

ТЕПЛОАВАНТАЖЕНІСТЬ ОБОДА ГАЛЬМІВНОГО ШКІВА БУРОВОЇ ЛЕБІДКИ ПРИ РОБОТІ ІНДУКТОРНОГО ГАЛЬМА (Частина перша)

О.І. Вольченко, Д.О. Вольченко, Д.Ю. Журавльов, М.В. Кашуба

*ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,
e-mail: public@nung.edu.ua*

Розглянуто особливості конструкції та робота індукторного гальма як допоміжного у системі стрічково-колодкового гальма. Наведено розрахунковий гальмівний момент індукторного гальма та встановлені закономірності його зміни. Проілюстровано порівняльний аналіз діаграми опускання бурильної колони з підключенням гідро- та індукторного гальма наприкінці періоду розгону. Встановлено закономірності розповсюдження теплових хвиль з поверхонь обода шківів в його товщину та порівняно варіанти їхньої взаємодії при роботі комбінованого гальма.

Ключові слова: стрічково-колодкове гальмо; індукторне гальмо; поверхні обода шківів; тепла хвиля; значна та середня товщина обода шківів.

Рассмотрены особенности конструкции и работа индукторного тормоза как вспомогательного в системе ленточно-колодочного тормоза. Приведен расчетный тормозной момент индукторного тормоза и установлены закономерности его изменения. Проиллюстрирован сравнительный анализ диаграммы спуска бурильной колонны с подключением гидро- и индукторного тормоза в конце периода разгона. Установлены закономерности распространения тепловых волн с поверхностей обода шкива в его толщину и произведено сравнение вариантов их взаимодействия при работе комбинированного тормоза.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз; индукторный тормоз; поверхности обода шкива; тепловая волна; большая и средняя толщина обода шкива.

The construction features and the induction brake performance as an auxiliary one in the band-shoe brake system are examined. The braking torque of the induction brake is calculated and the patterns of its change are defined. The comparative analysis of the drill pipe descent chart with the hydro and induction brake connection at the end of the acceleration period is illustrated. The regulations of the heat waves propagation from the pulley rim surface into its thickness are defined and the alternatives of their interaction during the combined brake running are compared.

Keywords: band-shoe brake, induction brake, pulley rim surfaces, heat wave, considerable and average thickness of the pulley rim.

Вступ. Одним із шляхів підвищення ефективності та розвантаження стрічково-колодкових гальм бурових лебідок при незмінних конструктивних параметрах їхніх фрикційних вузлів є перехід до використання допоміжного індукторного гальма. Останнє завжди працює при сумісному режимі зі стрічково-колодковим гальмом при опусканні колони бурильних труб на глибину 1700м і більше. Використання гідродинамічного гальма сприяє збільшенню часу технологічної операції на 20% [1]. Тому для інтенсифікації спуско-підймальних операцій стосовно колони труб бурової установки необхідно використати одне комбіноване гальмо, тобто індукторне і стрічково-колодкове гальмо. При цьому індукторне гальмо повинно працювати в двох режимах: самостійно та сумісно.

Стан проблеми. При роботі стрічково-колодкового гальма при опусканні колони бурильних труб в свердловину на поверхнях партертя генерується значна кількість теплоти, яка призводить до температури на поверхнях їхньої взаємодії вищих, ніж допустима для матеріалів фрикційної накладки. З останньої вигорають сполучні компоненти, що призводить до дестабілізації експлуатаційних параметрів гальма, і, як наслідок, до зниження ефективності гальмування. Тому і виникає проблема розвантаження

стрічково-колодкового гальма за рахунок використання індукторного гальма.

В роботах [2, 3] було наведено розрахунок експлуатаційних параметрів та досліджено ефективність індукторного гальма в лабораторних умовах. Однак, не була дана оцінка теплонавантаженості обода гальмівного шківів від дії електричного та магнітного полів, які наводяться в тілі обода індукторним гальмом.

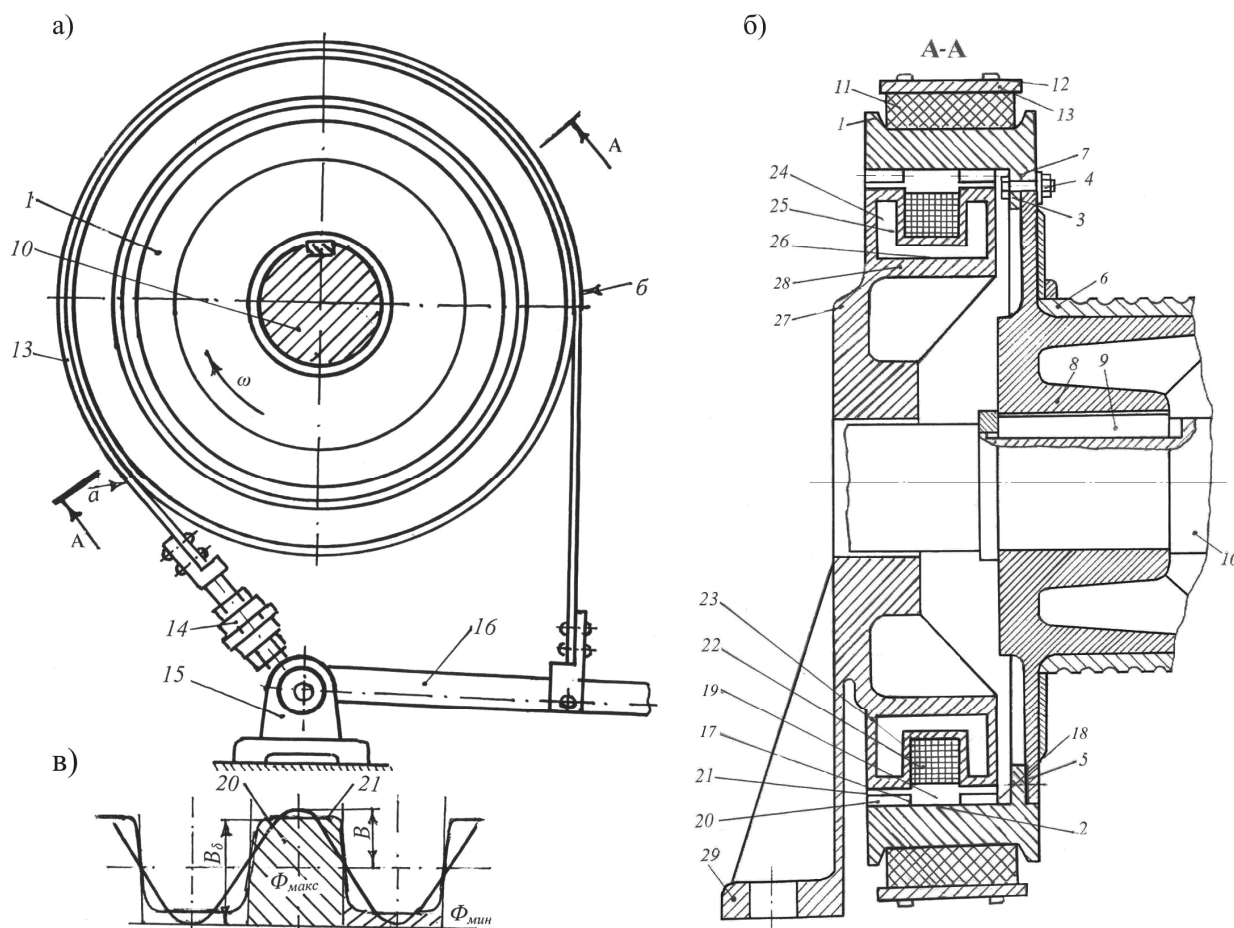
Метою даної роботи є оцінка теплонавантаженості обода гальмівного шківів бурової лебідки при роботі індукторного гальма. Для реалізації даної мети необхідно вирішити такі завдання:

розглянути особливості конструкції та роботи індукторного гальма;

оцінити роботу комбінованого гальма у процесі опускання бурильних труб;

простежити розповсюдження теплових хвиль з поверхонь обода шківів в його товщину при роботі комбінованого гальма.

Конструкція та особливості роботи індукторного гальма. На рис. 1а зображено загальний вигляд комбінованого (стрічково-колодкового і індукторного) гальма; на рис. 1б – поперечний розріз по А-А гальма; на рис. 1в проілюстровані криві магнітного поля в зазорі нерухомого індукторного гальма і при цьому ви-



- 1, 2, 3 – гальмівний шків з внутрішньою поверхнею і виступом; 4 – болтове з’єднання; 5 – магнітоізоляційна прокладка; 6, 7, 8 – барабан з фланцем та маточиною; 9 – призматична шпонка; 10 – підйомний вал лебідки; 11, 12 – фрикційні накладки з кріпильними вусиками; 13 – гальмівна стрічка з набігаючою (а) та збігаючою (б) гілками; 14 – регулююча стяжка стрічки; 15 – опора; 16 – важіль керування; 17, 18, 19, 20 – прямокутні зубці з зазором між лівим та правим рядом; 21 – торець зубців; 22 – котушка збудження; 23 – сорочка охолодження; 24 – теплоносій; 25, 26 – зони випаровування та конденсації теплової труби; 27, 28, 29 – спеціальний фланець з циліндричним кільцевим виступом та лапою

Рисунок 1 – Комбіноване стрічково-колодкове гальмо

користані такі позначення: Φ_{\max} і Φ_{\min} – магнітні потоки полюсного тиску над зубцем і над западиною між зубцями; B_0 – індукція над зубцем; B – амплітуда першої гармоніки (рис. 1в повернено на 360°).

Комбіноване стрічково-колодкове і індукторне гальмо має гальмівний шків 1 з робочою і внутрішньою 2 поверхнями. Шків 1 виконано із матеріалу, з магнітною провідністю, наприклад, з відпаленої сталі 20Л. Шків 1 має виступ 3, яким він за допомогою болтового з’єднання 4 через магнітоізоляційну прокладку 5 кріпиться до барабану 6, зокрема до його фланця 7. Останній переходить в маточину 8, яка за допомогою призматичної шпонки 9 закріплена на підйомному валу 10 лебідки.

Фрикційні накладки 11 за допомогою вусиків 12 через поздовжні вирізи (на рисунку не показані) в гальмівній стрічці 13 прикріплені до неї з внутрішнього боку. Гальмівна стрічка 13 одним кінцем (з боку набігаючої гілки а) прикріплена через регульовальну стяжку 14 до опо-

ри 15, а іншим (з боку збігаючої гілки б) до важеля керування 16 гальмом.

Конструктивні особливості індукторного гальма з системою охолодження наступні. На внутрішній поверхні 2 гальмівного шківів 1 по краях його периметра розташовані прямокутні зубці 18 із зазором 19 між лівим 20 та правим 21 рядом. Гальмівний шків 1 з рядами зубців 18 виконує функції ротора. Між зазором 19 і нижче за торці 21 зубців 18 розташовано квадратне вікно котушки збудження 22, вісь якої перпендикулярна до осі обертання ротора. Котушка збудження 22 в індукторному гальмі виконує функції статора. Таким чином, над статором знаходяться дві однакові симетрично розташовані відносно котушки збудження 22 частини. Якщо по котушці збудження 22 проходить струм, то всі зубці 17 ротора, розташовані в лівому ряду 19, мають полярність N , а зубці 17 правого ряду 20 – полярність S . Сама котушка збудження 22 розміщена в сорочці охолодження П-подібного перерізу. Система охолодження

заповнена теплоносієм на 5/6 її об'єму, наприклад, 25 %-им розчином аміаку, який має високу приховану теплоту пароутворення. Порожина сорочки охолодження 23 вакуумується, а потім герметизується, що дає змогу використовувати ефект «теплової труби» для охолодження котушки збудження 22, яка своїми трьома сторонами квадрата охоплена Т-подібною стінкою сорочки охолодження 23. Протилежні боки стінок сорочки охолодження 23 спільно з теплоносієм 24 утворюють зону випаровування 25 теплової труби. До зони конденсації 26 теплової труби відноситься решта внутрішніх поверхонь сорочки охолодження 23 спільно з теплоносієм 24. Спеціальний фланець 27 з циліндричним кільцевим виступом 28, який є основою сорочки охолодження 23, спирається на установочну лапу 29.

Комбіноване стрічково-колодкове і індукторне гальмо працює у трьох гальмівних режимах.

На першому гальмівному режимі працює стрічково-колодкове гальмо.

Переміщенням важеля керування 16 гальма здійснюється затягуванням гальмівної стрічки 13 з фрикційними накладками 11, і вона сідає на гальмівний шків 1. Процес гальмування стрічково-колодковим гальмом характеризується такими стадіями: початковою (першою), проміжною (другою) і завершальною (третьою). Зупинимось на кожній із стадій окремо.

На початковій стадії гальмування фрикційні накладки 11, розміщені в середній частині гальмівної стрічки 13, взаємодіють з робочою поверхнею гальмівного шківів 1. Фронт взаємодії поширюється у бік фрикційних накладок 11 набігаючої гілки (а) стрічки 13.

Проміжна стадія гальмування характеризується подальшим розповсюдженням фронту взаємодії у бік накладок 11 збігаючої гілки (б) стрічки 13.

Кінцева стадія гальмування характеризується тим, що майже всі нерухомі накладки 11 стрічки 13 взаємодіють з робочою поверхнею шківів 1, який обертається. Під час пригальмовувань послідовність входження поверхонь тертя накладок в контакт зі шківом повторюється. Повний цикл гальмування завершується зупинкою гальмівних шківів 1 з барабаном 6.

На другому гальмівному режимі працює індукторне гальмо.

При обертанні ротора здійснюється підключення котушки збудження 22 до джерела постійного струму (на рис.1б не показаний) відбувається періодична зміна величини індукції на поверхні статора, поверненій до зубців 17 ротора, що і викликає пригальмовування гальмівного шківів 1. При цьому магнітний потік в повітряному зазорі між ротором і статором змінюється тільки за величиною, а не за напрямком. Крім того, на поверхні ротора із зубцями 17 і прилеглим до них шарами статора з'являються вихрові струми. Останні в статорі обумовлюються змінною складовою магнітної індукції B . Для збільшення останньої необхідно, щоб різниця магнітних потоків повітряних за-

зорів над торцем 21 головки зубця і між западинами зубців 17 була найбільшою $\Phi_{\max} - \Phi_{\min}$ (рис. 1в). Розподіл зазначених потоків залежить від співвідношення конструктивних параметрів: кроку між зубцями 17 та повітряного зазору над торцем 21 головки зубця; ширини і висоти зубця до кроку між зубцями 17, а також від магнітного насичення зубців 17.

При тривалій подачі електричного струму в мідний дріт, з якого звита котушка збудження 22, він нагрівається, і при цьому виникає температурний перепад між центральними і зовнішніми витками котушки 22, що може призвести до виходу з ладу лакової (електричної) ізоляції (максимальна робоча температура якої 180°C), а потім залитого бітуму в котушку 22, який розм'якшується при 95-100°C (рідкий стан настає при 150°C).

На даному гальмівному режимі тепла енергія від котушки збудження 22 за допомогою ефекту теплопровідності передається П-подібним стінкам сорочки охолодження 23 і від них йде на нагрівання теплоносія 24, який змочує 5/6 її об'єму. При цьому зони випаровування 25 і конденсації 26 працюють в режимі «теплової труби» за рахунок перепаду температур між різним термодинамічним станом теплоносія 24 в об'ємі теплової труби. Інтенсивність охолодження зони конденсації 26 теплової труби залежатиме від кількості повітря, яка омиває зовнішню поверхню сорочки охолодження 23 котушки збудження 22 індукторного гальма.

Регулювання гальмівного моменту індукторного гальма здійснюється за допомогою зміни струму збудження в котушці 22. Мала потужність збудження індукторних гальм дозволяє здійснювати автоматичне регулювання моменту за допомогою керованих напівпровідникових або магнітних підсилювачів, що забезпечує простоту і ефективність автоматизації при малих економічних витратах. Такими засобами здійснюється автоматичне підтримування сталої величини моменту або його зміна може здійснюватися за заздалегідь заданою програмою залежно від навантаження пар тертя гальма. В той же час вирішується і зворотня задача, наприклад, автоматично регулюється швидкість обертання підйомного валу 10 шляхом відповідної зміни моменту індукторного гальма.

На третьому гальмівному режимі працюють одночасно стрічково-колодкове і індукторне гальмо. Даний режим залежить від того, який гальмівний момент необхідно реалізувати для зупинки барабана лебідки.

На всіх трьох режимах гальмування комбінованого гальма стійка робота стрічково-колодкового гальма досягається тільки в тому випадку, якщо на робочій поверхні фрикційних накладок не досягатиметься допустима температура для їх матеріалів. Остання здатна викликати дестабілізацію зносо-фрикційних властивостей пар тертя стрічково-колодкового гальма. Тому роль індукторного гальма очевидна.

Таким чином, в комбінованому гальмі досягається збільшення гальмівного моменту і його автоматичне регулювання за рахунок за-

стосування індукторного гальма. Ця обставина дає змогу розвантажити стрічково-колодкове гальмо і тим самим забезпечити стійку роботу його фрикційних вузлів на заданих режимах опускання колони бурильних труб у свердловину.

Робота комбінованого гальма у процесі опускання колони бурильних труб.

Одним із динамічних параметрів індукторного гальма, яке входить у комбіноване гальмо, є гальмівний момент.

Розрахунки гальмівних моментів для "шківа-ротора з зубцями" в комбінованому гальмі бурової лебідки виконувалися за залежністю вигляду [4]

$$M_{\kappa} = \frac{226 \cdot 10^{-13} \cdot D \cdot l \cdot z \cdot k_B^2 \cdot F_{\delta}^2}{k_{\alpha} \cdot \delta}, \quad (1)$$

де: z – кількість зубців індуктора; k_B – коефіцієнт змінної складової індукції; F_{δ} – намагнічуюча сила повітряного зазору; k_{α} – коефіцієнт зведення намагнічуючої сили реакції якоря до обмотки збудження статора; δ – повітряний зазор, мм; D, l – діаметр та ширина ротора, мм.

Розрахунки проводились для внутрішніх діаметрів шківа 500, 750, 1000, 1250, 1450 мм та при різній кількості зубців на роторі: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 і 80.

На основі розрахунків побудовані закономірності зміни гальмівного моменту від діаметра ротора та кількості зубців на його внутрішній поверхні шківа бурової лебідки (рис. 2 а, б) та від змінної складової магнітної індукції в зазорі між статором та ротором гальма (рис. 3). Виконаний аналіз наведених графічних залежностей показав наступне. Зі збільшенням внутрішнього діаметра гальмівного шківа, тобто ротора гальма, а також кількості зубців на його периметрі має місце зростання гальмівного моменту, який розвиває індукторне гальмо. Стосовно закономірності зміни гальмівного моменту індукторного гальма від складової магнітної індукції при $D = 1450$ мм та кількості зубців ($z = 80$) [відповідає гальмівному шківу бурової лебідки У2-5-5], то вона описується лінійною залежністю, яка увесь час зростає. При цьому необхідно врахувати примусове охолодження обмотки збудження статора гальма.

Особливістю даних розрахунків є те, що вони проводились за сталого співвідношення $D/l = 7,4$ (де l – ширина шківа), яке вибрано з урахуванням конструктивних особливостей стрічково-колодкового гальма.

Зупинимось на порівняльному аналізі діаграм опускання бурильної колони вагою 120 кН з підключенням гідро- (а) та індукторного (б) гальм наприкінці періоду розгону (рис. 4 а, б). в основу порівняльного аналізу закладена вимога закону продуктивності [5] за тривалістю опускання ($t_{c.c.}$) та допоміжним часом ($t_{доп.с.}$), який забезпечує опускання однієї свічки

$$t_{c.c.} = 0,14 t_{доп.с.} \quad (2)$$

Зауважимо, що оперативна зміна моменту гідрогальма для періоду усталеного руху є ви-

гідною, так як забезпечується його підключення наприкінці періоду розгону. Із рис. 4 а видно, що нерегульована в процесі спуску швидкість одразу після підключення гідрогальма стає вдвічі меншою, в результаті чого не реалізується трапецеїдальна діаграма з мінімальним часом опускання. Оскільки швидкість опускання склала 3-4 м/с наприкінці періоду розгону, було досягнуто зменшення часу опускання тільки на 15% [6]. Наявністю часткового заповнення гідрогальма та шляхом дозування ступеня його заповнення з метою збільшення гальмівного моменту реалізувалася прогнозована діаграма опускання без використання пікового значення швидкості наведеного на графічній залежності рис. 4 а.

Прогнозування режиму роботи індукторного гальма при сумісній роботі зі стрічково-колодковим гальмом наведено на рис. 4 б. При цьому I-ий та II-ий етапи (рис. 4 а), а також I-ий та II-ий етапи (рис. 4 б) наприкінці періоду розгону є майже однаковими. На III-му етапі (рис. 4 б) при включенні індукторного гальма при пригальмовуванні гідрогальмом (див. етап III на рис. 4 а), що призвело до скорочення часу опускання на одну секунду. Досягається дане скорочення часу за рахунок того, що індукторне гальмо є швидкодіючим, що дозволяє оперативно впливати на процес опускання свічок. В подальшому при вмиканні стрічково-колодкового гальма (див. етап IV на рис. 4 б) час опускання скоротився ще на одну секунду. Використавши залежність (2), отримуємо, що при зменшенні часу опускання на дві секунди відбулося зменшення допоміжного часу для забезпечення опускання на 14,3 с.

Розповсюдження теплових хвиль з поверхонь обода шківа в його товщину при роботі комбінованого гальма. Питомі втрати теплоти в ободі гальмівного шківа змінюється в часі за законом простого гармонійного коливання з тим же періодом, що і період коливання температури середовища, але із зсувом по фазі.

В роботі [7] встановлено, що кількість теплоти (ΔQ), яка витрачається протягом пері-

оду ($\tau_2 - \tau_1$) коливання $\left(\tau_2 - \tau_1 = \Delta Q = \frac{1}{v} \right)$, до-

рівнює нулю. Розглянемо витрати теплоти за проміжок часу $\Delta \tau$, рівний напівперіоду

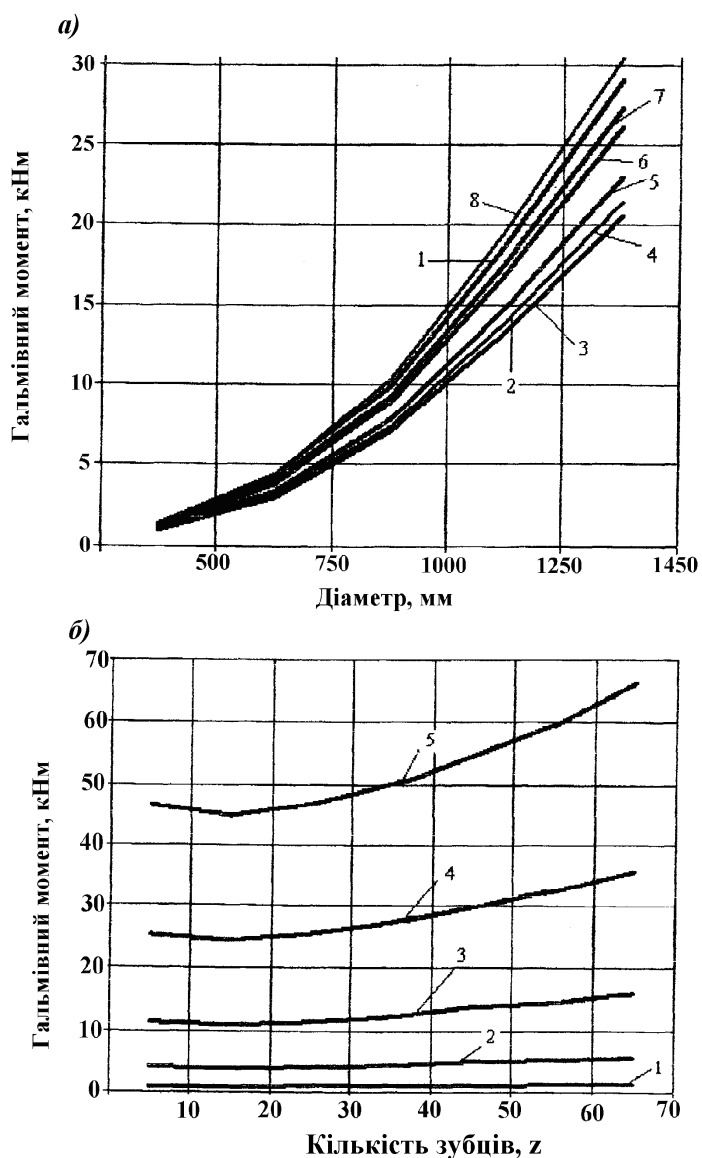
$$\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{1}{2} \Delta Q = \frac{1}{2v},$$

де v – фазова швидкість хвилі, м/с.

Для цього проміжку часу $\sin \pi v (\tau_2 - \tau_1) = 1$. Початок розрахунку τ_1 вибирається так, щоб величина $[\bar{M} - \pi v (\tau_2 + \tau_1)]$ була рівна одиниці, тобто

$$\tau_1 = \frac{1}{2\pi v} (\bar{M} - \pi), \quad (3)$$

де $\bar{M} = \arctg i \frac{\bar{N}_i - \bar{N}_{i-1}}{\bar{N}_i + \bar{N}_{i+1}}$.



а) 1 – $D = 500$ мм; 2 – $D = 750$ мм; 3 – $D = 1000$ мм; 4 – $D = 1250$ мм; 5 – $D = 1450$ мм;
 б) 1 – $z = 10$; 2 – $z = 20$; 3 – $z = 30$; 4 – $z = 40$; 5 – $z = 50$; 6 – $z = 60$; 7 – $z = 70$; 8 – $z = 80$

Рисунок 2 – Закономірності зміни гальмівного моменту індукторного гальма від діаметра ротора (а) та кількості зубців на його внутрішній поверхні

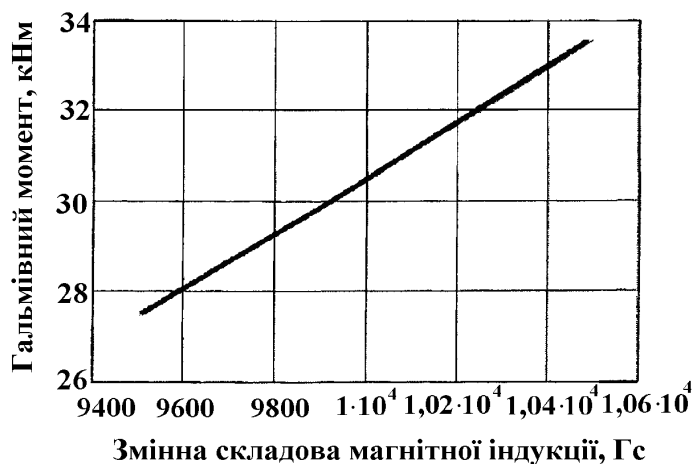
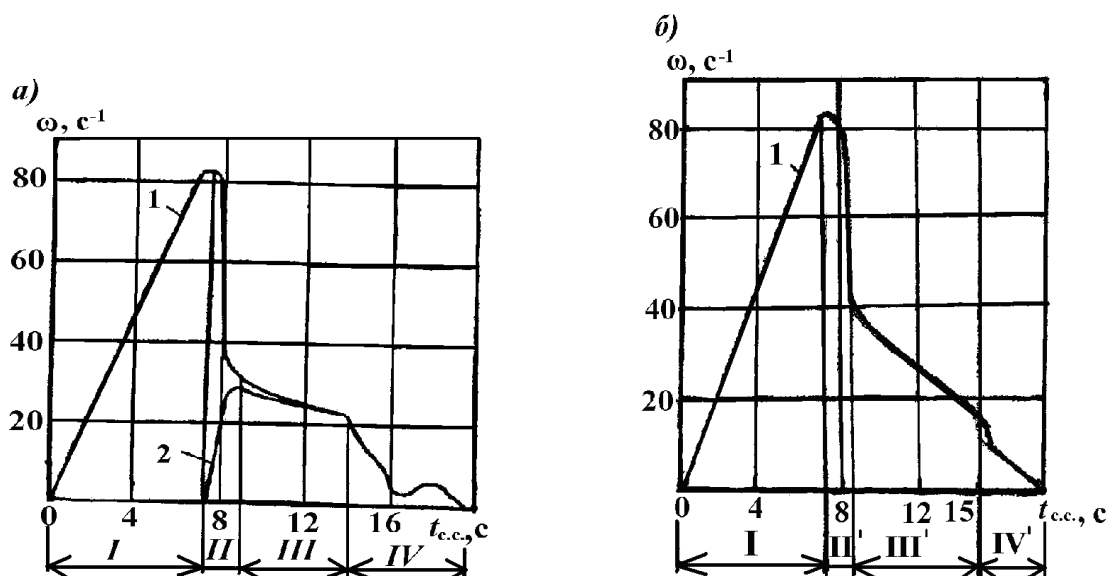


Рисунок 3 – Закономірності зміни гальмівного моменту індукторного гальма від складової магнітної індукції при $D = 1450$ мм, $p = 80$



1, 2 – кутова швидкість обертання валів підйомного та гідрогальма; I - вільний розгін бурильної колони; II, II' - вмикання: гідралічного (пневматичною муфтою) та індукторного (дистанційною системою) гальма; III, III' - опускання свічки з підключенням гідро- та індукторного гальма; IV, IV' - гальмування стрічково-колодковим гальмом до повної зупинки колони

Рисунок 4 – Діаграми опускання бурильної колони вагою 120 кН з підключенням гідро- (а) та індукторного (б) гальм наприкінці періоду розгону

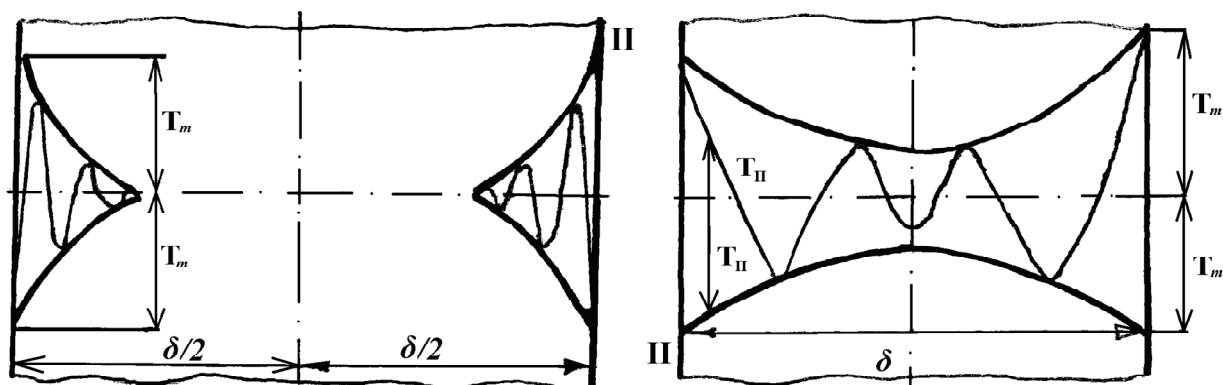


Рисунок 5 – Проникнення теплових хвиль зі сторони внутрішньої (I) та зовнішньої (II) поверхонь обода шківа при його значній (а) та середній (б) товщині

Тоді витрати теплоти за напівперіод $\Delta\tau = \frac{1}{2} v$ дорівнює

$$\Delta Q = 2c\gamma T_m (\bar{N}_i \bar{N}_{i-1})^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

де: $(\bar{N}_i \bar{N}_{i-1})^{\frac{1}{2}} = f(Pd, Bi)$; $Pd = \frac{m(d_6 - d_3)^2}{a}$;

$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} \delta$ – критерій Предводітелева та Біо;
 m – темп нагрівання товщини обода шківа;
 d_6, d_3 – діаметри внутрішньої та зовнішньої поверхонь обода шківа; $\frac{\delta}{\lambda}$ – термічний опір стінки обода шківа; α – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні обода шківа; c, γ – теплоємність та густина матеріалу обода

шківа; a, λ – коефіцієнти температуропровідності та теплопровідності матеріалу обода шківа.

Аналіз залежності (3) свідчить, що для випадку необмеженої товщини стінки критерій $Bi \rightarrow \infty$. В цьому випадку температура зовнішньої поверхні обода шківа змінюється за законом гармонійного коливання

$$T_{II}(\tau) - T_O = T_m \cos \omega\tau, \quad (5)$$

де: T_O – температура оточуючого середовища; ω – кутова швидкість шківа.

Якщо стінка обода шківа має велику товщину або зміна температури відбувається дуже швидко, то коливання температури, які розповсюджуються в глибину товщини стінки від внутрішньої та зовнішньої поверхонь обода шківа, повинні повністю загасатись, не дійшовши до її середини (рис. 5 а). Тоді кожна з обох половинок стінки поводить як тіло необмеженої товщини (напівпростір). Таким чином,

стінка обода шківа значної товщини є одним із граничних випадків. Згідно з рис. 5 б коливання температури, які розповсюджуються в глибину товщини стінки з обох її поверхонь не затухають і доходять до середини обода.

Між розглянутими граничними випадками – товстої та тонкої стінки обода шківа – знаходяться всі раціональні його конструктивні параметри. Поступове зменшення товщини стінки обода шківа може призвести до такого випадку, коли коливання температури, які розповсюджуються з внутрішньої та зовнішньої поверхонь обода шківа, зустрінуться всередині стінки обода та почнуть проникати одна в одну. Особливо це небезпечно із боку внутрішньої поверхні (I) обода шківа (рис. 5 б) (нагрівання від пар тертя стрічково-колодкового гальма), оскільки температурні хвилі чинитимуть опір температурним хвилям зовнішньої поверхні (II) обода шківа.

Висновки. Таким чином, наведена конструкція індукторного гальма, яке підключено до дистанційної системи керування і може працювати самостійно та разом зі стрічково-колодковим гальмом, оскільки вони взаємодіють з різними поверхнями обода шківа. Показана робота комбінованого гальма у процесі опускання колони труб та зменшення основного та допоміжного часу при самостійній та сумісній роботі гальм. Розглянуто розповсюдження теплових хвиль з поверхонь обода шківа в його товщину при роботі комбінованого гальма, що дає змогу в подальшому перейти до оцінки теплонавантаженості обода шківа.

Література

- 1 Винницький М.М. Рациональное управление спуско-подъемными операциями / М.М. Винницкий – М.: Недра, 1978. – 250 с.
- 2 Крижанівський Є.І. Конструкція та розрахунок допоміжної індукторної системи стрічково-колодкового гальма бурової лебідки / Є.І. Крижанівський, Д.О. Вольченко, М.В. Кашуба, Є.В. Героть // Вісник Східноукраїнськ. Націон. ун-ту ім. Володимира Даля, 2009. – №4(134). – С. 55-61.
- 3 Вольченко О.І. Експериментальні дослідження ефективності індукторного гальма бурової лебідки / [О.І. Вольченко, Д.О. Вольченко, М.В. Кашуба, В.І. Карась] // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. – Вип.2 (24). – С. 52-59.
- 4 Иогансон Р.А. Индукторные тормоза / Р.А. Иогансон – М.: Энергия, 1966. – 105 с.
- 5 Злобин Б.А. Скоростная проводка скважин и резервы новой техники / Б.А. Злобин. – М.: Недра, 1977. – 310 с.
- 6 Эфендиев Т.Х. Лопастные гидродинамические тормоза буровых лебедок / Т.Х. Эфендиев. – М.: Недра, 1980. – 117 с.
- 7 Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
25.03.11*

*Рекомендована до друку професором
Мойсишиним В.М.*