

Техніка і технології

УДК 622.242.5 (043)

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ДВОСТУПЕНЕВИХ СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

Д.О.Вольченко

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

Рассматриваются конструкции и режимы работы ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок, первой ступенью которых являются пары «внутренняя поверхность тормозной ленты – выпуклые поверхности фрикционных элементов», а второй – «вогнутые поверхности фрикционного элемента – металлический или фрикционный элемент, расположенный на поверхности пневмокамеры».

Constructions and modes of operations of shoe band-shoe brakes of boring winches in which pairs are the first stage “internal surface of brake band-prominent surface of friction elements” are considered, and second – “concave surfaces of friction element-the metallic or friction element located on the surface of pneumatic camera”.

Вступ. Для забезпечення раціонального режиму спуско-підйомних операцій на буровій установці необхідна високоефективна гальмівна система. У гальмівних системах сучасних бурових установок використовують основне – стрічково-колодкове та допоміжне – гідродинамічне гальма.

Рівняння динамічної рівноваги при спуску завантаженого елеватора в буровій установці записується наступним чином

$$M_{cm} - M_{\Gamma} - M_c = I_{n.v.} \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

де: M_{cm} – статичний момент на підйомному валі бурової лебідки від ваги колони бурильних труб; M_{Γ} , M_c – гальмівні моменти, які розвивають гідродинамічне та стрічково-колодкове гальма; $I_{n.v.}$ – момент інерції підйомного вала ле-

бідки та зведених до нього мас; $\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення (сповільнення) підйомного валу лебідки.

Аналіз рівняння (1) свідчить, що при оперативному керуванні спуском колони бурильних труб у свердловину бурильник може впливати на характер протікання процесу тільки за рахунок зміни M_{Γ} та M_c . Форма тахограми процесу значною мірою залежить від зміни сумарного гальмівного моменту ($M_{\Gamma.c.} = M_c + M_{\Gamma}$),

тобто закону зниження швидкості системи від усталеного значення до нуля.

Недоліками гідродинамічного гальма з теоретичної та практичної точки зору є: при визначенні гальмівного моменту необхідно враховувати не тільки його основні конструктивні параметри, але й гідравлічні параметри проточної води з урахуванням процесів енергообміну в ній; для обмеження гальмівного моменту зі збільшенням активного діаметра ротора необхідно регламентувати зменшення частоти його обертання; здійснення ефективного регулювання кількості води в гальмі, не допускаючи її нагрівання більше як 70°C залежно від глибини (ваги бурильної колони) свердловини [1].

Використання гідродинамічного гальма сумісно зі стрічково-колодковим гальмом в процесі спуску бурильної колони у свердловину суттєво збільшує загальний час гальмування. Так, при бурінні на глибині 5357,4 м на Прикарпатті час гальмування фрикційними вузлами стрічково-колодкового гальма бурової лебідки склав 426,0 с. При сумісному використанні стрічково-колодкового та гідродинамічного гальма загальний час гальмування склав 814,5 с. Порівняння часу спуску кожних трьох свічок у свердловину без та з використанням гідродинамічного гальма бачимо, що при використанні гальма час спуску збільшився в 1,91 рази.

Виходячи з наведеного, необхідно запропонувати додаткову конструкцію гальма, яка б підсилювала стрічково-колодкове гальмо бурової лебідки і тим самим давала би змогу включати гідродинамічне гальмо у тих випадках, коли б забракло гальмівних моментів, створюваних двома першими гальмами для спуску колони бурильних труб у свердловину.

Особливості конструкції гальм. Розглянемо дві конструкції двоступеневих стрічково-колодкових гальм бурової лебідки, в яких основним є механічне гальмо, а додатковим – пневмокамерне гальмо.

На рис. 1, а, б зображено загальний вигляд стрічково-колодкового гальма з радіально рухомими фрикційними накладками у шківі (а) та його поперечний переріз по А-А (б) (спрощений конструктивний варіант); на рис. 2 представлено виносний елемент Б (збільшене зображення фрикційних вузлів першого гальма); на рис. 3 проілюстровано загальний вигляд випуклої пластини з відбортовкою для кріплення фрикційного елемента (позитивне рішення про видачу патенту Росії на винахід за № 2004135281/11 від 30.08.2006 р.).

Стрічково-колодкове гальмо містить гальмівний шків 1, який має вікна 2, виконані зі сталем кроком по периметру його циліндричної поверхні 3. Шків 1 має виступ 4, яким він з допомогою болтового з'єднання 5 кріпиться до фланця 6 барабану 7. На фланці 6 є кільцевий циліндричний виступ 8. Маточина 9 барабану 7 з фланцем 6 за допомогою призматичної шпонки 10 закріплена на підйомному валі 11 лебідки.

У вікна 2 шківа 1 встановлені фрикційні елементи (накладки) 12, які мають у поздовжньому перерізі форму рівнобічної трапеції, більша основа 13 якої опукла. При замиканні гальма вона взаємодіє з внутрішньою поверхнею 14 гальмівної стрічки 15, і при цьому радіуси кривини спряжених поверхонь накладки і стрічки є рівними. Менша увігнута основа 16 перерізу фрикційного елемента 12 опирається на зовнішню поверхню опуклої пластини 17, яка має відбортовку 18. Фрикційний елемент 12 кріпиться до відбортовки 18 гайкою 19, що запобігає його випаданню з вікна 2 шківа 1 при дії на нього гравітаційних і відцентрових сил в зоні, яка неохоплена гальмівною стрічкою 15. Внутрішньою увігнутою поверхнею пластина 17 заформована у зовнішню поверхню 20 торової гумової пневмокамери 21, внутрішня поверхня 22 якої розміщена на циліндричному кільцевому виступі 8 фланця 6 барабану 7. Кріплення внутрішньої поверхні 22 торової гумової пневмокамери 21 до циліндричного кільцевого виступу 8 здійснюється за допомогою штуцерів 23 повітряних трубопроводів 24. Трубопроводи 24 під'єднані до повітряного тракту 25, який проходить через систему отворів, виконаних у підйомному валі 11. Другий шків гальма (на рис. 1, б не показаний) під'єднаний до загальної пневмосистеми трубопроводом 26, прокладеним через отвір 27 у маточині 9 барабану 7.

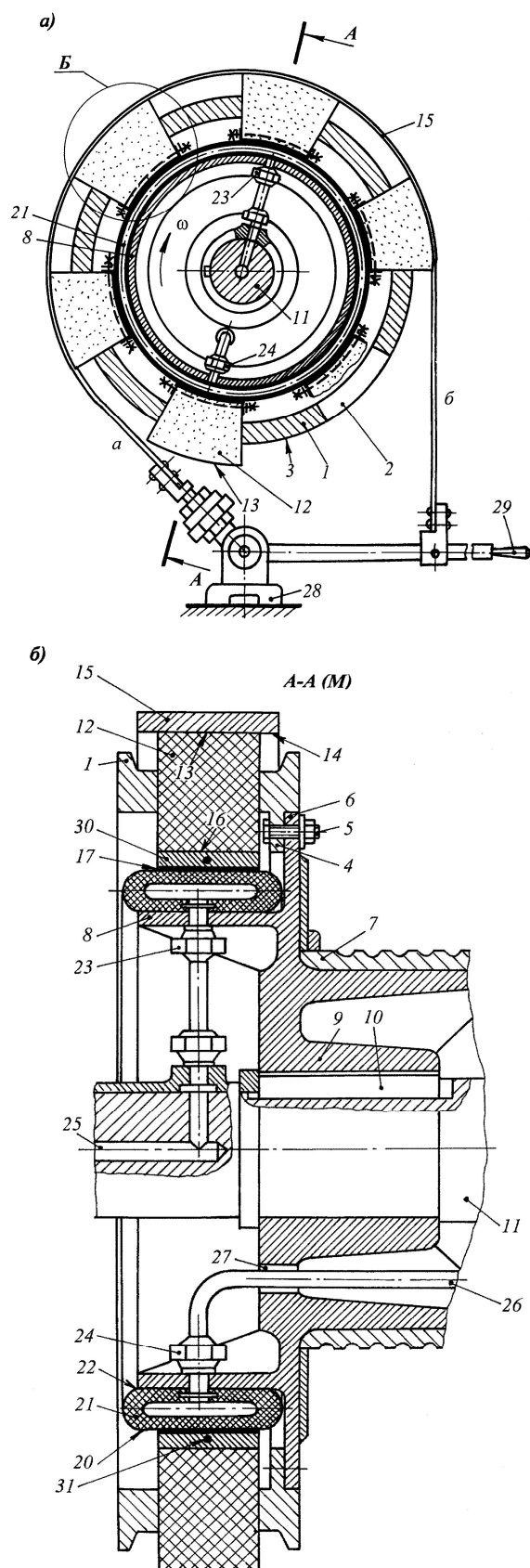


Рисунок 1 – Загальний вигляд стрічково-колодкового гальма з радіально рухомими фрикційними накладками в шківі (а) та його поперечний переріз по А-А (б) (розшифрування позначень див. по тексту)

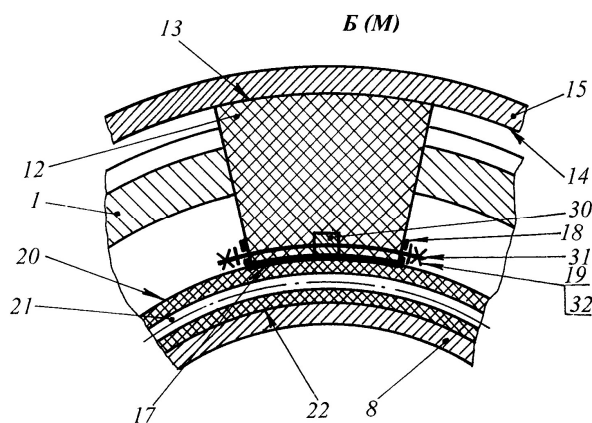
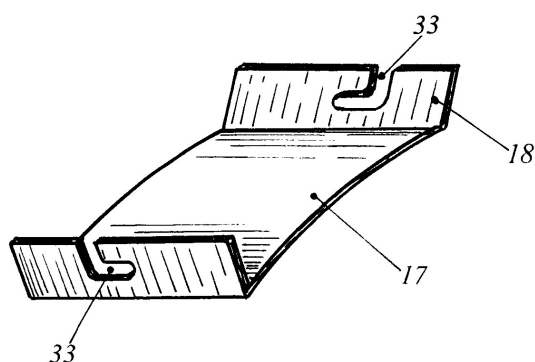


Рисунок 2 – Виносний елемент Б
(збільшене зображення фрикційних вузлів
першого гальма)
(розшифрування позначень див. по тексту)



**Рисунок 3 – Загальний вигляд випуклої
пластини з відбортовкою для кріплення
фрикційного елемента**
(розшифрування позначень див. по тексту)

Гальмівна стрічка 15 має набігаючу гілку (а), яка зв'язана з опорою 28, і збігаючу гілку (б), з'єднану з важелем керування гальмом 29.

Для забезпечення високої надійності кріплення фрикційного елемента 12 до опуклої пластини 17 у його нижню частину посередині заформована поперечна пластина 30, через яку проходить криволінійний поздовжній стрижень 31. На кінцях стрижня 31 нарізана метрична різьба, на яку нагвинчують гайки 19 з пружинними шайбами 32. Відбортовка 18 опуклої пластини 17 має Г-подібні прорізи 33, ширина яких рівна діаметру криволінійного стрижня 31, причому вказані прорізи виконані у протилежних напрямках. При монтажі фрикційних елементів 12 кінці стрижня 31 по чергово заводять спочатку в один проріз 33 відбортовки 18, потім у другий.

Стрічково-колодкове гальмо з радіально рухомими накладками у шківі працює наступним чином.

При натисканні на важіль керування 29 гальмівна стрічка 15 набігаючою (а) і збігаючою (б) гілками взаємодіє з опуклими робочими поверхнями 13 фрикційних накладок 12, які виступають над поверхнею шківів, зумовлюючи цим пригальмовування шківів 1, який має момент інерції менший, ніж у серійного шківів.

Поштовхи і вібрації, які виникають при нерівномірному обертанні шківів 1 зі встановленими в його вікнах 2 фрикційними накладками 12 гасяться торовою гумовою пневмокамерою 21, на яку опираються накладки 12. Величина гальмівного моменту, що розвивається гальмом, визначається не тільки зусиллям замикання гальма (зусиллям на важелі керування 29), але й тиском стисненого повітря у торовій гумовій пневмокамері 21, оскільки саме величина цього тиску впливає на силу притискання накладок 12 до гальмівної стрічки 15 при їхньому радіальному переміщенні у вікнах 2 шківів 1, а також на значення радіуса поверхні тертя. У загальному випадку гальмівний момент, який розвивається стрічково-колодковим гальмом, рівний $M_T = (S_H - S_C)R$, де: S_H , S_C – натяг набігаючої (а) і збігаючої (б) гілок гальмівної стрічки 15; R – радіус поверхні тертя. Таким чином, керувати величиною гальмівного моменту можна змінюючи різницю натягів гілок стрічки, а також радіус поверхні тертя, тобто величину віддаленості зовнішньої поверхні 13 накладки 12 від осі обертання шківів. У свою чергу, ця величина залежить від ступеня наповнення порожнини торової гумової пневмокамери 21, тобто від тиску стисненого повітря в ній.

Друге двоступеневе стрічково-колодкове гальмо відрізняється від першого тільки особливістю конструкції його фрикційних вузлів.

На рис. 4 зображено виносний елемент Б (збільшене зображення фрикційних вузлів другого гальма), а на рис. 5 проілюстрована зовнішня поверхня торової гумової пневмокамери з металевим фрикційним елементом (позитивне рішення про видачу патенту Росії на винахід за № 2005100750/11 від 30.08.2006 р.).

У вікна шківів 1 встановлені фрикційні елементи (накладки) 2, які мають в поздовжньому перерізі форму рівнобічної трапеції, більша основа 3 якої опукла. При замиканні гальма вона взаємодіє з внутрішньою поверхнею 4 гальмівної стрічки 5, при цьому радіуси кривини спряжених поверхонь накладки і стрічки рівні. Пара тертя “опукла більша основа 3 фрикційного елемента 2 (індекс 1) – внутрішня поверхня 4 гальмівної стрічки 5” є зворотною парою тертя (індекс 2). Для даної пари тертя дотримані наступні умови розміщення матеріалів пар тертя: $H_2 > H_1$ (твердість) і $A_{H1} > A_{H2}$ (площі поверхонь дотику). До меншої увігнутої основи 6 перерізу фрикційного елемента 2 прикріплена шпилькою 7, пропущеною через отвори різних діаметрів 8 та 9, які виконані у фрикційному елементі 2 і в товстостінній опуклій металевій пластині 10, виготовленої з легких сплавів. Пластина 10 з лівого боку має бічний виступ 11, який запобігає випаданню фрикційного елемента 2 з вікна шківів 1 при дії на нього гравітаційних і відцентрових сил в зоні, не охопленій гальмівною стрічкою 5. Своєю нижньою увігнутою поверхнею 12 пластина 10 контактує з фрикційним покриттям 3, нанесеним на зовнішню поверхню 14 торової гумової пневмокамери 15. При цьому радіуси спряжених поверхонь пластини і фрикційного покриття на зов-

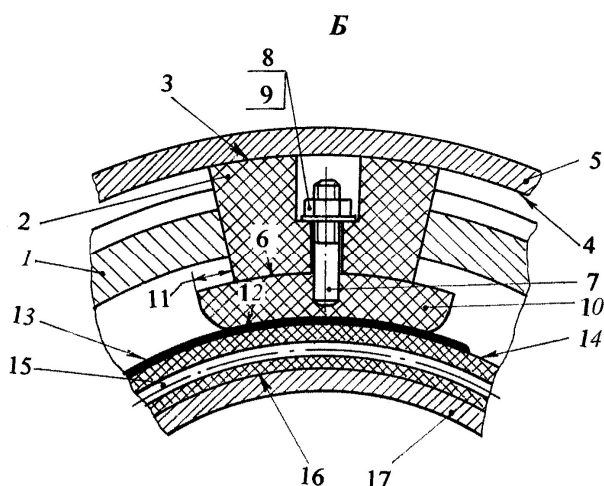


Рисунок 4 – Виносний елемент Б (збільшене зображення фрикційних вузлів другого гальма) (розшифрування позначень див. по тексту)

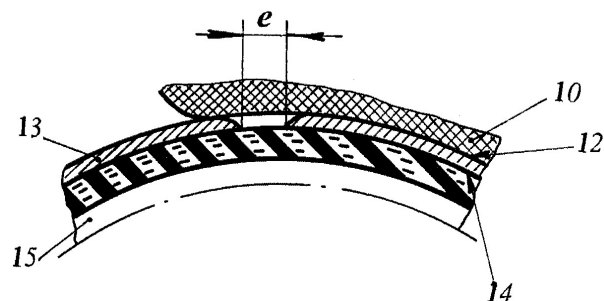


Рисунок 5 – Зовнішня поверхня торової гумової пневмокамери з металевим фрикційним елементом

нішній поверхні торової гумової пневмокамери однакові.

Пара тертя “нижня увігнута поверхня 12 пластини 10 (індекс 3) – фрикційне покриття 13 зовнішньої поверхні 14 торової гумової пневмокамери 15 (індекс 4)” є прямою парою тертя. Для даної пари тертя дотримані такі умови розміщення матеріалів пар тертя: $H_3 > H_4$ (твердість) і $A_{H4} > A_{H3}$ (площі поверхонь дотику).

Режими роботи гальм. *Перше двоступеневе стрічково-колодкове гальмо* з радіально рухомими накладками у шківі працює в таких гальмівних режимах.

Перший режим гальмування. Торові гумові пневмокамери 21 заповнюються стисненим повітрям, внаслідок чого фрикційні елементи 12 переміщуються радіально у вікнах 2 шківа 1 в бік гальмівної стрічки 15, до гілок якої вже прикладене попереднє зусилля $(S_H - S_C)$. При цьому гальмівний момент, який розвивається даним типом гальма,

$$[n \cdot p \cdot A \cdot f - (S_H - S_C)]R = M_T,$$

де: n – кількість фрикційних елементів 12, які знаходяться під гальмівною стрічкою 15; p – тиск стисненого повітря у порожнині пневмокамери 21; A – площа робочої поверхні 13 фрикційного елемента 12; f – коефіцієнт тертя ков-

зання у парі “внутрішня поверхня стрічки – робоча поверхня фрикційного елемента”.

У цьому випадку усі складові, які входять в аналітичну залежність для визначення гальмівного моменту, є змінними. Цілеспрямовано змінюючи величини n ; p ; A ; f , можна досягти суттєвого зменшення зусиль натягу стрічки при такому ж значенні гальмівного моменту.

Другий режим гальмування. Торові гумові пневмокамери 21 заповнюються стисненим повітрям, сприяючи деякому переміщенню фрикційних елементів 12. Далі подавання стисненого повітря припиняється, а робочі поверхні 13 фрикційних елементів 12 займають фіксоване положення відносно внутрішньої поверхні 14 гальмівної стрічки 15. При гальмуванні до гілок останньої прикладають замикаючі зусилля. Гальмівний момент для такого режиму навантаження гальма дорівнює $M_T = (S_H - S_C)R$, при цьому величина різниці $(S_H - S_C)$ буде максимальною.

Після закінчення процесу гальмування незалежно від режиму гальмування розмикання гальма можливе трьома способами: зняттям зусилля на важелі керування 29, відведенням стисненого повітря з порожнини торової гумової пневмокамери 21 через правий осьовий отвір у тілі підйомного валу 11 (на рисунках не вказано) і комбінацією перших двох способів.

Зауважимо, що наявність торової гумової пневмокамери 21, на яку через пластину 17 опираються фрикційні елементи 12, сприяє швидкому і м'якому перерозподілу питомих навантажень, що виникають при замиканні гальма. Внаслідок виникнення на робочих поверхнях 13 фрикційних елементів 12 (які знаходяться під набігаючою гілкою а стрічки 15) максимальних для даного режиму гальмування питомих навантажень, накладки 12 у вікнах 2 шківа 1 переміщуються до вісі підйомного валу 11. При цьому порожнина торової гумової пневмокамери 21 під зазначеними накладками 12 прогинається, сприяючи розширенню її ділянок під іншими, менш навантаженими накладками, що сприяє їх сильнішому притисканню до внутрішньої поверхні 14 гальмівної стрічки 15.

Друге двоступеневе стрічково-колодкове гальмо працює у таких гальмівних режимах.

Перший режим гальмування. При натисканні на важіль керування гальмівна стрічка 5 набігаючою (а) і збігаючою (б) гілками взаємодіє з виступаючими над поверхнею шківа 1 випуклими робочими поверхнями 3 фрикційних елементів 2, зумовлюючи цим пригальмовування шківа 1, який має момент інерції менший, ніж серійний шків. Поштовхи і вібрації, які виникають при нерівномірному обертанні шківа 1 зі встановленими в його вікнах фрикційними елементами 2, гасяться наявною торовою гумовою пневмокамерою 15, на яку опирається і взаємодіє з її фрикційним покриттям 13 внутрішня увігнута поверхня 12 пластини 20. Величина гальмівного моменту, який розвивається гальмом, визначається не тільки зусиллям його замикання (зусиллям на важелі керування), але і мінімальним тиском стиснутого повітря в

торовій гумовій пневмокамері 15, оскільки саме величина тиску повітря в ній впливає на силу притискання прямих і зворотніх пар тертя при їхньому радіальному переміщенні у вікнах шківа 1, а також на величину радіуса поверхонь тертя прямих і зворотніх фрикційних вузлів. В загальному випадку гальмівний момент, який розвивається зовнішніми парами тертя стрічково-колодкового гальма, рівний $M_{T1} = (S_H - S_3)R_1$, де R_1 – радіус зовнішньої поверхні тертя. Гальмівний момент, що розвивається внутрішніми парами тертя стрічково-колодкового гальма, дорівнює $M_{T2} = n \cdot p \cdot A \cdot f \cdot R_2$, де: n – кількість внутрішніх пар тертя гальма; p – тиск повітря в порожнині пневмокамери 15; A – площа внутрішніх пар тертя; f – коефіцієнт тертя ковзання у внутрішніх парах тертя гальма; R_2 – радіус внутрішньої поверхні тертя. Сумарний гальмівний момент рівний $M_C = M_{T1} + M_{T2}$. Усі складові, які входять в останню аналітичну залежність для визначення сумарного гальмівного моменту є змінними. Цілеспрямовано змінюючи величини S_H ; S_3 ; n ; p ; A ; f ; R_1 і R_2 , можна досягнути суттєвого зменшення зусиль натягів стрічки при однаковому значенні гальмівного моменту. Таким чином, в першому гальмівному режимі зовнішні і внутрішні пари тертя гальма затиснуті максимальним затягуванням гальмівної стрічки 5 і мінімальним тиском повітря в торовій гумовій пневмокамері 15.

У цьому випадку сумарний гальмівний момент, що розвивається даним видом гальма, буде дещо більшим, ніж максимальний гальмівний момент серійного гальма.

Другий режим гальмування. Зворотні і прямі пари тертя гальма затиснуті мінімальним затягуванням гальмівної стрічки 5 і максимальним тиском повітря в торовій гумовій пневмокамері 15. В цьому випадку, відбудеться зміна p ; A ; f ; R_1 і R_2 . При цьому сумарний гальмівний момент, який розвивається гальмом буде мінімальним.

Третій режим гальмування. Зворотні і прямі пари тертя гальма затиснуті максимальним затягуванням гальмівної стрічки 5 і максимальним тиском повітря в торовій гумовій пневмокамері 15. В цьому випадку, відбудеться зміна S_H ; S_3 ; p ; A ; f . При цьому сумарний гальмівний момент, який розвивається гальмом, буде максимальним.

Інтенсивність зношування робочої поверхні фрикційного елемента 2 і фрикційного покриття 3 зовнішньої поверхні 14 торової пневмокамери 15 буде різною: більшою у зовнішнього фрикційного елемента 11 і меншою – у фрикційного покриття 13. Після зношування робочої поверхні фрикційного елемента 2 до допустимої величини, тобто до поверхонь реборд гальмівного шківа 1, прикріплюють до фрикційного елемента 2 нову частину фрикційної накладки. Зношене фрикційне покриття 13 зовнішньої поверхні 14 торової гумової пневмокамери 15 наносять на вказану поверхню після її зняття з циліндричного кільцевого виступу.

У даному виді гальма другу зворотню пару тертя можна отримати так: від'єднати від фрикційного елемента 2 опуклу металеву пластину 10, а замість фрикційного покриття 13 на зовнішній поверхні 14 торової гумової пневмокамери 15 розмістити заформовані в її тіло металеві фрикційні елементи.

Запропоноване технічне рішення дозволяє суттєво покращити не лише динаміку процесу гальмування, але й зносо-фрикційні характеристики шляхом застосування зворотніх пар тертя в гальмі, а також регулюванням і керуванням гальмівним моментом.

Висновки:

– використання двоступеневого гальма у буровій лебідці дозволить підсилити основне стрічково-колодкове гальмо, в якому фрикційні елементи є рухомими, бо змонтовані у вікнах гальмівного шківа;

– використання даної конструкції гальмівного шківа дасть можливість зменшити його момент інерції;

– гальмівний шків даної конструкції виключається з триботехнічної системи, що дає змогу не враховувати його напружено-деформований та тепловий стан;

– наявність на другій ступені гальма пневмокамерної системи дозволяє гасити ударні та вібраційні навантаження першої ступені гальма;

– використання прямих та зворотніх пар тертя в двоступеновому гальмі дозволяє покращити їхні зносо-фрикційні властивості.

Література

1 Эфендиев Т.Х. Лопастные гидродинамические тормоза буровых лебедок. – М.: Недра, 1980. – 117 с.

2 Крижанівський Є.І., Вольченко М.О., Вольченко Д.О. та ін. Стрічково-колодкові гальма: Монографія (наукове видання). В 2-х т. Том 1. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 230 с.

3 Крижанівський Є.І., Вольченко О.І., Вольченко М.О. та ін. Стрічково-колодкові гальма: Монографія (наукове видання). В 2-х т. Том 2. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – 215 с.