

УДК 62.592.113

ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ГАЛЬМІВНИХ ШКІВІВ СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК (перша частина)

О.І.Вольченко, Д.О.Вольченко, Л.І.Криштона

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42464
e-mail: admin@nung.edu.ua

Проиллюстрирован новый подход к оценке тепловых потерь от поверхностей тормозных шкивов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок на основе расчетно-экспериментального метода определения теплового состояния их рабочих поверхностей.

Відомо, що необхідною умовою зовнішнього тертя є наявність додатного градієнта механічних властивостей кожного з тіл, що труться, по глибині, тобто тонкий поверхневий шар, що бере участь у терті, повинен мати меншу міцність, ніж матеріал основи. У сучасних парах тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки додатний градієнт забезпечується шляхом розм'якшення поверхневого шару формування робочої поверхні фрикційної накладки під дією теплоти тертя.

При відносному ковзанні двох дотичних поверхонь пар тертя стрічково-колодкового гальма внаслідок пружних та пластичних деформацій їх контактуючих плям та подолання молекулярної взаємодії макрорух переходить у мікрорух, впорядкований рух – у хаотичний, тобто у тепловий. У точках дискретного контакту взаємодіючих пар тертя гальма виникають температурні спалахи – теплота поширюється з одного боку у глибину гальмівного шківа та фрикційних накладок (теплопровідністю – кондуктивним теплообміном), а з другого боку від їхніх поверхонь розсіюється в оточуюче середовище (променевим теплообміном та вимушеною конвекцією). Після закінчення гальмування, тобто при розімкнутому гальмі, гальмівний шків виступає як акумулятор теплоти і також спостерігаються вищевказані процеси теплообміну з тією різницею, що замість вимушеної конвекції діє природна.

У безпосередній близькості від точок контакту поверхонь тертя гальма утворюються окремі напівкульові ізотермічні поверхні, які зливаються в загальну поверхню на деякій глибині ободу гальмівного шківа та фрикційних накладок. Розташування ізотермічних поверхонь у двох фрикційних елементах характеризує величину температурного градієнта.

Регулювати градієнт температури у фрикційних вузлах стрічково-колодкового гальма бурової лебідки можливо: зміною розмірів поверхні тепловіддачі, а, отже, і коефіцієнтів тепловіддачі; вимушеним охолодженням пар тертя; обмазкою поверхонь металевих фрикційного елемента теплоізоляційним матеріалом, застосуванням електродігріву тощо.

A new approach of an estimation of heat losses from surfaces of brake disks of band-block brakes of drilling hoists is illustrated on the basis of calculated experimental method of definition of a thermal state of their working surfaces.

Складність розрахунку поверхневих температур пар тертя стрічково-колодкового гальма зумовлена різними видами теплообміну від поверхонь гальмівного шківа в оточуюче середовище та важкістю формулювання для його різних поверхонь граничних умов.

Необхідно зазначити, що поверхнева температура пар тертя гальма та температурні градієнти, що реалізуються в них, істотно впливають на тертя ковзання, зумовлюючи нестабільні зношувально-фрикційні властивості їхніх поверхневих шарів і як наслідок змінні експлуатаційні параметри гальма загалом.

Відомі способи визначення кількості теплоти (так званої калориметрії), що полягають у використанні різних типів калориметрів, а саме: звичайний калориметр змінної температури з ізотермічною оболонкою; масивний калориметр змінної температури з ізотермічною оболонкою; калориметр змінної температури з адіабатичною оболонкою; диференціальний калориметр із змінною температурою; калориметр постійної температури [1].

Однак представлені способи визначення частки теплоти, що генерується, акумулюється і розсіюється у навколишнє середовище гальмівним шківом стрічково-колодкового гальма бурової лебідки, не можуть бути використані з таких причин: через велику масу гальмівного шківа; неможливо окремо оцінити інтенсивність природного і вимушеного конвективного охолодження поверхонь гальмівного шківа; не можна точно оцінити втрати теплоти від радіаційного теплообміну від поверхонь гальмівного шківа; неможливо врахувати втрати теплоти від кондуктивного теплообміну в гальмівному шківі.

Відомі методи розв'язання задач теплопровідності, до яких відносяться: аналітичний, чисельний, аналоговий, графічний і експериментальний. За допомогою перерахованих методів визначають значення температур у досліджуваних об'єктах розрахунковим чи експериментальною шляхом [2]. У використовуваних залежностях для розрахунку кількості теплоти, що виділяється від гальмівного шківа стрічково-колодкового гальма, необхідно знати не тільки

Таблиця 1 – Види теплообміну та кондуктивного охолодження гальмівних шківів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок та оцінка їх втрат у тепловому балансі

Вид теплообміну	Розрахункові залежності
Кондуктивний	$Q_1 = m \cdot c \cdot (t_n - t_o), \quad (1)$ де $c=0,5$ кДж/(кг·°C);
Радіаційний	$Q_2 = (c_1 \cdot A_1 + c_2 \cdot A_2) \left[\left(\frac{273 + t_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_o}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$ де $c_1=5,45$ кВт/(м ² ·°C); $c_2=18,02$ кВт/(м ² ·°C);
Конвективний: природний	$Q_3 = \alpha_1 \cdot A_3 \cdot (t_n - t_o) \cdot (1 - ТВ) \cdot 3,6, \quad (3)$ де $\alpha_1=21,0$ кВт/(м ² ·°C);
вимушений	$Q_4 = \alpha_2 \cdot \left(A_4 \cdot v_0^{0,78} + \sum 2 \cdot f_i \cdot v_i^{0,78} \right) \cdot TO \cdot 3,6, \quad (4)$ де $\alpha_2=6,14 \cdot v_0^{0,78}$.

різницю температур ($t_n - t_o$), де t_n, t_o – температури нагрівання поверхні гальмівного шківів та навколишнього середовища, але й коефіцієнти інтенсивності процесів, тобто тепловіддачі при природній і вимушеній конвекції, а також при радіаційному теплообміні. Що стосується визначення втрат теплоти від гальмівного шківів кондуктивним теплообміном, то вони майже ніколи не визначалися. Це викликано тим, що їх просто ніхто не враховує. Знання поверхневих температур пар тертя гальма в процесі його експлуатації дає можливість робити правильний вибір матеріалу для фрикційних накладок з допустимою температурою, яка прогнозується, як для найслабшої ланки фрикційного вузла.

Недолік методів розрахунку полягає у тому, що при визначенні втрат теплоти в досліджуваному гальмівному шківі обов'язково необхідно знати два параметри: температури поверхні та коефіцієнти тепловіддачі вимушеної та природної конвекції та випромінювання. Перші розраховуються, а другі приймаються з довідкової літератури як деякі усереднені величини (див. табл. 1) [3].

Мета цієї роботи – визначення втрат теплоти в гальмівному шківі стрічково-колодкового гальма бурової лебідки температурним способом для визначення коефіцієнтів тепловіддачі при природній і вимушеній конвекції та випромінюванням, а також кондуктивним теплообміном для правильного вибору матеріалів фрикційних накладок і роботи в інтервалах поверхневих температур нижче припустимих.

У табл. 1 наведені розрахункові залежності (1–4) для визначення кількості теплоти, що відводиться від поверхонь гальмівного шківів стрічково-колодкового гальма при їх взаємодії з оточуючим середовищем [3]. У наведених залежностях (1–4) використані такі позначення:

c – теплоємність матеріалу гальмівного шківів, кДж/(кг·°C);

c_1, c_2 – коефіцієнти випромінювання теплоти від полірованої та матової поверхонь гальмівного шківів, кВт/(м²·°C);

m – маса гальмівного шківів, кг;

A_1, A_2, A_3, A_4 – площі поверхонь гальмівного шківів: полірованої; матової; тієї, що бере участь у природній та вимушеній конвекції;

α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від зовнішніх поверхонь гальмівного шківів при природній та вимушеній конвекції;

t_n, t_o – температури, що відповідають встановленому тепловому стану шківів та оточуючого середовища;

$ТВ$ – тривалість вільного обертання гальмівного шківів, с;

$(1-ТВ)$ – частина загального часу роботи гальма, впродовж якого шків знаходиться у нерухомому стані, с;

v_0 – відносна лінійна швидкість обертання поверхні тертя гальмівного шківів, м/с;

f_i – площа бічної поверхні гальмівного шківів, яка розглядається як ряд поверхонь з різними радіусами, м²;

v_i – середні лінійні швидкості бічних кільцевих поверхонь гальмівного шківів, м/с.

На рис. 1,а зображено конструкцію теплоізованого гальмівного шківів з нагрівальним пристроєм; на рис. 1,б наведена конструкція нетеплоізованого гальмівного шківів від оточуючого середовища з нагрівальним пристроєм; на рис. 1,в проілюстровано фрикційний вузол з термopарами, а також їхня установка в його деталі; на рис. 1,г зображено загальний вигляд стрічково-колодкового гальма, в якому перший гальмівний шків має теплоізований виступ.

Способи нагрівання й охолодження гальмівних шківів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки при оцінці їхнього теплового балансу полягають у визначенні втрат теплоти від поверхонь гальмівного шківів радіаційним теплообміном, природною і вимушеною конвекцією, а також шляхом передачі теплоти тепло-

провідністю (кондуктивним теплообміном) від виступу гальмівного шківів до фланця барабана лебідки.

Способи нагрівання й охолодження гальмівних шківів стрічково-колодкового гальма здійснюються в лабораторних і промислових умовах у чотири етапи.

Перший етап. У лабораторних умовах визначаються втрати теплоти радіаційним теплообміном від нагрітого гальмівного шківів. Для цього беруть два серійних гальмівних шківів 1, що мають виступи 2 і порожнину 3 у його ободі. Останню заповнюють легкоплавким металом 4 (калієм, натрієм, літієм). Там же, в порожнині 3, знаходяться нагрівальні пристрої 5, установлені по її периметру і підключені до клем 6 електричного ланцюга. При цьому поверхня першого з гальмівних шківів 1 цілком покрита теплоізоляцією 7, тобто теплоізована від навколишнього середовища. На робочій поверхні гальмівного шківів 1 установлені термометри 8 з термоелектродами 9, підключеними до реєструючої апаратури (на кресленні не показана), для фіксації термо-ЕРС, і за тарувальним графіком вона потім переводиться в температуру. Перед нагріванням гальмівних шківів 1 їх установлюють на підставки, виготовлені з матеріалу з низькою теплопровідністю, наприклад, ебоніту чи текстоліту, після чого одночасно підключають нагрівальні пристрої 5 у двох шківів 1 за допомогою клем 6 в електричну мережу. Нагрівальні пристрої 5 вмикають на однаковий час для того, щоб розплавити легкоплавкий метал 4, завдяки чому температура робочої поверхні другого гальмівного шківів 1 досягає не нижче 1000 °С.

Надалі вмикають нагрівальні пристрої 5 від електричної мережі і після усереднення заміряних температур на поверхнях гальмівних шківів 1 встановлюють їхнє співвідношення. Останні характеризують відношення поверхневої температури першого (t_1) до другого (t_2-t_0) гальмівних шківів, що і визначає частку теплоти, що розсіюється в навколишнє середовище радіаційним теплообмінником. Так, наприклад, при співвідношенні зазначених температур

$\frac{1100}{920-20} = 1,222$ частка теплоти, що розсіюється в навколишнє середовище радіаційним теплообміном від поверхонь гальмівного шківів, складає 22,2%.

Другий етап. У лабораторних умовах визначаються втрати теплоти природним конвективним теплообміном від поверхонь першого нагрітого гальмівного шківів.

У результаті сталого теплового стану гальмівного шківів 1, отриманого на першому етапі, фіксують проміжок часу природного конвективного охолодження. Після цього визначають інтенсивність природного конвективного теплообміну, тобто коефіцієнт тепловіддачі від поверхонь гальмівного шківів 1 у заданих інтервалах температур.

Так, наприклад, $Q=I \cdot U \cdot \tau$, кДж (кількість теплоти, витрачена на нагрівання першого га-

льмівного шківів); I – сила струму, А; U – напруга, В; τ – час, с. З іншого боку, дана кількість теплоти (Q) розсіяна з поверхонь (F) гальмівного шківів 1 за час (τ) при різниці температур (t_n-t_0), де t_n , t_0 – початкова температура поверхні нагрітого гальмівного шківів і навколишнього середовища, °С. У цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі буде дорівнювати

$$\alpha = \frac{Q}{F \cdot \tau \cdot (t_n - t_0)}$$

Третій етап. У промислових умовах визначаються втрати теплоти кондуктивним теплообміном від виступів гальмівних шківів у тіло фланця барабана лебідки.

Для реалізації третього етапу від гальмівних шківів 1 від'єднують термоелектроди 9 термометри 8, а також електродоти, що йдуть від нагрівальних пристроїв 5 до клем 6. Крім того, знімають з другого шківів 1 теплоізоляцію 7, залишивши її тільки на його виступі 2. Після цього гальмівні шківів 1 монтуєть на бурову лебідку, насаджуючи їх на фланець 23 барабана і кріплячи виступи 2 шківів 1 за допомогою кріпильних болтів 24.

Для виміру поверхневих температур партертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки в його фрикційних накладках розміщують термоелектроди 17 термометри 18 (див. рис. 1,в). Двоканальна керамічна трубка 16 встановлюється в отвір 14 фрикційної накладки 12 і виводиться майже на рівні її робочої поверхні 13. У трубці 16 діаметром 4,0 мм закладені термоелектроди 17 термометри 18, виготовленої з хромель-алюмелевого дроту діаметром 0,8 мм. Позитивним термоелектродом 17 є хромелевий дріт, а негативним – алюмелевий дріт. Голівка термометри 18 (у вигляді сфери), що взаємодіє з робочою поверхнею 15 гальмівного шківів 1, сформована з високотемпературного мідного припою у вигляді спаю діаметром 3,0 мм і установлена в обмежувальне кільце 19. Останнє перешкоджає виходу з ладу голівки термометри 18 і сприяє її роботі до повного спрацювання. Двоканальна керамічна трубка 16 (керамічна трубка складається з двох частин) установлена з ізоляційними втулками 20 і 21 в отвір 11 гальмівної стрічки 10. Довжина термоелектродів 9 і 18 вибиралася з умови, щоб за час експериментів холодний спай не встиг прогрітися, і дорівнювала 200-350 мм. Виводи реєструючої апаратури з'єднувалися мідними дротами. Термометри 8 і 18 перед їхньою установкою тарувалися разом зі з'єднувальними дротами. Після цього вмикають у роботу бурову лебідку і виконують циклічні гальмування стрічково-колодковим гальмом шляхом прикладання і зняття зусилля на важіль керування (на кресленні не показаний), притискаючи за допомогою гальмівної стрічки 10 фрикційні накладки 12 їх робочими поверхнями 13 до робочої поверхні 15 гальмівних шківів 1. У процесі гальмувань на поверхнях партертя гальма генерується значна кількість теплоти, що йде на нагрівання тіла гальмівного шківів 1 і легкоплавкого металу 4 у

його порожнині до розплавленого стану. Крім того, у другому шківі 1 теплота від його виступу 2 передається фланцю 23 барабана, і тому температура робочої поверхні 15 першого шківа 1 буде більшою, ніж другого. Ця обставина буде сприяти різній інтенсивності радіаційного і вимушеного конвективного теплообміну від поверхонь гальмівних шківів 1. Відтак за співвідношенням заміряних поверхневих температур $(t_1 - t_0 / t_2 - t_0)$ першого і другого гальмівних шківів 1 стрічково-колодкового гальма і визначають частку теплоти від загальної її кількості, що передається у фланець 23 барабана бурової лебідки, тобто кондуктивним теплообміном.

Так, наприклад, при співвідношенні зазначених температур $\frac{1120 - 20}{1070 - 20} = 1,047$ частка теплоти, що передається кондуктивним теплообміном у фланець барабана 23 лебідки, складає 4,7%.

Четвертий етап. У промислових умовах визначаються втрати теплоти вимушеним конвективним теплообміном від нагрітих гальмівних шківів. При різних постійних частотах обертання піднімального вала 25 лебідки, а разом з ним і гальмівними шківками 1 за однакові проміжки часу фіксують термopарами ковзання їхні поверхневі температури. Для цього термopари установлені на реборді шківів 1 і підключені через струмозмінний пристрій до реєструючої апаратури (на кресленні не показано). Після цього визначають інтенсивність вимушеного

конвективного теплообміну поверхонь шківів 1 (коефіцієнт тепловіддачі) у заданих інтервалах поверхневих температур. При цьому необхідно витримати умови щодо нагрівання гальмівного шківа стрічково-колодкового гальма, що відповідають другому етапу досліджень. У цьому випадку визначаємо коефіцієнти тепловіддачі від поверхонь гальмівного шківа 1 при його вільному обертанні за залежністю, аналогічною наведеній для другого етапу.

Таким чином, шляхом нагрівання та охолодження гальмівних шківів стрічково-колодкового гальма в лабораторних та промислових умовах у подальшому на основі розрахунково-експериментальних даних, що стосуються їхнього теплового стану, і будуть визначені втрати теплоти з радіаційним, природним та вимушеним конвективним теплообміном від поверхонь шківа в оточуюче середовище, а також кондуктивним теплообміном від виступів гальмівних шківів до фланців барабана лебідки.

Література

1. Кирилин В.А., Шейндлин А.Е. Основы экспериментальной термодинамики. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 310 с.
2. Вольченко А.И. Тепловой расчет тормозных устройств. – Львов: Высшая школа, 1987. – 133 с.
3. Ильский А.Л., Миронов Ю.В., Чернобыльский А.Г. Расчет и конструирование бурового оборудования. – М.: Недра, 1985. – 452 с.

УДК 622.242.5 (043)

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ГАЛЬМІВНИХ ШКІВІВ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

В. Я. Малик

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 423534,
e-mail: public@iftung.if.ua

Проанализированы статистические данные, касающиеся технического состояния рабочих поверхностей шкивов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок, сформулированы основные факторы, влияющие на их ресурс, и предложены средства его повышения.

Бурова лебідка при бурінні свердловин відіграє надзвичайно важливу роль, оскільки від технічного стану її основних вузлів і деталей залежить не тільки швидкість виконання спуско-підйомних операцій, але й безаварійність роботи бурової. У зв'язку з цим до фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм висуваються підвищені вимоги, перші позиції в переліку яких займають: достатній гальмівний момент для заданих умов буріння; стабільність гальмівного моменту, що реалізується гальмом; необхідна міцність гальмівних шківів і фрикційних

The statistical facts of technical condition of working surfaces pulleys of band-shoe brake of drilling winches are analysed. The basic factors, which influence on their resources are formulate and the means of its promoted are proposed.

накладок; обмеження поверхневих температур, верхньою границею яких є така об'ємна температура фрикційної накладки, що не перевищує допустиму температуру її матеріалу; раціональність конструкції, яка забезпечує мінімальну вартість виготовлення і експлуатації обладнання; технологічність та ін.

Відомо, що матеріали пар тертя гальмівних систем бурових лебідок працюють в широкому діапазоні швидкостей ковзання, питомих навантажень, поверхневих температур, коефіцієнтів тертя, температурних градієнтів та інших три-