

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.1(106).19823

М. В. КИДРАЧУК<sup>1</sup>, В. С. СКРИПНИК<sup>2</sup>, Я. В. ВАСИЛИШИН<sup>3</sup>, А. В. ВОЗНИЙ<sup>3, 4</sup>,  
В. Я. ВАСИЛИШИН<sup>3</sup>, В. В. ХАРЧЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна

<sup>2</sup>Надвірнянський спеціалізований коледж при Київському Національному транспортному університеті, Україна

<sup>3</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу, Україна

<sup>4</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

## ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНОСТІ ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ СТРІЧКОВО-КОЛОДОЧНИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

*У матеріалах статті розглянуто питання примусового повітряно-рідинного охолодження складеного шківів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки. Гальмівний шків складався з двох частин, між якими є зазор і вони з'єднані металевими тепловими містками зі зміщеними отворами. Нижня частина обода шківів має поліровану поверхню, яка взаємодіє з теплоносієм, що знаходиться в камері обода шківів. Описано окремо повітряне та рідинне примусове охолодження робочої поверхні обода шківів стрічково-колодкового гальма. Наведено оцінку ефективності примусового охолодження пар тертя гальма.*

**Ключові слова:** стрічково-колодке гальмо, обід шківів, фрикційний вузол, енергонавантаженисть, примусове повітряно-рідинне охолодження пар тертя гальма.

**Вступ.** Збільшити коефіцієнт тепловіддачі як від металевих, так і неметалевих елементів тертя стрічково-колодкових гальм можна шляхом утворення розвиненої поверхні теплообміну (застосування оребрення або дефлекторів шківів, виконання у вигляді ребер забірників повітря і т. і.), а також розміщенням у деталях гальма турбулізаторів, які можуть бути виконані у вигляді отвору в реборді або системи отворів і каналів у шківі. Розташування сильфонів над гальмівною стрічкою, що взаємодіють з ребордою шківів і з'єднаних з отворами в гальмівній стрічці та у фрикційній накладці, або конфузорів, дифузорів, вихрових трубок у парах «шків - накладка» або «накладка - ділянка стрічки» також інтенсифікує охолодження фрикційного вузла [1]. Перераховані конструктивні рішення спрямовані на зміну термодинамічних параметрів повітря, що циркулює між робочими деталями гальма і, як наслідок, підвищення ефективності природньо-вимушеного охолодження.

Однак природньо-вимушене охолодження пар тертя стрічково-колодкового гальма бурових лебідок не в стані забезпечити в процесі спуску колони бурильних труб у свердловину температурний режим нижче допустимого для матеріалів фрикційної накладки, і тому перейдемо до розгляду повітряно-рідинного охолодження примусовим шляхом.

**Аналіз літературних джерел та стан проблеми.** Відомий самоохолоджувальний гальмівний барабан, згідно з а. с. №690210, який з метою інтенсифікації охолодження він обладнаний випускним та впускним клапанами, встановленими на його зовнішній поверхні з порожниною, а також магістральним трубопроводом, розташованим із зовнішнього боку барабана та з'єднуючим клапани між собою. При цьому клапани закриті кожухами з

вентиляційними отворами на бокових стінках, жорстко закріпленими на барабані.

У самовентильованому гальмівному диску за допомогою циліндричних шипів з'єднані напівдиски. Всі елементи самовентильованого диска виконані порожнистими і заповнені на 2/3 їх об'єму рідиною [2]. Таким чином здійснюється непряме охолодження поясів тертя дисково-колодкового гальма транспортного засобу.

Теплотехнічні задачі набувають все більшого значення при проектуванні надійних та ефективних систем примусового повітряно-рідинного охолодження складених шківів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок. Особливістю вимушеного повітряного охолодження теплових містків, що з'єднують верхню частину з нижньою складеного гальмівного шківів, є збільшення температурного напору між частинами обода шківів, що істотно інтенсифікує рідинний та пароповітряний теплообмін з полірованою неробочою (нижньої частини обода шківів) поверхні. Крім того, важливо знати, що відбувається з рідиною в камері з точки зору її динаміки та теплообмінних процесів при омиванні рідиною, що знаходиться в різному фазовому стані, полірованої поверхні нижньої частини обода шківів.

Зниження енергонавантаженості пар тертя стрічково-колодкового гальма повинно відбуватися як при режимі фрикційної взаємодії трибоспрямижень, так і при вільному обертанні гальмівного шківів. Таким засобом є примусове повітряно-рідинне охолодження трибосистеми з оцінкою її ефективності на основі теплової моделі із залученням градієнтів коефіцієнтів теплопередачі.

**Постановка задачі.** Розглянути: конструкцію та роботу повітряно-рідинної системи; циркуляцію енергії по тепловим місткам, що з'єднують верхню частину з нижньою складеного гальмівного шківів при примусовому охолодженні; теплообмінні процеси при омиванні рідиною поверхні стінок камер складеного шківів в стрічково-колодкових гальмах бурових лебідок.

**Мета роботи** – обґрунтування працездатності повітряно-рідинної системи непрямого примусового охолодження пар тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки.

**Конструкції та робота повітряно-рідинної системи охолодження трибоспрямижень стрічково-колодкового гальма бурової лебідки.** У трибоспрямиженні пар тертя «полімер - метал» внаслідок фрикційних трибологічних впливів відбуваються гальваноманітні та термомагнітні явища. У свою чергу, вони поділяються на поперечні та поздовжні ефекти. Гальваноманітні явища бувають: поперечні – Риги – Ледюка; ізотермічний чи адіабатичний Нериста; поздовжні - ізотермічний або адіабатичний теплопровідності; ізотермічний чи адіабатичний теплопровідності Еттінсгаузена-Нериста. Кожен із ефектів характеризується своїм коефіцієнтом.

Більшість ефектів відноситься до відкритих термодинамічних систем [3], а до закритих термодинамічних систем відносяться ті ефекти, які пов'язані з камерним рідинним охолодженням неробочої поверхні обода шківів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки.

В основу принципу повітряно-рідинного охолодження пар тертя стрічково-колодкового гальма закладені наступні ефекти: вихровий, кондуктивний, променевий та випарувально-конденсатний.

На рис. 1 *а, б* показано стрічково-колодкове гальмо, поздовжній переріз (*а*); на рис. *б* - переріз А-А рис. *а* (без повітрязабірників та системи отворів у середній частині обода шківів та в реборді).

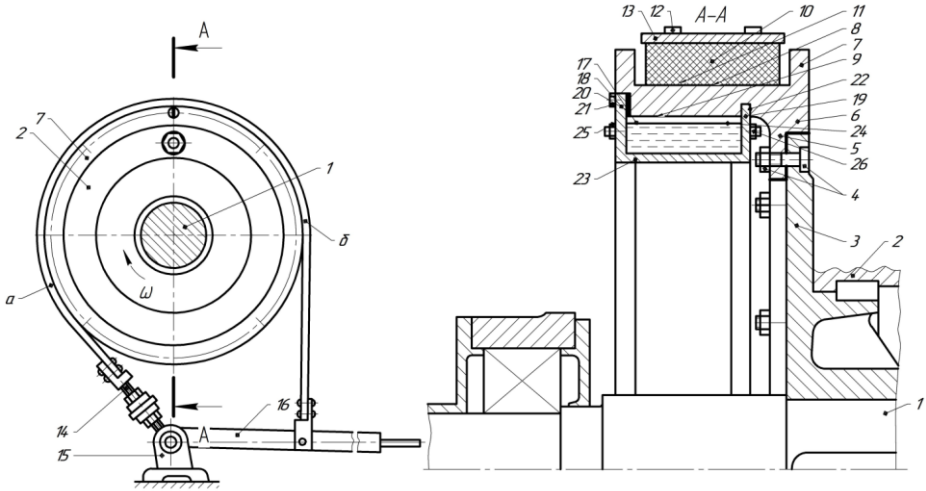


Рис. 1 *а, б*. Стрічково-колодкове гальмо з примусовою системою повітряно-рідинного охолодження: *а* – загальний вигляд; *б* – поперечний переріз А-А

рис. *а*; 1 – підйомний вал; 2, 3 – барабана з фланцем; 4 – болтове з'єднання; 5-9 – теплоізований виступ гальмівного шківів, що має реборди, робочу та неробочу поверхні; 10-12 – робочі поверхні накладок з вусиками; 13 – гальмівна стрічка, що має набігаючу (*а*) і збігаючу (*б*) гілки; 14 – різьбова стяжка; 15 – опора; 16 – важіль керування гальмом; 17-19 – камера та її бічні стінки; 20 – герметизаційна прокладка; 21 – кріпильні болти; 22 – круговий паз; 23 – циліндричне кільце; 24 – рідина; 25, 26 – впускний та випускний клапани

На рис. 2 *а, б* використані такі умовні позначення:  $C_B$  – коефіцієнт випромінювання;  $T_1, T_2$  – температури полірованих поверхонь: робочих та неробочих поверхонь обода шківів;  $T_p, T_c$  – температури: рідини та омиваючого

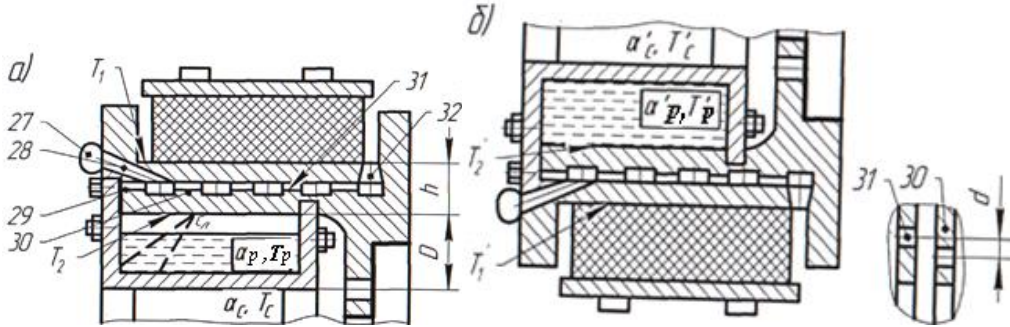


Рис. 2 *а, б*. Фрикційна взаємодія у вузлах тертя в їх верхньому (*а*) та нижньому (*б*) положенні

повітряного середовища;  $\alpha_p, \alpha_c$  – коефіцієнти тепловіддачі від: рідини до стінки камери; стінки камери до навколишнього повітря;  $h$  – товщина обода гальмівного шківів;  $D$  – кільцевий діаметр камери: розглядаються два варіанти: *а* – рідина омиває внутрішню стінку камери; *б* – рідина омиває поліровану неробочу поверхню обода шківів та внутрішню стінку камери. Стрічково-колодкове гальмо з примусовою системою повітряно-рідинного охолодження складається з підйомного валу 1, барабана 2 з фланцем 3, який кріпиться за

допомогою болтового з'єднання 4 теплоізолюваного виступу 5 гальмівного шків 6. Останній має реборди 7, робочу 8 та неробочу 9 поверхні. Робоча поверхня 8 шків 6 в процесі гальмування фрикційно взаємодіє з робочими поверхнями 10 полімерних накладок 11, прикріплених за допомогою вусиків 12 до гальмівної стрічки 13, що має набігаючу (*a*) і збігаючі (*b*) гілки. Набігаюча гілка (*a*) стрічки 13 за допомогою різьбової стяжки 14 кріпиться до опори 15, а її збігаюча гілка (*b*) - до важеля 16 керування гальмом.

Під неробочою поверхнею 9 обода шків 6 розташована камера 17, що займає об'єм від першої радіальної бічної стінки 18, розташованої зі сторони вільного краю обода шків 6 і до другої бокової стінки 19, що знаходиться біля виступу 5 шків 6. Зверху перша радіальна стінка 18 знаходиться у пазі 19 торця реборди 7 і через герметизаційну прокладку 20 за допомогою болтів 21 кріпиться по її периметру до обода шків 6. Друга радіальна бічна стінка 19 заведена з натягом у круговий паз 22.

Знизу стінки 18 і 19 з'єднані між собою циліндричним кільцем 23. Заправка камери 17 проводиться рідиною 24 через впускний клапан 25, а стравлюється в атмосферу пара, що утворилася в камері 17 через випускний клапан 26. Камера 17 заповнена рідиною 24 на 2/3 її об'єму і над нею неробоча поверхня 9 обода шків 6 виконана полірованою. До лівої реборди 7 по її периметру підключені повітрязбірники 27, розташовані з постійним кроком, які з'єднані з отворами 28 в реборді 7. Отвори 28 виконані під кутом у реборді 7 у вигляді сопел Лавалю. Останні пов'язані з першим кільцевим кільцевим об'ємом 29, розташованим в середині товщини обода шків 6. Кількість циліндричних кільцевих об'ємів 29 в обід шків 6 залежить від його ширини. Між циліндричними кільцевими об'ємами 29 знаходяться кільцеві перегородки 30, в яких виконані горизонтальні отвори 31. Останні по периметру перегородок 30 зміщені на величину їх діаметра. Останній циліндричний кільцевий об'єм 29 підключений до отворів 32, виконаних у вигляді конфузоров по периметру робочої поверхні обода шків 6 його защемленого краю. Стрічково-колодкове гальмо з примусовою повітряною системою охолодження працює в такий спосіб. При обертанні гальмівного шків 6 з великою швидкістю в напрямку стрілки при спуску колони буринних труб у свердловину (не показані) до включення механічного стрічково-колодкового гальма повітрязбірники 27 сприяють утворенню наступних повітряних потоків: на вході - сопла Лавалю – перший циліндричний кільцевий об'єм 29 – горизонтальні отвори 31 у кільцевій перегородці 30; на виході – останній циліндричний кільцевий об'єм 29 – перпендикулярні отвори 31 (конфузори) до робочої поверхні 8 обода шків 6. Інтенсифікація повітряного конвективного теплообміну відбувається у решту циліндричних кільцевих об'ємах 29 за рахунок того, що горизонтальні отвори 31 по периметру перегородок 30 зміщені на величину їх діаметра. Таке конструктивне рішення сприяє великій кількості швидкісних повітряних потоків, які, ударяючись по поверхні чергової перегородки 29, завихрюються і тим самим збільшують повітреобмін, і як наслідок, їх охолоджують, а потім вже вони потрапляють в чергові отвори 31 перегородок 30, в яких відбувається прискорення повітряних потоків. Таким чином, здійснюється відведення теплоти від верхньої частини гальмівного шків 6 за рахунок циркуляції в ньому множини повітряних потоків, що омивають кільцеві перегородки 30, що є тепловими містками між верхньою і нижньою частиною гальмового шків 6, що сприяє зниженню в них глибинного

температурного градієнта. Крім того, має місце кондуктивний теплообмін між нижньою частиною обода гальмівного шківів 6 і стінками камери 17.

Зупинимося на ролі теплових містків, які з'єднують верхню частину з нижньою складовою гальмівного шківів.

**Приплив енергії по тепловим місткам, що з'єднують верхню частину з нижньою складеного гальмівного шківів.** Частка теплоти від робочої поверхні обода шківів, що є його верхньою частиною по тепловим місткам 9 (рис 3 б), що зв'язують теплу і холодну (нижню частину обода) зони шківів, зростає в міру підвищення ефективності примусового охолодження рідиною нижньої частини обода складеного шківів. При цьому інтенсивність тепловіддачі помітно зростає за рахунок перетворення рідини спочатку на пароповітряну суміш, а потім у чисту пару.

Збільшення теплопритоків по тепловим місткам може бути здійснено як за рахунок зниження власного термічного опору теплових містків у даній конструкції, так і за рахунок зменшення контактного електротермічного опору плям мікроставуів пари тертя «метал – полімер». При цьому істотну роль грає тип контакту (омічний, нейтральний, блокуючий чи випрямний).

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень щодо створення високоефективних теплових містків систем примусового повітряно- рідинного охолодження складених гальмівних шківів дозволяє сформулювати найбільш загальні рекомендації щодо збільшення притоку теплоти до рідинної камери, якою обладнано шківів.

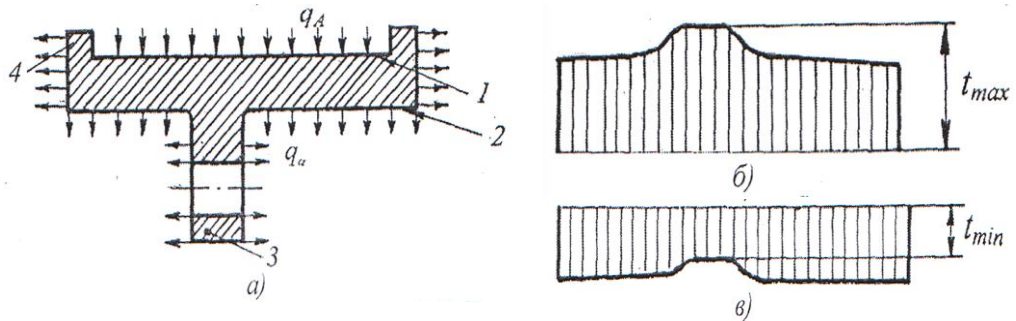


Рис. 3 а, б, в. Теплообмін поверхонь гальмівного шківів з омиваючим повітрям (а) та епюри зміни енергонавантаженості робочої (б) та неробочої (в) поверхонь обода шківів:

1, 2 – поверхні обода: робоча, неробоча; 3 кріпильний виступ; 4 – реборди

Зменшення власного термоопору теплових містків можливе за рахунок зменшення лінійного розміру містків, тобто довжини шляху проходження теплового потоку; зменшення площі поперечного перерізу містків з дотриманням їхньої міцності, а також допустимого напружено-деформованого стану; застосування матеріалів з великим коефіцієнтом теплопровідності.

Зниження контактного електротермічного опору трибоспряження пар тертя гальма можливе за рахунок правильного підбору матеріалів пар тертя, що володіють раціональними енергетичними рівнями їх поверхневих і приповерхневих шарів; вибору твердості структур «метал – полімер», виходячи з їхньої енергонавантаженості; правильна оцінка складових потужності тертя фрикційного вузла з наступним визначенням об'ємної величини об'ємної інтенсивності зношування робочої поверхні накладки.

Більш детальний аналіз конструктивних рішень, що забезпечують створення високоефективних теплових містків у парах тертя гальмівних пристроїв, можна знайти в роботах [4-6].

Особливості оцінки теплового балансу поставного гальмового шківів при примусовому повітряно-рідинному охолодженні його полірованих і матових поверхонь. Підвищення ефективності дії стрічково-колодкових гальм при повітряно-рідинному охолодженні пар тертя нерозривно пов'язане з оцінкою природного і вимушеного повітряного охолодження, а також рідинного охолодження складеного гальмівного шківів ще на стадії проектування фрикційних вузлів гальма. Тому розробка методики розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі від полірованих та матових поверхонь складеного шківів гальма має першорядне значення [3]. Спочатку розглянемо теплообмін серійного шківів стрічково-колодкового гальма згідно з рис. 3, якого обід є верхньою частиною вдосконаленого шківів.

Теплота, що генерується поверхневими шарами обода шківів та фрикційними накладками стрічки розподіляється між накладками та частинами складеного шківів. При розімкненому стані фрикційних вузлів гальма теплота від накладок відводиться через кріпильні вусики до стрічки, а від полірованої робочої поверхні обода шківів - конвекцією і радіаційним теплообміном до омиваючого повітря.

Відповідно до рис. 4 *а, б* теплота за допомогою теплових містків кондуктивним теплообміном відводиться від верхньої частини шківів до його нижньої. При цьому між тепловими містками циркулює охолоджуване повітря, яке забирає частину теплоти з матових поверхонь конвективним теплообміном в навколишнє середовище.

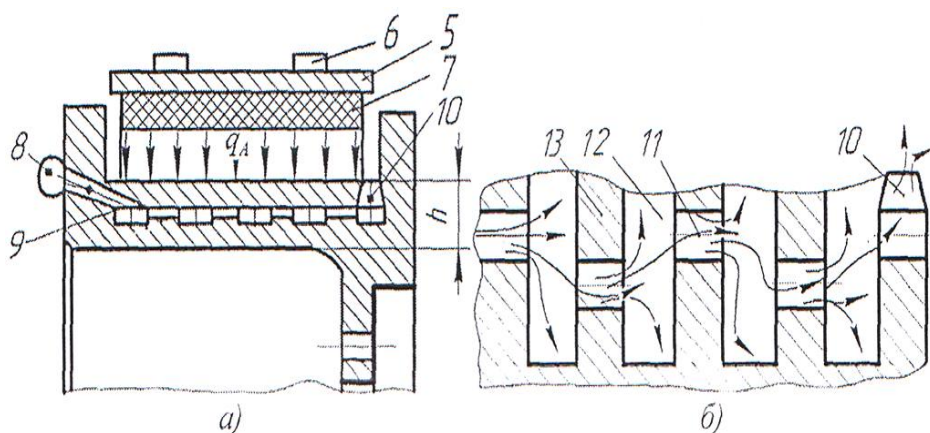


Рис. 4 *а, б*. Фрикційний вузол гальма (*а*) із системою вимушеного охолодження (*б*): 5 – гальмівна стрічка; 6, 7 – повітрязабірники; 9, 10, 11 – отвори: вхідний і вихідний: конічні; циліндричні; 12 – кільцеві камери; 13 – теплові містки

З розгляду нижньої частини шківів (рис. 5 *а, б*) впливає, що вона є потужним теплорозсіювальним елементом завдяки її полірованій поверхні, яка омивається як повітрям камери так і теплоносієм в різному термодинамічному стані, який також омиває внутрішні матові поверхні камери. При цьому зовнішні матові поверхні камери віддають теплоту конвекцією повітря, що омиває їх. Крім того, від нижньої частини обода шківів теплота відводиться кондуктивним теплообміном у тіло каркасу камери. Кондуктивний теплообмін також

відбувається при контактуванні матової поверхні виступу кріплення з матовою поверхнею фланця канатного барабана.

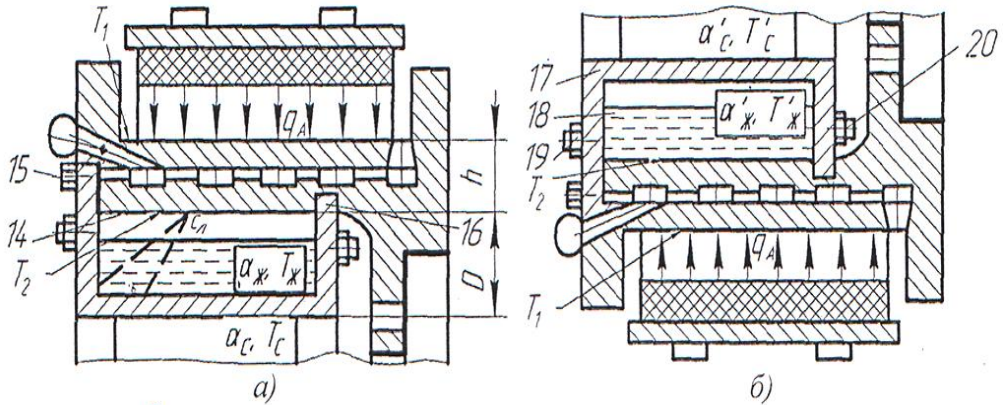


Рис. 5 а, б. Повітряно-рідинна система охолодження пар тертя стрічково-колодкового гальма при положенні зверху (а) та знизу (б) камери з рідиною: 14 - полірована неробоча поверхня обода шківів; 15 - кріпильний болт; 16 - поздовжній паз в ободі шківів; 17 - камери шківів; 18 - рідина; 19, 20 - клапани: впускний; випускний

У табл. 1 наведені типи теплоносіїв, інтервал температур та їх термодинамічні параметри стану, та критерії процесів, що протікають у повітряно-рідинній системі охолодження пар тертя гальм.

Таблиця 1

**Тип теплоносіїв, інтервали температур та їх термодинамічні параметри стану та критерії процесів**

№	Тип теплоносія	Інтервал температур, °С	Термодинамічні параметри і критерії
1	Сухе повітря	-50 - 120	$\rho, c_p, \lambda, \alpha, \mu, \nu, Pr, Re, Fo, Nu;$
2	Вода на лінії	0 - 370	$p, \rho, i, c_p, \lambda, \alpha, \mu, \nu, \beta, \sigma, Pr, Re, Fo, Nu;$
3	Водяна пара на лінії насичення	100 - 370	$p, \rho'', i'', r, c_p, \lambda, \alpha, \mu, \nu, Pr, Re, Fo, Nu;$

У табл. 1 використано такі позначення:  $\rho, \rho''$  – густини;  $c_p$  – теплоємність при постійному тиску;  $\lambda, \alpha$  – коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності;  $\mu, \nu$  – коефіцієнти в'язкості: динамічний та кінематичний;  $Pr = \nu/\alpha$  – критерій Прандтля;  $Re = Vd/\nu$  – критерій Рейнольдса;  $V$  – швидкість;  $d$  – діаметр;  $Fo = \alpha\tau/r_1^2$  – критерій Фур'є;  $\tau$  – час;  $r_1$  – радіус;  $Nu = \alpha d/\lambda$  – критерій Нуссельта;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;  $p$  – тиск;  $i, i''$  – ентальпія;  $\beta$  – коефіцієнт лінійного розширення;  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу;  $r$  – прихована теплота пароутворення.

З вищевикладеного запропонована табл. 2, в якій наведено позначення площ поверхонь, їх значення та назви різних видів теплообміну серійного (чисельник) та модельного (знаменник) складеного гальмівного шківів з рідинною камерою.

Таблиця 2

**Позначення площ поверхонь, їх значення та назви різних видів теплообміну серійного (чисельник) та модельного (знаменник) поставного гальмівного шківів з рідинною камерою**

Позначення	Назва поверхонь охолодження:	Площі, м <sup>2</sup>	Вид теплообміну
	<i>вимушене повітряне</i>		
A1 (див. рис. 1 а)	полірована (робоча) обода шківів	$\frac{1,108}{0,372}$	випромінювально-конвективний
Б	матова (неробоча) обода шківів	$\frac{0,8064}{0,232}$	конвективно-випромінювальний
В	матові кріпильного виступу ободу шківів	$\frac{0,416}{0,228}$	конвективно-випромінювальний
Г	матові реборди ободу шківів	$\frac{0,2996}{0,034}$	конвективно-випромінювальний
Д	матові конічних і циліндричних отворів обода шківів	$\frac{0,0072}{0,0064}$	випромінювально-конвективний
Е	матові кільцевих камер ободу шківів	$\frac{1,7776}{0,5536}$	випромінювально-конвективний
<i>кондуктивне (теплопровідністю)</i>			
Є	матові кріпильного виступу ободу шківів з фланцем барабана	$\frac{0,3352}{0,1022}$	кондуктивно-конвективний
Ж (див. рис. 3 а, б)	матові стінки рідин камери з нижньою частиною ободу шківів	$\frac{0,3720}{0,018}$	кондуктивно-випромінювальний
<i>примусове рідинно-повітряне</i>			
З та И	полірованою неробочою ободу шківів: через шар повітря з рідиною; з омиваючою рідиною	$\frac{0,0984}{0,025} ; \frac{0,7080}{0,1522}$	випромінювально-конвективний конвективний
Й	матові камери з омиваючою рідиною	$\frac{2,047}{0,1772}$	конвективний
К	матові зовнішньої камери з омиваючим повітрям	$\frac{1,4378}{0,1972}$	випромінювально-конвективний

**Теплообмінні процеси при омиванні рідиною поверхні стінок камер складного шківів у стрічково-колодкових гальмах.** Зупинимося на процесах, які супроводжують рідину в камерах шківів гальма при фрикційній взаємодії його пар тертя та при обертанні складених шківів. При гальмуванні в обід тертя кожного зі шківів, гальма акумулюється теплота, яка формується в теплові потоки і нагріває рідину в їх камерах. Багаторазове нагрівання рідини у камерах призводить до її кипіння. Вказаний процес призводить до утворення пари



всередині об'єму рідини камери. Для його іонізації завжди необхідний деяке перегрівання рідини, тобто перевищення температури рідини  $T_p$  над температурою насичення  $T_s$  при заданому тиску  $p$ .

Зазвичай теплота, яка необхідна підтримки кипіння, підводиться до рідини в камерах гальма через їх обід при гальмуванні стрічково-колодкового гальма бурової лебідки. Тому температура шарів рідини, розташованих поблизу внутрішніх поверхонь камер, найбільш висока. Крім того, ймовірність виникнення парової фази на внутрішній поверхні стінки камери в місцях, де мають місце мікрозападини та погіршені умови змочуваності, як правило, більше ніж в об'ємі рідини в результаті кипіння в пристінних шарах води. При цьому тепловіддача не залежить від рівня гравітаційних сил, форми поверхні стінки камери та її розміру, якщо він залишається набагато більше відривного діаметра бульбашки, який при атмосферному та вищому тиску не перевищує 1 - 2 мм. Зі зростанням тиску  $p$  коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  збільшується. Крім тиску, режимних параметрів (які задаються на поверхні обода шківа  $T_c$  або  $q$ ), властивості рідини на процес помітно впливає матеріал і товщина стінки обода шківа, яка нагрівається, а також такі важко контрольовані фактори при змочування внутрішньої поверхні стінки камери і її мікрошорсткість. Ефекти обумовлені властивостями внутрішньої поверхні камер складених шківів, які нагріваються, зазвичай проявляються одночасно, що ще більше ускладнюють їх облік. З цієї причини для дослідницьких по тепловіддачі при бульбашковому кипінні характерне значне розсіювання потоку.

Кипіння рідини, яка стосується внутрішніх поверхонь камер шківів як при вільному обертанні, так і при гальмуванні бурової лебідки, викликане кипінням в об'ємі. Цей процес має кілька характерних, відмінних механізмів передачі теплоти і, як наслідок, інтенсивність режимів, розвиток яких залежить від умов підведення теплоти до внутрішніх стінок шківів гальма.

Два випадки, коли довільно задається температура поверхні одного з ободів шківів  $T_0$ , залежно від густини теплового потоку  $q$  і коефіцієнта тепловіддачі від температурного напору  $\Delta T = T_0 - T_{пк}$  ( $T_{пк}$  - початок кипіння рідини) наведені на рис. 6 а.

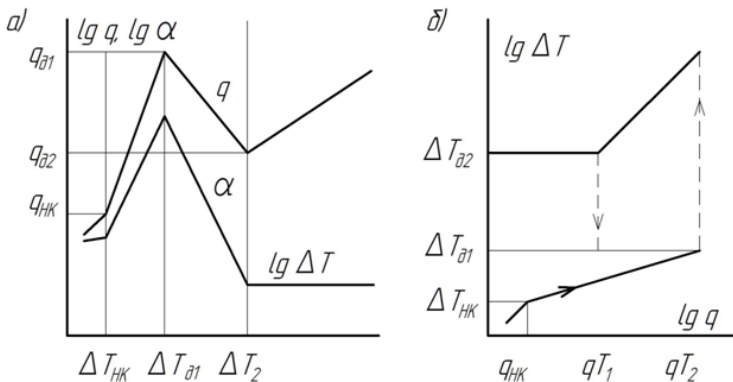


Рис. 6 а, б. Закономірності процесу кипіння рідини в об'ємі камери шківа коли задається на його ободі: а - температура; б - тепловий потік

Власне кипіння рідини починається тільки за умови  $\Delta T > \Delta T_{пк}$ , при менших температурних градієнтах теплота з поверхонь камер відводиться вільною конвекцією в омиваюче їх повітря. При  $\Delta T > \Delta T_{пк}$  в окремих точках внутрішніх

поверхонь стінок камери виникають, ростуть, а потім відриваються парові бульбашки, розвивається бульбашковий режим кипіння.

Збільшення  $\Delta T$  призводить до інтенсифікації тепловіддачі так, що в середньому  $q \sim (\Delta T)^3$ . Зростання  $q$  обмежене значенням  $q_{\partial 1}$  досягається при  $\Delta T_{\partial 1}$ . Розмір  $q_{\partial 1}$  називається першою допустимою густиною теплового потоку.

При останньому відбувається вигорання зв'язуючих компонентів з поверхневих шарів полімерної накладки, тобто починається крекінг процес. Подальше збільшення  $\Delta T$  до кінця гальмування призводить до зменшення  $q$  приблизно до закону  $q \sim (\Delta T)^{-1}$ . Виникає перехідний режим кипіння, характерний утворенням на внутрішніх поверхнях камери областей, які безпосередньо контактують із паром. Тепловіддача все більш покращується і, нарешті, при  $\Delta T = \Delta T_{\partial 1}$ , коли внутрішні поверхні камери покриваються суцільною плівкою, кількість пари стає максимальною. Величина  $q_{\partial 2}$ , що відповідає цьому моменту, називається другою густиною теплового потоку. У плівковому режимі кипіння, який настає при  $\Delta T > \Delta T_{\partial 2}$ , коефіцієнт тепловіддачі залишається постійним або слабо зменшується зі зростанням  $\Delta T$ , при великих  $\Delta T$  можлива деяка інтенсифікація теплообміну через перенесення теплоти через плівку пари випромінюванням. У першому наближенні цього режиму можна вважати  $q \sim \Delta T$ .

У разі, коли до поверхні нагрівання підводиться фіксований тепловий потік при циклічних гальмуваннях бурової лебідки характер залежностей  $\Delta T(q)$  і  $\alpha(q)$  змінюється (рис. 6 б). Якщо поступово збільшувати  $q$  від нульового значення, то спочатку процесу розвивається точно так, коли задається температура стінки камери шківів - при  $q < q_{\text{пк}} (\Delta T < \Delta T_{\text{пк}})$  спостерігається режим вільної конвекції, на зміну якому при  $q < q_{\text{пк}} (\Delta T > \Delta T_{\text{пк}})$  приходить бульбашковий режим кипіння. Однак, як тільки значення  $q$  хоча б трохи перевищить значення  $q_{\partial 1}$ , бульбашковий режим кипіння відразу змінюється плівковим. Цей перехід, умовно, зображений на рис. 6 б штриховою лінією, носить кризовий характер - через різке покращення тепловіддачі і велике значення  $q_{\partial 1}$  температура стінки камери стає стабільною. Якщо після встановлення стаціонарного стану при  $q = q_{\partial 1}$  знижувати тепловий потік, то плівковий режим зберігається до значення  $q_{\partial 2}$ , а потім відбувається зворотний перехід до бульбашкового режиму, який також носить кризовий характер (рис. 6 б). Таким чином, при зміні  $q$  у певному інтервалі густини теплоносія виключається перехідний режим кипіння.

Отже, з вищевикладеного випливає, що рідина, яка використовується в камерах шківів повинна мати приховану теплоту пароутворення, яка відповідає допустимій температурі матеріалів фрикційної накладки.

**Висновок.** Таким чином, запропоновано конструкцію повітряно-рідинного охолодження пар тертя стрічково-колодкового гальма та її роботу з урахуванням теплообмінних процесів.

#### Список літератури

1. Проектний та перевірений розрахунок фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок / А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко, В. С. Скрипник [та ін.]; за загальною редакцією академіка А. Х. Джанахмедова. Стадарт. – Баку: “Апострофф” – 2016. – 312 с.
2. Дискові та дисково-колодкові гальма в машинобудуванні / А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко, В. С. Скрипник [та ін.]; Баку: "Apostrof-A". Том I. 2020 – 376.
3. Беляев І. М. Основи теплопередачі / І. М. Беляев. - К.: Вища школа, 1989. - 342 с.

4. Ликов А. В. Теорія теплопровідності / А. В. Ликов. - М.: Вища школа, 1967. - 598 с.

5. Патент 2585505 С1 РФ F16D 65/813, F16D 49/08. Система охолодження пар тертя стрічково-колодкового гальма / Красін П. С., Вольченко М. О., Скрипник В. С., Журавльов Д. Ю., Малик В. Я.; заявник та патентовласник Кубанськ. держав. технолог. ун-т. - №2015122693/11; заявл. 11.06.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. №15. - 12 с.

6. Патент 2585364 С1 РФ F16D 65/813, F16D 49/08. Пристрій та спосіб зниження температурних градієнтів у стрічково-колодковому гальмі / Красін П. С., Вольченко М. О., Вольченко Д. О., Вольченко О. І., Журавльов Д. Ю.; заявник та патентовласник Кубанськ. держав. технолог. ун-т. - №2015122690/11; заявл. 11.06.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. №15. - 10 с.

Стаття надійшла до редакції 19.02.2025 р.

**Кіндрачук Мирослав Васильович** – докт. техн. наук, член-кореспондент НАН України, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ Україна, nau12@ukr.net, <https://orsid.org/0000-0002-0529-2466>

**Скрипник Василь Степанович** – докт. техн. наук, професор, заступник директора з навчальної роботи Надвірнянського фахового коледжу національного транспортного університету., вулиця Соборна, 177, Надвірна, Івано-Франківська область, 78400 Україна, тел.: +38 067 369 66 50, E-mail: [skripnik-vs07@ukr.net](mailto:skripnik-vs07@ukr.net) <https://orcid.org/0000-0001-9023-6524>.

**Василишин Ярослав Васильович** – канд. техн. наук, професор, професор кафедри архітектури та містобудування Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76000, тел.: +38 0342 72 71 92, моб. 0975881159, E-mail: [yaroslav.vasylyshyn@nung.edu.ua](mailto:yaroslav.vasylyshyn@nung.edu.ua) <https://orcid.org/0000-0003-2344-8812>.

**Возний Андрій Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019; докторант кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільнодорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, E-mail: [andrii.voznyi@gmail.com](mailto:andrii.voznyi@gmail.com)., <https://orcid.org/0009-0004-4938-1294>.

**Василишин Віталій Ярославович** – канд. техн. наук, доцент кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76000, тел.: +38 0342 72 71 41, моб. 095- 312-22-55, E-mail: [vitalijulia@ukr.net](mailto:vitalijulia@ukr.net) <https://orcid.org/0000-0002-0367-1198>.

**Харченко Володимир Володимирович** – завідувач лабораторії кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Державний університет «Київський авіаційний інститут», проспект Любомира Гузара,1, м. Київ, Україна, 03058, +38(044)4067773, E-mail: [nau12@ukr.net](mailto:nau12@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>.

*M. KINDRACHUK, V. SKRYPNYK, Ya. VASYLYSHYN, A. VOZNYI, V. VASYLYSHYN,  
V. KHARCHENKO*

## **REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION OF FRICTION ASSEMBLY OF STRIP-PAD BRAKES OF DRILLING WINCHES**

The materials of the article consider the issue of forced air-liquid cooling of the composite pulley of the belt-pad brake of a drilling winch. The brake pulley consisted of two parts, between which there is a gap and they are connected by metal thermal bridges with offset holes. The lower part of the pulley rim has a polished surface that interacts with the heat carrier located in the pulley rim chamber. Air and liquid forced cooling of the working surface of the belt-pad brake pulley rim is described separately. An assessment of the efficiency of forced cooling of the brake friction pairs is given. The heat transfer coefficient from both metallic and non-metallic friction elements of band-pad brakes can be increased by creating a developed heat exchange surface (using fins or pulley deflectors, making air intakes in the form of ribs, etc.), as well as by placing turbulators in the brake parts, which can be made in the form of a hole in the flange or a system of holes and channels in the pulley. The location of bellows above the brake band, interacting with the pulley flange and connected to the holes in the brake band and in the friction lining, or confusers, diffusers, vortex tubes in pairs "pulley - lining" or "lining - band section" also intensifies the cooling of the friction unit. The listed design solutions are aimed at changing the thermodynamic parameters of the air circulating between the working parts of the brake and, as a result, increasing the efficiency of natural-forced cooling. In a self-ventilated brake disc, half-discs are connected by cylindrical studs. All elements of the self-ventilated disc are hollow and filled with 2/3 of their volume with liquid. In this way, indirect cooling of the friction belts of the disc-pad brake of the vehicle is carried out.

**Keywords:** band-shoe brake, pulley rim, friction unit, energy load, forced air-liquid cooling of brake friction pairs.

### **References**

1. Proyeektnyy ta perevirnyy rozrakhunok fryktsiynykh vuzliv strichkovo-kolodkovykh hal'm burovykh lebidok / A. X. Dzhanakhmedov, D. A. Vol'chenko, V. S. Skrypnyk [ta in.]; za zahal'noyu redaktsiyeyu akademika A. X. Dzhanakhmedova. Stadart. – Baku: "Apostroff" – 2016. – 312 s.
2. Dyskovi ta dyskovo-kolodkovi hal'ma v mashynobuduvanni / A. Kh. Dzhanakhmedov, D. A. Vol'chenko, V. S. Skrypnyk [ta in.]; Baku: "Apostrof-A". Tom I. 2020 – 376.
3. Byelyayev I. M. Osnovy teploperedachi / I. M. Byelyayev. - K.: Vyscha shkola, 1989. - 342 s.
4. Lykov A. V. Teoriya teploprovodnosti / A. V. Lykov. - M.: Vyscha shkola, 1967. - 598 s.
5. Patent 2585505 S1 RF F16D 65/813, F16D 49/08. Systema okholodzhennya par tertya strichkovo-kolodkovoho hal'ma / Krasin P. S., Vol'chenko M. O., Skrypnyk V. S., Zhuravl'ov D. YU., Malyk V. YA.; zayavnyk ta patentovlasnyk Kubans'k. derzhav. tekhnoloh. un-t. - №2015122693/11; zayavl. 11.06.2015; opubl. 27.05.2016, Byul. №15. - 12 s.
6. Patent 2585364 S1 RF F16D 65/813, F16D 49/08. Prystriy ta sposib znyzhennya temperaturynykh hradiyentiv u strichkovo-kolodkovomu hal'mi / Krasin P. S., Vol'chenko M. O., Vol'chenko D. O., Vol'chenko O. I., Zhuravl'ov D. YU.; zayavnyk ta patentovlasnyk Kubans'k. derzhav. tekhnoloh. un-t. - №2015122690/11; zayavl. 11.06.2015; opubl. 27.05.2016, Byul. №15. - 10 s.

**Kindrachuk Myroslav Vasylovych** – Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor of the Department of

---

Applied Mechanics and Materials Engineering, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine, nau12@ukr.net. <https://orsid.org/0000-0002-0529-2466>

**Skrypnyk Vasyl Stepanovych** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Nadvirna Professional College of the National Transport University, 177 Soborna Street, Nadvirna, Ivano-Frankivsk Region, 78400 Ukraine, tel.: +38 067 369 66 50, E-mail: skripnik-vs07@ukr.net <https://orcid.org/0000-0001-9023-6524>.

**Vasylyshyn Yaroslav Vasylovych** – Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Architecture and Urban Planning Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76000, tel.: +38 0342 72 71 92, mob. 0975881159, E-mail: yaroslav.vasylyshyn@nung.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0003-2344-8812>.

**Voznyi Andrii Volodymyrovych** – candidate of technical sciences, associate professor of the department of information and telecommunication technology and systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Karpatska str. 15, Ivano-Frankivsk, 76019; doctoral student of the department of construction and road machinery, Kharkiv National Automobile and Road University, Yaroslav Mudryi str., 25, Kharkiv, 61002, E-mail: andrii.voznyi@gmail.com., <https://orcid.org/0009-0004-4938-1294>.

**Vasilyshyn Vitaliy Yaroslavovych** – Candidate of Technical Sciences in Engineering, Associate Professor of the Department of Technical Mechanics, Engineering and Computer Graphics Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76000, tel.: +38 0342 72 71 41, mob. 095- 312-22-55, E-mail: vitalijulia@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-0367-1198>.

**Volodymyr Volodymyrovych Kharchenko** – Head of the Laboratory of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, State University "Kyiv Aviation Institute", 1 Lubomyr Huzar Avenue, Ivano-Frankivsk, Ukraine Kyiv, Ukraine, 03058, +38(044)4067773, E-mail: nau12@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>.