

мікроструктури активованої суміші, що призводить до сповільненої дифузії агресивних іонів.

Технологічні особливості формованого режиму полягають у такому. Після проведення ізоляційних робіт устя свердловини герметизують. Далі насосною установкою пересувною нафтопромисловою типу УНБ1-160х40 (ЦА-320М) (ТУ 26-16-268) створюється надлишковий тиск ΔP , який витримують протягом 3-5 хвилин. Відтак тиск плавно знижують до атмосферного. Вказану операцію повторюють (8-15 циклів) з інтервалом 3-5 хвилин. При цьому сумарний тиск у свердловині не повинен перевищувати тиску гідророзриву, а строки проведення операції – початку тужавіння тампонажної суспензії.

Після завершення циклічної обробки свердловину залишають на ОЗЦ, строки котрого в цьому випадку скорочуються на 8...10 годин.

Таким чином, основний ефект застосування запропонованого методу полягає у прискоренні гідратації в'язучого матеріалу, підвищенні стабільності тампонажної суспензії, міцності та довговічності сформованого цементного каменю.

Промислові випробування розробленого режиму формування ізоляційних екранів проведені при встановленні ізоляційних цементних мостів на св. №100 Гадяцького ГКР.

об'ємною і поверхневою температурами і її градієнтом по координаті і часу.

Література

1. Коцкулич Я.С., Тищенко О.В. Закінчування свердловин. – К.: Інтерпрес, 2004. – 365 с.
2. Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. – М.: Недра, 1990. – 408 с.
3. Пашенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. – К.: Вища школа, 1975. – 443 с.
4. Круглицкий Н.Н., Гранковский И.Г., Вагнер Г.Р., Детков В.П. Физико-химическая механика тампонажных растворов. – К.: Наукова думка, 1974. – 288 с.
5. Вагнер Г.Р. Физико-химия процессов активации цементных дисперсий. – К.: Наукова думка, 1980. – 200 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-86-99 (ГОСТ 26798.1-96) Цементи тампонажні. Методи випробувань.
7. Сычев М.М. Твердение вяжущих веществ. – М.: Стройиздат, 1974. – 80 с.
8. Горський В.Ф. Тампонажні матеріали і розчини: Посібник-монографія. – Чернівці, 2006. – 524 с.

УДК 62.592.113

ТЕМПЕРАТУРНИЙ АНАЛІЗ ГАЛЬМІВНИХ ШКІВІВ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

Д.О. Вольченко, М.М. Стебелецький

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353;
e-mail: public@nung.edu.ua*

Рассматривается стабилизационное тепловое состояние обода шкива ленточно-коловочного тормоза буровой лебедки в диапазоне температур выше допустимой для материала фрикционной накладки

The stabilizes and thermal status of disk of a band-block brake of chisel hoist in diapason of temperatures in high for material of frictional unit

Вступ. З давніх часів стало зрозуміло, що пізнати у відомому трактуванні складну і надскладну систему (явище) – це означає розумно спростити її, зберігаючи усі необхідні і достатні фактори.

В теперішній час процеси тертя і зношування регламентуються тріадою проф. А.В.Чічінадзе і характеризуються такими показниками:

– властивостями матеріалів пари тертя і навколишнього середовища;

– мікро- і макрогеометрією контактуючих елементів і статичним коефіцієнтом взаємного тертя;

– режимами тертя по навантаженнях, швидкості ковзання, початковою, поточною

Усе зазначене буде відображено у цій статті, крім питання макро- і мікрогеометрії контактуючих елементів пар тертя фрикційних вузлів стрічково-коловочних гальм бурових лебідок [1].

Згідно з роботами проф. А.В.Чічінадзе вказується, що з явищ, які супроводжують тертя, необхідно відзначити два, які найбільше впливають на працездатність рухомих спряжень у вузлах і пристроях механізмів і машин:

– зношування контактуючих деталей;

– виділення теплоти у процесі тертя.

Нагрівання тіл, що труться, призводить до дестабілізації їхніх знософрикційних характе-

Це викликано тим, що поверхні металевого фрикційного елемента мають різний ступінь чорноти, тобто матову і поліровану поверхні.

При розсіюванні теплоти від поверхонь металевого і неметалевого елементів вузлів тертя, які перебувають в розімкненому стані, причому металевий фрикційний елемент обертається, відбуваються такі процеси теплообміну: радіаційний, вимушений конвективний і кондуктивний.

У випадку перебування металевого і неметалевого фрикційних елементів в стані спокою відбуваються такі процеси теплообміну: радіаційний, природний конвективний і кондуктивний.

При одиничних і циклічних гальмуваннях фрикційними вузлами гальма період охолодження є невеликим, і металевий фрикційний елемент не встигає суттєво знизити свій тепловий стан. При цьому його тепловий стан до моменту наступного гальмування є вищим, ніж на початку попереднього періоду.

До суттєвих факторів, що впливають на нагрівання обода гальмівного шківів, слід віднести кут охоплення β зовнішньої поверхні шківів накладками, ширину металевого фрикційного елемента і величину установочного зазора між робочими парами тертя.

Вплив кута охоплення шківів накладкою виражається у зміні поверхні тепловіддачі обода шківів (поверхні, які найбільш ефективно беруть участь у радіаційному і вимушеному конвективному теплообміні). Процес тепловіддачі з вказаних поверхонь металевих фрикційних елементів в навколишнє середовище поділяється на декілька принципово відмінних періодів:

- 1) тепловіддача в період гальмування;
- 2) тепловіддача в період паузи;
- 3) тепловіддача в період зупинки.

Відмінність цих періодів полягає в тому, що в першому з них тепловіддача відбувається при безперервній змінній швидкості; в другому – при сталій швидкості і в третьому – при швидкості, рівній нулю. В другому і третьому періодах тепловіддача відбувається при розімкненому гальмі, коли між парами тертя є зазор; в першому періоді гальмо замкнуте, і частина поверхні тертя гальма перекрита накладками. Отже, тепловіддача в різні періоди роботи гальма буде різною як внаслідок різної швидкості руху, так і внаслідок різної величини площі полірованої поверхні тепловіддачі. При цьому матова поверхня гальмівного шківів протягом усіх трьох періодів залишається сталою.

Розрахунок термодинамічних параметрів повітря та його кількості в стрічково-колодкових гальмах бурової лебідки наведено в роботі [3]. Аналіз отриманих номограм засвідчив, що кількість повітря, яке поперечно обтікає робочі елементи гальма, в інтервалі поверхневих температур від 100 до 1000°C в середньому в 568 разів менша за кількість повітря, яке поступає в зазори між внутрішньою поверхнею стрічки, зовнішніми і бічними поверхнями накладок. Швидкість повітря при поперечній зміні в ін-

тервалі вказаних поверхневих температур фрикційних вузлів гальма в процесі гальмування у 852 рази вища, ніж при розімкненому гальмі. Зміна повітря при розімкненому гальмі відбувається в 4,96 рази повільніше, ніж в гальмі при гальмуванні. Однак вимушене конвективне охолодження поверхонь обода гальмівного шківів не є достатньо ефективним.

Крім цього, з поверхонь (матових і полірованих) металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв здійснюється тепловіддача променевипромінюванням повітря, яке обтікає. Згідно з законом Стефана-Больцмана [4] коефіцієнт тепловіддачі променевипромінюванням визначається з виразу

$$\alpha_{\Pi} = \frac{c_{\Pi} \left[\left(\frac{T_H}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]}{T_H - T_B}, \quad (1)$$

де: T_H – температура нагрівання поверхонь металевого фрикційного елемента, °К; T_B – температура навколишнього середовища, °К; c_{Π} – коефіцієнт випромінювання, Вт/(м²·К⁴).

Результати розрахунку за формулою (1) ілюструються рис. 3, з якого випливає, що коефіцієнт α_{Π} збільшується з підвищенням температури.

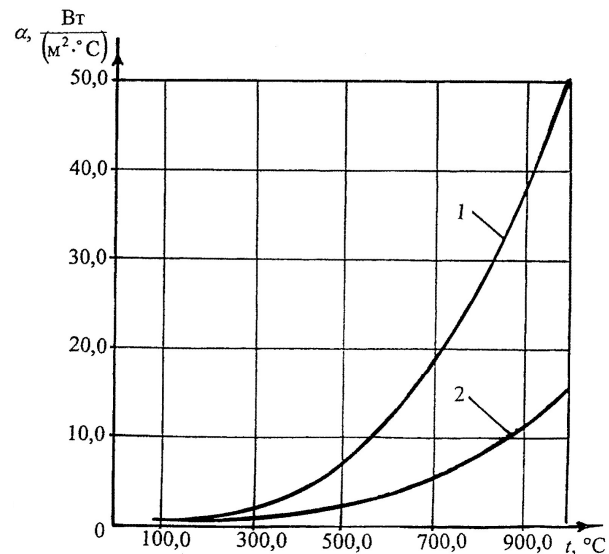


Рисунок 3 – Залежності коефіцієнтів тепловіддачі променевипромінюванням матових (1) і полірованих (2) поверхонь обода гальмівного шківів від температури їхнього нагрівання

Однак тут маємо особливість, яка полягає в тому, що коефіцієнти випромінювання для матової і полірованої поверхні для сталі мають різне значення. Крім цього, за відношенням коефіцієнтів випромінювання матової поверхні до полірованої, яке повинно бути рівним відношенню площі охолоджуваної поверхні до нагрітої площі поверхні металевого фрикційного елемента, можна судити про початок усталено-

Таблиця 1 — Площі поверхонь теплообміну гальмівного шківів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки У2-5-5

Площі поверхонь, які беруть участь в різних видах теплообміну в навколишнє середовище і фланець барабана лебідки, м ²				Маса (кг) елементів гальмівного барабана		
Площі поверхонь (м ²) гальмівного шківів:			Площа поверхні (м ²) фланця шківів, яка стикається з фланцем барабана	обода	виступу	фланця
полірована	матова					
		внутрішня	зовнішня			
1,048*/0,091	1,405	0,73	0,541	324,48	31,98	72,54

*Примітка: Площі робочої поверхні гальмівного шківів: в чисельнику – та, що перекривається накладками, в знаменнику – та, що не перекривається накладками

го його теплового стану. У вигляді співвідношень отримаємо

$$\frac{c_{Пм}}{c_{Пп}} = \frac{5,0}{1,512} = 3,31; \frac{A_{ох}}{A_{нагр}} = \frac{2,767}{1,048} = 2,64.$$

В даному випадку розглядаються площі поверхонь теплообміну гальмівного шківів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки У2-5-5 (табл. 1). Відсоткове розходження між співвідношеннями для даного виду гальма становить 23,0%.

Виходячи з викладеного вважаємо, “що після реалізації циклічних гальмувань температура поверхні тертя досягає максимального значення для даного режиму роботи величини $t_{уст}$ (усталеної температури), при якій подальше зростання температури не буде відбуватися, оскільки кількість теплоти, яка виділяється при гальмуванні, стає рівною кількості теплоти, що віддається в навколишнє середовище” [1, 3].

Для обода шківів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки варіант усталеного його теплового стану неможливий до допустимої температури матеріалу фрикційної накладки.

Процеси, що відбуваються в робочих шарах накладок марки “Ретинакс”. Наявність зв’язувального полімерного у складі асбофрикційних матеріалів визначає особливості їхнього тертя в парі з металами при підвищених температурах.

При підвищених температурах розвиваються процеси термічної деструкції зв’язувальних компонентів. Як засвідчили дослідження [5], більша частина продуктів деструкції зв’язувальних складових являє собою рідкі фракції. Останні, збираючись в зоні тертя фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма, діють як мастило (викликає зниження коефіцієнта тертя); окислювальне середовище (інтенсифікує процес термоокислювальної деструкції); охолоджувальне середовище з поглинаючою і випромінювальною здатністю (викликає створення стаціонарного температурного поля в зазорі між парами тертя).

Ймовірні джерела поступлення навколишнього середовища в контактну зону:

– через контактний зазор;

– внаслідок адсорбування молекул газу на відкритих ділянках поверхні тертя (адсорбційний ефект – випадок неповного взаємного перекриття).

Як досліджувані асбофрикційні матеріали були прийняті ФК-16Л і ФК-24А (ретинакс “А”) на смоляному зв’язувальному компоненті (фенолформальдегідна смола) з температурою тертя 900-1000°С.

До складу “Ретинаксу” входить модифікована фенолформальдегідна смола (25%), барит (35%), азбест (40%). До складу “Ретинаксу” ФК-16Л додатково вводиться латунь у вигляді шматків дроту діаметром 0,18-0,2 мм.

Щоби запобігти явищу наволакування, “Ретинакс” ФК-24А слід використовувати у тих конструкціях фрикційних вузлів гальм, в яких температура тертя не перевищує температуру об’ємного пом’якшення металевго елемента пари тертя.

Додавання латуні до складу фрикційного матеріалу “Ретинакс” ФК-24А призводить до підвищення теплостійкості накладок, оскільки латунь, пом’якшуючись при нагріванні, замінює вигоряючий зв’язувальний компонент і поглинає деяку кількість теплоти. Пом’якшена латунь сумісно з продуктами розкладання смоли і бариту створює проміжний шар, який складається з сірчистих сполук, який відокремлює глибинні вхідні шари фрикційного матеріалу від металевго елемента пари і відіграє роль протизадирного мастила, яке виробляється самим матеріалом.

Нестабільність термодеструкції і термохімічних процесів зростає при збільшенні кількості С=О груп. Так, в матеріалі фрикційної накладки ФК-24А (зв’язувальний компонент фенолформальдегідна смола) після завершення процесу тертя при температурі 235-240°С спостерігався такий вміст компонентів: С – 78,8%, а О – 21,2%. Вміст останнього на поверхні тертя фрикційного матеріалу накладки найбільш достовірно характеризує рівень активації поверхневих шарів в результаті пружно-пластичного деформування і термічної дії.

Встановлено, що деструкція у взірці марки ФК-24А починається з температури 300°С. Втрата маси взірцем починається в інтервалі

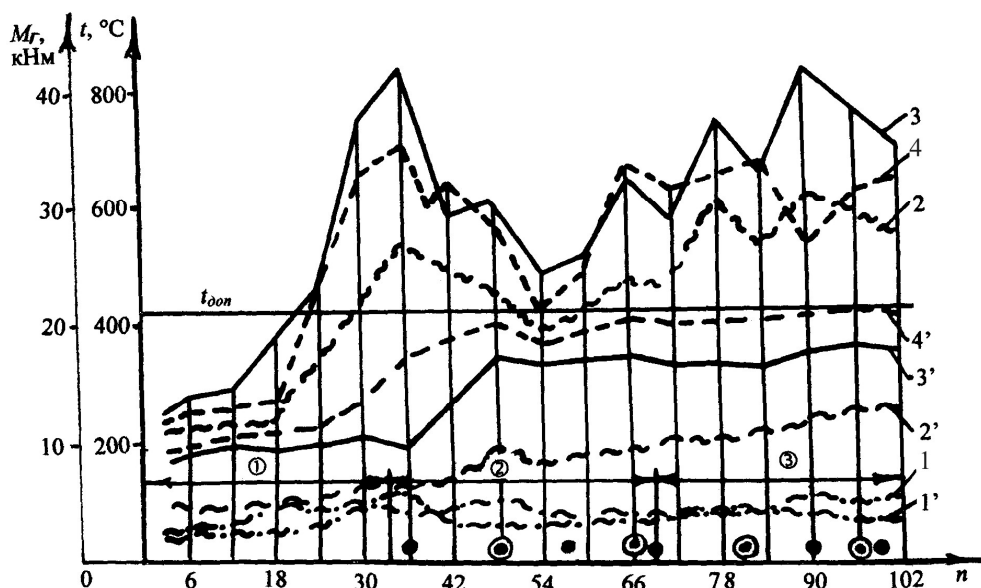


Рисунок 4 – Експлуатаційні параметри стрічково-колодкового гальма бурової лебідки У2-5-5 при вимушеному і примусовому охолодженні його пар тертя: поверхневі температури гальмівної стрічки (1, 1'), шківів (2, 2') і фрикційних накладок (3, 3'); гальмівний момент – (4, 4'); увімкнення гідравлічного гальма – •, ⊙; кількість увімкнень системи для охолодження пар тертя – ①, ②, ③

температур до 400°C. Енергія активації розкладання взірця становить 84,0 кДж/моль і підтверджує близькість характеру розкладання фрикційних матеріалів серійної накладки. При цьому в результаті термогравіметричного аналізу встановлено, що фрикційний матеріал розкладається після 18,5 хвилин при температурі 390-440°C. Деструкція фрикційного матеріалу супроводжується інтенсивним димленням, а відтак утворенням рідких фракцій у парах поверхневого шару матеріалу. При цьому молекули адсорбату найбільш міцно утримуються в мікропорах поверхневого шару матеріалу внаслідок того, що вони оточені більшою кількістю атомів вуглецю. Адсорбція газової фази – це процес конденсації, який відбувається тоді, коли енергія адсорбції в порах виявляється достатньою для конденсації парів. Конденсований пар залишається у пористій структурі вуглецю у вигляді рідини.

Промислові випробування фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок. Для підтвердження стабілізаційного теплового стану ободів шківів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок була виконана оцінка їхнього теплового стану у промислових умовах.

На рис. 4 представлені результати експериментальних досліджень пар тертя (ФК-24А – сталь 35ХНЛ) стрічково-колодкового гальма бурової лебідки У2-5-5 при вимушеному і примусовому (25-ти % розчином аміаку) їхньому охолодженні при спуску у свердловину на глибину 4108,0 м колони бурильних труб. Остання набиралася з 102 свічок, з яких 6 свічок ОБТ (обважені бурильні труби), а решта свічки

ЛБТ (легкі) із загальною вагою 962,23 кН. При цьому температура навколишнього середовища була 20,2 °C, а тиск – 0,0982 МПа.

Дамо аналіз отриманих експериментальних даних. Спуск перших трьох свічок у свердловину здійснювався при поверхневій температурі накладок фрикційного вузла 360°C, а шківів – 250°C. Аналіз експериментальних даних засвідчив, що накладки і шківів після підйому бурильного інструменту мають відповідно 400-450°C через недостатню ефективність їхнього вимушеного охолодження, тобто не встигають охолдитися до початку його спуску.

Проведемо аналіз поверхневих температур накладок фрикційних вузлів гальма, попередньо згрупувавши їх за інтервалами. В табл. 2 наведені експлуатаційні параметри стрічково-колодкового гальма при вимушеному (в чисельнику) і примусовому (в знаменнику) охолодженні.

З табл. 2 випливає, що кількість гальмувань в інтервалі температур від 450 до 800°C і вище в 5,8 рази більша, ніж в інтервалі температур 0-450°C. Ця обставина вказує на те, що більшість гальмувань стрічково-колодковим гальмом відбувається в діапазоні температур, які перевищують допустиму для даного фрикційного матеріалу, тобто 450°C, і тому його фрикційні вузли мають пониженою ефективністю дії.

Якщо при цьому врахувати можливість потрапляння гальмівного шківів у стабільний тепловий стан, яке може призвести взагалі на деякий час до втрати ефективності дії гальма. Ця обставина змусила застосовувати для примусового охолодження фрикційних вузлів гальма 25-ти % розчин аміаку (нашатирий спирт). 3

Таблиця 2 – Експлуатаційні параметри гальмування спуску кожних трьох свічок колони бурильних труб в інтервалі поверхневих температур пар тертя стрічково-колодкового гальма У2-5-5 при їхньому вимушеному і примусовому охолодженні

Інтервал температур, °С	0-200	200-350	350-450	450-600	600-800	800 і вище
Кількість гальмувань, n	-/4	2/14	3/16	9/-	15/-	5/-
Час гальмування, τ, с	-/5,59	5,65/6,97	5,97/6,76	6,58/-	6,76/-	7,9/-
Сумарний час за спуск, Στ, с	-/22,45	11,3/97,6	17,93/108,2	59,27/-	101,05/-	39,5/-

рис. 4 (крива 3') впливає, що спуск колони бурильних труб від 48-ої до 102-ої свічки здійснювався при квазіпостійній температурі робочих поверхонь накладок фрикційних вузлів рівній 340-360 °С при спадаючій характеристиці коефіцієнта тертя, який змінюється від 0,4 до 0,135 [2].

Що ж стосується гальмівних моментів, які розвиваються фрикційними вузлами гальма, то при вимушеному охолодженні (рис. 4, крива 4) вони змінюються від 11,419 кНм ($t = 390^{\circ}\text{C}$) до 35,9 кНм ($t = 690^{\circ}\text{C}$), що викликано різким коливанням температур взаємодіючих фрикційних вузлів гальма. При примусовому охолодженні пар тертя стрічково-колодкового гальма (рис. 4, крива 4) значення гальмівних моментів змінюються від 17,29 кНм ($t = 180^{\circ}\text{C}$) до 44,89 кНм ($t = 390^{\circ}\text{C}$). При цьому спуск колони бурильних труб від 48-ої до 102-ої свічки відбувався майже при стабільному гальмівному моменті за рахунок невисоких поверхневих температур пар тертя гальма.

Результати експериментальних досліджень теплової навантаженості стрічково-колодкових гальм бурової лебідки дають підстави перейти до розгляду стабілізаційного теплового стану їхніх ободів шківів.

Стабілізаційний тепловий стан обода гальмівного шківа та його обґрунтування. Стабілізаційний тепловий стан металевого фрикційного елемента відповідає термодинамічній рівновазі, в якій внутрішні параметри однакові для усієї системи, яким є тіло складної форми, тобто обід гальмівного шківа. При цьому усі внутрішні параметри вказаного тіла не залежать від координат. З точки зору процесу встановлення термодинамічної рівноваги можна розглядати, як процес вирівнювання внутрішніх параметрів, який супроводжується переносом теплової енергії від матових поверхонь обода гальмівного шківа до його полірованої, тобто, робочої, через термоокислювальні реакції на фрикційному контакті у поверхневих шарах фрикційних накладок при вигорянні зв'язувальних компонентів в їхніх матеріалах при температурах вище допустимої. Процеси термічної деструкції зв'язувальних компонентів накладок сприяють виникненню на фрикційному контакті рідких фракцій, які, збираючись у зоні тертя, створюють вогнища для додаткового охолодження. Відомо, що в термодинамічних процесах температура визначається як параметр, сталість якого характеризує положення термоди-

намічної рівноваги. Вирівнювання температури ободів гальмівних шківів супроводжується процесами теплообміну від їхніх матових поверхонь до полірованих. З цієї точки зору температуру відносять до узагальнених термодинамічних потенціалів, а її відхилення від рівноважного рівня визначають інтенсивність процесу теплообміну [4] залежно від того, нагрівається чи вимушено охолоджується металевий фрикційний елемент.

Першопочатково розглянемо процес нагрівання металевого фрикційного елемента. В усталеному режимі енергія W_p , яка поступає в систему ззовні, за рахунок дисипації механічної енергії в теплову при реалізації питомих навантажень ($W_H + \Delta W$) у фрикційних вузлах гальма повинна розсіюватися в навколишнє середовище від матових поверхонь металевих фрикційних елементів.

При появі у трибосистемі збудження (термоокислювальної деструкції зв'язувальних компонентів полімерних фрикційних матеріалів при температурах вище допустимої) змінюється тепловий стан металевих фрикційних елементів. Припустимо, що збудження проявляється у зміні тільки одного параметра Π , тобто поверхневих температур металевих фрикційних елементів, і саме вони визначають їхній подальший тепловий режим. Припустимо далі, що зміна мала, тобто розглядаються тільки такі відхилення, при яких ділянки кривих температур, які визначають тепловий режим, можна вважати лінійним. У збудженому тепловому режимі при перерозподілі енергії між матовою і полірованою поверхнями металевого фрикційного елемента через примусове охолодження останньої (при появленні $\Delta\Pi$) цей баланс порушується, оскільки відбувається зміна властивостей трибосистеми, при якому енергія поглинається. Якщо властивості трибосистеми такі, що витрата енергії $W = W_H + \Delta W$ після відхилення теплового режиму (після збудження) буде відбуватися більш інтенсивно, ніж збільшення енергії $\Delta W_H = f(\Pi)$, яку може дати після збудження чергова взаємодія фрикційних вузлів, то новий (збуджений) тепловий режим веде у трибосистемі до підтримання попереднього теплового режиму (або режиму, який близький до нього), тобто трибосистема буде стійкою. З цього визначення стійкості (стабільності) випливає, що математично записаною умовою її збереження або, як говорять, критерієм стійкості K буде умова $\Delta W / \Delta \Pi > \Delta W_H / \Delta \Pi$ або у диференціальній формі $d(W_p - W) / d\Pi < 0$.

Введемо позначення $W_p - W = \Delta W_{II}$ і назвемо її залишковою енергією. Ця енергія додатна, якщо додаткова енергія термохімічної реакції деструкції зв'язувальних компонентів матеріалів фрикційних накладок і радіаційного теплообміну між робочими поверхнями пар тертя гальма буде зростати інтенсивніше, ніж енергія навантаження трибосистеми, включаючи втрати на роботу тертя в його фрикційних вузлах. Критерій стійкості тепер запишеться у вигляді

$$K = \frac{d(W_{II})}{d\Pi} < 0 \quad \text{або} \quad K < 0.$$

Тепловий режим стійкий, якщо похідна від надлишкової енергії за визначальним параметром Π , тобто температура полірованої і матової поверхонь фрикційного металевго елемента гальма, від'ємна.

Зупинимось на процесах вимушеного охолодження металевго фрикційного елемента гальма. Припустимо, що металевий фрикційний елемент вимушено охолодився нижче допустимої температури матеріалів фрикційної накладки, після чого відбувається інтенсивне гальмування фрикційними вузлом гальма, яке здатне викликати термохімічну деструкцію зв'язувальних компонентів фрикційного матеріалу. Крім того, підсилюється радіаційний теплообмін між поверхнями взаємодії. В усьому решта, процес вимушеного охолодження металевго фрикційного елемента гальма з точки зору енергетичного балансу є аналогічним процесу нагрівання.

Енергія W_{II} повинна визначатися для розглядуваної трибосистеми в цілому, з врахуванням усіх факторів впливу (нагрівання, охолодження, радіаційного теплообміну і термохімічної деструкції зв'язувальних компонентів фрикційного матеріалу). За допомогою критерію ($K < 0$) відбувається оцінка енергосистеми із залученням температурного градієнта, який виникає між поверхнями за схемою "полірована-матова" і "матова-полірована" металевго фрикційного елемента гальмівного вузла. При цьому відбувається зміна знака температурного градієнта, оскільки він є вектором по нормалі в бік збільшення температур.

Згідно з вищевказаним критерієм оцінки стійкості (стабільності) трибосистеми за співвідношенням коефіцієнтів випромінювальної здатності полірованої і матової поверхонь металевго фрикційного елемента і енергією термохімічних реакцій, що відбуваються при деструкції зв'язувальних компонентів, знаходяться у фрикційній накладці і їхніх енергетичних характеристик в чистому вигляді, тобто без структурних зв'язків з іншими компонентами в накладці, показує інтенсивність дії на трибосистему з точки зору стабілізації теплового стану її металевго фрикційного елемента при зміні фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів фрикційних накладок.

На основі сказаного перейдемо до теоретичного обґрунтування стабілізаційного теплового стану металевго фрикційного елемента гальма.

Відомі раніше методи теплового розрахунку фрикційних вузлів гальмівних пристроїв [1,

2, 3, 5], що базуються на дослідних значеннях коефіцієнтів випромінювання при радіаційному теплообміні і тепловіддачі при вимушеній і природній конвекції визначених для деяких часткових випадків, не дають точного розв'язку при визначенні поверхневих температур на фрикційному контакті для всіх можливих випадків і всіх типів фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм. При використанні даних методів теплового розрахунку фрикційних вузлів вищевказаних видів гальм неможливо точно визначити величину мінімального температурного градієнта по товщині металевго фрикційного елемента з врахуванням трибохімічних процесів на контакті взаємодії і процесів теплообміну з його обидвох поверхонь (робочої і неробочої), при якому має місце стабілізаційний тепловий стан обода шків, а також час його досягнення. Ця зона теплової стабілізації знаходиться при температурі матеріалу фрикційних накладок вище допустимої, що при їхній роботі у фрикційних вузлах гальма може викликати аварійну ситуацію на буровій установці при спуску колони бурильних труб у свердловину.

Для визначення стабілізаційного теплового стану металевих фрикційних елементів (у даному випадку обода шків) розглянемо циліндричний обід шків, ззовні якого діє джерело тепловиділення (тертя між робочою поверхнею шків і робочими поверхнями фрикційних накладок гальмівної стрічки), і який оточений в зазорі між парами тертя тепловою оболонкою.

При цьому приймаємо такі припущення:

- 1) тепловий потік осесиметричний, і поверхнева температура довільної точки обода шків є функцією радіуса;
- 2) вважаємо, що обід шків являє собою порожнистий циліндр;
- 3) температура робочої поверхні обода шків по периметру і твірній однакова.

Постановка задачі полягає в такому. На циліндричному ободі шків з радіусами r_1 і r_2 в одиницю часу, в одиниці об'єму виділяється кількість теплоти q_s , Вт/м³. Потрібно визначити температуру на внутрішній поверхні обода шків, а також температурний напір по його товщині, якщо відомі: температура робочої поверхні обода шків t_r , температура навколишнього повітря t_b , сумарний коефіцієнт тепловіддачі α_1 з внутрішньої поверхні обода шків.

В математичній формі поставлена задача записується у вигляді рівняння [4]

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{q_s}{\lambda} = 0. \quad (2)$$

Гранична умова полягає в заданні температури навколишнього середовища і закону теплообміну між внутрішньою поверхнею обода шків і навколишнього повітря [4] і записується у вигляді

$$\frac{dt}{dr} = -h(t_n - t_e),$$

Таблиця 3 — Температурні напори обода шків стрічково-колодкового гальма

$t_r, ^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$q_s \cdot 10^3, \text{Вт/м}^3$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
$\Delta t_1, ^\circ\text{C}$	5,1	6,2	4,1	1,0	-6,5	-14,2	-19,6	-32,2	-57,2	-76,3
$\Delta t_2, ^\circ\text{C}$	-1,0	-2,2	-5,0	-8,6	-15,4	-23,1	-28,2	-41,7	-65,4	-85,6

де $h = \frac{\alpha_1}{\lambda}$ – відносний коефіцієнт тепловіддачі.

Роблячи підстановку $\frac{dt}{dr} = u$ і виконавши повторне інтегрування, після визначення його сталих отримали такі вирази для визначення температурного напору в обоці шків:

$$\Delta t = C_1 \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{q_s}{4\lambda} (r_2^2 - r_1^2), \quad (3)$$

і температура внутрішньої поверхні обода шків буде

$$t = t_r - \Delta t;$$

в залежності (3)

$$C_1 = \frac{A - (t_{e_1} - t_e)}{D};$$

$$A = \frac{q_s}{4\lambda} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{q_s R_2}{2\alpha_2};$$

$$D = \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{hr_2},$$

де: t_{e_1} – температура навколишнього повітря і газів, що займають простір між робочими поверхнями обода шків і фрикційних накладок гальмівної стрічки; α_2 – сумарний коефіцієнт тепловіддачі від робочої поверхні обода шків в оточуюче повітря; R_2 – радіус внутрішньої поверхні гальмівної стрічки.

Визначимо критичну усталену температуру обода шків стрічкового гальма бурової лебідки У2-5-5 при таких початкових даних: $r_2 = 0,69$ м; $R_2 = 0,75$ м; $V = 0,31$ м; $S = 1,41$ м²; $\lambda = 50$ Вт/(м·К); $t_b = 25$ °С; $\alpha_2 = 20$ Вт/(м²·К).

Коефіцієнти тепловіддачі конвекцією від робочої поверхні обода шків стрічкового гальма визначались за допомогою номограм, наведених в роботі [3], а коефіцієнти тепловіддачі промевипромінюванням – за допомогою графіка, наведеного на рис. 1. Коефіцієнти тепловіддачі конвекцією α_1 і α_2 від робочої поверхні обода шків стрічкового гальма визначались відповідно при робочому і замкненому стані його фрикційних пар згідно з роботою [3].

В табл. 3 наведені значення знайдених при розрахунку величин.

Стабілізаційний тепловий стан обода шків визначаємо в зоні температур 300-500°С. В останньому значення температурних напорів по товщині обода шків є мінімальним, оскільки з поверхневого шару накладок, які знаходяться на гальмівній стрічці, відбувається вигорання зв'язувального компоненту, яким є формальдегідна смола.

Висновок. Таким чином, в результаті експериментальних та теоретичних досліджень теплових режимів ободів шківів бурових лебідок обґрунтовано явище його стабілізаційного теплового стану в інтервалі температур вище допустимої для полімерного матеріалу фрикційних накладок.

Література

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины. – М.: Из-ва МГТУ им. Н.Э.Баумана и ГУП «Высшая школа», 2000. – 550 с.
2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общей редакцией А.В.Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
3. Вольченко А.И. Тепловой расчет тормозных устройств. – Львов: Вища школа, 1987. – 133 с.
4. Нестационарный теплообмен / В.К.Кошкин, Э.К.Калинин, Г.А.Дрейцер и др. – М.: Машиностроение, 1973. – 328 с.
5. Чичинадзе А.В., Белоусов В.Я., Богатчук И.М. Износостойкость фрикционных полимерных материалов. – Львов: Вища школа, 1989. – 144 с.