

УДК 62-92.113

DOI: 10.18372/0370-2197.2(95).16559

М. В. КІНДРАЧУК¹, І. О. БЕКІШ², Є. Ю. АНДРЕЙЧИКОВ², А. В. ПРИСЯЖНИЙ²,
С. В. НІКІПЧУК³, Ю. В. ПОРОХОВСЬКИЙ³

¹Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

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

³Національний університет «Львівська Політехніка»

ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНІСТЬ БАГАТОКАМЕРНИХ ШКІВІВ СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

У матеріалі статті містяться такі питання: конструкція та робота самоохолоджуваного стрічково-колодкового гальма; теплопередача через циліндричні стінки самоохолоджуваного шківів (граничні умови III роду); обговорення результатів. Розроблено та досліджено конструкцію самоохолоджуваного гальма шківів для зниження його енергонавантажених за рахунок примусового нанорідкого незалежного охолодження елементів шківів. Запропоновано схему теплової моделі трибосистеми з повітряно-нанорідинною системою охолодження пар тертя стрічково-колодкового гальма. Розглянуто однорідні циліндричні стінки із зовнішнім та внутрішнім діаметром у середній частині яких розташовані горизонтальні незалежні камери, з'єднані з вертикальними камерами лівої та правої реборди, а також з неметалевим кріпильним виступом. Коефіцієнт теплопровідності матеріалу постійний самоохолоджувального шківів. К якості теплоносія в камерах використано нанорідину, яка відповідала умовам експлуатації пар тертя гальма. Визначено лінійні коефіцієнти теплопередачі між першою, другою та третьою горизонтальними камерами з урахуванням енергонавантажених вертикальних камер лівої та правої реборди, а також кріпильного виступу шківів. Встановлено закономірності зміни термічного опору теплопровідності (R_t) та теплового потоку (q), який пронизує стінки першої камери від її діаметрів. Щодо третьої горизонтальної камери, то товщина її стінок у теплообміні ролі не грає, оскільки вона з'єднана з вертикальною камерою неметалевим кріпильним виступом шківів, що має невелику металосмість.

Ключові слова: бурова лебідка, стрічково-колодке гальмо, пара тертя, самоохолоджувальний гальмівний шків, горизонтальні і вертикальні камери, нанорідина.

Вступ. Ефективна і надійна робота фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок можлива в діапазоні поверхнево-об'ємних температур, що не перевищують допустимі для матеріалів фрикційної накладки. Її перевищення помітно знижує експлуатаційні параметри пар тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки, що при спуску колони бурильних труб у свердловину є дуже небезпечним. Відповідно до основних положень термодинаміки незворотних процесів нерівномірне температурне поле, що виникає на робочій поверхні обода гальмівного шківів, сприяє виникненню великої температурної напруженості. Вони сприяють прояву на робочій поверхні обода шківів локальних вогнищ мікротріщин.

У зазначених умовах важливу роль відіграє індивідуальне нанорідинне охолодження гальмівного шківів, що є свого роду акумулятором теплової енергії. Тому одним із завдань гальмівників є зниження енергонавантажених гальмівного шківів і, як наслідок, напружено-деформованого стану його обода.

Аналіз літературних джерел та стан проблеми. Дослідження поздовжнього

та поперечного омивання повітряними потоками пар тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки в режимах гальмування та вільного обертання шківів показало недостатню ефективність вимушеного охолодження його матових та полірованих поверхонь. Пов'язано це з великою вагою обода шківів, тобто його металомісткістю. При цьому темп нагрівання обода шківів перевищує в сотні разів темп вимушеного повітряного охолодження. Це призводить до зростання енергонавантажності обода шківів, яка негативно впливає на зносо-фрикційні властивості пар тертя. При цьому спостерігається значне зростання поверхневих та глибинних градієнтів температури обода шківів, і як наслідок, зародження та розвиток вогнищ мікротріщин, що сприяють виходу з ладу гальмівних шківів [1].

Відомий охолоджуване стрічкове гальмо [1], в якому під шківом виконана циліндрична камера у вигляді теплової труби з протилежно розташованими зонами конденсації та випаровування. Недоліками даного стрічкового гальма є тривалий вихід на режимні параметри теплової труби та невисока ефективність охолодження.

Відоме стрічкове гальмо [1], в якому охолоджуючий пристрій виконаний у вигляді теплових трубок, встановлених у кільцевому зазорі по ширині обода маточини, у виконаних в останніх поздовжніх пазах і з'єднаних між собою у своїй середній частині трубопроводами по периметру фрикційного обода. Дане стрічкове гальмо має складну конструкцію та невисоку ефективність охолодження.

Дослідження циркуляційної [2] та герметизованої [3] системи водяного охолодження ободів гальмівних шківів, знижуючи енергонавантажність їх неробочих поверхонь, показало наступне. За першою схемою ефективність примусового водяного охолодження була нижчою, ніж за другою. За останньою була вищою, оскільки зі збільшенням енергонавантажності обода шківів вода (теплоносія) буде перебувати в парорідинному або пароподібному стані. При цьому постійно збільшується коефіцієнт тепловіддачі від неробочої поверхні обода шківів до теплоносія [2].

У повітряно-рідинній системі охолодження стрічково-колодкового гальма бурової лебідки обід шківів поділено на дві частини. Верхня частина знизу за рахунок ефектів дифузора та конфузора змивається навколишнім повітрям. Поверхня нижньої частини обода шківів омивається рідиною або нанорідиною, що знаходяться в камері шківів [4, 5]. Недолік системи полягає в тому, що вона не передбачала незалежного охолодження елементів (ободу, реборд та кріпильного виступу) шківів, що мають різну металоемність. Ця обставина сприяє виникненню великих поверхневих та глибинних температурних градієнтів, температурних напружень, і, як наслідок, виникнення на робочій поверхні обода шківів мікротріщин.

Постановка задачі. У матеріалах статті містяться такі питання: конструкція та робота самоохолоджуваного стрічково-колодкового гальма; теплопередача через циліндричні стінки самоохолоджувального шківів, (граничні умови III роду); обговорення результатів.

Мета роботи – обґрунтувати ефективність незалежного нанорідинного охолодження елементів шківів у стрічково-колодковому гальмі бурової лебідки.

Конструкція та робота самоохолоджуваного стрічково-колодкового гальма. Самоохолоджуваний шків відноситься до багатокамерних систем

зниження енергонавантаженості пар тертя гальма.

На рис. 1 зображено самоохолоджувальне стрічково-колодкове гальмо з системами для охолодження, поперечний розріз. Останнє містить стрічку 1, фрикційні накладки 2 і гальмівний шків 3, а також реборди 4, в яких виконані вертикальні порожнини 5, що мають циліндричні співвісні западини 6. Тіло шківу 3 виконано складеним у вигляді зовнішнього 7 і проміжного 8 циліндричних кілець з торців 9 і 10, розташованих між ребордами 4, по периметру кілець є нескрізні отвори 11 і 12 різного діаметра: більшого діаметра в зовнішньому кільці 7 і меншого у внутрішньому циліндричному кільці 8. Внутрішнє замкнене порожнисте кільце 13 виконано разом з порожниною маточиною 15. Зовнішнє 7, проміжне 8 і внутрішнє 13 циліндричні кільця запресовані в кільцеві співвісні западини 8 реборд 4. Міцність з'єднання з натягом визначається потрібним контактним тиском на посадковій поверхні зовнішнього 7 і внутрішнього 13 циліндричних кілець у западин зовнішнього 7 та внутрішнього 13 циліндричних кілець з внутрішнім 8. Згаданий тиск повинен бути таким, щоб сили тертя, які виникають на посадкових поверхнях з'єднання, були більшими від зовнішніх зсувних сил.

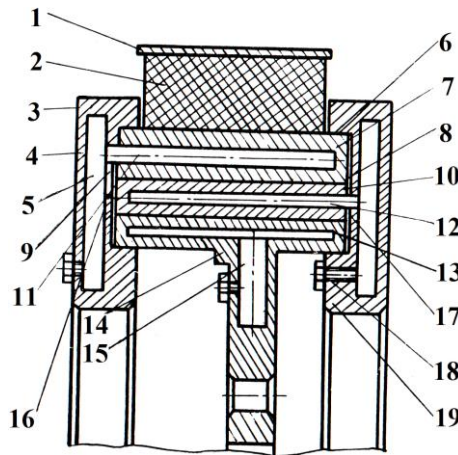


Рис. 1. Стрічково-колодкове гальмо з охолодженням типу «теплова труба»: 1 – стрічка; 2 – фрикційна накладка; 3, 4 – шків з ребордами; 5 – радіальні порожнини; 6 – циліндричні западини; 7, 8 і 9, 10 – зовнішнє та проміжне циліндричні кільця та їх торці; 11, 12 – отвори; 13, 14 і 15 – пустотілі кільця і маточина та їх загальна порожнина; 16, 17, 18 – кільцеві прокладки; 19 – пробка

Зовнішнє 7 циліндричне кільце з отворами 11 з'єднане з радіальною порожниною 5 лівої реборди 4 через металеві кільцеві прокладки 16, а проміжне 8 – з вертикальною порожниною 12 правої реборди 4 через металеві кільцеві прокладки 17. Порожнини 5 і 15 заповнюються теплоносієм з різною скритою теплою пароутворення, потім вакуумуються і герметизуються за допомогою прокладок 18 і пробок 19. Порожнини отворів 11 і порожнина 5 лівої реборди 4 заповнені легкоплавкою речовиною, наприклад галієм. Порожнини 12 і порожнина правої реборди 2 заповнені теплоносієм, наприклад 25%-им розчином аміаку. Порожнина 15 у кріпильному виступі 14 заповнена рідким металом, наприклад, наступного складу, мас. %: олово 24 - 30, цинк 19-21 і галій близько 50. В отриманих системах охолодження зонами випаровування є об'єми порожнин отворів 11 і 12 і кільцева порожнина у внутрішньому кільці 13, а зонами конденсації в радіальних ребордах 6 і 12 і порожнистому кріпильному виступі 14.

Самоохолоджувальне стрічково-колодке гальмо працює наступним чином.

При притисканні фрикційних накладок 2 за допомогою стрічки 1 до робочої поверхні шківів 3, на третєвих поверхнях якого генерується значна кількість теплоти, яка потім акумулюється в шківі 3. Теплота від останнього через стінки передається першому теплоносію, наприклад, галію, і нагріває його в зоні 11 випаровування, де він перетворюється на пару. Оскільки пар має високий коефіцієнт тепловіддачі, то частина теплоти через стінку шківів 3 передається другому теплоносію, наприклад, 25% розчину аміаку, і нагріває його в зоні 12 випаровування, де він перетворюється на пар. Далі частина теплоти через стінку передається третьому теплоносію, наприклад, рідкому металу, що має найбільшу теплоту пароутворення, і нагріває його в зоні 13 випаровування.

При попаданні теплоносіїв у газоподібній фазі в зоні 5 і 15 конденсації вони конденсуються за рахунок інтенсивного відмивання повітрям поверхонь лівої реборди 4 і кріпильного виступу 14 при обертанні шківів 3. В подальшому за рахунок створення перепаду тисків між зонами 11 – 12 випаровування і зонами 5 і 15 конденсації, а також під дією капілярних сил теплоносії із зон випаровування надходять у зони конденсації. Повернення рідкого теплоносія із зон 5 і 15 конденсації та зон 11 - 13 випаровування здійснюється відцентровими силами, що виникають при обертанні гальмівного шківів 3.

Таким чином, застосування багатокамерної системи охолодження у вигляді теплових труб дозволяє інтенсифікувати примусове охолодження шківів і цим забезпечити роботу в прийнятному тепловому режимі і збільшити при цьому довговічність пар тертя стрічкового гальма. Однак така система, що працює на ефект теплової труби, є складною і тому у подальшому перейдемо до одного теплоносія - нанорідини.

Встановлено, що величина відношення коефіцієнтів випромінювання матової поверхні, полірованої повинна дорівнювати відношенню площ охолоджуваної до поверхні металевого елемента тертя, що нагрівається. За її значенням можна судити про настання його установленого теплового стану.

У вигляді співвідношень отримуємо гальмівних шківів, виготовлених із сталі:

серійного	самоохолоджуваного
$\frac{c_{Лм}}{c_{Лн}} = \frac{5,0}{1,1512} = 3,31; \quad \frac{A_{ox}}{A_{но}} = \frac{2,767}{1,048} = 2,64.$	$\frac{A_o}{A_n} = \frac{8,7}{1,048} = 8,3.$

У даному випадку розглядаються площі поверхонь теплообміну гальмівних шківів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки У2-5-5. Відношення площ показує, що в самоохолоджувальному шківі, поверхні теплообміну збільшилися майже втричі.

Теплопередача через циліндричні стінки самоохолоджувального шківів (граничні умови III роду). Розглянемо однорідні циліндричні стінки великого діаметра із зовнішнім та внутрішнім діаметром у середній частині яких розташовані горизонтальні незалежні камери, з'єднані з вертикальними камерами лівої та правої реборди, а також з кріпильним виступом. Коефіцієнт теплопровідності матеріалу постійний самоохолоджувального шківів. В якості теплоносія у камері використані нанорідини. На рис. 2 наведено схему теплової трибосистеми.

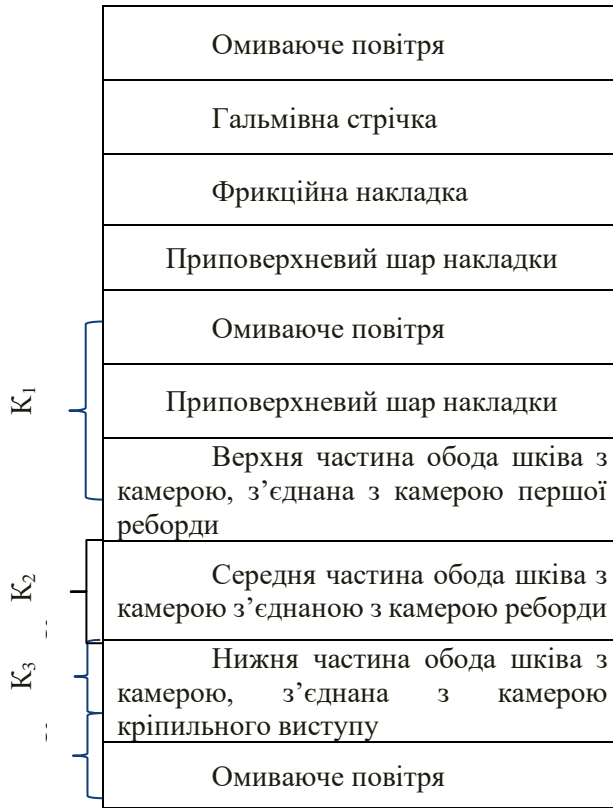


Рис. 2. Схема теплової моделі трибосистеми з повітряно-нанорідинною системою охолодження фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма

Визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі [6] в багат шаровій структурі гальмівного само охолоджувального шків, що самоохолоджується, зводиться до наступного:

– циркулююче омиваюче повітря - приповерхневий шар обода – поверхня верхньої частини обода,

$$K_1 = \frac{1}{1/\alpha_1 d_1 + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + (1/2\lambda) \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{\delta_2}{\lambda_1}} ; \quad (1)$$

– поверхня верхньої частини обода – теплоносія камери – теплоносія камери; поверхня нижньої стінки камери;

$$K_2 = \frac{1}{\frac{\delta_2}{\lambda_1} + \frac{1}{d_2 \cdot d_3} + \left(\frac{1}{2\lambda}\right) \ln \frac{d_2}{d_3}} ; \quad (2)$$

– поверхня внутрішніх стінок камери лівої реборди-зовнішні поверхні стінок – камери – омиваюче повітря.

$$K_3 = \frac{1}{1/\alpha_3 d_4 + \frac{1}{\lambda_4} (d_3 - d_4) + (1/2\lambda_1) \ln \frac{d_3}{d_4}} ; \quad (3)$$

– поверхня середньої частини обода - теплоносій камери - поверхня нижньої стінки камери:

$$K_4 = \frac{1}{(1/2\lambda_1) \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\alpha_5 d_5} + \frac{1}{\alpha_6 d_6}} ; \quad (4)$$

– поверхні внутрішніх стінок камери правої реборди - зовнішні поверхні стінок камери – омиваюче повітря:

$$K_5 = \frac{1}{(1/2\lambda_1) \ln \frac{d_6}{d_7} + \frac{1}{\alpha_6 (d_4 - d_5)} + \frac{1}{\alpha_7 d_2}} ; \quad (5)$$

– поверхня нижньої частини реборди – теплоносій камери – поверхня нижньої стінки камери:

$$K_6 = \frac{1}{(1/2\lambda_1) \ln \frac{d_6}{d_7} + \frac{1}{\alpha_0 (d_6 - d_7)} + \frac{\delta_3}{\lambda_1}} ; \quad (6)$$

– поверхні стінок камери кріпильного виступу – теплоносій камери – омиваюче повітря:

$$K_7 = \frac{1}{(1/2\lambda) \ln \frac{d_7}{d_8} + \frac{1}{\alpha_9 (d_7 - d_8)} + \frac{1}{\alpha_{10} (d_7 - d_6)}} . \quad (7)$$

Інтенсивність примусового охолодження в багат шаровій структурі гальмівного шківa безпосередньо залежить від теплоносія, що знаходиться в горизонтальних і вертикальних камерах та їх площ поверхонь, що омиваються.

Відомо, що складний процес перенесення теплоти розбивають на ряд простіших: теплопровідність, вільна та вимушена конвекція та теплообмін випромінюванням. Такий прийом спрощує його випромінювання. Кожен простий процес перенесення теплоти підпорядковується своїм законам і залежить від: площ полірованих і матових поверхонь металу та її коефіцієнта теплопровідності, теплофізичних властивостей теплоносіїв та їх фазового стану.

У трибосистемі стрічково-колодкового гальма теплота передається усіма перерахованими вище способами одночасно - такий процес називається теплопередачею через багат шарову структуру.

Останнім часом в якості теплоносіїв у системах охолодження використовують нанорідини [3]. Останні є колоїдним розчином дрібних металевих частинок з високим коефіцієнтом теплопровідності. Як розчин виступає рідина (вода, розчин аміаку (для районів з холодним кліматом)) або рідкий аргон. Наночастинками є, наприклад, алюміній (Al), мідь (Cu), цинк (Zn), оксид алюмінію (Al_2O_3), окис міді (CuO) з їх розмінами до 10 нм (табл.1) з об'ємною концентрацією від 1,0 до 5,0%. Численні дослідження показали, що залежність кількості наночастинок від діапазону зміни їх розміру має вигляд густини нормального розподілу.

Коефіцієнт тепловіддачі нанорідини можна збільшити за рахунок варіювання розмірами частинок, тобто їх площею взаємодії з рідиною або шляхом її перетворення на пару. У цьому збільшення розміру частинок сприяє зменшенню коефіцієнта теплопередачі.

Крім того, при теплопередачі в системах з нанорідкістю основний вплив має

об'ємна концентрація наночастинок та коефіцієнт їх теплопровідності.

Рідина починає рухатися під дією об'ємних і поверхневих сил. Перші виникають у результаті градієнта густини рідини. Другі зумовлені локальною зміною поверхневого натягу рідини, що пов'язано, і здебільшого, з виникненням нерівномірного розподілу об'ємної температури або концентрації наночастинок на поверхні, що є, як правило, наслідком зміни їхнього термодинамічного стану в об'ємі рідини (ефект Марангоні).

Таблиця 1

Результати розрахунків інтенсивності теплообмінних процесів, що здійснюються шарами середовища та деякими металами.

Середовище	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м·°C)	Термічний опір, R, (м ² ·°C)/Вт								
		Коефіцієнт теплопередачі, K, Вт/(м ² ·°C) при товщині δ шару, нм								
		1,0		10,0		100,0				
		$R \cdot 10^3$	$\sqrt[4]{K \cdot 10^6}$	$R \cdot 10^{-8}$	K	$R \cdot 10^{-7}$	$\sqrt[4]{K \cdot 10^4}$			
Повітря сухе	0,326	3,07	134,4	6,13	163	9,20	108,67			
Вода	0,586	1,71	155,6	3,44	293	5,12	195,33			
Метали		$R \cdot 10^{-12}$	$\sqrt[4]{K \cdot 10^3}$	$R \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[4]{K \cdot 10^3}$	$R \cdot 10^{-10}$	$\sqrt[4]{K \cdot 10^7}$			
Al при: 0°C	209,0	4,78	6,76	·10 ²	4,73	3,80	·10 ²	4,78	2,14	·10 ²
100 °C	213,0	4,69	6,79		4,69	3,82		4,69	2,15	
300 °C	225,0	4,44	6,89		4,44	3,87		4,44	2,18	
500 °C	236,0	4,24	6,97		4,24	3,92		4,24	2,20	
Si при: 0°C	398,0	2,51	7,94		2,51	4,47		2,51	2,51	
400 °C	365,0	2,74	7,77		2,74	4,37		2,74	2,46	
Zn при: 0°C	1 12,8	8,87	5,90		8,87	3,26		8,87	1,83	
400 °C	95,2	10,5	5,55		10,5	3,12		10,5	1,76	

Концентраційно-капілярна конвекція містить в собі кілька нових гідродинамічних ефектів, обумовлених концентраційною неоднорідністю нанотеплоносіїв поблизу поверхонь камер шків при його обертанні. Це сприяє виникненню поблизу мікронерівностей їх поверхонь бульбашок і крапель. Структура руху наноносіїв у порожнину камер шків залежить від їх форми, конфігурації та механічної частоти обертання поверхні камер, а також від розташування в просторі неробочої поверхні обода шків, що нагрівається в режимах гальмування і вільного обертання.

Задані значення температури стінок першої горизонтальної камери t_1 і t_2 (рис. 3) який повернутий на 90°) та коефіцієнти тепловіддачі α_1 та α_2 . Для короткочасного стаціонарного режиму можна записати:

$$q_e = \alpha_1 \pi d_1 (t_{c1} - t_1); \quad q_e = \pi (t_{c1} - t_{c2}) / (1 / 2\lambda) \ln \frac{d_2}{d_3}; \quad q_e = \alpha_2 \pi d_3 (t_{c2} - t_{c3}). \quad (8)$$

Розв'язуючи отримані рівняння відносно різниці температур, а потім складаючи їх, отримаємо:

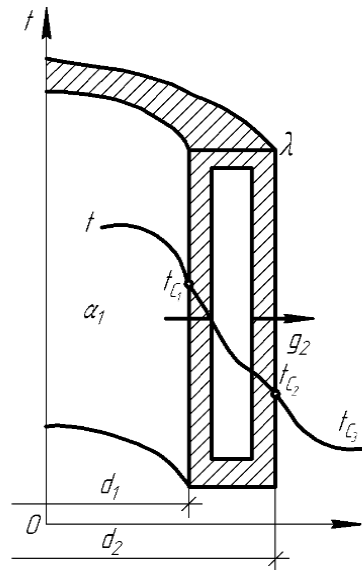


Рис. 3 Закономірності зміни температури першої камери шківів від її товщини

$$q_e = K_1 \pi (t_{c1} - t_{c3});$$

$$\text{где } K_1 = \frac{1}{1/\alpha_1 d_1 + (1/2\lambda) \ln \frac{d_2}{d_3} + 1/\alpha_2 \cdot d_3}.$$

Розмір k_l називається лінійним коефіцієнтом теплопередачі; він характеризує інтенсивність передачі теплоти від однієї нанорідини до іншої через розділяючі їх стінки. Величина k_l чисельно дорівнює кількості теплоти, яка проходить від одного середовища до іншого через стінки системи довжиною 1 м в одиницю часу за різниці температур між ними 1 К; одиниця вимірювання k_l - Вт/(м·К).

Величина, обернена до лінійного коефіцієнта теплопередачі, називається лінійним термічним опором теплопередачі [7]:

$$R_l = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \left(\frac{1}{2\lambda} \right) \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2} = R_1 + R_2 + R_3; \quad (9)$$

R_l вимірюється в (м·К)/Вт.

Лінійний термічний опір теплопередачі складається з лінійних опорів тепловіддачі R_1 і R_3 та лінійного термічного опору теплопровідності R_2 . У разі багатопарової циліндричної стінки, яким є обід шківів

$$R_2 = \sum_1^n \frac{1}{2\lambda_l} \ln \frac{d_{l+1}}{d_l},$$

тоді

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_1^n \frac{1}{2\lambda_l} \ln \frac{d_{l+1}}{d_l} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}. \quad (10)$$

Лінійний термічний опір теплопередачі через багатошарову циліндричну стінку дорівнює

$$R_l = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_1^n \frac{1}{2\lambda_l} \ln \frac{d_{l+1}}{d_l} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}, \quad (11)$$

Знаючи густину теплового потоку q_l за допомогою рівностей (1-11) визначають температуру стінок циліндричних поверхонь: $tc_2 = t + \frac{q_l}{\pi\alpha_2 d_2}$.

У разі багатошарової циліндричної стінки температуру $tc_{2,k+1}$ на границі між шарами k і $(k+1)$ визначають з рівняння:

$$t_{c,k+1} = t_n - \frac{q_l}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_1^k \frac{1}{2\lambda_l} \ln \frac{d_{l+1}}{d_l} \right).$$

При збільшенні стінок першої горизонтальної камери обода шківів спостерігається збільшення термічного опору теплопровідності, зате різко зменшується тепловий потік, що пронизує другу стінку камери (рис. 4, а, б)

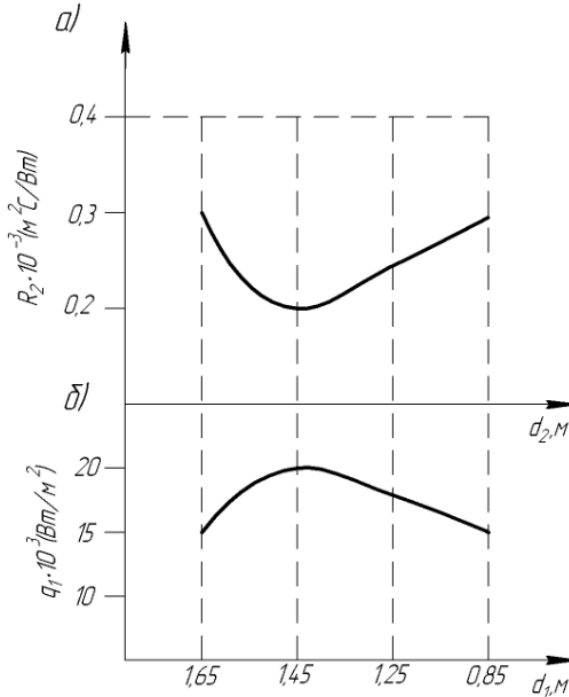


Рис. 4. Залежності термічного опору теплопровідності (R_2) та теплового потоку (q_1), що пронизує стінки першої камери від їх діаметрів.

Що стосується третьої горизонтальної камери, то товщина її стінок в теплообміні ролі не грає, оскільки вона з'єднана з вертикальною камерою неметалоємного кріпильного виступу гальмівного шківів.

Обговорення результатів. Розроблено та досліджено конструкцію самоохолоджувального гальмівного шківів для зниження його енергонавантажності за рахунок примусового нанорідинного незалежного охолодження елементів гальмівного шківів внаслідок чого встановлено такі:

– запропоновано схему теплової моделі трибосистеми з повітрянонанорідинною системою охолодження фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма;

– розглянуто однорідні колодкові стінки із зовнішнім та внутрішнім діаметром у середній частині яких розташовані горизонтальні незалежні камери, з'єднані з вертикальними камерами лівої та правої реборди, а також з неметалевим кріпильним виступом. Коефіцієнт теплопровідності матеріалу постійний самоохолоджувального шківа в якості теплоносія в камерах використана нанорідина, яка бере участь у теплообміні з їх поверхнями;

– визначені лінійні коефіцієнти теплопередачі між першою, другою та третьою горизонтальними камерами з урахуванням вертикальних камер лівої та правої реборди, а також кріпильного виступу шківа;

– встановлені закономірності зміни термічного опору теплопровідності (R_r) та теплового потоку (q), що пронизує стінки першої камери від її діаметрів;

– щодо третьої горизонтальної камери, то товщина її стінок у теплообміні ролі не відіграє, оскільки вона з'єднана з вертикальною камерою неметалоємного кріпильного виступу гальмівного шківа.

Список літератури

1. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок / [А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко, В. С. Скрыпник и др.]; под общ. ред. акад. А. Х. Джанахмедова. - Стандарт. - Баку: Апострофф, 2016. - 312 с.

2. Винницкий М. М. Рациональное управление спускоподъемными операциями / Винницкий М. М. - М.: Недра, 1978. - 250 с.

3. Ильский А. Л. Расчет и конструирование бурового оборудования / Ильский А. Л., Миронов Ю. В, Чернобыльский А. Л. – М.: - Недра, 1985.-452 с.

4. Принудительное охлаждение трибосистемы ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки (часть 3) / А. Х. Джанахмедов, А. И. Вольченко, Э. С. Пирвердиев, В. С. Скрыпник [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии. - Баку. - 2018. - №1(10). - С. 16-27.

5. Принудительное охлаждение трибосистемы ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки (часть 4) / А. Х. Джанахмедов, А. И. Вольченко, Э. С. Пирвердиев, В. С. Скрыпник [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии. - Баку. - 2018. - №2(10). - С. 7-19.

6. Техническая термодинамика и теплопередача/ В. И. Кушнырев, В. И. Лебедев, В. А. Павленко // М.: Стройиздат, 1986.- 464с.

7. Шлыков Ю. П. Контактное термическое сопротивление / Ю. П. Шлыков, Е. А. Ганин, С. Н. Царевский. - М.: Энергия, 1977. – 328с.

8. Александров М. П. Грузоподъемные машины / М. П. Александров. - М.: Высшая школа, 2000. - 550 с.

9. Сопронюк П. М. Диагностика материалов и сред. Энергетические характеристики поверхности слоев / П. М. Юзевыч. - Львов: ФМИ им. Г. В. Карпенко НАН Украины, изво «СПОЛОМ». 2005. 292 с. на укр. яз.

10. Горячева И. Г. Механика фрикционного взаимодействия / И. Г. Горячева. - М.: Наука, 2001. - 475 с.

11. Диплом №444 на открытие «Явление тепловой стабилизации в металлополимерных парах трения» от 18.01.2013 г. авторов А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко, Н. А. Вольченко. - М.: Международ. академ. авторов научн. Открыт. и изобрет. - Экспертиза заявки на открытие № А-558 от 05.09.2012г.

12. Диплом №462 на открытие «Закономерности изменения износофрикционных характеристик поверхностных слоев металлополимерных пар трения при их контактно-

импульсном взаимодействии» от 28.12.2013 г. авторов А. М. Пашаева, А. И. Вольченко, А. Х. Джанахмедова, Д. А. Вольченко и др. - М.: Международ. академ. авторов научн. Открыт. и изобрет.- Экспертиза заявки на открытие №А-558 от 07.09.2013г.

13. Узлы трения в машиностроении А. Х. Джанахмедов, Н. А. Вольченко, В. С. Скрыпник, Н. М. Фидровская [и др.] под. общ. ред. акад. А. Х. Джанахмедова. - Баку: Апострофф, 2018. - 438с.

14. Трибология /А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко [и др.]. - Киев - Краснодар: Изд-во «Плай», 2015. - 371с.

15. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. редакцией А. В. Чичинадзе. -М.: Машиностроение, 2003. - 575 с.

16. Снижение энергонагруженности фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок/ М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко, В. С. Скрыпник, И. О. Бекиш, В. М. Чуфус. Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. журн. К.:НАУ. Київ, 2016. №3(72). С. 13-24.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2022.

Кіндрачук Мирослав Васильович – член-кореспондент НАН України, докт. техн. наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел/факс: +38 044 406 77 73, E-mail: nau12@ukr.net.

Бекіш Ірина Орестівна - канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, тел. +38 (0342) 72-47-19, E-mail: ikg@nung.edu.ua.

Андрейчиков Євгеній Юрійович – підполковник, старший викладач військової кафедри, 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.

Нікіпчук Сергій Вячеславович - к.т.н., доцент кафедри "Автомобільний транспорт" Національного університету "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79000, тел.: 380972172315, E-mail: serhij.v.nikipchuk@lpnu.ua.

Пороховський Юрій Васильович - к.т.н., доцент кафедри "Автомобільний транспорт" Національного університету "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79000, тел.: 380916026224, E-mail: yurii.v.porokhovskiy@lpnu.ua.

M. V. KINDRACHUK, I. O. BEKISH, E. Yu. ANDREJCHIKOV, A. V. PRYSYAZHNY, S. V. NIKIPCHUK, Yu. V. POROKHOVSKIY

ENERGY LOADING OF MULTI-CHAMBER PULLEYS OF BAND-SHOE BRAKES OF DRILL WINCHES

The material of the article contains the following issues: design and operation of a self-cooled band-shoe brake; heat transfer through the cylindrical walls of a self-cooled pulley (boundary conditions of the III kind); discussion of the results. Development and investigation of the design of a self-cooled pulley brake to reduce its energy load due to forced nano-fluid independent cooling of the pulley elements. A scheme of a thermal model of a tribosystem with an air-nano-liquid cooling system for friction pairs of a band-shoe brake is proposed. Homogeneous cylindrical walls with outer and inner diameters are considered in the middle part of which there are horizontal independent chambers connected to the vertical chambers of the left and right flanges, as well as to a non-metallic fastening ledge. The coefficient of thermal conductivity of the material is constant self-cooling pulley. Nanofluid was used as a heat carrier in the chambers, which corresponded to the operating conditions of the friction pairs of the brake. The linear heat transfer coefficients between the first, second, and third horizontal chambers are determined, taking into account the energy load of the vertical chambers of the left and right flanges, as well as the pulley mounting lug. Regularities of change in thermal resistance of thermal conductivity (R_λ) and heat flux (q) penetrating the walls of the first chamber from its diameters are established. With respect to the third horizontal chamber, the thickness of its walls does not play a role in heat transfer, since it is connected to the vertical chamber of a non-metal-intensive fastening ledge of the pulley, which has a small metal content.

Key words: drawworks, band-shoe brake, friction pair, self-cooled brake pulley, horizontal and vertical chambers, nanofluid.

References

1. Proyeektnyy i proverochnyy raschet friktsionnykh uzlov lentochno-kolodochnykh tormozov burovyykh lebedok / [A. Kh. Dzhanakhmedov, D. A. Vol'chenko, B. C. Skrypnyk i dr.]; pod obshch. red. akad. A. Kh. Dzhanakhmedova. - Standart. -Baku: Apostroff, 2016. - 312 s.
2. Vinnitskiy M. M. Ratsional'noye upravleniye spuskopod"yomnymi operatsiyami / Vinnitskiy M. M. - M.: Nedra, 1978. - 250 s.
3. Il'skiy A. L. Raschet i konstruirovaniye burovogo oborudovaniya / Il'skiy A. L., Mironov Yu. V, Chernobyl'skiy A. L. - M.: - Nedra, 1985.-452 s.
4. Prinuditel'noye okhlazhdeniye tribosistemy lentochno-kolodochnogo tormoza burovoy lebedki (chast' 3) / A. Kh. Dzhanakhmedov, A. I. Vol'chenko, E. S. Pirverdiyev, V. S. Skrypnyk [i dr.] // Vestnik Azerbaydzhanskoy inzhenernoy akademii. - Baku. - 2018. - №1(10). - S. 16-27.
5. Prinuditel'noye okhlazhdeniye tribosistemy lentochno-kolodochnogo tormoza burovoy lebedki (chast' 4) / A. Kh. Dzhanakhmedov, A. I. Vol'chenko, E. S. Pirverdiyev, B. C. Skrypnyk [i dr.] // Vestnik Azerbaydzhanskoy inzhenernoy akademii. - Baku. - 2018. - №2(10). - S. 7-19.
6. Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha/ V. I. Kushnyrev, V. I. Lebedev, V. A. Pavlenko // M.: Stroyizdat, 1986.- 464s.
7. Shlykov Yu. P. Kontaktnoye termicheskoye soprotivleniye / Yu. P. Shlykov, Ye. A. Ganin, S. N. Tsarevskiy. - M.: Energiya,1977. - 328s.
8. Aleksandrov M. P. Gruzopod"yemnyye mashiny / M. P. Aleksandrov. - M.: Vysshaya shkola, 2000. - 550 s.
9. Sopronyuk P. M. Diagnostika materialov i sred. Energeticheskiye kharakteristiki poverkhnosti sloyev / P. M. Yuzevych. - L'vov: FMI im. G. V. Karpenko NAN Ukrainy, iz-vo «SPOLOM». 2005. 292 s. na ukr. yaz.
10. Goryacheva I. G. Mekhanika friktsionnogo vzaimodeystviya / I. G. Goryacheva. - M.: Nauka, 2001. - 475 s.
11. Diplom №444 na otkrytiye «Yavleniye teplovoy stabilizatsii v metallopolimernykh parakh treniya» ot 18.01.2013 g. avtorov A. I. Vol'chenko, M. V. Kindrachuk, D. A. Vol'chenko,

Н. А. Vol'chenko. - М.: Mezhdunarod. akadem. avtorov nauchn. Otkryt. i izobret. - Ekspertiza zayavki na otkrytiye № А-558 ot 05.09.2012g.

12. Diplom №462 na otkrytiye «Zakonomernosti izmeneniya izno-sofriksionnykh kharakteristik poverkhnostnykh slojev metallopolimernykh par treniya pri ikh kontaktno-impul'snom vzaimodeystvii» ot 28.12.2013 g. avtorov А. М. Pashayeva, А. I. Vol'chenko, А. Kh. Dzhanakhmedova, D. А. Vol'chenko i dr. - М.: Mezhdunarod. akadem. avtorov nauchn. Otkryt. i izobret.- Ekspertiza zayavki na otkrytiye №А-558 ot 07.09.2013g.

13. Uzly treniya v mashinostroyenii А. Kh. Dzhanakhmedov, Н. А. Vol'chenko, V. S. Skrypnyk, N. M. Fidrovskaia [i dr.] pod. obshch. red. akad. А. Kh. Dzhanakhmedova. - Baku: Apostroff, 2018. - 438s.

14. Tribologiya /А. I. Vol'chenko, М. V. Kindrachuk, D. А. Vol'chenko [i dr.]. - Kiyev - Krasnodar: Izd-vo «Play», 2015. - 371s.

15. Treniye, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika) / Pod obshch. redaktsiyey А. V. Chichinadze. -М.: Mashinostroyeniye, 2003. - 575 s.

16. Snizheniye energonagruzhennosti friksionnykh uzlov lentochno-kolodochnykh tormozov burovyykh lebedok/ М. V. Kindrachuk, D. А. Vol'chenko, V. S. Skrypnyk, I. O. Bekish, V. M. Chufus. Problemi tertya ta znoshuvannya: nauk.-tekhn. zhurn. K.:NAU. Kiïv, 2016. №3(72). S. 13-24.