There was developed scheme of learning of heat phenomenon that have a place in the process of mechanical dry friction-sliding of the elements of contact thermotransformer such as current survey devices and technical system

sources, which is based on the statement of the non-stationary problem of heat conduction, that models the work of typical steam friction of fractional tribosystem in the shape of disc which has contact with stift (of rectangle or round cut).

Keywords: *heat phenomenon, heat transfer, tribosystem, nonstationary problem of heat conduction, thermotransformer, disc, stift, heat exchange, current survey devices, military-technical system.*

УДК 621.867.52

І.Й. Врублевський

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДА ВІБРАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТЕРА У ДОРЕЗОНАНСНОМУ РЕЖИМІ

Розглянуто роботу електромагнітного привода вібраційного транспортера у дорезонансному режимі, коли частота власних коливань транспортера суттєво більша частоти вимушеної сили і реалізуються бігармонічні коливання робочого органа вібротранспортера. Виведено рівняння залежності амплітуд першої і другої гармонік коливань робочого органа вібротранспортера від частоти власних коливань. Побудовано амплітудно- і фазочастотні характеристики електромагнітного віброзбуджувача у дорезонансному режимі. Визначено величину частоти власних коливань, при якій у дорезонансному режимі реалізуються оптимальні за швидкістю бігармонічні коливання. Описана експериментальна установка для дослідження електромагнітного віброзбуджувача, наведено результати експериментів. За отриманими осцилограмами коливань визначені співвідношення між амплітудами і фазами першої та другої гармонік коливань в залежності від резонансного відлаштування вібротранспортера. Порівняння результатів експериментів з теоретичними дослідженнями показало цілком достатній збіг. Використання бігармонічних коливань робочого органа у напрямку, перпендикулярному відносно площини транспортування, сприяє суттєвому підвищенню продуктивності вібротранспортера, при визначеній частоті власних коливань це можливо без ускладнення його конструкції.

Ключові слова: *вібраційний транспортер, електромагнітний віброзбуджувач, бігармонічні коливання.*

Постановка проблеми

У сучасній промисловості, в тому числі на військових підприємствах, широко застосовуються найрізноманітніші транспортні пристрої і конвеєри. Серед них велику роль відіграють вібраційні транспортні засоби, в яких переміщення матеріалу відбувається завдяки вібрації – низькочастотним коливанням робочого органа пристрою. Причому за принципом вібраційного переміщення працюють не тільки віброконвеєри та транспортери, а й інші вібротранспортні засоби: бункерні живильники, підйомники, сепаратори, вібраційні маніпулятори [1]. У вібротранспортних пристроях використовуються різні типи привода: дебалансні, ексцентрикові, пневматичні, гідравлічні. Але найбільш поширені пристрої з електромагнітним приводом завдяки своїй економічності, надійності і довговічності у зв'язку з відсутністю у механізмі віброзбуджувача деталей, які труться. Вібротранспортні пристрої можуть знайти широке застосування на підприємствах військової промисловості, наприклад,

для механізації міжопераційного транспортування, сепарації, сортування і подачі штучних виробів на позиції обробки або складання в автоматичних лініях тощо. Однак їм властиві і деякі недоліки, наприклад, порівняно зі стрічковими конвеєрами вони переміщують матеріали меншої ваги на одиницю маси транспортера та з меншою продуктивністю. Для більш широкого застосування вібраційних транспортних засобів з електромагнітним приводом необхідні теоретичні та експериментальні дослідження з метою створення нових конструкцій, що вирізняються суттєво більшою продуктивністю, яку забезпечить значне підвищення швидкості вібротранспортування, а також збільшення маси вантажу, що переміщується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Швидкість вібротранспортування можна визначити за допомогою простої формули [2] $V = A\omega K$, де A – амплітуда коливань несучої площини у напрямку переміщення, ω – кругова частота