

УДК 521.597

DOI: 10.18372/0370-2197.3(104).18997

М. В. КИНДРАЧУК¹, Д. О. ВОЛЬЧЕНКО², А. В. ВОЗНИЙ²,
Є. Ю. АНДРЕЙЧИКОВ², О. М. ВУДВУД³, С. А. СКОЧКО⁴

¹Національний авіаційний університет, Україна

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

³Одеський національний політехнічний університет, Україна

⁴Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ПРИМУСОВЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ ГАЛЬМ (частина 2)

Дослідно-конструкторські розробки та теоретичні дослідження дисково (трубчастого типу) – колодкових гальм бурових лебідок при примусовому нанорідинному охолодженні в будь-якому агрегаті стані дозволили: запропонувати працездатну конструкцію дисково-колодкового гальма трубчастого типу, яка є новим напрямком у гальмобудуванні для бурової техніки, оскільки має підвищену енергоємність; розділити функції між основним та додатковим дисками, перший є гальмівним, а другий – теплообмінник; на підставі теплового балансу основного гальмівного диска визначити площу поверхні теплообміну додаткового диска; з'єднати об'єми камер основного та додаткового дисків між собою розташованими на півколах дифузорами і конфузорами, що є свого роду прискорювачами та сповільнювачами теплообмінних процесів; виконати тонкостінний пояс тертя гальмівного диска і таким чином при фрикційній електротермомеханічній взаємодії з накладками забезпечити мінімальні поверхнево-об'ємні температурні градієнти, і як наслідок, невеликі еквівалентні напруження.

Ключові слова: дисково (трубчастого типу) – колодкове гальмо, основний та додатковий диски з камерами, нанорідина, тепловий баланс.

Вступ. Основою спуско-підйомних операцій (СПО) колони бурильних труб є ефективна та безпечна робота лебідки, обладнана парою стрічково-колодкових гальм (основними) та гідродинамічними або електродинамічними гальмами (допоміжними). При гальмуванні парами тертя гальма колони бурильних труб, що переміщається, на глибину свердловини 4,0-5,0 км генерується $4 \cdot 10^8$ Дж енергії, і на їх сполучених поверхнях поверхнево-об'ємні температури поверхневих і приповерхневих шарів вузлів тертя досягають до $1000,0^\circ\text{C}$ що веде до погіршення зносо-фрикційних властивостей та зниження основних експлуатаційних параметрів. Встановлено, що заміна фрикційних накладок з металевими підкладками в шести супортах дисково-колодкових гальм з гідравлічними приводами займає всього 1,0 год., а заміна 44 накладок з нерівномірним зносом їх робочих поверхонь на гальмівних стрічках займає 6,0 год. Не дарма, дисково-колодкові гальма з гідравлічними приводами бурових лебідок - це технології цього століття, що забезпечують енергоємність та ефективність їх пар тертя з локальними регульованими імпульсними питомими навантаженнями та гальмівними моментами.

Аналіз літературних джерел та стан проблеми. У роботі [1] проведено порівняння зарубіжних моделей дисково-колодкових гальм з гідравлічним приводом PS440-9000 і PS40-900 бурових установок ZJ12 і ZJ15 і було встановлено, що для збільшення гальмівного моменту в 11 разів діаметр

гальмівного диска збільшений в 1,7 рази, кількість гальмівних вузлів збільшено з 2 до 7, при різкому гальмуванні з 1 до 3, а тиск у гідравлічній системі збільшується з 7,0 до 8,0 МПа. При цьому не було розглянуто потужність тертя, що виникає при фрикційній взаємодії пар тертя з урахуванням їх нагрівання та примусового повітряно-нанорідинного охолодження.

У роботі [2] доведено, що товщина гальмівного диска неоднаково впливає на виникаючі в процесі електротермомеханічного тертя градієнти поверхнево-об'ємних температур і еквівалентні напруження, а також утворення мікротріщин на поясі тертя серійного диска. Однак не було зазначено, що основним конструктивним параметром гальмівного диска є його товщина, що впливає на вагу, а отже, на цільову функцію при оптимальному проектуванні, а параметрами керування є товщина диска.

На підставі системного підходу показана можливість формування еквівалентних рядів пар тертя модульного дисково-колодкового гальма шахтних підйомних машин різної вантажопідйомності, застосовуючи в них пари тертя гальма, які як динамічна модель пройшли випробування та дослідження на транспортних засобах [3]. При цьому не було розглянуто комплексних коефіцієнтів потужності примусового охолодження та теплопередачі.

Криві формування сумарних витрат часу при різних режимах роботи пар тертя стрічково-колодкових гальм бурової лебідки без включення додаткового гідравлічного гальма було запропоновано без оцінки їхньої енергонавантаженості при бурінні на глибині 2900 м. При такій глибині буріння необхідно включати гідравлічне гальмо [4]. При бурінні дисково (трубчастого типу) - колодковими гальмами немає необхідності застосовувати гідравлічне гальмо, оскільки вони мають достатню енергоємність і ефективність.

Мета роботи – виконати дослідно-конструкторську розробку нового типу дисково-колодкового гальма з урахуванням теплового балансу для бурової лебідки.

Конструкція та робота нанорідинної системи охолодження гальма. При проектуванні металеві складові гальма слід виходити з умови встановленого термостабілізаційного стану товщини диска, що виникає при мінімальному температурному градієнті між його поверхнями. При цьому темпи підвищення (нагрівання) та зниження (охолодження) поверхнево-об'ємної температури пар тертя гальма повинні бути рівні.

Серійна бурова лебідка 1 складається з пари дисково-колодкових гальм 2, що мають гальмівні диски з поясами тертя 3 які перекривають супорти 4 з фрикційними накладками 5 на металевій підкладці і кільцевих тримачів 6, встановлених пружинних пристроїв 7 і гідравлічними приводами 8 (рис. 1 а, б).

Дисково-колодкове гальмо з вимушеним повітряним охолодженням працює при спуско-підйомних операціях колони бурильних труб залежно від її ваги в аперіодичному циклічному та тривалому режимах гальмування. Дисково-колодкові гальма 2 встановлені з обох боків барабана 1 бурової лебідки. Вони мають суцільні металеві диски 3, на поясах тертя яких знаходяться супорта 4, мають клішові тримачі 5 двосторонньої дії з фрикційними накладками 5 на металевих підкладках. Пружинні пристрої 7 включення та вимикання супортів 4 розміщені зверху. При цьому супорти 4 мають індивідуальні гідравлічні приводи 8.

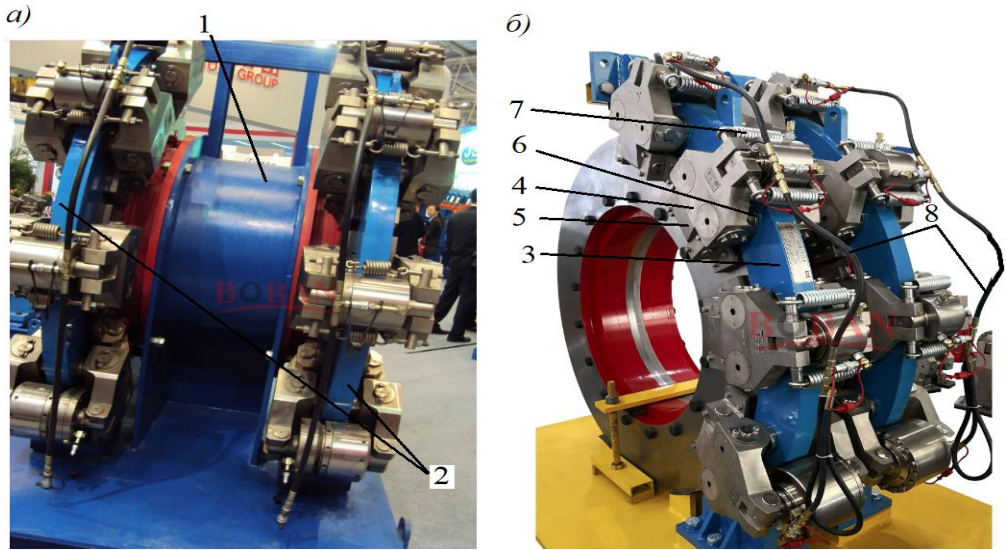


Рис. 1 а, б. Бурова лебідка з серійними дисково-колодковими гальмами охолоджуваних повітрям (а) і дисково-колодкові гальма з гідравлічним приводом (б): 1 - барабан лебідки; 2 – дисково-колодкові гальма; 3 – суцільні диски; 4, 5 і 6 супорти з кліщовими тримачами та накладками з металевою підкладкою; 7 – пружинний пристрій; 8 – гідравлічний привід

При гальмуваннях у парах тертя гальм генерується велика кількість теплоти, яке не в змозі додатково відвести в навколишнє середовище від матових і полірованих поверхонь гальмівних дисків. Для інтенсифікації примусового повітряно-нанорідинного охолодження пар тертя дисково-колодкового гальма бурової лебідки запропоновано дану систему (рис. 2 а, б). Схема розташування гальмівних супортів із кліщовими тримачами представлена на рис. 3.

Відповідно до фрагментів нового типу дисково-колодкових гальм із примусовою повітряно-нанорідинною системою охолодження маємо наступне. Конструкція є трубчастою. Основний гальмівний диск з поясами тертя 1 спираються на міцні суцільні 7 і з не суцільними прорізами 8 кільця. Тут же розташовані зони перекриття фрикційними накладками 2. Основний 1 і додатковий 9 диски мають камери, об'єми яких з'єднані між собою на напівколах дифузорами 4 і конфузорами 3.

При надзвичайно сильному генеруванні теплоти на поверхні тертя дисків у гальмах звичайна рідина в камерах їх об'ємів може майже миттєво перетворитися на пару, що в призведе до вибуху. Приклад: теплоти виділяється стільки, скільки потрібно для випаровування 6 галонів води (27,0 л) за хвилину. В якості теплоносіїв в камерах основного та додаткових дисків у системі охолодження застосовані легкоплавкі метали Na ($t_n = 97,79^\circ\text{C}$) та Li ($t_n = 180,5^\circ\text{C}$) у вигляді порошків змішаних з водою, які називаються нанорідинами. Останні використовують залежно від енергонавантаженості пар тертя дисково-колодкових гальм бурових лебідок. Як для основного так і для додаткового дисків гальм застосований порошок літію (Li) у нанорідині (50% літієвого порошку та 50% води) здатний відводити значні теплові потоки (порядку $15,0 \text{ кВт/см}^2$ при поверхнево-об'ємній температурі пар тертя 800°C).

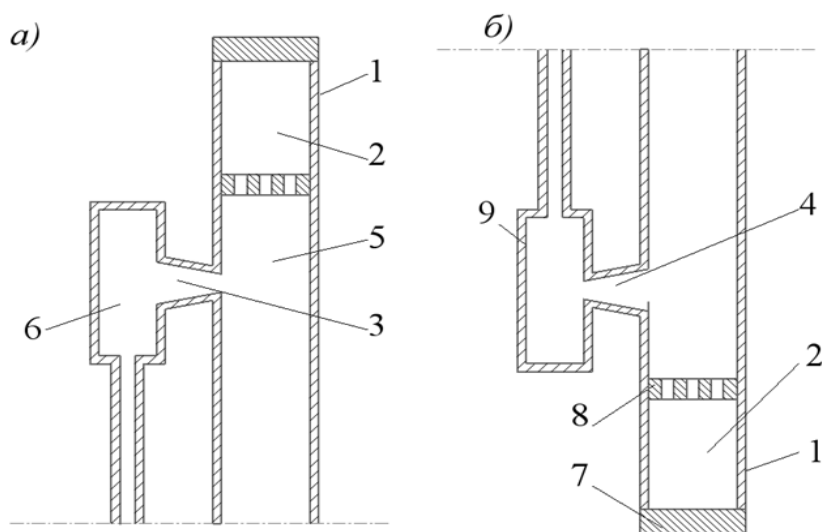


Рис. 2 а, б. Зміщений пояс тертя дисково-колодкового гальма з примусовою повітряно-нанорідинною системою охолодження: 1 – пояс тертя; 2 – зони перекриття фрикційними накладками; 3 – конфузори; 4 – дифузори; 5, 6 - зони: випаровування, конденсації; а і б – верхня та нижня частини трубчастої системи, яка не заповнена нанорідиною

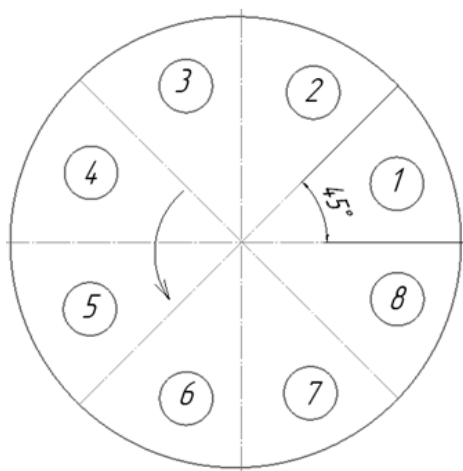


Рис. 3. Схема розташування гальмівних супортів із кліщовими тримачами при бурінні глибокої свердловини буровою установкою моделлю PS440-9000

Заправка системи охолодження проводиться через отвір з пробкою, що закривається (на рис. 2 а, б не показано) на $\frac{3}{4}$ об'єму камер дисків. Крім того, сама нанорідина у системі охолодження через її агрегатний стан не показана.

Рушійною силою в процесах нагрівання і охолодження поясів тертя дисків гальм виступають градієнти температур шарів нанорідини, які мають місце в зонах випаровування 5, конденсації 6 і транспортування (конфузори 3, дифузори 4), що знаходяться в об'ємах камер, що з'єднують основний 1 та додатковий 9 диски. При обертанні останніх відцентрова сила жене нанорідину на внутрішні стінки камер дисків. Сповільнювачем перебування за часом нанорідини в зоні випаровування є суцільні прорізи в нижньому кільці камери основного диска.

Для наочності конструкція гальма разом із системою охолодження представлена як схеми на рис. 4 а, б.

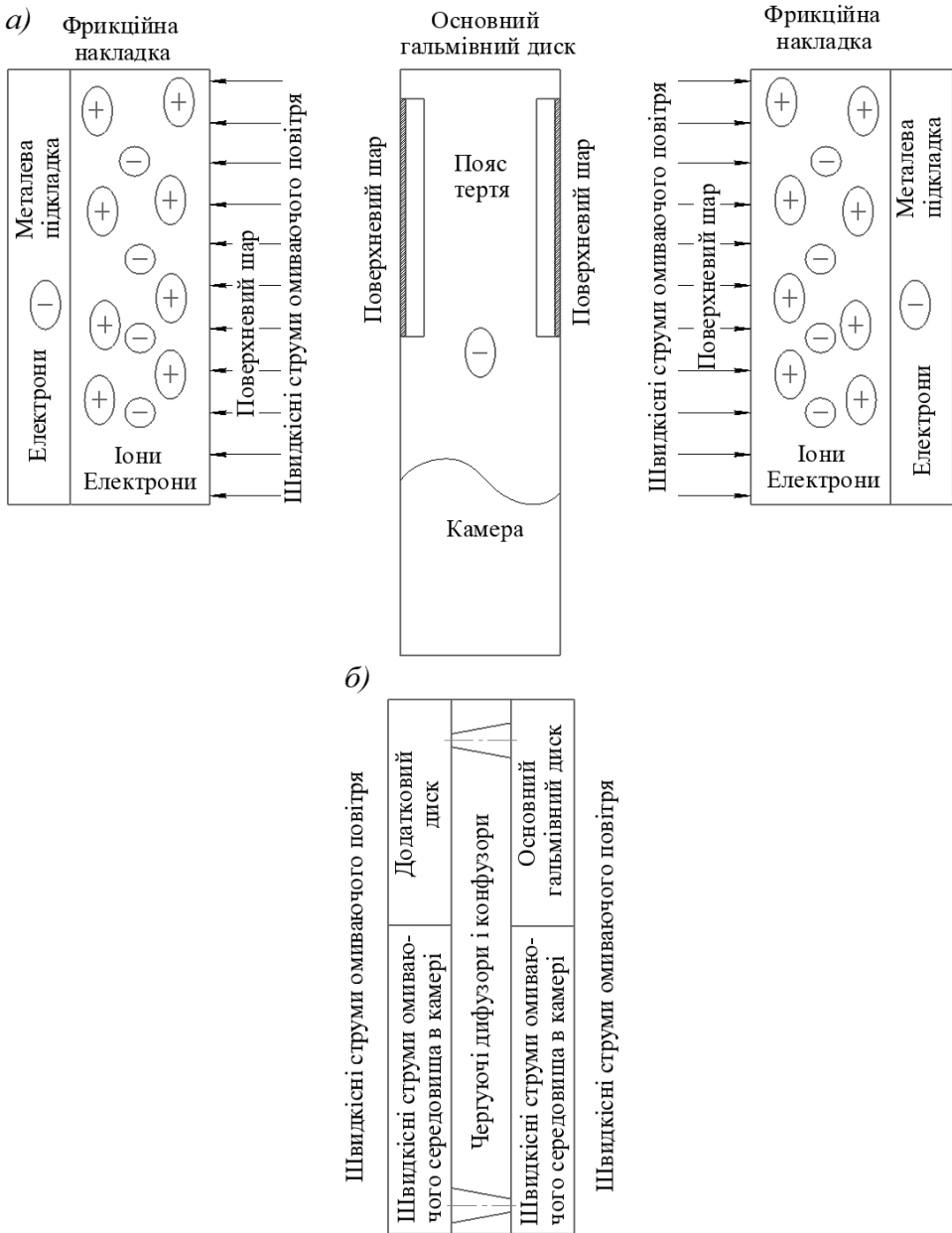


Рис. 4 а, б. Схема складного теплообміну в парах тертя при примусовому повітряно-рідинному охолодженні дисково-колодкового гальма (а - фрикційна взаємодія пар тертя; б - взаємодія при теплообміні теплоносієм між камерами основного та додаткового дисків через дифузори та конфузори) бурової лебідки

Перейдемо до розгляду теплового балансу системи.

Тепловий баланс нанорідинного охолодження пар тертя гальм. Розрахунок систем рідинного охолодження ґрунтується на аналізі теплового балансу пар тертя дисково-колодкових гальм бурових лебідок та проводиться

від ваги колони бурильних труб, глибини їх спуску, аперіодичного тривалого режиму гальмування. При цьому кількість теплоти можна визначити за сумарною потужністю тертя при фрикційній взаємодії пар тертя гальма за час відведений на режими гальмування. Рівняння загального теплового балансу для пар тертя гальма записується у такому вигляді:

$$Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5, \text{ Дж/с} \quad (1)$$

де Q_1 – теплота, що генерується, Дж/с; Q_2 – теплота, що йде на нагрівання теплопровідністю металевго фрикційного елемента та поверхневого та приповерхневого шару полімерних накладок, Дж/с; Q_3 і Q_4 – теплота, відведена від матових і полірованої поверхні металевго фрикційного елемента конвективним і радіаційним теплообміном в омиваюче повітря, Дж/с; Q_5 – теплота, відведена від пар тертя та каркасу металевго корпусу рідинної системи охолодження, в якій теплоносіє знаходиться в будь-якому агрегатному стані, Дж/с.

При тепловому режимі, що встановився, в процесі тривалого гальмування величина $Q_4 = 0$.

Проектний розрахунок системи охолодження, що працює на ефекті «теплової труби», виконується з метою вибору її конструктивних параметрів. Площа охолоджуючої поверхні системи, виконаної у вигляді додаткового диска визначається за допомогою наступної залежності:

$$A_{\partial,\partial} = \frac{Q}{K_T(t_n + Q_2/G_m c_m - Q_3/G_v c_v - Q_4/G'_m c_m - Q_5/G_n c_n)}, \quad (2)$$

де K_T – коефіцієнт теплопередачі від полірованої робочої поверхні металічного фрикційного елемента до нанорідини, що знаходиться в камері теплової труби за час випробувань гальмівного пристрою, Дж/(м²·с·°С); G_m , G_v , G'_m , G_n – вага: металевго фрикційного елемента; повітря, що омиває поверхні; металевго каркасу теплової труби; нанотеплоносія в кг та їх питома теплоємність c_i , Дж/(кг·°С).

Теплопередача через конструктивні елементи металевих елементів тертя, визначається за залежністю вигляду:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3)$$

де: $1/\alpha_1$, $1/\alpha_2$ – термічний опір тепловіддачі; δ/λ – термічний опір теплопровідності; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу диска; δ – товщина металевих фрикційних елементів.

Одночасно зі збільшенням маси за рахунок каркасу металевго корпусу додаткового диска і нанорідини в ньому відбувається зниження енергонавантаженості пар тертя дисково-колодкового гальма.

Таким чином, вибір конструкції фрикційного вузла і системи охолодження проводиться в залежності від вимог до їх габаритів, енергонавантаженості поверхневих і приповерхневих шарів пар тертя, допустимого питомого навантаження на контактах, контактної жорсткості елементів пари тертя,

гальмівного моменту, що розвивається, об'ємної температури для робочих шарів полімерної накладки

Обговорення результатів. Дослідно-конструкторські розробки та теоретичні дослідження дисково (трубчастого типу) – колодкових гальм бурових лебідок при примусовому нанорідинному охолодженні в будь-якому агрегаті стані дозволили:

- запропонувати працездатну конструкцію дисково-колодкового гальма трубчастого типу, яка є новим напрямком у гальмобудуванні для бурової техніки, оскільки має підвищену енергоємність;

- розділити функції між основним та додатковим дисками, перший є гальмівним, а другий – теплообмінник;

- на підставі теплового балансу основного гальмівного диска визначити площу поверхні теплообміну додаткового диска;

- з'єднати об'єми камер основного та додаткового дисків між собою розташованими на півколах дифузорами і конфузорами, що є свого роду прискорювачами та сповільнювачами теплообмінних процесів;

- виконати тонкостінний пояс тертя гальмівного диска і таким чином при фрикційній електротермомеханічній взаємодії з накладками забезпечити мінімальні поверхнево-об'ємні температурні градієнти, і як наслідок, невеликі еквівалентні напруження.

Висновки. Таким чином, здійснено дослідно-конструкторську розробку нового типу дисково-колодкового гальма та дано оцінку теплового балансу для бурової лебідки.

Список літератури

1. Алиев А.М. Повышение энергоемкости фрикционных тормозов для спуско-подъемных операций / А.М. Алиев // Вестник Азербайджанской инженерной академии. т.10, №4. 2018. – С. 17-22.
2. Volchenko, N.; Volchenko, A.; Volchenko, D.; Polyakov, P.; Malyk, V.; Zhuravlev, D.; Vytvytskyi, V.; Krasin., P. Features of the Estimation If the Intensity of Heat Exchange in Self-Ventilated Disk-Shoe Brakes of Vehicles. East. Eur. J. Enterp. Technol. 2019, 1, 47–53.
3. Дисковые и дисково-колодочные тормоза в машиностроении / А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко, Н. А. Вольченко [и др.] // Том 2. Баку: «APOSTROF-A», 2021. – 392 с.
4. Винницкий М. М. Рациональное управление спуско-подъемными операциями / М. М. Винницкий // М.: Недра. – 1978. – 252 с.
5. Справочник по триботехнике: В 3-х т. // Под общей ред. М. Хейты, А. В. Чичинадзе. – Т. 1. – Теоретические основы. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
6. Скрипник В. С. Науково-методологічні засади системотехніки при дослідженні фрикційних гальм бурових лебідок: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.05 / Скрипник Василь Степанович. Одеса. 2019. 278 с.
7. Чуфус В. С. Інтенсифікація охолодження фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок для підвищення їх ефективності: дис. ... канд. техн. наук: 131 - прикладна механіка / Чуфус Василь Михайлович. Івано-Франківськ. 2021. 233с.

8. Kernyskyy, I.; Volchenko, A.; Szlachetka, O.; Horbay O.; Skrypnik, V.; Zhuravlev, D.; Bolonnyi, V.; Yankiv, V.; Humenuyk, R.; Polyansky, P.; Le'sniewska A.; Walasek, D.; Koda, E. Complex Heat Exchange in Friction Steam of Brakes. *Energies* 2022, 15, 7412, 1 – 11.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2024

Кіндрачук Мирослав Васильович – член-кореспондент НАН України, докт. техн. наук, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, +38044 406 77 73, E-mail: nau12@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0529-2466>

Вольченко Дмитро Олександрович – докт. техн. наук, професор кафедри видобування нафти і газу, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, +38 0342 72 71 41, моб. 050-373-82-42, E-mail: vol21@ukr.net., <https://orcid.org/0000-0002-1565-749X>.

Возний Андрій Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, E-mail: andrii.voznyi@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-4938-1294>

Андрейчиков Євген Юрійович – підполковник, старший викладач кафедри військової підготовки Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, <https://orcid.org/0000-0002-4579-3636>.

Вудвуд Олександр Миколайович – канд. техн. наук, завідувач кафедри підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, Україна, 65044, E-mail: o.m.vudvud@op.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4807-3634>

Скочко Сергій Анатолійович – аспірант кафедри будівельних і дорожніх машин Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61001, E-mail: SergeySkochko777@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-7292-1861>.

*M. V. KINDRACHUK, D. O. VOLCHENKO, A. V. VOZNYI, Y. Y. ANDREYCHIKOV,
O. M. VUDVUD, S. A. SKOCHKO*

FORCED COOLING OF BRAKE FRICTION UNITS (part 2)

Experimental design developments and theoretical studies of disk (tubular type) - shoe brakes of drilling winches with forced nano-liquid cooling in any state of the unit allowed: to propose a workable design of a tubular-type disk-shoe brake, which is a new direction in brake engineering for drilling equipment, since it has increased energy capacity; to divide the functions between the main and additional disks, the first is a brake, and the second is a heat exchanger; based on the thermal balance of the main brake disk, determine the heat exchange surface area of the additional disk; to connect the volumes of the chambers of the main and additional disks with each other by diffusers and confusers located on semicircles, which are a kind of accelerators and retarders of heat exchange processes; to make the brake disc friction belt thin-walled and thus ensure minimal surface-volume temperature gradients during frictional electrothermomechanical interaction with the linings, and as a consequence, small equivalent stresses.

Keywords: disc (tubular type) - shoe brake, main and additional discs with chambers, nanofluid, thermal balance.

References

1. Aliev A.M. Povishenie energoemkosti friktsionnikh tormozov dlya spusko-podemnikh operatsii / A.M. Aliev // Vestnik Azerbaidzhanskoj inzhenernoj akademii. t.10, №4. 2018. – S. 17-22.
2. Volchenko, N.; Volchenko, A.; Volchenko, D.; Polyakov, P.; Malyk, V.; Zhuravlev, D.; Vytvytskyi, V.; Krasin., P. Features of the Estimation Jf the Intensity of Heat Exchange in Self-Ventilated Disk-Shoe Brakes of Vehicles. East. Eur. J. Enterp. Technol. 2019, 1, 47–53.
3. Diskovie i diskovo-kolodochnie tormoza v mashinostroenii / A. Kh. Dzhanakhme-dov, D. A. Volchenko, N. A. Volchenko [i dr.] // Tom 2. Baku: «APOSTROF-A», 2021. – 392 c.
4. Vinnitskii M. M. Ratsionalnoe upravlenie spusko-podemnimi operatsiyami / M. M. Vinnitskii // M.: Nedra. – 1978. – 252 s.
5. Spravochnik po tribotekhnike: V 3-kh t. // Pod obshchei red. M. Khebti, A. V. Chichinadze. – T. 1. – Teoreticheskie osnovi. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 400 s.
6. Skrypnyk V. S. Naukovo-metodolohichni zasady systemotekhniky pry doslidzhenni fryktsiinykh halm burovykh lebidok: dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.05.05 / Skrypnyk Vasyl Stepanovych. Odesa. 2019. 278 s.
7. Chufus V. S. Intensyfikatsiia okholodzhennia fryktsiinykh vuzliv strichkovo-kolodkovykh halm burovykh lebidok dlia pidvyshchennia yikh efektyvnosti: dys. ... kand. tekhn. nauk: 131 - prykladna mekhanika / Chufus Vasyl Mykhailovych. Ivano-Frankivsk. 2021. 233s.
8. Kernysky, I.; Volchenko, A.; Szlachetka, O.; Horbay O.; Skrypnyk, V.; Zhuravlev, D.; Bolonnyi, V.; Yankiv, V.; Humenuyk, R.; Polyansky, P.; Le'sniewska A.; Walasek, D.; Koda, E. Complex Heat Exchange in Friction Steam of Brakes. Energies 2022, 15, 7412, 1 – 11.

Kindrachuk Myroslav Vasylovych – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Science. tech. Sciences, Professor of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, Lyubomir Guzar Ave., 1, Kiev, Ukraine, 03058, +38044 406 77 73, E-mail: nau12@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-0529-2466>.

Volchenko Dmytro Oleksandrovykh – Dr. tech. Sciences, Professor of the Department of Oil and Gas Production, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, str. Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019, +38 0342 72 71 41, mob. 050-373-82-42, Email: vol21@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-1565-749X>.

Voznyi Andrii Volodymyrovych – PhD, associate professor of the Department of Information and Telecommunication Technology and Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, str. Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76000, E-mail: andrii.voznyi@gmail.com., <https://orcid.org/0009-0004-4938-1294>

Andreychikov Yevgen Yuriyovych - lieutenant colonel, senior lecturer of the Department of Military Training, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, str. 15 Karpatska Street, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019, <https://orcid.org/0000-0002-4579-3636>.

Vudvud Oleksandr Mikolajovich – PhD, Head of Department of Hoisting and Conveying Machines and Robotics Equipment, Odesa Polytechnic National University, Odesa, Shevchenko av., 1, Ukraine, 65044, E-mail: o.m.vudvud@op.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4807-3634>

Skochko Serhii Anatoliyovych - postgraduate student of the Department of Road and Road Machines, Kharkiv National Automobile and Road University, vul. Yaroslav the Wise, 25, Kharkiv, Ukraine, 61001, E-mail: SergeySkochko777@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-7292-1861>.