

Ддв. 24д. 2
№ 91

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Журавльов Олександр Юрійович

622.242,5(043)

УДК 62.592.113

Ж91

ОБГРУНТУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СТРИЧКОВО-КОЛОДКОВОГО ГАЛЬМА З РУХОМИМИ ФРИКЦІЙНИМИ НАКЛАДКАМИ БУРОВОЇ ЛЕБІДКИ

п/шв.

Спеціальність 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вирішення важливої для нашої держави проблеми забезпечення паливно-енергетичного комплексу енергоресурсами вимагає збільшення обсягу бурових робіт, удосконалення нафтогазового обладнання та найбільш повного використання його можливостей. Ефективність експлуатації бурової установки в значній мірі залежить від досконалості її гальмівної системи.

Аналіз літературних джерел показав, що характерні для стрічково-колодкового гальма різке захоплення шківа фрикційними накладками, недостатня гнучкість гальмівної стрічки, з'єднаної з фрикційними накладкам, призводять до підвищеного рівня динамічної і, як наслідок, теплової навантаженості фрикційних вузлів. Це негативно впливає на працездатність гальма, продуктивність та безпеку експлуатації бурової установки. Результати досліджень, що отримані під час виконання наукової роботи дають можливість спроектувати гальмо бурової лебідки, конструкція якої дозволяє забезпечити необхідну його працездатність.

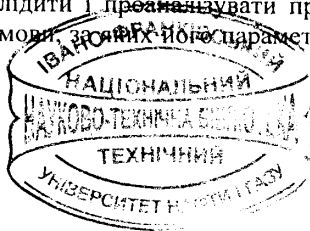
Тому задачі, що поставлені в дисертаційній роботі і спрямовані на підвищення ефективності дії гальма бурової лебідки, є актуальними, розв'язок яких має не тільки наукове, але і важливе народогосподарське значення.

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

Мета і задачі дослідження. Розробка методики динамічного розрахунку стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками та високоефективних конструкцій пристроїв для систем охолодження його пар тертя.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні задачі:

- виконати порівняльний аналіз працездатності серійних та стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками для встановлення закономірностей зміни їхніх експлуатаційних параметрів;
- теоретично дослідити і проаналізувати процес гальмування нетрадиційного гальма та визначити умови, за яких його параметри набувають найбільш раціональних значень;



НТБ
ФОНТУНГ



as297

- провести теоретичні дослідження динамічної навантаженості фрикційних вузлів гальма для визначення силових залежностей з урахуванням пружного з'єднання фрикційних накладок і жорсткості гальмівної стрічки;

- провести розрахунок пружного елемента, який з'єднує фрикційні накладки в новому стрічково-колодковому гальмі, виходячи з умови його міцності та забезпечення необхідного співвідношення періодів гальмування;

- провести експериментальні дослідження в лабораторних умовах для оцінки розподілу питомих навантажень, деформацій гальмівної стрічки і накладок та величини спрацювання останніх;

- оцінити вплив режимів гальмування на працездатність нетрадиційного стрічково-колодкового гальма;

- розробити методику розрахунку експлуатаційних параметрів стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками для оцінки ефективності їхньої дії;

- запропонувати конструкції стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками з елементами керування їхньою навантаженістю.

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

Предмет дослідження. Динамічні процеси в стрічково-колодковому гальмі з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з допомогою чисельних методів з використанням загальновідомих і оригінальних методик експериментальних досліджень. Під час теоретичних досліджень використовувалися основи теорій: тертя гнучких елементів, що охоплюють шків, - при обґрунтуванні особливостей процесу гальмування; коливань повзуна при стрибкоподібній зміні сил тертя - для визначення розрахункових залежностей пружних елементів; деформування стрижнів малої кривизни - при визначенні експлуатаційних параметрів гальма з врахуванням жорсткості гальмівної стрічки; кінетостатики – при оцінці динамічної навантаженості фрикційних вузлів; розрахунку та конструювання стрічково-колодкових гальм бурових лебідок і прийняття оптимальних рішень – при розробці пристроїв та систем високоефективного охолодження фрикційних вузлів гальма.

Наукова новизна. Вперше дано теоретичне обґрунтування особливостей процесу гальмування нетрадиційного стрічково-колодкового гальма, отримано силові залежності з урахуванням пружного з'єднання фрикційних накладок. Дістало подальший розвиток реалізація керування режимами гальмування та розробка конструкції охолоджувальних пристроїв і систем, що базуються на термоелектричному ефекті.

Практичне значення одержаних результатів. На основі розробки основних положень дисертації створено алгоритми робочих процесів стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурових лебідок. Рекомендації, викла-

дені в роботі, можуть бути використані в конструкторських бюро заводів нафтового обладнання при проєктуванні нових та удосконаленні існуючих конструкцій гальм даного типу.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також методика розрахунку основних динамічних параметрів стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками бурових лебідок використано в ВАТ “Карпатнафтомаш” (м. Калуш, Івано-Франківської обл.) та в навчальному процесі кафедри механіки машин при читанні лекцій з дисципліни “Основи теорії, розрахунку та переміщення вантажів” (розділ “Стрічково-колодкові гальма”).

Особистий внесок здобувача.

1. Встановлено і теоретично досліджено особливості процесу гальмування стрічково-колодкового гальма з рухомими накладками, який складається з кількох стадій. Сформульовано умови, за яких працездатність фрикційних пар тертя є найвищою для певного режиму гальмування [2, 8].

2. Отримано аналітичні залежності для визначення динамічної навантаженості деталей стрічково-колодкового гальма з рухомими накладками з урахуванням їхнього пружного з'єднання [3, 5].

3. Розроблено методику розрахунку експлуатаційних параметрів стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки [4].

4. Проаналізовано вплив режимів гальмування на працездатність стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками із залученням отриманих аналітичних залежностей сумарної роботи сил тертя у фрикційних парах [6].

5. Розроблено нові схеми конструкцій нетрадиційних стрічково-колодкових гальм з покращеними експлуатаційними параметрами [1].

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались та обговорювались на: IV Міжнародному симпозіумі з трибології фрикційних матеріалів (м.Ярославль, 2000 р.); міжнародній конференції “Зносостійкість та надійність вузлів тертя машин” (м.Хмельницький, 2000 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми розвитку піднімально-транспортної техніки” (м.Луганськ, 2000 р.); науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м.Івано-Франківськ, 2000 р.); на розширеному засіданні кафедри технічної механіки Кубанського державного технологічного університету (м.Краснодар, 2001 р.); механіки машин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м.Івано-Франківськ, 2001р.); загально-інженерних дисциплін Бережанського агротехнічного інституту Київського національного аграрного університету (м.Бережани, Тернопільської обл., 2001 р.); деталей машин національного університету “Львівська політехніка” (м.Львів, 2001 р.); на розширеному науковому семінарі за спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості (м.Івано-Франківськ, 2001 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, з них двосторонні доповіді та одноосібна стаття.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація містить: вступ, чотири розділи, висновки, список використаної літератури з 124 найменувань, додатки, і викладена на 207 стор. машинописного тексту з 44 рисунками та 7 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність шляхів підвищення працездатності стрічково-колодкового гальма бурових лебідок за допомогою нових та удосконалених його конструкцій. Сформульовано мету і методи досліджень, окреслено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено перелік їхньої апробації.

В першому розділі наведено аналіз динамічної і теплової навантаженості деталей стрічково-колодкового гальма, проілюстровано її вплив на експлуатаційні параметри та відмічено можливість керування нею, проаналізовано довговічність фрикційних накладок гальма і сформульовано задачі досліджень.

Оскільки від режиму динамічної навантаженості пар тертя стрічково-колодкових гальм бурових лебідок в значній мірі залежать експлуатаційні параметри: натяг стрічки, питомі навантаження, гальмівні моменти, деформації, поверхневі температури та ін., розглянуто наукові праці, що присвячені динамічній і тепловій навантаженості серійних стрічково-колодкових гальм бурових лебідок.

Фундаментальний вклад в теорію, розрахунок та конструювання гальмівних пристроїв внесли М.П.Александров, В.І.Белобров, О.І.Вольченко, В.Ф.Гайдамака, В.М.Федосеев, Г.М.Шахмалієв, Б.Горст, Т.Ньюкомб, Г.Фазекас та інші вчені.

Відомо, що основними напрямками покращення експлуатаційних параметрів стрічково-колодкових гальм є: використання нових фрикційних матеріалів з високими зносо-фрикційними властивостями; проектування гальмівних пристроїв з керованим відведенням теплоти від їхніх фрикційних вузлів; удосконалення існуючих і створення нових конструкцій гальм з підвищеною ефективністю дії.

Серед удосконалених стрічково-колодкових гальм бурових лебідок відмічено нетрадиційну конструкцію гальма з рухомими фрикційними накладками і показано, що вона має низку переваг у порівнянні з серійним гальмом. Відмічено також, що окрім чітко окреслених конструктивних особливостей для вказаного типу гальма на даний час немає бази даних для його проектування. Зокрема, відсутнє обґрунтування теоретичних засад роботи гальма та методики розрахунку геометричних і експлуатаційних його параметрів.

В другому розділі проведено теоретичне дослідження процесу гальмування стрічково-колодковим гальмом з рухомими фрикційними накладками на різних стадіях, а також визначені основні експлуатаційні параметри з урахуванням впливу на

Таким чином, за повний цикл дії гальма встановлено три стадії гальмування: початкова з періодом t_n , коли сила тертя $F_2 < F_1$; перехідна, коли $F_2 = F_1$, яка відповідає точці перетину кривих 1 і 2 (див. рис. 2), та кінцева, яка відповідає періоду $t_n - t_m$. Тобто, на відміну від серійного в даному типі гальма кінетична енергія під час гальмування поглинається по чергово двома типами фрикційних вузлів, що в загальному підвищує ефективність гальмівного механізму.

Обґрунтування ефективності гальмування та визначення експлуатаційних параметрів проведено за таких припущень:

- сила натягу пружини забезпечує невідрив фрикційної накладки від шківів, що дає підставу знехтувати впливом сил інерції накладки;
- період переходу від початкової до кінцевої стадії гальмування є малим і ним можна знехтувати при визначенні співвідношення періодів початкової стадії та повного циклу гальмування;
- гальмівна стрічка є абсолютно гнучким тілом.

Враховуючи невелику жорсткість гальмівної стрічки в зв'язку з відсутністю її з'єднання з фрикційними накладками, при визначенні основних експлуатаційних параметрів гальма використовувалась теорія Ейлера про тертя гнучкого стрижня, що охоплює шків. При цьому кожна фрикційна накладка розглядалася як елемент окремого гальма з набігаючою і збігаючою гілками гальмівної стрічки. На основі вищевикладеного встановлено залежність між зусиллями збігаючої S_3 та набігаючої S_{II} гілок гальмівної стрічки :

$$S_{II} = S_3 e^{f \alpha n \frac{R}{R_0}}, \quad (1)$$

де R – радіус робочої поверхні шківів; R_0 – радіус кривини стрічки; f – коефіцієнт тертя ковзання робочої фрикційної пари; α – центральний кут накладок; n – кількість накладок, охоплюваних стрічкою.

Наведена залежність відрізняється від класичної тим, що в ній враховано радіус робочої поверхні гальмівного шківів і товщину фрикційної накладки. На підставі залежності (1) отримано вираз для гальмівного моменту на початковій стадії гальмування:

$$M_{I,2} = S_3 \cdot R_0 \cdot (e^{f_1 \alpha n \frac{R}{R_0}} - 1). \quad (2)$$

З урахуванням дії пружин на фрикційні накладки виведено залежність для визначення гальмівного моменту на кінцевій стадії гальмування:

$$M_{I,1} = \left[S_3 \cdot (e^{f_2 \alpha \cdot n} - 1) \cdot \frac{f_1}{f_2} + 2 \cdot S_n \cdot f_1 \cdot m \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right] \cdot R, \quad (3)$$

де m – кількість накладок, розташованих на шківі; S_{II} – сила натягу пружини.

За критерії рівності величин спрацювання внутрішніх та зовнішніх поверхонь накладок прийнято умову рівності робіт сил тертя на цих поверхнях $A_1=A_2$, яка при лінійній залежності сил тертя від часу набуває вигляду:

$$\int_{S_{m2}}^{S_{mk}} \left[(e^{f_2 \alpha \cdot n} - 1) \cdot S_3 \frac{f_1}{f_2} + 2 \cdot S_1 \cdot f_1 \cdot m \cdot \sin \alpha \right] ds = \int_0^{S_{m2}} S_3 (e^{f_2 \alpha \cdot n} - 1) ds, \quad (4)$$

де S_{m2} і S_{mk} – шлях точок поверхні шківа відповідно за початковий та повний період гальмування.

Після інтегрування залежності (4) з урахуванням умови, що на перехідній стадії гальмування $F_1=F_2$, визначено величину попереднього натягу пружини:

$$S_{II} = \frac{S_{3k} \cdot (e^{f_2 \alpha \cdot n} - 1) \cdot (k - 1) \cdot c}{2 \cdot m \cdot f_2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}$$

де S_{3k} – зусилля на збігаючій гілці стрічки наприкінці гальмування; $k = \frac{f_2}{f_1}$, $c = \frac{t_n}{t_k}$ –

співвідношення коефіцієнтів тертя та періоду початкової стадії до повного періоду гальмування.

Розрахункову силу натягу пружини для оцінки її міцності та жорсткості визначено за результатами аналізу коливань фрикційної накладки під час стрибкоподібного її переходу від стану спокою до руху.

Для оцінки впливу жорсткості гальмівної стрічки на величину експлуатаційних параметрів гальма стрічка в подальшому розглядається, як реальне тіло, що деформується. При цьому стрічку розглядали як стрижень малої кривини, оскільки її товщина $h \ll R$. При замиканні гальмівної стрічки радіус її кривини змінюється від R_0 до $R' = R - h$, і в її поперечних перерізах, на відміну від гнучкої нитки, окрім осьового зусилля виникає згинальний момент, на утворення і розвиток якого витрачається частина S_3 . Враховуючи цю обставину, а також те, що згинальний момент визна-

чається залежністю $M = \left(\frac{l}{R} - \frac{l}{R_0} \right) \cdot EI$, отримано (при моменті інерції поперечного

перерізу стрічки $I = \frac{bh^3}{12}$) аналітичну залежність гальмівного моменту в такому вигляді:

$$M_2 = S_3 \left(1 - \frac{\Delta bh^3 E}{12R^2 R_0 S_3} \right) \cdot (e^{f_2 \alpha n} - 1) R, \quad (5)$$

де b і h – ширина і висота перерізу гальмівної стрічки; Δ – зазор між поверхнями тертя стрічки і накладок в розімкнутому стані гальма; E – модуль пружності матеріалу стрічки.

Третій розділ присвячено обґрунтуванню працездатності нетрадиційного гальма експериментальним шляхом. Метою експериментальних досліджень є ство-

рення банку даних основних експлуатаційних показників динамічної навантаженості стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками при його роботі в стендових умовах.

У відповідності з цим програмою досліджень передбачено розгляд наступних задач: встановлення закономірностей зміни експлуатаційних параметрів зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма на різних стадіях гальмування (першій і третій), а саме: питомих навантажень; деформацій гальмівної стрічки і фрикційних накладок; коефіцієнтів тертя; часу гальмування; вивчення впливу жорсткості гальмівної стрічки і попереднього натягу у парі “робоча поверхня гальмівного шків - внутрішні поверхні фрикційних накладок” на ефективність роботи стрічково-колодкового гальма; розробка конструктивних схем гальма з його покращеними експлуатаційними параметрами; оцінка довговічності зовнішніх і внутрішніх поверхонь фрикційних накладок гальма.

В якості об’єкта досліджень була прийнята геометрична модель стрічково-колодкового гальма бурової лебідки БУ 2500 ЕП з масштабом геометричної подібності $\gamma = l_n / l_m = 3,45$ (l_n і l_m – довжини між подібними точками натури і моделі). При цьому вивчалися динамічні процеси за різних умов навантаження гальма. Описано конструкцію гальмівного стенда, обладнаного системою фрикційних накладок, з’єднаних між собою пружними елементами, вимірювальне обладнання та методи вимірювання досліджувальних величин.

За одержаними результатами експериментальних досліджень після їхньої статистичної обробки згідно з вимогами РД-50-690-89 при довірливій вірогідності 0,95 були побудовані графічні залежності.

Аналіз отриманих результатів показав наступне. В нетрадиційному модельному гальмі питомі навантаження у внутрішніх фрикційних вузлах набігаючої гілки стрічки в 2,63 рази є більшими, ніж на збігаючій гілці при зусиллі натягу збігаючої гілки стрічки $S_3 = 400 \text{ Н}$. В серійному гальмі вказана відмінність становить 2,73 рази. При $S_3 = 800 \text{ Н}$ отримали відміну питомих навантажень по вищевказаних гілках гальмівної стрічки нетрадиційного і серійного гальм, відповідно, 4,08 і 2,82 рази, тобто перша величина в 1,44 рази є більшою за другу. Це пояснюється тим, що у нетрадиційному гальмі посадка фрикційних накладок на робочу поверхню гальмівного шків з попереднім натягом зумовлює появу початкового питомого навантаження у внутрішніх фрикційних вузлах, вплив якого на загальне питома навантаження p із збільшенням зусилля затягування стрічки проявляється яскравіше.

Відхилення розрахункових величин питомих навантажень, що виникають на внутрішніх поверхнях накладок, від експериментальних становило приблизно 10%.

На основі проведених експериментальних досліджень питомих навантажень, що розвиваються у зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлах нетрадиційного гальма, а також за результатами розрахунків їхніх коефіцієнтів тертя (виконані по методиці, запропонованій канд.техн.наук С.В.Балаболіним) встановлено взаємозв’язок

між раціональними значеннями часу гальмування, коефіцієнтами тертя і питомими навантаженнями. З аналізу отриманої взаємозалежності випливає, що для забезпечення ефективної роботи нетрадиційного гальма, різниця між питомими навантаженнями, у внутрішніх і зовнішніх фрикційних вузлах має бути не меншою 0,1 МПа, а між коефіцієнтами тертя в цих вузлах – не меншою 0,05. Перевищення вказаної величини по тисках зумовить відсутність першої стадії гальмування, а по коефіцієнтах тертя – третьої, що негативно вплине на ефективність і надійність гальма.

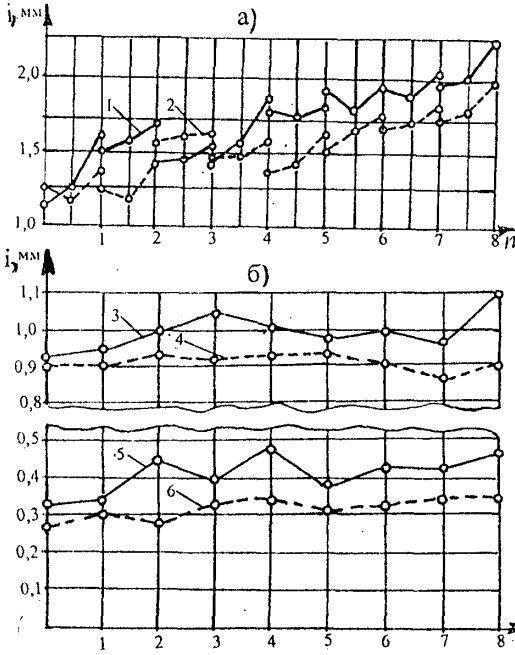


Рис. 3 а, б Закономірності зміни спрацювання поверхонь фрикційних накладок при випробуваннях в лабораторних умовах стрічково-колодкових гальм з нерухомими (а) і рухомими (б) фрикційними накладками: 1, 2, 3, 4 (внутрішньої) та 5, 6 (зовнішньої) – від початкової товщини накладок 30 і 15 мм при 150-ти гальмуваннях з однаковою інтенсивністю при $S_7=800H$.

В цілому ж спрацювання фрикційних накладок для нетрадиційного гальма на 25-30% є меншим, ніж для серійного. Результати стендових випробувань нетрадиційного

При порівнянні деформацій гальмівної стрічки і фрикційних накладок серійного гальма з нетрадиційним при $S_7=400H$ і $S_7=800H$ встановлено, що видовження гальмівної стрічки (приблизно на 25-30%) і радіальні деформації фрикційних накладок (на 10-15%) є більшими в нетрадиційному гальмі. На рис. 3 наведено інтенсивність лінійного спрацювання фрикційних накладок модельних серійного (а) і нетрадиційного (б) гальм від їхньої початкової товщини 30 і 15 мм після 150-ти гальмувань з однаковою інтенсивністю при $S_7=800H$. Величина спрацювання робочих поверхонь помітно зменшується для накладок, які довільно потрапляють під збігаючу та набігаючу гілки гальмівної стрічки нетрадиційного гальма. З графічних залежностей (див. рис. 3) випливає, що при роботі накладок з початковою товщиною 30 мм відносно відхилення спрацювань зовнішніх і внутрішніх поверхонь накладок складо, відповідно, 18,9% і 46,1%. При роботі накладок з початковою товщиною 15 мм ці величини становлять 7,5% і 3,4%. Зменшення інтенсивності лінійного спрацювання фрикційної накладки пояснюється тим, що із зменшенням її початкової товщини зменшується жорсткість накладки, що значно полегшує процес її припрацювання.

гальма довели його працездатність, ефективність і надійність і дозволили встановити закономірності зміни експлуатаційних параметрів зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів досліджуваного гальма на початковій і кінцевій стадіях гальмування.

В четвертому розділі розглянуто: загальні принципи керування працездатністю нетрадиційного гальма; вплив режимів гальмування на його працездатність без та з урахуванням дії гідродинамічного гальма; конструктивні рішення з керування динамічною і тепловою навантаженістю; методика розрахунку експлуатаційних параметрів гальма, а також задачі подальших досліджень. Ефективна робота нетрадиційного гальма в значній мірі залежить від режимів навантаження, які характеризуються значеннями усталеної кутової швидкості на початку гальмування, закономірностями зміни гальмівного моменту та інтенсивністю гальмування. Рациональний підбір перелічених вище експлуатаційних параметрів зумовить позитивний вплив на величину роботи тертя, яку виконує досліджуване гальмо і яка є найбільш об'єктивним критерієм його працездатності. Різноманітність режимів навантаженості гальм бурових лебідок при розрахунках можна звести до трьох: лінійного, параболічного і косинусоїдального, – тахограми яких описуються такими рівняннями:

$$\omega_1 = \left(1 - \frac{t}{t_k}\right); \quad \omega_2 = \omega_0 \left(1 - \frac{t^3}{t_k^3}\right); \quad \omega_3 = \omega_0 \cos^2 \frac{\pi t}{2t_k},$$

де $\omega_1, \omega_2, \omega_3, t$ – поточні значення кутової швидкості гальмівного шківів, які відповідають вищевказаним тахограмам, та час її зміни.

Робота сил тертя під час гальмування визначається рівнянням $A = \int_0^{t_k} M_r \omega dt$. Після інтегрування у часі в межах початкової та кінцевої стадій гальмування отримано аналітичні вирази сумарної роботи сил тертя за період гальмування для вказаних режимів:

$$\text{лінійного } A = \frac{S_{зк}}{3} \left(e^{f_2 \alpha n} - 1 \right) \left(3c^2 - 2c^3 \right) \frac{\omega_0^2}{\epsilon_m} R; \quad (6)$$

$$\text{параболічного } A = \frac{S_{зк}}{14} S_{зк} \left(e^{f_2 \alpha n} - 1 \right) c^4 \left(7 - 4c^3 \right) R \frac{\omega_0^2}{\epsilon_m}; \quad (7)$$

$$\text{косинусоїдального } A = \frac{S_{зк} \left(e^{f_2 \alpha n} - 1 \right) R \omega_0^2}{4 \epsilon_m \pi} \left(\pi c - \frac{1}{2} \sin 2\pi c \right), \quad (8)$$

де ω_0 – усталена кутова швидкість гальмівного шківів на початку гальмування; $\epsilon_m = \omega_0/t_k$ – середнє кутове прискорення за період гальмування.

Аналіз залежностей (6); (7); (8) проведено при $\omega_0 = 10; 20; 40 \text{ с}^{-1}$. При цьому встановлено, що робота сил тертя для різних тахограм є різною: найбільшою – для лінійного, найменшою – для параболічного режимів. Якщо порівняти роботу при лі-

нійшому та косинусоїдальному режимах, то її відхилення становить 14%. При збільшенні кутової швидкості до $\omega_0 = 60 \text{ c}^{-1}$ відносна зміна сил тертя складає 33%.

Таким чином, комбінація режимів обертання шківів уможливило забезпечення раціонального режиму навантаження фрикційних вузлів нетрадиційного стрічково-колодкового гальма бурових лебідок за рахунок чергування поверхонь взаємодії. При цьому виникаючі у фрикційних вузлах питомі навантаження не перевищують допустимих значень.

Враховуючи те, що механічне гальмо при великих глибинах свердловин працює разом з гідродинамічним гальмом, отримано залежності для визначення гальмівного моменту з урахуванням дії гідрогальма для лінійного, косинусоїдального та параболічного режимів, відповідно:

$$M_{\Gamma 1} = M_G \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{t}{t_k} \right)^2 \right] + \frac{I_6 \cdot \omega_0}{t_k}; \quad (9)$$

$$M_{\Gamma 2} = M_G \cdot \left(1 - \cos^2 \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t}{t_k} \right) + \frac{I_6 \cdot \omega_0 \cdot \pi}{2 \cdot t_k} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t}{t_k}; \quad (10)$$

$$M_{\Gamma 3} = M_G \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{t^3}{t_k^3} \right)^2 \right] + \frac{I_6 \cdot \omega_0 \cdot 3 \cdot t^2}{t_k^3}. \quad (11)$$

де M_G – момент на валу лебідки від ваги колони бурильних труб; I_6 – зведений момент інерції мас шківів і ротора гідродинамічного гальма та сил інерції колони бурильних труб, зведених до піднімального вала лебідки.

Питомі навантаження, які виникають в парах тертя стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками, необхідно розглядати у взаємозв'язку з розтягом набігаючої та збігаючої гілок гальмівної стрічки. Величина розтягу останньої в нетрадиційному гальмі суттєво впливає на тривалість початкової та кінцевої стадій гальмування. Так, при невеликих за величиною розтягах стрічки, тобто при плавному прикладанні бурильником зусилля до важеля гальма, працюють зовнішні фрикційні вузли. Це відбувається під час пригальмовувань (в процесі посадки колони бурильних труб на стіл ротора). При різкому збільшенні розтягу гальмівної стрічки тривалість першої стадії гальмування, тобто робота зовнішніх фрикційних вузлів, є незначною. В такому режимі основну роботу тертя виконують внутрішні фрикційні вузли гальма.

На рис. 4 наведено закономірності зміни питомих навантажень в парах тертя, які отримано для нетрадиційного гальма бурової лебідки установки БУ 2500 ЕП, при прийнятій лінійній формі тахограми. Проведено аналіз графічних залежностей розподілу питомих навантажень та гальмівних моментів на кожній накладці гальма. З цих графічних залежностей видно, що питомі навантаження на зовнішній робочій поверхні

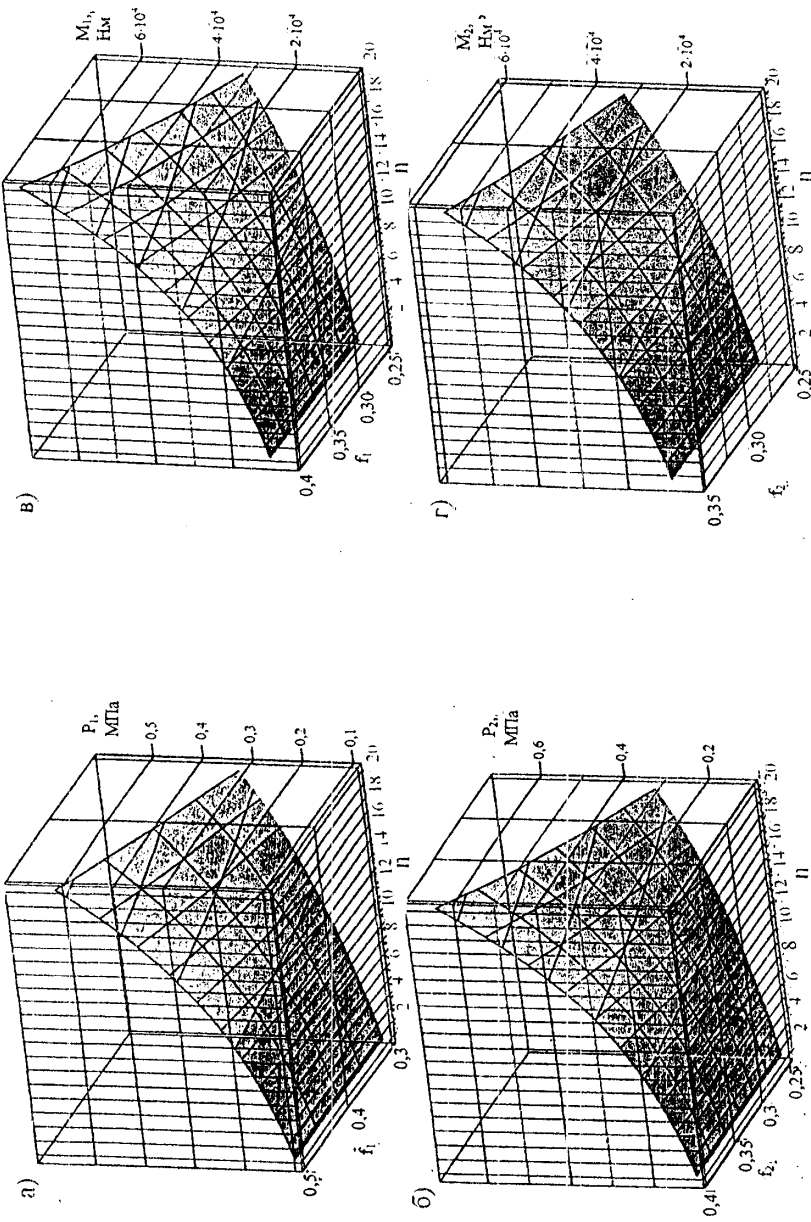


Рис. 4 а, б, в, г Закономірності зміни питомих навантажень (а, б) та гальмівних моментів (в, г) в парах тертя гальміна стрічка – зовнішні поверхні навантажень (а, б) та гальмівних моментів (в, г) в парах тертя гальміна стрічка – робоча поверхня гальмівого шківів (а, в) та “внутрішні поверхні накладок – робоча поверхня гальмівого шківів” (б, г) в стрічково-коловому гальмі з рухомими фрикційними накладками від коефіцієнтів тертя в кожному зовнішньому та внутрішньому фрикційному вузлі

накладки збільшуються з віддаленням її від збігаючої гілки гальмівної стрічки. При коефіцієнті тертя $f_2 = 0,25$ і $k = f_2 / f_1 = 1,1$ співвідношення питомих навантажень на 20-ій і 1-ій накладках досягає майже 20-ти кратної величини. Що стосується зміни питомих навантажень на внутрішніх поверхнях накладок, то вони на 15-20% є більшими, ніж на їхніх зовнішніх поверхнях, внаслідок з'єднання між собою накладок пружними елементами. При цьому питомі навантаження мало залежать від коефіцієнта тертя на 1-ій накладці, тоді як на 20-ій при зміні f_2 з 0,25 до 0,35 вони збільшуються приблизно в 1,5 рази.

Згідно з рис.4 в.г гальмівний момент, який розвивають зовнішні фрикційні вузли, є більшим за гальмівний момент, створюваний внутрішніми фрикційними вузлами. Пояснюється це тим, що існує різниця сил тертя на зовнішніх та внутрішніх поверхнях фрикційних накладок. Ця обставина зумовлює перухомість фрикційних накладок по відношенню до гальмівної стрічки.

Керування динамічною навантаженістю нетрадиційного стрічково-колодкового гальма реалізовано шляхом автоматичного регулювання кутом охоплення шківів гальмівною стрічкою за допомогою механічного та електромагнітного її приводу. Інтенсивне примусове охолодження фрикційних вузлів нетрадиційного стрічково-колодкового гальма є одним з шляхів керування його тепловою навантаженістю. В конструкції гальма реалізовано ефекти теплової труби і термоелектричного охолодження. При використанні термоелектричного охолодження зовнішні і внутрішні фрикційні вузли можуть виконувати роль термоелектрогенераторів і термоелектрохолодильників, здійснюючи при цьому теплове розвантаження гальма.

Запропонована методика розрахунку експлуатаційних параметрів стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки передбачає: визначення найбільшого гальмівного моменту з умови забезпечення необхідної ефективності гальма; визначення основних геометричних параметрів гальмівного шківів (радіуса і ширини), фрикційної накладки (ширини), гальмівної стрічки (товщини і ширини); перевірку на міцність гальмівної стрічки; визначення питомих навантажень, які здатні витримати внутрішні і зовнішні фрикційні вузли; визначення потужності, яка поглинається поверхнями тертя фрикційних вузлів з умови попередження їхнього перегрівання та інтенсивного спрацювання.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаних теоретичних та експериментальних досліджень нового стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки розроблено методику динамічного розрахунку та високоефективні конструкції пристроїв систем охолодження його пар тертя.

1. Теоретичні дослідження особливостей роботи і динамічних процесів в парах тертя стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками дозволили встановити, що повний цикл гальмування відбувається протягом трьох стадій: початкової, перехідної та кінцевої. При цьому на досліджуване гальмо накладено

такі обмеження: різниця між питомими навантаженнями, які виникають у внутрішніх і зовнішніх фрикційних вузлах, повинна бути не меншою 0,1 МПа, різниця між коефіцієнтами тертя зовнішніх і внутрішніх фрикційних вузлів повинна дотримуватися не меншою 0,05. У випадку, коли перша різниця буде меншою за 0,1 МПа, в процесі гальмування буде відсутня перша стадія. Якщо друга різниця стає величиною, меншою за 0,05, буде відсутня третя стадія гальмування.

2. Математичний опис динамічних процесів нетрадиційного гальма дозволив отримати залежності для визначення:

- зусиль натягу збігаючої та набігаючої гілок гальмівної стрічки при сталому і змінному коефіцієнті тертя у зовнішніх фрикційних вузлах з урахуванням товщини та кількості накладок, охоплюваних гальмівною стрічкою в початковій стадії гальмування;

- гальмівного моменту, котрий реалізується зовнішніми та внутрішніми фрикційними вузлами в залежності від радіуса робочої поверхні гальмівного шківів, натягу збігаючої гілки стрічки та кількості охоплюваних нею накладок в початковій та кінцевій стадіях гальмування, а також з урахуванням жорсткості гальмівної стрічки;

- сили розтягу пружних елементів, що з'єднують систему фрикційних накладок в кільце, забезпечуючи натяг між внутрішніми парами тертя, в початковій та кінцевій стадіях гальмування;

- основних геометричних параметрів гальмівної стрічки, гвинтової та прорізної пружин з умови міцності.

3. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено загальні закономірності зміни питомих навантажень, коефіцієнтів тертя і часу гальмування при реалізації початкової і кінцевої стадій гальмування. Із збільшенням питомих навантажень у внутрішніх фрикційних вузлах зростає їхня різниця між внутрішніми та зовнішніми фрикційними вузлами. Пояснюється це тим, що при великих питомих навантаженнях (від 0,6 до 1,5 МПа) для даного типу гальма відбувається швидкий перехід від початкової до кінцевої стадії гальмування. Різниця величин коефіцієнтів тертя між зовнішніми і внутрішніми фрикційними вузлами у всьому діапазоні їхньої зміни коливається від 0,05 до 0,1, що є гарантом реалізації початкової стадії гальмування. При невеликій навантаженості гальма час роботи зовнішніх фрикційних вузлів може досягати 35,0% від часу роботи внутрішніх фрикційних вузлів. При великій навантаженості гальма вказаний час складає всього 20%.

4. Експериментальні стендові дослідження ресурсу рухомих фрикційних накладок проводили для початкової стадії гальмування, тривалість якої становила $t_1=2,0$ с, і кінцевої тривалістю $t_2=9,0$ с. Перерва між циклами гальмування тривала 12 с. Встановлено наступне:

- спрацювання внутрішньої поверхні фрикційної накладки з початковою товщиною 30,0 мм є більшим в середньому в 2,1 рази, ніж її зовнішньої поверхні, а з початковою товщиною 15,0 мм – в 2,35 рази;

- спрацювання фрикційних накладок з початковою товщиною 30,0 та 15,0 мм при 150-ти циклічних гальмуваннях з однаковою інтенсивністю гальмування показало, що відносне відхилення зношень внутрішніх і зовнішніх поверхонь накладок, склало, відповідно, 18,9, 46,1% та 7,5, 3,4%. Це пояснюється тим, що при робочій товщині кожної фрикційної накладки 15,0 мм мало місце повне припрацювання зовнішніх та внутрішніх пар тертя фрикційних вузлів гальма.

5. Запропоновано загальні принципи керування працездатністю нетрадиційного гальма на основі схем, законів і стратегії стосовно конкретних стадій гальмування, а також шляхи і методи оцінювання його (керування) якості.

6. Встановлено закономірності зміни кутової швидкості гальмівного шківів і одержано різні форми його тахограми: лінійна, параболічна та косинусоїдальна без гідродинамічного гальма та з урахуванням його дії на величини гальмівних моментів, що реалізуються нетрадиційним гальмом. Доведено, що шляхом комбінації форм тахограм гальмівного шківів та за рахунок почергової зміни поверхонь взаємодії за умови неперевисування на їхніх поверхнях значень допустимих питомих навантажень і поверхневих температур забезпечується раціональний режим навантаження фрикційних пар гальм бурових лебідок.

7. Розроблено конструкції нетрадиційних стрічково-колодкових гальм з керованим кутом охоплення гальмівною стрічкою фрикційних накладок та керованим примусовим відведенням теплоти від пар тертя фрикційних вузлів при їхньому охолодженні термоелектричним способом та ефектом теплової труби.

8. Запропоновано методіку розрахунку стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки, яка дозволяє визначати раціональні геометричні параметри його фрикційних вузлів та оцінювати їхні динамічні параметри.

9. Науково обґрунтований підхід до дослідження динамічних процесів стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками дозволив виявити та встановити наступні переваги нового типу гальма над традиційним:

- повністю зникає рвучкість входження у контакт спряжених робочих поверхонь накладки і шківів. Робота гальма стає плавною в зв'язку з наявністю пружних елементів;
- менша жорсткість гальмівної стрічки зумовлює більш рівномірне розподілення питомих навантажень на поверхнях фрикційних накладок, що, в свою чергу, призводить до збільшення гальмівного моменту;
- з'являється можливість керування повними циклами гальмування за рахунок регулювання сили натягу пружин, що з'єднують накладки;
- збільшується ресурс фрикційних накладок за рахунок: почергової роботи їхніх зовнішньої та внутрішньої поверхонь; майже повного усунення нерівномірності спрацювання накладок через неперервну зміну їхнього положення в процесі гальмування по відношенню до гальмівної стрічки і гальмівного шківів.

10. Теоретичні та експериментальні засади даної роботи дозволили розробити новий тип багатоступневих гальм з рухомими фрикційними накладками, а також різні системи їхнього примусового охолодження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНИЙ В НАСТУПНИХ ПУБЛІКАЦІЯХ

- 1 Вольченко О.І., Журавльов О.Ю., Вольченко Д.О. Підвищення ефективності стрічково-колодкових гальм бурових лебідок //Зб. наук праць “Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів”. –Львів: Асоціація “Автобус”. - 2000. –Вип.4. - С.39-43.
- 2 Журавльов О.Ю. До оцінки конструктивних та експлуатаційних параметрів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок //Проблеми трибології. – Хмельницький. - 2000. - №2. - С.82-88.
- 3 Вольченко М.О., Рибін Г.П., Журавльов О.Ю., Криштопа С.І. Визначення експлуатаційних параметрів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок //Вісник Східноукраїнського державного університету. - 2000. - №6 (28). - С.27-32.
- 4 Вольченко О.І., Журавльов О.Ю., Журавльов Д.Ю., Пургал П.Ю. Методика розрахунку стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками //Зб. наук праць “Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів”. –Львів: Асоціація “Автобус”. - 2001. – Вип.5.- С.39-43.
- 5 Вольченко О.І., Журавльов О.Ю., Вольченко Д.О. Розрахунок пружних елементів рухомих фрикційних накладок. //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Державний міжвідомчий наук.-техн. зб. - Івано-Франківськ. - 2001. - №38 (том 4). - С.107-115.
- 6 Вольченко О.І., Журавльов О.Ю., Вольченко Д.О. Керування експлуатаційними параметрами стрічково-колодкових гальм з рухомими фрикційними накладками бурових лебідок //Проблеми трибології.-Хмельницький. – 2001 - №2.- С.78- 82
- 7 Журавльов О.Ю. До оцінки конструктивних та експлуатаційних параметрів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок /Тези доповідей міжнарод. наук.-техн. конф. “Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин ЗНМ-2000”.- Хмельницький. - 2000. - С.51.
- 8 Вольченко О.І., Журавльов Ю.В., Журавльов О.Ю. Аналіз роботи стрічково-колодкового гальма з рухомими накладками //Тези наук.-техн. конф. проф.-виклад. складу університету – Івано-Франківськ: Івано-Франківський держ. університет нафти і газу. - 2000. – С. 39-40.

АНОТАЦІЯ

Журавльов О.Ю. “Обґрунтування працездатності стрічково-колодкового гальма з рухомими фрикційними накладками бурової лебідки”. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової і газової промисловості. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2002.

Робота присвячена обґрунтуванню працездатності нового типу стрічково-колодкового гальма бурової лебідки, в якому підпружинені фрикційні накладки обертуються разом із шківом. Виходячи з особливостей роботи гальма, встановлені три стадії гальмування (початкова, перехідна і кінцева) та наведено їхній математичний опис. Запропоновано елементи теорії розрахунку основних конструктивних та експлуатаційних параметрів гальма і пружних деталей фрикційних накладок з умови міцності та забезпечення достатньої ефективності при циклічних режимах навантаження гальма. Проведено стендові експериментальні дослідження модельного нетрадиційного гальма з оцінки його працездатності та ресурсу фрикційних накладок.

Розглянуто деякі методи керування динамічною і тепловою навантаженістю стрічково-колодкових гальм бурових лебідок. Запропоновано методику розрахунку конструктивних і експлуатаційних параметрів нетрадиційного стрічково-колодкового гальма.

Ключові слова: працездатність, гальмо з рухомими фрикційними накладками, бурова лебідка, конструктивні та експлуатаційні параметри, методи керування.

SUMMARY

Zhuravlev O. Yu. "The Substantiation of Work Capacity for band Shoe Brake of Drilling winch (with mobile motion plates)". Manuscript.

Thesis for getting the scientific degree of the candidate of technical sciences in the speciality 05.05.12 - machines of oil and gas industry. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk.

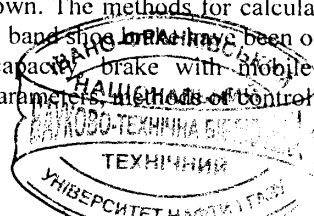
This work is dedicated to the substantiation of new type band shoe brake of drilling winch in which spring friction plates are rotated together with sheave. Using the work features of the brake it has been established the stages of braking (initial, transient and final) and their mathematical description has been added.

It has been proposed the elements of calculation theory of main structural and operational parameters of the brake and elastic parts of friction plates to supply the strength and sufficient efficiency at cyclical modes of the brake loading.

The stand experimental researches of untraditional brake have been made to estimate its work capacity and resource of friction plates.

Some methods of control for dynamic and thermal loading of band shoe brake of drilling winch has been shown. The methods for calculation of structural and operational parameters for untraditional band shoe brake have been offered.

Key words: work capacity, brake with mobile friction plates, drilling winch, structural and operational parameters, methods of control.



АННОТАЦИЯ

Журавлев А.Ю. Обоснование работоспособности ленточно-колодочного тормоза с подвижными фрикционными накладками буровых лебедок. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. Иванов-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Иванов-Франковск, 2002.

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

Первый раздел посвящен анализу условий работы и причин снижения эффективности ленточно-колодочных тормозов различных конструкций. Установлено, что одной из основных причин снижения эффективности является высокий уровень динамической и, как следствие, тепловой нагруженности фрикционных узлов тормоза. При этом для тормозов буровых лебедок она связана: с резким захватом фрикционных накладок поверхностью вращающегося шкива, сопровождающимся толчками и вибрациями; с повышенной жесткостью тормозной ленты, соединенной с накладками; односторонним контактом фрикционных накладок со шкивом в процессе торможения. На основе анализа литературных источников сформулированы задачи исследований.

Во втором разделе рассматривается принцип действия ленточно-колодочного тормоза с подвижными накладками. Дано теоретическое обоснование процесса торможения и установлены три стадии торможения (начальная, переходная и конечная), при реализации которых рабочими поочередно становятся внутренняя и внешняя поверхности накладки, что способствует равномерности изнашивания поверхности фрикционных узлов и снижению уровня их тепловой нагруженности.

Определены условия при которых возможна реализация рассматриваемых стадий. Получена зависимость для определения необходимого предварительного натяжения пружин, а также определены эксплуатационные параметры во внешних и внутренних фрикционных узлах тормоза с учетом упругого соединения его накладок между собой и жесткости тормозной ленты.

Проведен анализ прочности и жесткости упругих элементов, соединяющих между собой фрикционные накладки, с учетом колебаний, вызванных скачкообразным переходом накладок от состояния покоя к движению.

Третий раздел посвящен экспериментальным исследованиям нетрадиционного модельного тормоза на специальном стенде, представляющем собою геометрическую модель ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки БУ-2500ЕП, шкив которого оборудован системой фрикционных накладок, соединенных между собой упругими элементами. Приведено описание его конструкции, измерительной аппаратуры и методов экспериментальных исследований, соответствующих постав-

ленным в этом разделе задачам. При исследованиях определялись удельные нагрузки, деформации элементов фрикционных узлов, а также износ поверхностей фрикционных накладок. Произведен сравнительный анализ эксплуатационных параметров серийного и нетрадиционного тормоза. Доказана работоспособность и эффективность нетрадиционного ленточно-колодочного тормоза.

В четвертом разделе рассмотрено влияние режимов торможения на эффективность работы нетрадиционного тормоза. Получены зависимости тормозных моментов для разных режимов торможения без и с учетом действия гидродинамического тормоза, а также инерционных сил подвижных частей тормозной системы и колонны бурильных труб. Реализовано управление динамической и тепловой нагруженностью фрикционных узлов нетрадиционного тормоза. Для снижения уровня динамической нагруженности разработана схема ленточно-колодочного тормоза с автоматическим управлением углом обхвата шкива тормозной лентой при использовании механического или электромагнитного привода замыкания ленты, что позволяет уменьшить усилия на вал шкива и опоры, реализовать плавное изменение угла обхвата, избежать снижения эффективности торможения при изменении направления вращения шкива, выровнять удельные нагрузки по всей поверхности пар трения и, как следствие, обеспечить почти равномерное изнашивание фрикционных накладок. Для управления тепловой нагруженностью разработаны устройства и системы для принудительного охлаждения фрикционных узлов, основанного на использовании термоэлектрического способа и эффекта «тепловой трубы». Предложена методика расчета конструктивных и эксплуатационных параметров ленточно-колодочного тормоза с подвижными фрикционными накладками буровой лебедки, которая может быть использована при проектировании нетрадиционных ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок и совершенствовании серийных тормозных систем.

Ключевые слова: работоспособность, тормоз с подвижными фрикционными накладками, буровая лебедка, конструктивные и эксплуатационные параметры, элементы управления.

НТБ
ЮНТУНГ



as297