

622.242.5
к 82

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Криштопа Святослав Ігорович

622.242.5(043)

УДК 62.592.113

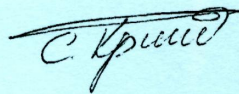
к 82

ТЕПЛОАВАНТАЖЕНІСТЬ СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВОГО ГАЛЬМА
З РУХОМИМИ ФРИКЦІЙНИМИ НАКЛАДКАМИ
БУРОВИХ ЛЕБІДОК

Спеціальність 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ - 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор **Вольченко Олександр Іванович**,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
професор кафедри механіки машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Харченко Євген Валентинович,
національний університет "Львівська політехніка",
завідувач кафедри опору матеріалів

кандидат технічних наук, доцент,

Дяч Михайло Михайлович

Івано-Франківський національний університет нафти і газу,
доцент кафедри нафтогазового обладнання

Провідна установа: Український науково-дослідний інститут (УкрНДІгаз)
природних газів ДК "Укргазвидобування", м. Харків.

Резюме відбувається 6 травня 2003 р. о 10 год. на засіданні спеціалізованої

вче
уні
вул

Івано-Франківському національному технічному
адресою: 76019, м. Івано-Франківськ,

Фр
760

технічній бібліотеці Івано-
і газу за адресою:

Ав

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Збільшення глибин буріння, прискорення темпів проходки свердловин веде до інтенсифікації спуско-піднімальних операцій. В результаті значно зростає динамічна навантаженість гальмівного механізму бурової лебідки, і як наслідок, рівень теплової навантаженості його пар тертя. При цьому, в більшості випадків, на поверхнях тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки розвиваються температури вище допустимої для матеріалу фрикційних накладок. Це призводить до дестабілізації експлуатаційних параметрів гальма, що суттєво знижує його ефективність. Таким чином, основною вимогою до фрикційних вузлів гальм є встановлення обмежень по тепловим режимам, які забезпечували б їхню працездатність.

Тому задачі, що поставлені в дисертаційній роботі спрямовані на теплове розвантаження основних пар тертя стрічково-колодкового гальма за рахунок використання додаткових та завдяки високоефективному примусовому охолодженню.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи є частиною планових державних науково-дослідних робіт з розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах держбюджетних науково-дослідних робіт “Наукові обґрунтування раціональних режимів роботи та вибір основних параметрів бурового обладнання”, номер державної реєстрації №0195U026337, які входять до координаційного плану Міністерства освіти і науки “Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою одержання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і необхідної сировини”. Даний план входить в національну програму “Нафта і газ України до 2010 року”.

Мета і задачі дослідження. Дослідити закономірності зміни теплонавантаженості пар тертя стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками бурових лебідок та обґрунтувати використання випереджаючих технічних рішень по високоефективному примусовому охолодженню їхніх фрикційних вузлів. Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі:

- встановити закономірності теплоутворення при взаємодії внутрішніх та зовнішніх пар тертя фрикційних вузлів нетрадиційного гальма;
- дослідити вплив конструктивних та експлуатаційних параметрів фрикційних вузлів на їхню теплонавантаженість;
- оцінити тепловий баланс зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів гальма;
- запропонувати методику охолодження пар тертя фрикційних вузлів гальма;

НТБ
ІФНТУНГ



- розробити високоефективні конструкції систем для примусового охолодження пар тертя фрикційних вузлів гальма;
- оцінити спрацювання внутрішніх і зовнішніх поверхонь накладок фрикційних вузлів гальма при природному та примусовому охолодженні.

Об'єкт дослідження. Нове стрічково-колодкове гальмо з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки.

Предмет дослідження. Теплові процеси при природному та примусовому охолодженні в зовнішніх та внутрішніх парах тертя фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурових лебідок.

Методи дослідження. Дослідження проводилися за допомогою загально-відомих та оригінальних методів експериментальних досліджень. При цьому використовувались основні положення теорії теплового балансу, термічного опору контакту, принципів роботи теплової труби, термоелектричного ефекту.

Наукова новизна. Вперше експериментальним шляхом досліджено теплонавантаженість пар тертя зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлів нетрадиційного гальма. Встановлено закономірності впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів гальма на його теплонавантаженість. Запропоновані випереджаючі технічні рішення по високоефективному примусовому охолодженню їхніх фрикційних вузлів.

Практичне значення одержаних результатів. На новому типі стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками проілюстровано закономірності зміни поверхневих температур на зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлах, що дозволило підтримувати рівень їхньої теплонавантаженості нижче допустимої температури для матеріалу фрикційної накладки. Отримані результати можуть бути використані в конструкторських бюро заводів нафтового обладнання при проектуванні фрикційних вузлів конструкцій гальм.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень теплонавантаженості фрикційних вузлів гальма з рухомими накладками, а також розробки пристроїв і систем для їхнього високоефективного охолодження, використано в ВАТ “Карпатнафтомаш” (м. Калуш, Івано-Франківської обл.) та в асоціації “Автобус” (м. Львів) та в навчальному процесі кафедри механіки машин при читанні лекцій з дисципліни “Основи теорії і розрахунку засобів механізації переміщення вантажів”.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В роботі [1] проведений аналіз спрацювання поверхонь фрикційних накладок гальма при природному та примусовому охолодженні. В роботі [2] розроблено системи для примусового охолодження фрикційних вузлів гальма з рухомими накладками, які працюють на ефектах “теплової труби” та термоелектричному. В роботах [3, 10] запропоновані конструкції пристроїв охолодження пар тертя гальм, які працюють на

ефекті “теплової труби”, а в [5] – на термоелектричному ефекті в режимах термоелектроохолодильників. В роботі [4] викладена методика розрахунку гальмівного моменту, а в [6] досліджено розподіл питомих навантажень на поверхнях тертя гальма з рухомими накладками. В роботі [7] встановлені закономірності теплових процесів на зовнішніх та внутрішніх парах тертя фрикційних вузлів, а в [8] наведено математичний опис теплового балансу та запропонована методика розрахунку інтенсивності природного охолодження фрикційних вузлів гальма з рухомими накладками бурових лебідок. В роботі [11] наведена методика експериментальних досліджень динамічної і теплової навантаженості пар тертя модельного гальма, а в [9, 13] досліджений вплив конструктивних та експлуатаційних чинників на теплонавантаженість фрикційних вузлів. В роботі [12] розроблено конструкцію термобатарей системи охолодження гальма.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались та обговорювалися на: міжнародній конференції “Зносостійкість та надійність вузлів тертя машин” (м. Хмельницький, 2000р.); міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми розвитку піднімально-транспортної техніки” (м. Луганськ, 2000р.); міжнародній конференції по надійності машин та прогнозуванню їхнього ресурсу (м. Івано-Франківськ, 2000р.); розширеному засіданні кафедри технічної механіки Кубанського державного технологічного університету (м. Краснодар, 2001 р.); кафедрі загально-інженерних дисциплін Бережанського агротехнічного інституту Київського національного аграрного університету (м. Бережани, Тернопільської обл.); кафедрі деталей машин національного університету “Львівська політехніка (м. Львів, 2002р.); міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми механіки гірнично-металургічного комплексу” (м. Дніпропетровськ, 2002р.); III-ої міжнародної науково-технічної конференції “Модульні технології та конструкції – 2002” (м. Жешув, Польща, 2002р.); кафедрі механіки машин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 2002р.); на розширеному науковому семінарі за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової і газової промисловості (м. Івано-Франківськ, 2002р.)

Публікації. За темою дисертації опубліковано 13 наукових праць, з них 9 – у фахових виданнях, один патент на винахід Росії та одні тези доповіді.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація викладена на 137 стор. комп’ютерного набору тексту і містить: вступ, чотири розділи, висновки, список використаної літератури з 129 найменувань на 14 аркушах, 21 додаток на 39 аркушах і 34 рисунка та 15 таблиць на 38 аркушах.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми по вивченню та дослідженню теплонавантаженості стрічково-колодкового гальма бурової лебідки, коротко

подані теоретичні та практичні результати роботи, проілюстровані їхні наукова новизна та практична значимість, наведено перелік апробації роботи.

В першому розділі наведено аналіз динамічної та теплової навантаженості пар тертя стрічково-колодкових гальм бурових лебідок, показана інтенсифікація теплообміну при охолодженні гальм природнім та примусовим шляхом, проаналізовано довговічність фрикційних вузлів гальма і сформульовано задачі досліджень.

Питанням вивчення теплонавантаженості гальмівних пристроїв, розробці методів теплового розрахунку температур на їхніх поверхнях тертя, природному та примусовому охолодженню фрикційних поверхонь, присвячені роботи М.П. Александрова, В.І. Білоброва, О.І. Вольченко, В.І. Самусі, В.М. Федосеева, О.С. Федосова, Г.М. Шахмалієва, Т. Ньюкомба та інших вчених.

Але до цього часу відсутні теоретичні засади по теплонавантаженості для стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками бурових лебідок та не розроблені для них високоефективні системи для примусового охолодження їхніх внутрішніх та зовнішніх пар тертя.

В другому розділі наведено: особливості конструкції та роботи, динамічної навантаженості, теплоутворення, тепловий баланс, термічний опір контакту фрикційних вузлів при нагріванні та система примусового охолодження.

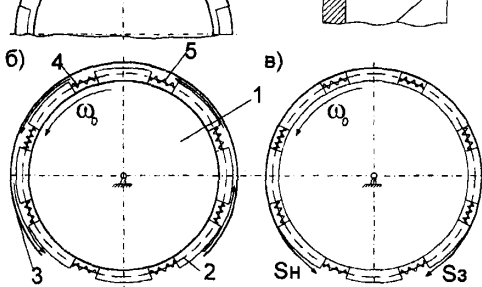


Рис. 1а, б, в. Особливості конструкції різних типів стрічково-колодкових гальм: а – серійного; б, в – нетрадиційного; 1 – гальмівний шків; 2 – фрикційні накладки; 3 – гальмівна стрічка; 4, 5 – циліндричні пружини, стрижні.

Зупинимося на конструкції нетрадиційного гальма, в якій на циліндричних стрижнях встановлені з однаковим кроком підпружинені між собою фрикційні накладки, які з натягом посаджені на робочу поверхню шківів. В даному типі гальма стрічка є вільною і не обтяжена фрикційними накладками, як в серійному гальмі (рис. 1а).

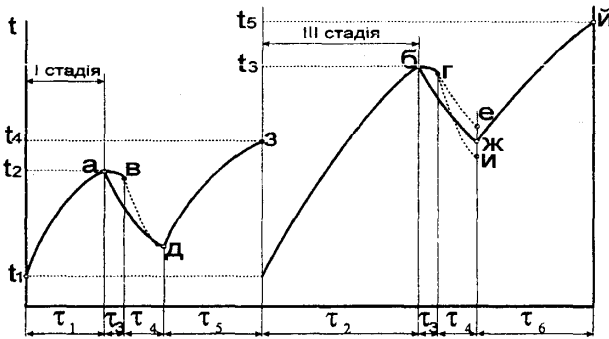
Стрічково-колодкове гальмо з рухомими накладками працює наступним чином: в незамкненому стані шківів 1 (рис. 1б) вільно обертається разом із підпружиненими до нього накладками 2. На початку гальмування до певного часу накладки 2 обертаються разом із шківом 1. При цьому відбувається взаємодія пар тертя “внутрішня поверхня гальмівної стрічки – зовнішні поверхні фрикційних накладок” (перша стадія гальмування).

Із збільшенням сили натягу гальмівної стрічки 3 рух накладок 2 припиняється (рис. 1в) і відбувається взаємодія пар тертя “внутрішні поверхні фрикційних накладок – робоча поверхня гальмівного шків” (третя стадія гальмування). В цьому випадку гальмо працює майже як серійне стрічково-коловкове гальмо. Після розгальмування накладки 2 обертаються разом зі шківом 1.

Встановлено, що взаємодія внутрішньої поверхні гальмівної стрічки із зовнішніми поверхнями фрикційних накладок відбувається в тому випадку, якщо клас чистоти поверхні стрічки на два класи вище за клас чистоти гальмівного шків. Крім того, обов'язковою умовою є те, що коефіцієнт тертя у зовнішніх пар тертя більше, ніж у внутрішніх фрикційних вузлів на величину 0,05. Що стосується питомих навантажень, то вони на внутрішніх парах тертя повинні бути більше за питомі навантаження на зовнішніх на величину посадки фрикційних накладок з попереднім натягом, тобто на 0,1 МПа.

Розглянута робота гальмівного шків на різних режимах його навантаження. Встановлено закономірності розподілу питомих навантажень на поверхнях тертя гальма з урахуванням теплової навантаженості фрикційних вузлів.

На основі режимів навантаження та стадій гальмування гальма розглянуто теплоутворення на зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлах. Діаграма нагрівання та природного охолодження зовнішніх та внутрішніх вузлів гальма



при циклічних навантаженнях наведена на рис. 2. На останньому використанні наступні позначення: τ_1 , τ_5 ; τ_2 , τ_6 – сумарний час роботи гальма, відповідно, на першій та третій стадіях гальмування; t_1 , дз; t_1 , б, жй – криві нагрівання зовнішніх та внутрішніх пар тертя фрикційних вузлів, відповідно, на першій та третій стадіях

Рис. 2. Діаграма нагрівання та природного охолодження зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів гальма з рухомими фрикційними накладками.

гальмування; τ_3 – час природного охолодження (криві а-в та б-г, відповідно, для зовнішнього та внутрішнього фрикційних вузлів) на першій та третій стадіях гальмування; $\tau_3 + \tau_4$ – сумарний час природного охолодження: гальмівної стрічки (крива а-д) та зовнішньої поверхні фрикційних накладок (крива в-д); робочій поверхні гальмівного шків (крива г-и) та внутрішньої поверхні фрикційних накладок (крива г-е); сумісного робочій поверхні шків та внутрішньої поверхні фрикційних накладок (крива б-ж).

З аналізу кривих нагрівання та природного охолодження фрикційних вузлів нетрадиційного та серійного гальм впливає, що різниця у теплоутворенні полягає в наступному: в першому – теплоутворення відбувається в двох фрикційних вузлах (I та III стадії гальмування) і зовнішній розвантажує внутрішній, а в другому – тільки в одному вузлі; на III-ій стадії гальмування: в першому – стрічка виконує поряд з іншими функціями роль теплопередавального пристрою, в той час як в другому в процесах теплопередачі вона участі не бере; в першому – робоча поверхня гальмівного шківів і внутрішні поверхні накладок при замкненому та розімкненому гальмі в кожний момент часу мають однакову температуру, в той час як в другому – тільки під час гальмування.

Рівняння теплового балансу для стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками при рівності часу акумулювання енергії гальмування та часу її розсіювання виражається наступним чином:

$$\Delta Q_{III} + \Delta Q_C + \Delta Q_H = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5 + \Delta Q_6 + \Delta Q_7 \quad (1)$$

де ΔQ_{III} , ΔQ_C , ΔQ_H – кількість теплоти, яка поглинається відповідно гальмівним шківом, стрічкою та фрикційними накладками; ΔQ_1 , ΔQ_2 – кількість теплоти, яка відводиться при розімкненому гальмі відповідно від неперекритої фрикційними накладками робочої поверхні шківів, бокових та зовнішніх поверхонь накладок; від поверхонь гальмівної стрічки; ΔQ_3 , ΔQ_4 – кількість теплоти, яка відводиться після завершення першої стадії гальмування від зовнішньої поверхні гальмівної стрічки; від внутрішньої поверхні обода гальмівного шківів; ΔQ_5 , ΔQ_6 , ΔQ_7 – кількість теплоти, яка відводиться після завершення третьої стадії гальмування від внутрішньої поверхні гальмівного шківів; від робочої поверхні обода гальмівного шківів; від зовнішньої поверхні гальмівної стрічки.

Аналітичним методом на підставі оцінки теплового балансу при певних припущеннях одержані залежності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі від деталей нетрадиційного гальма, які визначаються з наступних рівнянь: при розімкненому гальмі від неперекритої накладками робочої поверхні шківів, бокових та зовнішніх поверхонь накладок:

$$\alpha_1 = \frac{G_{vc} \int_{\tau_3}^{\tau_4} (T_2' - T_1') d\tau}{[(A_{p,ш} - A_{в,н}) + A_{з,н} + A_{б,н}] \int_{\tau_1}^{\tau_2} [\Delta T(\tau')] d\tau} \quad (2)$$

при розімкненому гальмі від поверхонь гальмівної стрічки:

$$\alpha_2 = \frac{\Delta Q_2}{(A_{з,с} + A_{в,с}) \int_{\tau_1}^{\tau_2} [\Delta T(\tau')] d\tau} \quad (3)$$

при замкненому гальмі після завершення третьої стадії гальмування від робочої поверхні гальмівного шківа:

$$\alpha_6 = \frac{\Delta Q_6}{A_{p,ш} \int_{\tau_3}^{\tau_4} [\Delta T(\tau_2')] d\tau_2}; \quad (4)$$

при замкненому гальмі після завершення третьої стадії гальмування від зовнішньої поверхні гальмівної стрічки:

$$\alpha_7 = \frac{\Delta Q_7}{A_{з,с} \int_{\tau_3}^{\tau_4} [\Delta T(\tau_2')] d\tau_2}. \quad (5)$$

В наведених залежностях (2-5) використані наступні позначення: G_V – кількість повітря, яке омиває поверхні фрикційних вузлів гальма; c – теплоємність повітря; T_1, T_2 – температури повітря після завершення гальмування і перед його початком; $A_{p,ш}, A_{в,н}, A_{з,н}, A_{б,н}, A_{з,с}, A_{в,с}$ – площі поверхонь елементів фрикційних вузлів, що омиваються потоками повітря: робочої гальмівного шківа; фрикційних накладок (внутрішньої, зовнішньої і бокової) і гальмівної стрічки (зовнішньої і внутрішньої); $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – час природного охолодження елементів гальма; ΔT – зміна температури за час природного охолодження елементів гальма.

На загальний тепловий баланс фрикційних вузлів нетрадиційного гальма суттєвий вплив має також термічний опір контакту пар тертя нагріванню. Тепловий потік, який проходить крізь довільну дільницю зовнішніх і внутрішніх пар тертя гальма, визначається з виразу:

$$Q_\lambda = \Delta T / R_k, \quad (6)$$

де ΔT – перепад поверхневих температур на дослідженій дільниці взаємодії, К; R_k – термічний опір контакту, К/Вт.

Аналіз впливу теплофізичних, динамічних і геометричних параметрів на термічний опір контакту зовнішніх та внутрішніх пар тертя фрикційних вузлів гальма показав, що суттєво змінюють його значення наступні параметри: висоти нерівностей контактуючих поверхонь, середні значення коефіцієнтів взаємного перекриття фрикційних вузлів та питомі навантаження в зоні їхнього контакту. Наведено аналіз графічних залежностей термічного опору контакту зовнішніх та внутрішніх пар тертя фрикційних вузлів від коефіцієнтів взаємного перекриття та питомих навантажень при їхній взаємодії.

Описані особливості конструкції системи охолодження пар тертя фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками (заявка на винахід Росії за №200117099/20 від 13.07.2000 р.) і роботи (працює

на ефекті теплової труби), розробленої на основі патенту Росії 2124152С1. Особливістю конструкції системи є те, що перпендикулярно поверхням тертя фрикційних вузлів встановлені циліндричні теплові труби заповнені на 2/3 об'єму теплоносієм. Кожна тепла труба має зони випаровування і конденсації. В кожну накладку вмонтовано 12 теплових труб. Завдяки запропонованій системі відбувається додаткове теплове розвантаження пар тертя гальма.

На основі вище викладеного розглянуто в подальшому експериментальні дослідження динамічної та теплової навантаженості пар тертя зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлів гальма.

Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням теплової навантаженості стрічково-колодкового гальма з рухомими накладками бурових лебідок. Метою експериментальних досліджень було одержання банку даних в лабораторних умовах по тепловій навантаженості зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм з рухомими накладками, а також порівняльної оцінки спрацювання їхніх поверхонь при різних видах охолодження. Програма досліджень розглядала наступні задачі: встановлення закономірностей зміни теплонавантаженості стрічково-колодкового гальма на зовнішніх і внутрішніх парах тертя фрикційних вузлів (на першій і третій стадіях гальмування) від часу гальмування і охолодження, частоти обертання гальмівного шківа, кількості гальмувань, зазорів між поверхнями гальмівної стрічки і гальмівних накладок, питомих навантажень, гальмівних моментів; встановлення впливу теплонавантаженості зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів на експлуатаційні параметри гальма; розробку вискоефективних охолоджуючих пристроїв і систем для зниження теплонавантаженості зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів гальма; оцінку спрацювання зовнішніх і внутрішніх поверхонь накладок при природному і примусовому охолодженні.

В якості об'єкту досліджень була прийнята геометрична модель стрічково-колодкового гальма лебідки бурової установки У2-5-5 з масштабом геометричної подібності $\gamma = 2,9$. При цьому вивчалися теплові процеси при природному і примусовому охолодженні фрикційних вузлів нетрадиційного гальма при циклічних режимах навантаження. Наведено опис: стенду та модельного гальма, шків якого було обладнано бандажем з фрикційних накладок (в кількості 4-и, 6-ть і 8-м штук), з'єднаних між собою пружними елементами; методів вимірювання та пристроїв і вимірювального обладнання.

Експериментальні дослідження проводилися при постійних величинах натягів збігаючої гілки стрічки 400 та 800 Н. Кількість циклічних гальмувань склала 150. Тривалості першої та третьої стадій гальмування були, відповідно, 2,0 та 9,0 с, а інтервал часу між повними циклами гальмування склав 12,0 с.

Після статистичної обробки отриманих експериментальних даних при довірливій ймовірності 0,9 та 0,95 були побудовані графічні залежності дина-

мічної та теплової навантаженості для зовнішніх і внутрішніх пар тертя фрикційних вузлів нетрадиційного гальма.

Проведений аналіз одержаних результатів експериментальних досліджень динамічної і теплової навантаженості зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлів нетрадиційного гальма при природному та примусовому їхньому охолодженні показав, що теплова навантаженість пар тертя залежить від їхньої динамічної навантаженості (рис. 3). Так, поверхневі температури для бандажу, який складався з 4-ох накладок, в середньому, на 60-70%, а для бандажу, який складався з 6-ти накладок, в середньому, на 30-40% вище, ніж для бандажу, який складався з 8-ми накладок.

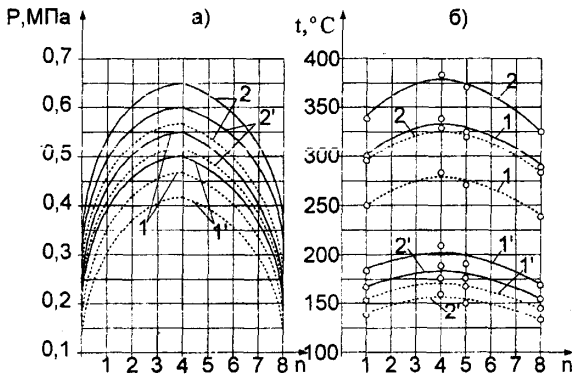


Рис. 3. Закономірності зміни питомих навантажень (а) і поверхневих температур (б) на зовнішніх (1) і внутрішніх (2) поверхнях фрикційних накладок при природному (—) та примусовому (----) охолодженні тепловими трубами після 75-го (криві 1 і 2) та 150-го (криві 1' і 2') гальмувань при натязі гальмівної стрічки $S_z = 800$ Н для бандажу з 8-ми накладок.

внутрішня поверхневі температури стрічки після 150-го гальмування і натязі $S_z = 400$ Н склали, відповідно, 250 і 300 °С, при натязі $S_z = 800$ Н, відповідно, 305 та 360 °С. Це обумовлено тим, що тепловіддача від стрічки значно вище, ніж від гальмівного шківів.

При навантаженості зовнішніх та внутрішніх поверхонь фрикційних вузлів при природному охолодженні максимальні різниці питомих навантажень спостерігались між другою і четвертою накладками бандажу (складався з 4-ох накладок) після 25-ого гальмування, а максимальні різниці поверхневих температур мали місце між другою і четвертою накладками бандажу (складався з 4-ох накладок) після 150-ого гальмування при $S_z = 800$ Н.

Встановлено, що інтенсивність зростання поверхневих температур на зовнішніх фрикційних поверхнях до 60-го гальмування є вищою, ніж на внутрішніх. І це при тому, що нагрівання гальмівного шківів у часі відбувається майже у три рази довше, ніж гальмівної стрічки. Пояснюється це тим, що металоємність шківів в сотні разів перевищує металоємність стрічки. Після 150-го гальмування поверхневі температури на внутрішніх парах тертя перевищують поверхневі температури на зовнішніх, в середньому, в 1,2 рази. Так, зовнішня і

Порівняння навантаженості пар тертя гальма при природному та примусовому охолодження показало наступне. При примусовому охолодженні максимальні і мінімальні різниці питомих навантажень і поверхневих температур спостерігались при умовах, аналогічних природному охолодженню, але розбіжність отриманих значень при цьому виявилась дещо меншою. В цілому, використання примусового охолодження дозволило, в середньому, знизити теплонавантаженість зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлів гальма, відповідно, на 17,1 і 16,7% в порівнянні з їхнім природним охолодженням. Як на зовнішніх, так і на внутрішніх поверхнях фрикційних накладок перепад поверхневих температур та питомих навантажень між накладками зменшився у порівнянні з їхнім природним охолодженням; максимальні різниці поверхневих температур на зовнішніх та внутрішніх поверхнях фрикційних накладок при примусовому охолодженні зменшилися на 10 та 13,6%, максимальні різниці питомих навантажень зменшилися, відповідно, на 8,3 та 8,6%. Одержані величини різниць питомих навантажень і поверхневих температур наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Різниці питомих навантажень і поверхневих температур при природному (в чисельнику) та примусовому (в знаменнику) охолодженні

Різниці							
Питомих навантажень, МПа				Поверхневих температур, °С			
Пари тертя							
Зовнішні		Внутрішні		Зовнішні		Внутрішні	
Максимальні	Мінімальні	Максимальні	Мінімальні	Максимальні	Мінімальні	Максимальні	Мінімальні
0,58/0,53	0,005/0,004	0,60/0,55	0,01/0,005	100 / 90	10 / 5	110 / 95	5 / 5

Досліджені закономірності спрацювання однієї (рис. 4а, б) та восьми (рис. 4в) накладок модельного гальма від їхньої початкової товщини 30 і 15 мм після 150-ти гальмувань. Дослідження виконувалися на припрацьованих накладках на відстані 10 мм від їхнього краю по довжині у трьох точках.

Встановлено, що інтенсивність спрацювання внутрішньої поверхні фрикційної накладки від її початкової товщини 30 мм від 30 до 150 циклів навантаження при природному охолодженні та $S_3 = 800$ Н (дані отримані канд. техн. наук О.Ю. Журавльовим) у порівнянні з примусовим охолодженням тепловими трубами є вищою у 1,22 рази; інтенсивність спрацювання зовнішньої поверхні фрикційної накладки від її початкової товщини 30 мм при природному охолодженні є вищою у 1,24 рази. Порівняння величини спрацювання внутрішньої і зовнішньої поверхонь накладки з початкової товщини 15 мм від 30 до 150 циклів навантаження при охолодженні тепловими трубами показує, що зазначені величини становлять, відповідно, 1,12 і 1,20 рази.

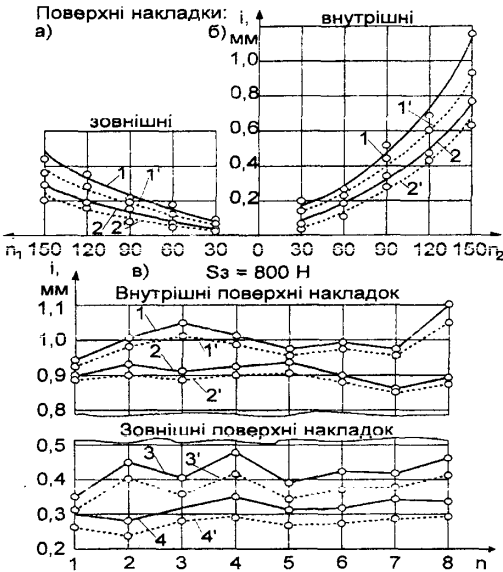


Рис. 4 а, б, в. Закономірності зміни величини спрацювання поверхонь фрикційної накладки (а, б) та накладок (в) при випробуваннях в лабораторних умовах модельного стрічково-коловкового гальма з рухомими фрикційними накладками: при початковій товщині 30 мм (криві 1 і 1' та ламані лінії 1, 1', 3, 3') та 15 мм (криві 2 і 2' та ламані лінії 2, 2', 4, 4') в умовах природного (—) та примусового (---) охолодження при 150-ти циклічних гальмуваннях.

В четвертий розділ, назва якого “Оцінка теплонавантаженості фрикційних вузлів гальма та інтенсифікація їхнього охолодження” ввійшли наступні питання: закономірності зміни теплонавантаженості фрикційних вузлів гальма в залежності від конструктивних та експлуатаційних параметрів, особливості розробленої методики оцінка інтенсивності природного теплообміну та вирівнювання теплонавантаженості фрикційних вузлів гальма, а також задачі подальших досліджень.

Наведені графічні залежності (рис. 5а, б, в, г, д, е) теплонавантаженості зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів гальма з рухомими накладками від основних конструктивних (коефіцієнтів взаємного перекриття пар тертя

Дослідження показали, що спрацювання робочих поверхонь накладок, які довільно потрапляють під набігаючу та збігаючу гілки гальмівної стрічки, як при природному, так і при примусовому охолодженні, у порівнянні з серійним гальмом помітно зменшується. Це відбувається за рахунок того, що накладки в бандажі обертаються відносно гальмівної стрічки та переміщуються відносно неї на гальмівному шківі.

З аналізу отриманих значень випливає, що максимальні різниці лінійного спрацювання накладок при примусовому у порівнянні з природним охолодженням з початкової товщини 30 і 15 мм на внутрішніх поверхнях фрикційних накладок зменшилися, відповідно на 24,2 та 21,4%; на зовнішніх поверхнях максимальні різниці лінійного спрацювання зменшилися, відповідно, на 18,5 та 23,1%.

Наявність банку експериментальних даних по теплонавантаженості зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлів дозволяє перейти до встановлення закономірностей її зміни в залежності від конструктивних та експлуатаційних параметрів.

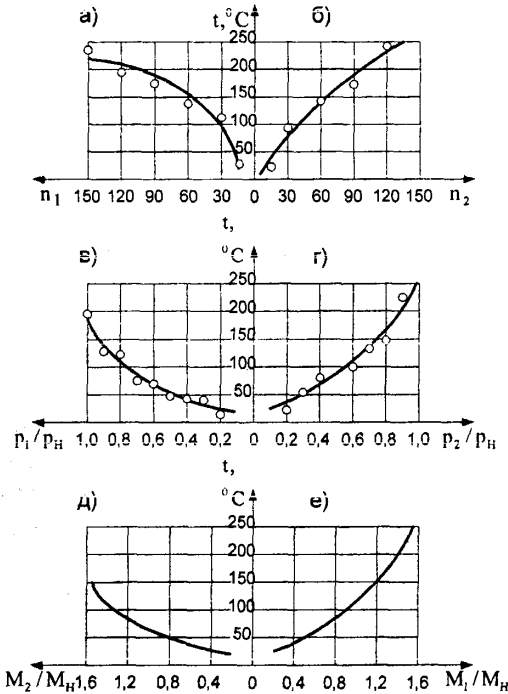


Рис. 5а, б, в, г, д, е. Залежність поверхневої температури (t) у зовнішніх (а, в, д) і внутрішніх (б, г, е) фрикційних вузлах модельного стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками від кількості гальмувань (n), відношення питомих навантажень (p/p_H) та відношення гальмівних моментів (M/M_H).

На підставі розрахункових даних по витраті повітря, яке омиває елементи гальма, були побудовані номограми (рис. 6а, б, в), які виражають зміни секундної витрати, швидкості та часу циркуляції повітря, коефіцієнтів тепловіддачі від деталей гальма з рухомими накладками бурової лебідки У2-5-5 в залежності від стадії гальмування та температури фрикційних вузлів при повздовжній і поперечній циркуляціях повітря. По запропонованій методиці визначені коефіцієнти тепловіддачі від металевих елементів гальма в інтервалі поверхневих температур від 100 до 1000 $^{\circ}\text{C}$.

Аналіз номограм, наведених на рис. 6 показує, що кількість повітря, яке поперечно омиває робочі елементи гальма, в інтервалі поверхневих температур від 100 до 1000 $^{\circ}\text{C}$ у середньому в 909 раз менше, кількості повітря, яке поступає в зазори між внутрішньою поверхньою стрічки, зовнішніми і боковими поверх-

зовнішніх і внутрішніх пар тертя та зазору між робочою поверхнею гальмівної стрічки і зовнішніми поверхнями фрикційних накладок та експлуатаційних (кількості гальмувань, часу гальмувань, питомих навантажень, гальмівних моментів) параметрів.

Для встановлення впливу питомих навантажень, що виникають у зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлах, на величини поверхневих температур (рис. 5в, г) розглядалося два випадки: при сталій величині гальмівного моменту, коли збільшення питомих навантажень досягалося збільшенням відстані між накладками в бандажі. При цьому зменшували їхню кількість, що призвело до зменшення площі взаємодії накладок із шківом та стрічкою; при сталій контактній площі накладок, що зумовило збільшення гальмівного моменту (рис. 5д, е).

Для визначення інтенсивності природного охолодження фрикційних вузлів гальма була запропонована методика його оцінки.

На підставі розрахункових даних по витраті повітря, яке омиває елементи гальма, були побудовані номограми (рис. 6а, б, в), які виражають зміни секундної витрати, швидкості та часу циркуляції повітря, коефіцієнтів тепловіддачі від деталей гальма з рухомими накладками бурової лебідки У2-5-5 в залежності від стадії гальмування та температури фрикційних вузлів при повздовжній і поперечній циркуляціях повітря. По запропонованій методиці визначені коефіцієнти тепловіддачі від металевих елементів гальма в інтервалі поверхневих температур від 100 до 1000 $^{\circ}\text{C}$.

Аналіз номограм, наведених на рис. 6 показує, що кількість повітря, яке поперечно омиває робочі елементи гальма, в інтервалі поверхневих температур від 100 до 1000 $^{\circ}\text{C}$ у середньому в 909 раз менше, кількості повітря, яке поступає в зазори між внутрішньою поверхньою стрічки, зовнішніми і боковими поверх-

нями накладок. Швидкість повітря при поперечній зміні в інтервалі вищевказаних поверхневих температур фрикційних вузлів гальма в процесі гальмування в 5,1 рази вище, ніж при розімкненому гальмі. Зміна повітря при розімкненому гальмі відбувається в 4,96 рази повільніше, ніж в гальмі при гальмуванні.

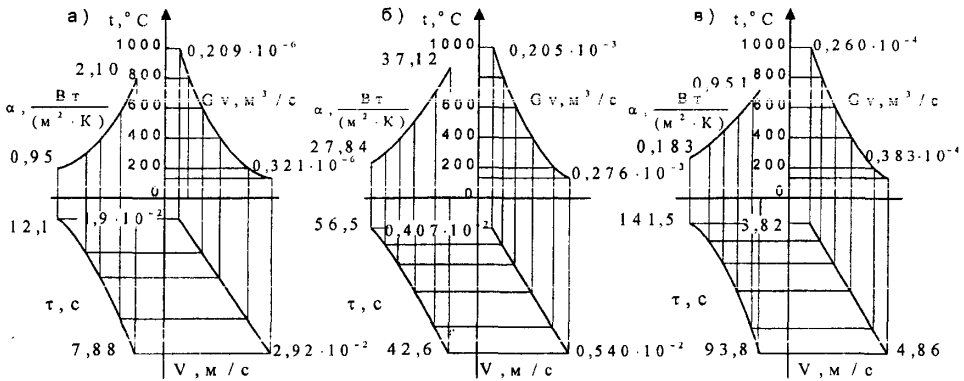


Рис. ба, б, в. Номограма для визначення коефіцієнтів тепловіддачі від деталей стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки У2-5-5 при: а, б – поперечній схемі циркуляції повітря (гальмування і гальмо розімкнене); в – повздовжній схемі циркуляції повітря (гальмування).

Специфічність роботи стрічково-колодкового гальма з рухомими накладками бурових лебідок полягає в тому, що коефіцієнт розподілу теплових потоків для зовнішніх фрикційних вузлів складає 25-30%, а для внутрішніх – 75-70%. В такій конструкції тіло фрикційної накладки виконує функцію ізоляційного прошарку між двома фрикційними вузлами, не перешкоджаючи ефективному теплообміну гальмівної стрічки. В серійному гальмі гальмівний шків сприймає 95% від усєї генерованої теплоти, а решту 5% – накладки. В такому гальмі фрикційні накладки виступають як ізоляційний прошарок і перешкоджають реалізувати гальмівну стрічку як поверхню теплообміну.

Наведена конструкція стрічково-колодкового гальма бурової лебідки із термоелектричною системою охолодження, розроблену в співавторстві. Завдяки даній системі, вмонтованій в тіло шківа у вигляді напівпровідникових циліндричних стрижнів з n- та p-типом провідності (термоелементів) і з'єднаних між собою в термобатарей, досягається вирівнювання тепловантаженості елементів гальма. Останнє забезпечується роботою термобатарей в режимах термоелектрогенераторів і термоелектроохолодильників. Запропонована система охолодження може використовуватись як для серійного, так і нетрадиційного стрічково-колодкового гальма.

Закінчується розділ задачами подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішені вагомі задачі важливого науково-технічного значення, які полягають в обґрунтуванні теплонавантаженості нового типу стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками з урахуванням природного та примусового охолодження для забезпечення ефективності гальмувань при циклічних режимах навантаження його внутрішніх та зовнішніх фрикційних вузлів.

Основні наукові результати, висновки та рекомендації:

1. Теоретично досліджено та експериментально підтверджено протікання процесів нагрівання та природного охолодження пар тертя зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлів гальма, що дозволило:

- вперше встановити закономірності зміни питомих навантажень на зовнішніх і внутрішніх парах тертя фрикційних вузлів гальма, з врахуванням їхньої теплової навантаженості;
- вперше вивчити (за допомогою побудованих графічних залежностей) закономірності зародження та розвитку теплових процесів на зовнішніх та внутрішніх парах фрикційних вузлів нетрадиційного гальма і показати, що біля 20-25% теплоти, від усієї кількості генерованої, сприймають зовнішні фрикційні вузли гальма;
- математично описати тепловий баланс зовнішніх та внутрішніх пар тертя фрикційних вузлів гальма на різних стадіях гальмування;
- встановити, що для підтримування стабільної та ефективної роботи нетрадиційного гальма необхідно, щоб клас чистоти внутрішньої поверхні гальмівної стрічки був на два класи вище, за клас чистоти робочої поверхні гальмівного шківів, що забезпечить необхідну різницю сил тертя на першій стадії процесу гальмування;

2. Розроблена методика оцінки інтенсивності природного охолодження фрикційних вузлів нетрадиційного гальма з урахуванням поздовжніх та поперечних повітряних потоків в зазорах між ними при розімкненому та замкнутому його стані, яка показала, що ефективність охолодження даного типу гальма в 1,2 рази вище, ніж серійного.

3. Встановлено закономірності зміни теплонавантаженості внутрішніх і зовнішніх пар тертя фрикційних вузлів нетрадиційного гальма в залежності від конструктивних (радіусів робочих поверхонь; ширини і товщини гальмівної стрічки, накладок і шківів; коефіцієнтів взаємного перекриття пар тертя; зазорів між їхніми робочими деталями; кроку встановлення та кріплення накладок в бандажі) та експлуатаційних (натягу збігаючої гілки стрічки, часу та кількості гальмувань, питомих навантажень та гальмівних моментів, мікронерівностей фрикційних поверхонь; частоти обертання шківів і часу його природного

оохолодження) параметрів, що дозволили оперувати ними в регламентованих границях, забезпечуючи при цьому раціональну ефективність роботи на першій та третій стадіях гальмування.

4. Розроблені конструкції пристроїв та систем примусового охолодження (працюють на ефекті теплової труби і термоелектричному ефекті) фрикційних вузлів серійних та нетрадиційних стрічково-колодкових гальм бурових лебідок, які дозволяють знизити їхню теплонавантаженість на 15-25%. Крім того, термоелектричне охолодження фрикційних вузлів любого типа гальма завдяки термобатареям, що працюють в режимах термоелектрогенераторів і термоселектроохолодильників (під час гальмувань та між ними) в зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлах, дозволяє майже вирівнювати поверхневі температури їхніх фрикційних елементів.

5. Експериментальним шляхом оцінена довговічність фрикційних накладок нетрадиційного гальма в лабораторних умовах. При цьому встановлено, що сумарне лінійне спрацювання, (завдяки використанню теплових труб), при примусовому охолодженні, в середньому в 1,2 рази менше, ніж при природному.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНИЙ В НАСТУПНИХ ПУБЛІКАЦІЯХ

1. Петрик А.А., Вольченко Н.А., Криштопа С.И. Износо-фрикционные свойства пар трения тяжело нагруженных тормозных устройств // Проблемы трибологии. – Хмельницький, 2000. – №2. – С. 48-52.

2. Вольченко А.И., Петрик А.А., Вольченко Н.А., Криштопа С.И. О принципах разработки тормозных устройств с высокоэффективным принудительным охлаждением // Зб. наук. пр.: Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – Львів: Асоціація “Автобус”. – 2000. – Вип. 3. – С. 16-19.

3. Вольченко О. І., Вольченко М.О., Масляк І. М., Палюх В.М., Криштопа С.І. Про управління поверхневими температурами фрикційних вузлів гальм // Зб. наук. пр.: Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – Львів: Асоціація “Автобус”. – 2000. – Вип. 3. – С. 23-29.

4. Вольченко М. О., Рибін Г.П., Журавльов О.Ю. Криштопа С.І. Визначення експлуатаційних параметрів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок // Вісник Східноукраїнського державного ун-ту. – Луганськ, 2000. – №6(28). – С. 27-32.

5. Петрик А.А., Вольченко Н.А., Пургал П.Ю., Криштопа С.И. Интенсификация принудительного охлаждения тяжело нагруженных фрикционных узлов // Зб. наук. пр.: Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – Львів: Асоціація “Автобус”. – 2001. – Вип. 5. – С. 125-129.

6. Вольченко А.И., Петрик А.А., Вольченко Н.А., Криштопа С.И. Динамическая нагруженность фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза с подвижными фрикционными накладками // Вісник Східноукраїнського державного ун-ту. – Луганськ, 2001. – №6(40). – С. 120-125.

7. Крыжановский Е.И., Вольченко Д.А., Криштопа С.И. Теплообразование при взаимодействии фрикционных узлов нетрадиционного ленточно-колодочного тормоза // Зб. наук. пр.: Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – Львів: Асоціація “Автобус”. – 2002. – Вип. 6. – С. 102-106.

8. Вольченко А.И., Криштопа С.И., Вольченко Н.А., Пургал П.Ю. Тепловой баланс ленточно-колодочного тормоза с вращающимися фрикционными накладками // Зб. наук. пр.: Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – Львів: Асоціація “Автобус”. – 2002. – Вип. 6. – С. 59-62.

9. Вольченко О.И., Криштопа С.И., Вольченко М.О., Сп'як М.А. Тепловантаженість стрічково-колодкового гальма з обертальними фрикційними накладками бурових лебідок // Зб. наук. пр. національної гірничої академії України. – Дніпропетровськ: Навчальна книга, 2002. – №13, т.3. –С. 202-206.

10. Вольченко А.И., Вольченко Н.А., Криштопа С.И. О выравнивании теплонагруженности пар трения ленточно-колодочного тормоза с подвижными фрикционными накладками. – Труды междунар. конф. по надежн. машин и прогнозир. их ресурса. – Ивано-Франковск, 2000. – С. 409-420.

11. Вольченко А.И., Криштопа С.И., Вольченко Н.А. Экспериментальные исследования теплонагруженности ленточно-колодочных тормозов с вращающимися фрикционными накладками буровых лебедок. – Материалы III-ей международной конференции “Модульные технологии и конструкции – 2002”. Научные записки Жешувской политехники. – Жешув, Польша, 2002. – №196, серия 59. – С. 51-54.

12. Пат. 2124152 С1 России, МКИ F16D 65/813. Барабанно-колодочный тормоз/ А.И. Вольченко, Д.А. Вольченко, Г.П. Рыбин, Н.А. Вольченко, В.Н. Баюн, С.И. Криштопа. – №96116432/28. Заявл. 02.08.96; Оpubл. 27.12.98, Бюл. №36. – 6 с.

13. Вольченко О.И., Криштопа С.И., Вольченко М.О., Сп'як М.А. Тепловантаженість стрічково-колодкового гальма з обертальними фрикційними накладками бурових лебідок // Тези доповідей наук.-техн. конф. “Проблеми механіки 2002.” – Дніпропетровськ, 2002. – С. 55-56.

АНОТАЦІЯ

Криштопа С.И. “Тепловантаженість стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками бурових лебідок”. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової і газової промисловості. Івано-Франківський національний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2003.

Робота присвячена дослідженню теплонавантаженості зовнішніх та внутрішніх пар тертя стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки. Виконані дослідження базуються на наступних теоретичних засадах: теплоутворенні у фрикційних вузлах гальма, оцінці їхнього теплового балансу та термічного опору контакту зовнішніх та внутрішніх пар тертя, ефектах природного охолодження фрикційних вузлів.

Проведені стендові експериментальні дослідження модельного нетрадиційного гальма по оцінці теплонавантаженості зовнішніх та внутрішніх пар тертя при природному та примусовому їхньому охолодженні. Встановлені закономірності впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів нетрадиційного гальма на теплонавантаженість його пар тертя. Запропонована методика оцінення інтенсивності природного теплообміну фрикційних вузлів гальма. Розроблено системи для примусового охолодження пар тертя гальма, які працюють на ефектах теплової труби та термоелектричному.

Наведена довговічність поверхонь фрикційних накладок гальма при природному та примусовому охолодженні його зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів.

Ключові слова: гальмо з рухомими фрикційними накладками, бурова лебідка, теплонавантаженість, зовнішні та внутрішні пари тертя, конструктивні та експлуатаційні параметри, вирівнювання теплонавантаженості пар тертя.

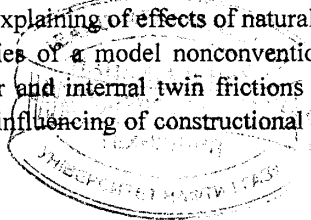
THE SUMMARY

S. I. Kryshtopa. "A Thermal Loading of Band-Block Brakes with Revolving Friction Strips of Chisel Hoists". - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of technical science on a speciality 05.05.12 – machines of oil and gas industry. The Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2003.

The operation is devoted to study of thermal loading of exterior and internal twin frictions of a band-block brake with revolving friction strips of a chisel hoist. The studies are founded on following theoretic bases: thermal formation of friction nodes of a brake, estimation of their heat balance and thermal resistance of contact exterior and internal twin frictions, explaining of effects of natural cooling of friction nodes.

The experimental studies of a model nonconventional brake are held on the fixture according to exterior and internal twin frictions at natural and their forced chilling. The regularities of influencing of constructional and operation arguments of



a nonconventional brake on a thermal loading of its twin frictions are established. The method of application of an estimation of intensity of natural heat change of friction nodes is proposed. The systems for forced chilling of twin frictions of a brake are designed, which one work on effects of a calorific tube and thermoelectric.

The longevity of surfaces of friction strips of a brake is reduced at natural and forced chilling its exterior and internal of friction nodes.

Key words: a brake with revolving friction strips, chisel hoist, thermal loading, exterior and internal twin frictions, constructional and operation arguments, equalization of thermal loading of twin frictions.

АННОТАЦИЯ

Криштопа С.И. “Теплонагруженность ленточно-колодочных тормозов с подвижными фрикционными накладками буровых лебедок”. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2003.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников и приложений.

Первый раздел посвящен анализу динамической и тепловой нагруженности серийных и ленточно-колодочных тормозов с подвижными фрикционными накладками буровых лебедок, а также тепловой нагруженности фрикционных узлов серийного тормоза. Показано, что одним из путей повышения эффективности фрикционных узлов тормозов является снижение их теплонагруженности путем интенсификации естественного и принудительного охлаждения. Уделено внимание долговечности пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок. На основе анализа литературных источников сформулированы задачи исследований.

Во втором разделе раскрыты процессы нагревания и охлаждения фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза с вращающимися фрикционными накладками. Показаны особенности конструкции и работа тормоза при нагрузочных режимах вращающегося шкива с бандажом накладок, установленных с натягом на его рабочей поверхности и стадий торможения при взаимодействии тормозной ленты с наружными поверхностями фрикционных накладок и внутренних поверхностей последних с рабочей поверхностью тормозного шкива. Впервые в работе изучены и исследованы вопросы закономерностей изменения удельных нагрузок на внешних и внутренних фрикционных узлах тормоза, а также протекания теплообразования в указанных выше узлах.

Произведено математическое описание теплового баланса внешних и внутренних фрикционных узлов нетрадиционного тормоза и оценено термическое сопротивление контакта внешних и внутренних пар трения при их нагревании.

Для снижения теплонагруженности фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза рассмотрена система принудительного охлаждения, работающая на эффекте “тепловой трубы”.

В третьем разделе работы уделено внимание экспериментальным исследованиям тепловой нагруженности ленточно-колодочных тормозов с подвижными фрикционными накладками буровых лебедок. В качестве объекта исследований был выбран модельный ленточно-колодочный тормоз с бандажом фрикционных накладок, состоящий из четырех, шести и восьми накладок. Сформулированы задачи экспериментальных исследований работы, приведено описание конструкции модельного тормоза, датчиков и измерительной аппаратуры. При исследованиях фрикционных узлов модельного тормоза при естественном и принудительном охлаждении определялись удельные нагрузки, поверхностные температуры и износ поверхностей накладок его внешних и внутренних пар трения. Произведен анализ полученных экспериментальных данных.

В четвертом разделе рассмотрена оценка теплонагруженности фрикционных узлов тормоза и интенсификация их охлаждения. Проиллюстрированы закономерности изменения теплонагруженности фрикционных узлов тормоза в зависимости от конструктивных (радиусов рабочих поверхностей, толщины фрикционных накладок, шагу установки накладок в бандаже на шкиве, коэффициентов взаимного перекрытия внешних и внутренних фрикционных узлов, строительных объемов между фрикционными элементами тормоза) и эксплуатационных (натяжения сбегавшей ветви тормозной ленты, количества и времени торможений, удельных нагрузок, тормозных моментов, частоты вращения шкива, времени охлаждения) параметров. Предложена методика оценки интенсивности теплообмена при естественном охлаждении фрикционных узлов нетрадиционного тормоза. Уделено внимание вопросу выравнивания теплонагруженности фрикционных узлов тормоза при интенсификации их принудительного охлаждения с помощью термоэлектрического охлаждения, термобатареи которого работают в режимах термоэлектродвигателей и термоэлектрорефрижераторов. Заканчивается раздел задачами дальнейших исследований ленточно-колодочных тормозов с подвижными фрикционными накладками буровых лебедок.

Ключевые слова: тормоз с подвижными фрикционными накладками; буровая лебедка; теплонагруженность; внешние и внутренние фрикционные узлы; конструктивные и эксплуатационные параметры; выравнивание теплонагруженности пар трения.