

УДК 541.11/123(075.8)

DOI: 10.18372/0370-2197.3(96).16835

М. В. КІНДРАЧУК¹, Д. О. ВОЛЬЧЕНКО², Д. Ю. ЖУРАВЛЬОВ²,
Є. Ю. АНДРЕЙЧИКОВ², А. В. ПРИСЯЖНИЙ²

¹Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ НАВАНТАЖЕНОСТІ ПАР ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ (частина I)

Матеріали статті відносяться до фізичних методів оцінки навантаженості пар тертя гальмівних пристроїв. Методи виражені принципами, що впливають на фізико-механічні властивості матеріалів пар тертя та їх внутрішні та зовнішні параметри. До принципів віднесені: причинність, симетрія, взаємність та еквівалентність, спорідненість, суперпозиція (елементарна та складна). Виконано аналіз принципів і показано як вони поширюються на енергетичні поля пар тертя гальм. З принципів виділені попарно такі поля: «механо-теплове»; «хіміко-теплове»; та «електро-магнітне». Приділено увагу у матеріалах цієї статті лише «механо-тепловому» енергетичному полю при електротермомеханічній фрикційній взаємодії пар тертя гальмівних пристроїв.

Ключові слова: фізичні методи; гальмівні пристрої; пара тертя; металевий фрикційний елемент; механічна та теплова навантаженість.

Вступ. Застосування різних загальнофізичних принципів відкриває широкі можливості для розрахунку та аналізу теплового режиму металевих фрикційних елементів дисково-браванно- та стрічково-колодкових гальмівних пристроїв та стає якісно новим методом вирішення теплових задач.

Матеріали пропонованих статей значною мірою спрямовані на розробку та впровадження цього методу, який можна назвати методом фізичних принципів, або, коротше, методом принципів.

Серед принципів, що використовуються у матеріалах статей, знаходяться принципи згідно з рис. 1. Принципи симетрії, еквівалентності, суперпозиції (елементарної та складної) вже давно застосовуються в термодинаміці та теплопередачі, хоч і невиправдано мало. Принцип взаємності під час вирішення теплових задач не використовувався. Зате в роботі [1] було приділено увагу всім принципам стосовно пластини заданої товщини, в якій температурні джерела взаємодіють, а також дотримувалося симетричне їх розташування.

Аналіз літературних джерел та стан проблеми. Зупинимося коротко на принципах, які у теплових задачах.

Причинність – взаємний зв'язок процесів, явищ і ефектів, при якій одне є причиною іншого.

Симетрія – пропорційність частин виробу, розташованих по обидва боки від середини центру.

Взаємність застосовується під час вирішення деяких задач теплопровідності. Це означає, що якщо джерело теплоти I_s , що знаходиться в точці 1, викликає в точці 2 зміну температури $\Delta t=f(\tau)$, то, якщо перемістити джерело в точку 2, в точці 1 матиме місце та сама зміна температури Δt .

Слід наголосити, що у взаємних точках швидкості зміни температур однакові, але градієнти температур різні, тому треба пам'ятати, що перехід до взаємної задачі не є переходом до еквівалентної задачі – температурні поля виявляються різними.



Рис. 1 Принципи, збурення, потенціали та градієнти в енергетичних полях металополімерних пар тертя

Важливість застосування принципу взаємності у задачах теплопровідності відома [1]. До них відносяться при дії джерела теплоти: у напівобмеженому тілі або необмеженій пластині; пластини, покритої шаром турбулізованої рідини, а також у пластині за наявності на одній границі шару рідини та адіабатичної умови, на іншій – граничної умови III-го роду.

Еквівалентність – стосовно теплових задач полягає в тому, що заміна будь-якої умови неоднозначності не впливає на тепловий режим розглянутого тіла – перебіг температури у всіх точках залишається незмінним.

Принцип еквівалентності говорить про можливість еквівалентної заміни джерел теплоти та теплові опори, а також теплофізичних характеристик, геометричної форми та розмірів тіла. Нагадаємо, що існує два типи джерел теплоти: I_t – джерела заданої температури та I_s – джерела заданої інтенсивності теплового потоку. Джерела I_s можуть бути як зовнішні, так і внутрішні. Джерела I_t бувають лише зовнішніми. Тому можуть існувати такі еквівалентні заміни:

- зовнішні джерела будь-якого типу (I_t або I_s) замінюються зовнішніми джерелами іншого типу;
- зовнішні джерела типу I_t та I_s замінюються внутрішніми джерелами типу I_s ;
- внутрішні джерела типу I_s замінюються зовнішніми джерелами типу I_t або I_s .

Еквівалентна заміна внутрішніх джерел внутрішніми джерелами іншого типу неможлива, оскільки внутрішні джерела можуть бути лише одного типу – I_s .

Заміни можуть бути повними або частковими, але у всіх випадках зберігається принцип еквівалентності – тепловий режим всього тіла не помічає змін умов однозначності.

Усі еквівалентні переходи (заміни) зворотні. Наприклад, якщо показана можливість заміщення джерела типу I_s джерелом I_t , то цим показана можливість зворотного переходу.

Спорідненість – подібність за основними властивостями або спільності. Наприклад: спорідненість до електрона, хімічна спорідненість, електрохімічна

спорідненість. Суперпозиція - результуючий ефект кількох незалежних впливів, є сумою ефектів, викликаних кожним впливом окремо. Принцип суперпозиції буває елементарним та складним. Елементарний принцип суперпозиції свідчить про таке. Якщо суперпозиція температурних полів у системі розглянута за умови, що потужність джерела теплоти, коефіцієнти окремих частин системи та її коефіцієнти теплообміну не залежать від температури, проілюстровано в роботі [2]. В останній приділено увагу умовному середовищу та його температурі, а також власному та наведеному перегріву системи.

Таким чином, у такому вигляді методи принципів не можуть бути використані в парах тертя гальм і тому їх необхідно вдосконалити.

Постановка задачі. Слід вирішити проблему використання фізичних принципів стосовно пар тертя гальмівних пристроїв та розглянути фрикційну взаємодію їх механічних та теплових полів.

Основні питання статті: – оцінка навантаженості пар тертя гальмівних пристроїв; механічна з тепловою навантаженістю вузлів тертя гальм.

Мета роботи – обґрунтувати застосування фізичних методів для оцінки навантаженості пар тертя гальмівних пристроїв.

Оцінка навантаженості пар тертя гальмівних пристроїв. Відомо, що навантаженість пар тертя стрічково-барабанно- та дисково-колодкового гальма залежить від багатьох суб'єктивних та об'єктивних факторів. Так, для стрічкового гальма бурової лебідки об'єктивними чинниками є: технологія буріння, кліматичні та фізіологічні умови; суб'єктивними – якість виготовлення обладнання, кваліфікація обслуговуючого персоналу тощо. Для барабанно- та дисково-колодкових гальм транспортних засобів об'єктивними факторами є кліматичні та дорожні умови; суб'єктивними – якість виготовлення в цілому гальмівного механізму, кваліфікація водіїв, техніка водіння транспортного засобу тощо. Цілком зрозуміло, що врахувати всі ці фактори при математичному описі процесів нагрівання елементів гальмівного вузла практично неможливо.

Для повного аналітичного опису конвективного та радіаційного теплообміну поверхонь металевих фрикційних елементів гальм необхідно задавати системи рівнянь та умови однозначності. Перераховані в табл. 1 чотири граничні умови (класичні) і становлять умови однозначності, а сукупність початкової та граничної умов називається крайовими умовами.

Умовні позначення: λ , α – коефіцієнти: теплопровідності, тепловіддачі; q_v – питомий тепловий потік; індекси $x = +0$ і $x = -0$ - зовнішні та внутрішні поверхні; $\partial t_w / \partial x$ – градієнт температури за товщиною тіла; ϑ – температура нагрівання.

Класичному переліку граничних умов відповідають такі початкові умови

$$t(x, y, z, \theta) = f_3(x, y, z). \quad (4)$$

У загальному випадку λ , c , ρ , p , q , α можуть бути функціями координат, температури, часу. У кожному конкретному випадку, особливо в завданнях з рухомими границями, де відбуваються фазові перетворення, запис граничних умов може мати дещо іншу форму, але в принципі граничні умови I – IV роду охоплюють усі можливі випадки.

В останні роки з'явилися роботи, де поставлено питання про формалізм граничних умов I – IV роду, особливо для нестационарних задач.

Таблиця 1

Класичний перелік граничних умов		
Залежності		
Рід граничної умови	I-ої	Відома температура поверхні тіла (t_n)
	II-ої	Задано інтенсивність теплового потоку ззовні до тіла (q_v) $-\lambda \frac{\partial t_n}{\partial x} \Big _{x=+0} = q_v. \quad (1)$
	III-ої	Тепловий потік, що надходить від середовища, що омиває, прямопропорційний різниці температури середовища і поверхні тіла $-\lambda \frac{\partial t_n}{\partial x} \Big _{x=+0} = \alpha(\vartheta - t_{x=+0}). \quad (2)$
	IV-ої	Тіло перебуває у зіткненні з іншим тілом, які мають інші теплофізичні характеристики $t_{n1} \Big _{x=+0} = t_{n2} \Big _{x=-0}. \quad (3)$

Наприклад, в [3] показано, що нестационарні задачі перенесення тепла слід у загальному випадку вирішувати, як сполучені, тобто одночасно необхідно вирішувати рівняння перенесення тепла й у середовище, яке омиває тіло. У [4] показано, що при вирішенні задач теплоперенесення граничні умови II роду краще відповідають фізичній картині явищ, ніж III роду. Для нестационарних режимів коефіцієнти α_q , α_m – величини фіктивні більшою мірою, ніж за стаціонарних, де і α_q , і α_m введені формально. У принципі задачі теплообміну середовищ із твердими тілами повинні вирішуватися як поєднані задачі, але у ряді випадків граничні умови II та III роду цілком виправдані [5].

Зазначимо, що нелінійними називатимемо задачі, в яких:

- λ , c , ρ – функції температури;
- α , q – функції температури;
- ρ – функція температури;
- координати границь фаз залежать від температури (рухливі границі, положення яких визначається температурою).

При оцінці енергонавантажності пар тертя гальмівних пристроїв потрібно знати:

- геометричні параметри пар тертя та їх форму;
- теплофізичні характеристики матеріалів;
- початкові і граничні умови;
- максимальну енергонавантажність металевих фрикційних елементів та їх теплообмінну здатність, яка полягає у спільній дії кондуктивного теплообміну з радіаційним та кондуктивним теплообміном з їх поверхонь, а також допустиму температуру для матеріалів полімерної накладки.

Ці чотири умови називаються умовами однозначності, а сукупність початкового та граничних умов – крайовими умовами.

Енергонавантажність робочих поверхонь обода шківів і барабана, а також бігової доріжки тертя дисків (суцільного та самовентильованого) залежить від їхньої металеюмності. Чим менше остання, то швидше прогріється той чи інший металевий фрикційний елемент. Крім того, на ефективність конвективного та радіаційного теплообміну впливає співвідношення площ матових та полірованих

поверхонь металевих елементів. При цьому зазначені види теплообміну повинні взаємодіяти з кондуктивним теплообміном.

Металеві фрикційні елементи гальм потрапляють у зони усталеного та термостабілізаційного стану. У першому випадку кількість теплоти, що генерується парю тертя та відводиться в навколишнє середовище є рівною. У другому випадку градієнт температури товщини металевого фрикційного елемента стає мінімальним. Крім того, свій агрегатний стан змінює поверхневий шар полімерної накладки. Облік перелічених вище елементів пари тертя і вимагає для температурних зон неоднакових початкових умов, що і призводить до змінних умов однозначності.

Механічної з тепловою навантаженістю вузлів тертя гальм. Процес тертя за своєю сутністю є дисипативним і характеризується генеруванням електричних та теплових струмів. Фрикційний розігрів значною мірою визначає умови взаємодії мікроступів поверхонь тертя, зміна їх площ та руйнування (значення фактичної та контурної площі дотику, величин максимальних електричних та теплових струмів, пружної деформації та її енергетичних рівнів у робочих шарах мікроступів, що впливають, у свою чергу, на площі фактичного контактування, величини елементарних нормальних сил і сил тертя на одиниці фактичної площі контактування і т.д.). Тому дослідження та випробування при механічному навантаженні металополімерних пар тертя дозволяють оцінити нормальні сили, сили тертя, динамічний коефіцієнт тертя, гальмівний момент, що розвивається парами тертя та інтенсивність зношування їх робочих поверхонь у широкому діапазоні зміни температур тертя, виходячи з того, що вони мають імпульсний характер, підкоряючись хвильовій теорії поля.

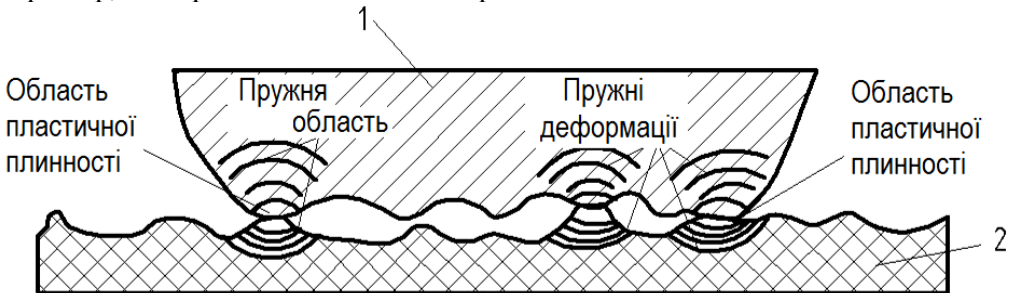


Рис. 2 Деформації мікроступів при контактуванні пари тертя «метал (1) – полімер (2)»

Закони пружності, що мають місце при контактній-імпульсній взаємодії мікроступів поверхонь металополімерних пар тертя при малих їх деформаціях, відображають взаємно однозначні залежності між імпульсними значеннями напружень і деформацій. Під дією динамічних навантажень, електричних і теплових струмів поверхневі шари металополімерних пар тертя піддаються пластичним деформаціям.

Відомо, що механічна енергія є упорядкованою формою енергії, тоді як внутрішня енергія - невпорядкованою. Деформації мікроступів при контактуванні поверхонь тертя пари "метал-полімер" представлені на рис. 2. Траєкторії головних розтягуючих і стискаючих напружень в ободі шківів при рівномірному розподілі навантаження в парі тертя «полімер-метал» наведено на рис. 3.

На рис. 4 і 5 а, б представлені схеми імпульсного навантаження пари тертя «полімер-метал» у стрічково-колодковому гальмі та закономірності зміни зовнішніх та внутрішніх параметрів у його секторі.

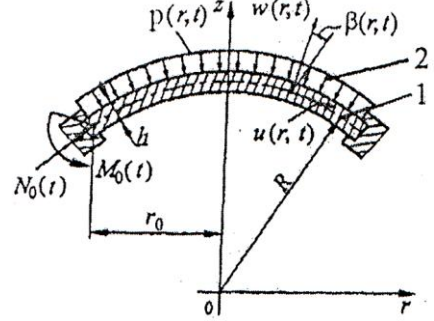
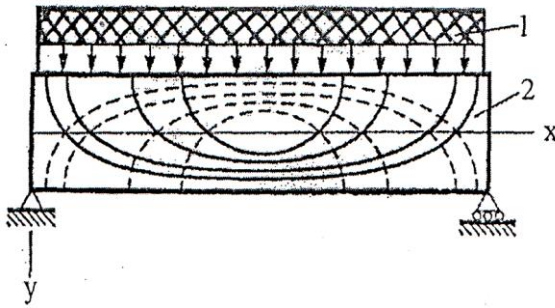


Рис. 3 Траєкторії головних розтягуючих (-) і стискаючих (- - -) напружень в ободі шківів при рівномірному розподілі навантаження в парі тертя «полімер (1) – метал (2)»

Рис. 4 Схема імпульсного навантаження пари тертя «полімер (1) – метал (2)» у стрічково-колодковому гальмі

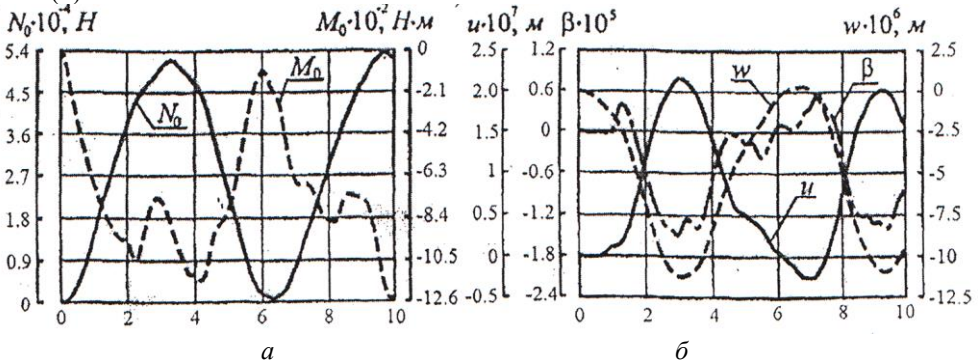


Рис. 5. Закономірності зміни в секторі оболонки: а – мембранного зусилля (N_0) і згинального моменту (M_0) від величини безрозмірного часу; б – зміщення серединної поверхні у меридіальному (u) та нормальному (w) напрямках при куті повороту (β) нормалі до серединної поверхні у площині меридіана від величини безрозмірного часу

При цьому використані такі позначення: r – полярна координата точки; h, R – товщина оболонки та радіус кривини її серединної поверхні; t, T_{inv} – час взаємодії: нормальний, безрозмірний; p, q – поверхневі навантаження в меридіальному та нормальному напрямках; N_0, Q – зусилля: мембранне, поперечне; M_0 - згинальний момент; u, w – зміщення серединної поверхні оболонки в меридіальному та нормальному напрямках; β - кут повороту нормалі до серединної поверхні.

За першим варіантом на оболонку впливає імпульс питомих навантажень, що задається формулою $Q(t)=q_0 \cdot H(t)$, де $q_0=10^5$ Н/м², $H(t)$ – одинична функція Хевісайду.

За другим варіантом на оболонку впливає імпульс питомих навантажень у формі «сходинки», що задається формулою $Q(t)=q_0[H(t)-H(t-\omega)]$, де ω – час дії імпульсу питомих навантажень.

На рис. 5 проілюстровані систематизовані і несистематизовані (але які можна звести до систематизованих) синусоїдальні криві, породжені імпульсним навантаженням металополімерної пари тертя гальма.

Імпульсний додаток навантаження до мікроступів поверхонь тертя металополімерних пар у початковий момент гальмування викликає генерування імпульсних електричних струмів.

Електричний імпульс синусоїдальної форми та його характеристики проілюстровані на рис. 6. При цьому використані такі позначення: A' – амплітуда; t_{II} – тривалість імпульсу; t_{IIa} – тривалість імпульсу лише на рівні $0,5A'$. Електричний імпульс характеризує короткочасне відхилення електричної напруги або сили струму від деякого постійного значення.

Емпірична залежність визначення імпульсу струму іноді наведена на рис. 6 (де e – основа натурального логарифму). Імпульс струму виражається в амперсекундах у разі довільного тимчасового ходу струму. Слід зауважити, що електричний імпульс і електромагнітна плоска хвиля описуються однаковою законом – синусоїдою.

Сильні коливання температури в початковий період тертя пов'язані з генеруванням електричних струмів на мікроступах поверхонь з постійним їх згасанням до кінця пов'язано також з міграцією «гарячих плям», що виникають на поверхнях тертя в результаті дискретності контакту. Судячи з хвильової періодичності зміни температури в зонах термопар, розташованих у різних точках поверхневого шару накладки, переміщення «гарячих плям» підпорядковується деякою аперіодичною закономірності, пов'язаною з нерівномірністю розподілу нормальних сил на поверхні фрикційного контакту, і як наслідок, питомих навантажень, а також зношування. Характерне збільшення величин температур зі збільшенням твердості матеріалів поверхневого шару накладки, пов'язане, очевидно, зі зміною розмірів «гарячих плям» і більш нерівномірним розподілом їх по поверхнях мікроступів тертя.

На рис. 7 показані запропоновані розрахункові моделі для оцінки характеристик взаємодії плям контактів з різними діаметрами пари тертя «метал – полімер» при генеруванні електричних і теплових струмів.

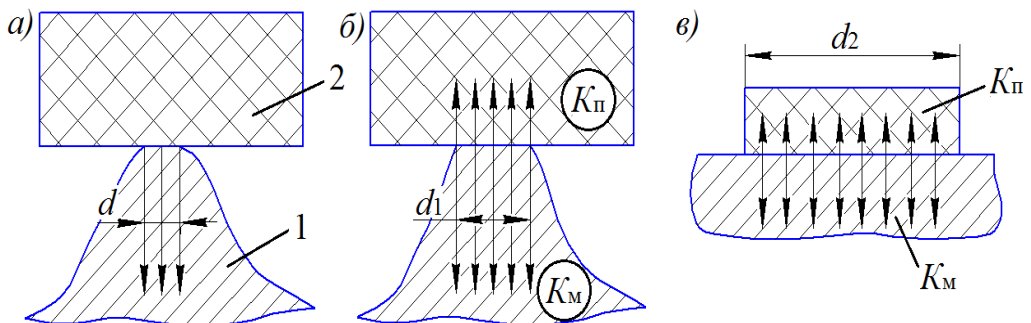


Рис. 7. Розрахункові моделі для оцінки характеристик взаємодії плям контактів з різними діаметрами (d , d_1 , d_2) пари «метал (1) – полімер (2)» при генеруванні: а – імпульсних електричних струмів; б, в – імпульсні температурні струми: спалахи; поверхневі

На рис. 7 б, введені позначення K_M , K_P означають коефіцієнти розподілу теплових потоків, відповідно, металевий і полімерний фрикційний елементи [6].

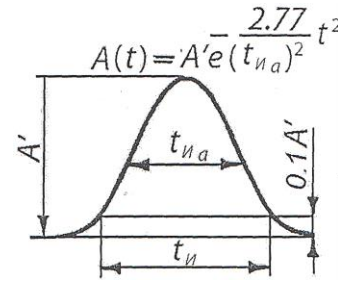


Рис. 6 Електричний імпульс синусоїдальної форми та його характеристики

Слід зазначити, що зі збільшенням площі плям контактів мікроступів спостерігається зростання заряджених частинок на їх поверхнях.

Проаналізуємо теплонавантаженість поверхневого та приповерхневого шарів елементів тертя металополімерних пар.

Відповідно до класичної теорії [5, 6, 7] у безпосередній близькості від точок контакту пари тертя «метал (1) – полімер (2)» (рис. 8, а) утворюються окремі напівсферичні ізотермічні поверхні, що зливаються у загальну поверхню на певній глибині.

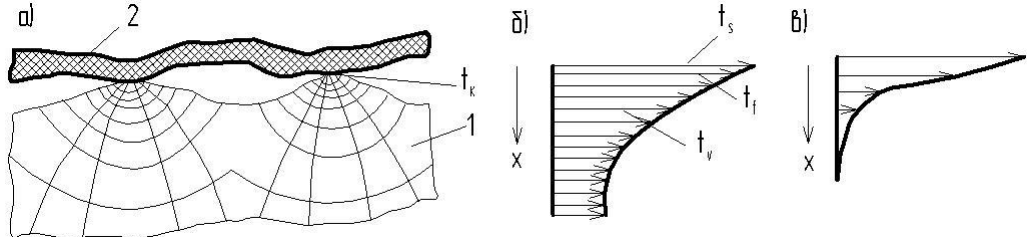


Рис. 8. Температурне поле поверхневого шару металевго (1) елемента (а) при терті та епюри зміни температур у ньому (б) і в приповерхневому шарі полімерного (2) елемента (в): t_f , t_k , t_s , t_v – температури: тертя, що виникає у зоні деформації мікроділянок робочої поверхні; контактна, що виникає у точках контакту; поверхнева, що виникає на макрочастотах поверхонь тертя; об'ємна, що виникає в тілі елемента тертя нижче за зону деформації

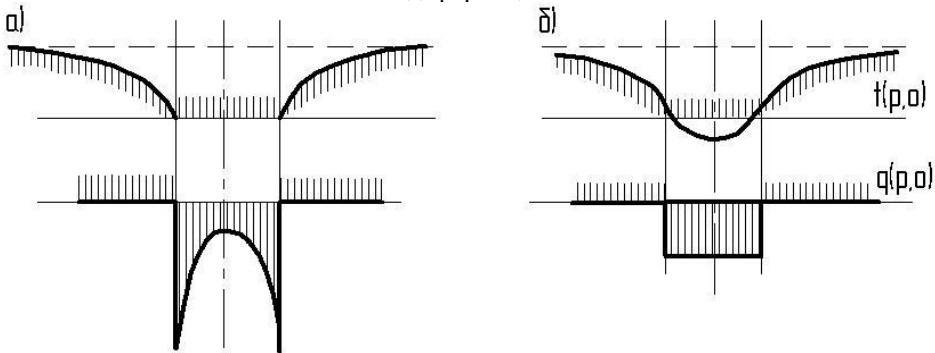


Рис. 9. Розподіл температури (t) та теплового потоку (q) на плямі контакту за: а – $t = \text{const}$; б – $q = \text{const}$

Розташування ізотермічних поверхонь характеризується величиною температурного градієнта. У загальному випадку температурне поле в металевому та полімерному фрикційних елементах, що відносяться, відповідно, до поверхневого та приповерхневого їх шарів, представлено на рис. 8 б. З останнього видно, що у зоні взаємодії мають місце такі температури: t_f – тертя, що у зоні деформації мікроділянок робочої поверхні; t_k – контактна, що виникає у точках контакту; t_s – поверхнева, виникає на мак-роучастках поверхонь тертя; t_v – об'ємна, виникає в тілі елемента тертя нижче за зону деформації.

На рис. 9 наведено розподіл температури (t) і теплового струму (q) на плямі контакту при: а – $t = \text{const}$; б – $q = \text{const}$. Однак такий ідеальний розподіл температури (t) і теплового потоку (q) на плямі контакту в парах тертя неможливий через інверсію струмів між зонами, що взаємодіють.

У гальмівних пристроях, що мають не масивний металевий елемент тертя (транспортні засоби, деякі підйомно-транспортні машини та ін.), до досягнення

фрикційними накладками допустимої температури роль термоелектрогенератора виконує контртіло (металевий елемент тертя), а термоелектроохолодильника - поверхневі шари фрикційних накладок. Після перевищення допустимої температури картина змінюється на зворотню. У стрічково-колодковому гальмі бурової лебідки металевий елемент тертя масивний, він є термоелектрогенератором. Тепловий стан поверхневих шарів фрикційних накладок стрічки різний.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що на енергетичні рівні поверхневого та приповерхневого шарів та механічні характеристики матеріалів значно впливають темпи їх нагрівання та вимушеного охолодження, а також їх циклічність. Остання зумовлює суттєву зміну характеру структурних перетворень у поверхневих та приповерхневих шарах, і як наслідок, сприяє зміні фізико-механічних властивостей їх матеріалів.

При нагріванні обода шків, виготовленого із сталі 35ХНЛ, що має різні градієнти температури на його робочій поверхні та товщині, в матеріалах приповерхневого шару обода відбуваються фазові перетворення, що ведуть до утворення в ньому аустеніту. Ця обставина призводить до зменшення об'єму поверхневого шару обода з-за нерівномірного прогрівання приповерхневого його шару, в той час як об'єм всіх нижчих шарів обода збільшився через лінійне розширення, викликане їх нагріванням. В результаті чого зовнішній аустенітний нерівномірний шар стискає внутрішній об'єм шарів обода і при цьому в першому розвиваються напруження стиску, що сприяють у місцях найбільш тонких поперечних перерізів виникненню поперечних тріщин на робочій поверхні обода.

Таким чином, зі зставлення градієнтів механічних властивостей поверхневих і приповерхневих шарів матеріалів обода шків (міцності, пружності, напружень різного роду) і градієнтів температури, що викликають фазові перетворення у вищевказаних шарах необхідно сформулювати спеціальні вимоги нагрівання та вимушеного охолодження. При цьому важливо зауважити, що вид руйнування контактних поверхонь металополімерних пар тертя визначається градієнтами механічних властивостей матеріалів, градієнтами температури на робочій поверхні обода шків і за його товщиною, метастабільністю поверхонь фрикційних накладок і зовнішнім середовищем омиваючих їх робочі поверхні.

Висновок. Використання складових фізичних принципів стосовно фрикційних пар тертя гальмівних пристроїв дозволить:

- систематизувати та подати у вигляді малюнка принципи, збурення, потенціали та градієнти в енергетичних полях металополімерних пар тертя;
- систематизувати черговість перебігу процесів, ефектів та явищ електротермомеханічного тертя;
- розглядати як окремо поля фрикційної взаємодії, а й досліджувати їх попарно задля встановлення впливу одного на другого;
- при вирішенні теплових задач для оцінки енергонавантаженості різних типів фрикційних вузлів введені такі умови однозначності:
 - геометричні параметри пар тертя та їх форму;
 - теплофізичні характеристики матеріалів;
 - початкові та граничні умови;
 - максимальну енергонавантаженість металевих фрикційних елементів та їх теплообмінну здатність, яка полягає у спільній дії кондуктивного теплообміну з

радіаційним та конвективним теплообміном з їх поверхонь, а також допустиму температуру для матеріалів полімерної накладки;

– початкові умови для металевого фрикційного елемента повинні бути змінними, які відповідали б встановленому та термостабілізаційному його стану.

Список літератури

1. Пехович А. И. Расчеты теплового режима твердых тел / А. И. Пехович, В. М. Жидких // Л.: Энергия, 1976. – 352 с.
2. Мучник Г. Ф. Методы теории теплообмена. Тепловое излучение // Г. Ф. Мучник, И. Б. Рубашов // М.: Высшая школа, 1974. – 272 с.
3. Нестационарный теплообмен / В. К. Кошкин, Э. К. Калинин, Г. А. Дрейцер, С. Я. Ярхо // М.: Машиностроение, 1973. – 328 с.
4. Цветков Ф. Ф. Тепломассообмен / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев // М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 215 с.
5. Коздоба Л. А. Электрическое моделирование явлений тепло- и массопереноса / Л. А. Коздоба // М.: Энергия, 1972. – 296 с.
6. Вольченко А. И. Тепловой расчет тормозных устройств // Львов: Изд-во при Львов. ун-те, 1987. – 136 с.
7. Дульнев Г. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры // Г. Н. Дульнев, Н. Н. Тарновский // Л.: Энергия, 1971. – 248 с.

Стаття надійшла до редакції 08.08.2022.

Кіндрачук Мирослав Васильович – докт. техн. наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, E-mail: nau12@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0529-2466>.

Вольченко Дмитро Олександрович – докт. техн. наук, професор кафедри видобування нафти і газу Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, моб. 050-373-82-42, E-mail: divo99@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1565-749X>.

Журавльов Дмитро Юрійович – канд. техн. наук, доцент кафедри технічної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47, E-mail: dmytro.2103@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2045-9631>.

Андрейчиков Євген Юрійович – підполковник, старший викладач кафедри військової підготовки Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019.

Присяжний Андрій Володимирович – майор, викладач кафедри військової підготовки Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, E-mail: pav041284@ukr.net.

*M. V. KINDRACHUK, D. O. VOLCHENKO, D. Yu. ZHURAVLEV,
Ye. Yu. ANDREYCHIKOV, A. V. PRYSYAZHNY*

PHYSICAL METHODS OF EVALUATING THE LOAD OF FRICTION PAIRS OF BRAKING DEVICES (Part I)

The materials of the article refer to physical methods of assessing the load of friction pairs of braking devices. The methods are expressed by the principles affecting the physical and mechanical properties of materials of friction pairs and their internal and external parameters. The principles include: causality, symmetry, reciprocity and equivalence, kinship, superposition (elementary and complex). An analysis of the principles is performed and it is shown how they extend to the energy fields of brake friction pairs. From the principles, the following fields are selected in pairs: "mechanical-thermal"; "chemical-thermal"; and "electromagnetic". In the materials of this article, attention is paid only to the "mechanical-thermal" energy field during the electrothermomechanical frictional interaction of friction pairs of braking devices. It is known that the load on the friction pairs of belt-drum and disc-pad brakes depends on many subjective and objective factors. So, for the belt brake of the drilling winch, the objective factors are: drilling technology, climatic and physiological conditions; subjective - the quality of equipment manufacturing, qualification of service personnel, etc. For drum and disc-pad brakes of vehicles, the objective factors are climatic and road conditions; subjective - the quality of production of the braking mechanism as a whole, the qualifications of the driver, the technique of driving the vehicle, etc. It is quite clear that it is practically impossible to take into account all these factors in the mathematical description of the processes of heating elements of the brake assembly. The laws of elasticity, which take place during the contact-impulse interaction of the microprotrusions of the surfaces of metal-polymer friction pairs at small deformations, reflect mutually unambiguous dependencies between the impulse values of stresses and deformations. Under the action of dynamic loads, electric and thermal currents, the surface layers of metal-polymer friction pairs undergo plastic deformations. studies and tests under mechanical loading of metal-polymer friction pairs allow to estimate normal forces, friction forces, dynamic coefficient of friction, braking torque developed by friction pairs and the intensity of wear of their working surfaces in a wide range of friction temperature changes, based on the fact that they have an impulse character, obeying the wave theory of the field. It is known that mechanical energy is an ordered form of energy, while internal energy is a disordered one.

Keywords: physical methods; braking devices; friction pair; metal friction element; mechanical and thermal load.

References

1. Pekhovich A. I. Rozrakhunky teplovoho rezhymu tverdykh til / A. I. Pekhovich, V. M. Ridkykh // L.: Enerhiya, 1976. - 352 s.
2. Muchnyk R. F. Metody teoriiy teploobminu. Teplove vyprominyuvannya / / H. F. Muchnyk, I. B. Rubashov // M.: Vyshcha shkola, 1974. - 272 s.
3. Nestatsionarnyy teploobmin / U. Do. Koshkin, Ehe. K. Kalinin, R. A. Dreytser, Z. YA. Yarkho // M.: Mashynobuduvannya, 1973. - 328 z.
4. Tsvyetkov F. F. Teplomasoobmin / F. F. Tsvyetkov, B. A. Hryhor'yev // M.: Vyd-vo MEI, 2005. - 215 s.
5. Kozdoba L. A. Elektrychne modelyuvannya yavlyshch teplo- ta masoperenosu / L. A. Kozdoba // M.: Enerhiya, 1972. - 296 s.
6. Vol'chenko O. I. Teplovyy rozrakhunok hal'mivnykh prystroyiv // L'viv: Vyd-vo pry L'vovi. un-ti, 1987. - 136 s.
7. Dul'nyev H. N. Teplovi rezhymy elektronnoyi aparatury // H. N. Dul'nyev, N. N. Tarnovs'ky // L.: Enerhiya, 1971. - 248 s.