

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

Д.Ю. Журавлев

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

У матеріалах статті стосовно параметричного синтезу фрикційних вузлів (серійних і багатопарних) стрічково-колодкового гальма бурової лебідки дана оцінка енергетичного балансу його пар тертя. В останній увійшли механічна, електрична та теплова складові потужності тертя. Математичним шляхом розкрито зміст кожної зі складових потужності тертя і зроблено наголос на теплову складову, виходячи з того, що вона є максимальною за величиною і впливає на формування теплових потоків в парах тертя "стрічка - накладки" і "накладки - шків". При цьому приділено увагу не тільки конвективному теплообміну матових і полірованих поверхонь металевих фрикційних елементів, але і їх радіаційному теплообміну. Встановлено співвідношення між площами матових і полірованої поверхонь гальмівного шківа. Експериментальним шляхом проілюстровано закономірності зміни температури на різних стадіях нагрівання в приповерхневих шарах фрикційних накладок ФК-24А при різних величинах зносу і по товщині обода шківа стрічково-колодкового гальма бурової лебідки. При цьому оцінено термостабілізаційний стан обода шківа.

Ключові слова: стрічково-колодкового гальма, фрикційний вузол, гальмівний шків, фрикційна накладка, пари тертя, параметричний синтез, приповерхневий шар.

В материалах статьи применительно к параметрическому синтезу фрикционных узлов (серийных и многопарных) ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки дана оценка энергетического баланса его пар трения. В последний вошли механическая, электрическая и тепловая составляющие мощности трения. Математическим путем раскрыта сущность каждой из составляющих мощности трения и сделан упор на тепловую составляющую исходя из того, что она является максимальной по величине и влияет на формирование тепловых потоков в парах трения "лента - накладки" и "накладки - шкив". При этом уделено внимание не только конвективному теплообмену матовых и полированных поверхностей металлических фрикционных элементов, но и их радиационному теплообмену. Установлено соотношение между площадями матовых и полированной поверхностей тормозного шкива. Экспериментальным путем проиллюстрированы закономерности изменения температуры на различных стадиях нагревания в приповерхностных слоях фрикционных накладок ФК-24А при различных величинах износа и по толщине обода шкива ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки. При этом оценено термостабилизационное состояние обода тормозного шкива.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, фрикционный узел, тормозной шкив, фрикционная накладка, пары трения, параметрический синтез, приповерхностный слой.

The article deals with the parametric synthesis of friction units (multiple and multi-pair) of the drawworks band-shoe brake and evaluates energy balance of its friction pairs. The latter includes mechanical, electrical, and thermal components of the friction power. The essence of each of the power friction components is mathematically justified. The emphasis is laid on the thermal component taking into account the fact that it is of the maximum size and influences the heat flows formation in friction pairs "band - lining" and "lining - pulley". Furthermore, special attention is paid not only to convective heat transfer of matt and polished surfaces of metal friction elements, but also to their radiation heat transfer. The correlation between the areas of matt and polished surfaces of the brake pulley is determined. The authors define the factors of the temperature change at various heating stages in near-surface layers of the friction linings ФК-24А at different wear rate values and in accordance with the thickness of the pulley rim of the drawworks band-shoe brake. Moreover, the thermal stabilization state of the pulley rim is evaluated.

Keywords: band-shoe brake, friction unit, brake pulley, brake lining, friction pairs, parametric synthesis, near-surface layer.

Актуальность. При трении металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки интенсивное тепловыделение на беговой дорожке трения с большим коэффициентом взаимного перекрытия пар трения ($k_{вз} = 0,7-0,8$) приводит к неравномерному нагреванию обода шкива в радиальном, осевом и окружном направлениях. Исходя из этого, необходимо оценить энергетический баланс пар трения тормоза и показать влияние на его тепловую составляющую электрической составляющей, а также определить соотношение между нагреваемой и охлаждаемой по-

верхностями тормозного шкива. Кроме того, возникающие на рабочей поверхности обода шкива большие температурные градиенты способствуют зарождению и развитию микротрещин под воздействием температурных напряжений. Указанные выше параметры относятся к одним из основных применительно к параметрическому синтезу фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки.

Анализ опубликованных трудов. Основными причинами отказов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок являются износ ра-

бочих поверхностей фрикционных накладок и выход из строя тормозного шкива. Это происходит вследствие влияния тяжелого температурного режима при аperiodических циклических торможениях, а также в условиях экстремного торможения при возникновении аварийной ситуации при высоких начальных скоростях скольжения пар трения тормоза. Исследование процесса износа деталей ленточно-колодочного тормоза необходимо вести на основе оценки энергетического баланса его пар трения и возникновения термостабилизационного состояния с учетом их теплового баланса, что не было сделано в работах [1, 2, 3 и др.].

Цель статьи – оценка энергетического баланса пар трения ленточно-колодочного тормоза с учетом механической, электрической и тепловой составляющей с последующим рассмотрением теплового баланса серийных и многопарных фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза.

Методы теоретических и экспериментальных исследований. Как известно, перенос теплоты от пятен контакта микровыступов обода шкива (в однопарных) и тормозной ленты (в двухпарных) в глубь их объема, а дальше – в поверхности трущихся тел осуществляется упругими тепловыми колебаниями микрочастиц и механизм теплового движения электронов и ионов проводимости. В начальные моменты фрикционного взаимодействия "лента – накладки" происходит прогрев поверхностных слоев металлических элементов и распространение теплового потока вглубь с убывающей скоростью, которая зависит от плотности входящего в каждый элемент теплового потока. Плотность тепловыделения на границе фрикционного контакта пропорциональна работе трения при предварительных расчетах

$$q(t) = f(t)p(t)V(t), \quad (1)$$

где t – время тепловыделения;
 f – динамический коэффициент трения;
 p – удельная нагрузка на фактической площади контакта (A_a);
 V – скорость скольжения в узле трения.

Однако тепловыделению предшествует электрическая составляющая мощности трения фрикционного узла трения тормоза, которая равна

$$W_{эл} = k_g \cdot I \cdot U, \quad \text{Дж/с}, \quad (2)$$

где k_g – коэффициент, учитывающий время контакта микровыступов фрикционной накладки с микровыступами металлического фрикционного элемента ($k_g = 2 \cdot 10^2$);

I – сила тока, генерируемая микровыступами металлополимерных пар трения при условии $A_r < A_a$, что фактическая площадь контактирования (A_r) мала по сравнению с номинальной (A_a), а при $A_r = A_a$ фиксируется трибоЭДС в сопряжении.

Сила тока I определяется по зависимости вида

$$I = \sqrt{\frac{t_{max} \cdot \alpha_n \cdot (dt/dl_k) \cdot V_m \cdot \tau}{R_k \cdot \rho_3 \cdot N}}, \quad (3)$$

где t_{max} – максимальная температура на пятне контакта микровыступов, °С;

α_n – коэффициент внешней теплоотдачи, Вт/(м²·°С);

(dt/dl_k) – градиент температуры по длине контакта, °С/мм;

V_m – объем микровыступа, м³;

τ – время контактирования, с;

R_k – термическое сопротивление контакта, °С/Вт;

ρ_3 – удельное электрическое сопротивление, (Ом·мм²)/м;

N – импульсное нормальное усилие, Н.

Действительная тепловая составляющая мощности трения фрикционного узла трения тормоза равна

$$\begin{aligned} W_{тепл} &= 0,68 \cdot 10^{-3} \omega \cdot M_T = \\ &= 0,68 \cdot 10^{-3} \frac{V \cdot f \cdot N}{2 \cdot \pi}, \quad \text{Дж/с}, \end{aligned} \quad (4)$$

где M_T – тормозной момент, развиваемый парой трения тормоза, Нм.

Механическая составляющая мощности трения фрикционного узла при заданных параметрах полимерной накладки (на основании расчетно-экспериментальных данных) определяется по следующей зависимости

$$W_{мех} = 2,63 \frac{r_m \cdot V \cdot N}{L_n}, \quad \text{Дж/с}, \quad (5)$$

где r_m – приведенный радиус микровыступов поверхностей металлического фрикционного элемента, м;

L_n – длина фрикционной накладки по ширине обода шкива;

ω – угловая скорость вращения тормозного шкива, с⁻¹.

Распределение тепловых потоков между тормозным шкивом и лентой, накладками и окружающей средой составляет

$$q(t) = q_1(t) + q_2(t) + q_3(t) + q_4(t), \quad (6)$$

где $q_1(t)$, $q_2(t)$ – плотность теплового потока, направленного в тормозной шкив и в ленту, соответственно;

$q_3(t)$ – плотность теплового потока, направленного во фрикционные накладки;

$q_4(t)$ – плотность теплового потока, отданная в окружающую среду конвективным и теплоотдачей лучеиспусканием от полированной и матовой поверхностей тормозного шкива и тормозной лентой.

С поверхностями (полированных и матовых) тормозного шкива и ленты осуществляется теплоотдача лучеиспусканием обтекающему их воздуху. Согласно закону Стефана-Больцмана коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием определяется из выражений, приведенных в работе [4].

Результаты расчета по формуле, представленной в работе [4], показали, что коэффициент α_n увеличивается с повышением температуры

полированных и матовых поверхностей шкивов и лент.

Установлено, что величина отношения коэффициентов излучения матовой и полированной площадей равна отношению охлаждаемой к нагреваемой поверхности тормозного шкива. В виде соотношения имеем [5, 6]

$$\frac{C_{лм}}{C_{лн}} = \frac{A_o}{A_n} \quad (7)$$

Анализ соотношений (7) показывает следующее:

- отношение $C_{лм}/C_{лн}$ является величиной постоянной;

- отношение A_o/A_n является величиной переменной, поскольку с увеличением диаметра тормозного шкива происходит, в основном, увеличения его матовой поверхности при коэффициенте взаимного перекрытия ($k_{\text{вз}}$), равном 0,7–0,8;

- оценку составляющих A_o/A_n необходимо давать отдельно, т.е. охлаждаемую матовую поверхность шкива учитывать в процессах теплообмена через каждые его четыре оборота, охлаждаемую полированную поверхность беговой дорожки трения, учитывать в процессах теплообмена такое количество оборотов шкива без его одного оборота, который отвечает условному полному перекрытию фрикционными накладками беговой дорожки трения обода шкива.

Остановимся на определении составляющих выражения (6)

$$\begin{aligned} q_1(t) &= k_1 q(t); \quad q_2(t) = k_2 q(t); \\ q_3(t) &= (1 - k_1)q(t) + (1 - k_2)q(t), \end{aligned} \quad (8)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты распределения тепловых потоков между ободом шкива и лентой.

Более подробно определение коэффициентов распределения тепловых потоков между металлическим и полимерным фрикционным элементом приведено в работе [5,6].

Плотность теплового потока q_3 , отведенного в окружающую среду при конвективном теплообмене, определяется уравнением Ньютона

$$q_3(t) = \alpha_n(t)[T_n(0, \tau) - T_o], \quad (9)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи α_n в реальных условиях торможения ленточно-колодочного тормоза является трудно определяемой величиной. Он зависит от скорости вращения тормозного шкива и других часто случайных условий (загрязненность фрикционных элементов, атмосферные условия и др.).

Рассмотрим тепловые процессы, протекающие в системе "обод шкива – накладки – окружающая среда", за время, кратное четырем оборотам шкива

$$\tau = \frac{2\pi \cdot n}{\omega \cdot 4}, \quad (10)$$

где n – количество оборотов шкива.

В течении промежутка времени τ шкив получает количество теплоты

$$Q_1 = 2q_1(\tau)A_{a1} \cdot \tau. \quad (11)$$

За этот же промежуток времени обод шкива теряет с дорожки трения за счет конвективного теплообмена с окружающей средой количества теплоты

$$Q = \alpha_n(\tau)[t_1(0, \tau) - t_0](nA_a - A_a)\tau, \quad (12)$$

где t_1 – температура поверхности беговой дорожки трения после четырех оборотов шкива при торможении, °C;

A_a – площадь дорожки трения обода тормозного шкива $A_a = 2\pi R_o b$;

R_o – радиус обода тормозного шкива;

b – ширина накладки.

Следовательно, суммарное количество теплоты, поступающее в обод шкива за время τ , выражается зависимостью вида

$$Q = \{2q_1(\tau)A_{a1} - \alpha_n(\tau)[t_1(0, \tau) - t_0](nA_a - A_a)\} \times \frac{2\pi \cdot n}{\omega \cdot 4}. \quad (13)$$

Поделив левую и правую части уравнения (13) на $2\pi A_a / \omega$, получим среднее за четыре оборота шкива значение плотности теплового потока, аккумулированного в теле обода шкива

$$q_1(\tau) = q_1(\tau)k_{\text{вз}} - \alpha_n(\tau)[t_1(0, \tau) - t_0](1 - k_{\text{вз}}), \quad (14)$$

где $k_{\text{вз}}$ – коэффициент взаимного перекрытия, $k_{\text{вз}} = 2A_a / A = l / \pi R$;

l – длина накладки.

Изложенный материал полностью относится к тормозной ленте при рассмотрении первой стадии торможения с учетом числа оборотов обода шкива, перекрытого рабочими поверхностями фрикционных накладок. Кроме того, полированная поверхность тормозной ленты (внутренняя) остается перекрытой наружными поверхностями фрикционных накладок, но при этом в процессах теплообмена принимает участие матовая поверхность тормозной ленты за счет лучеиспускания и при малой интенсивности конвективного теплообмена из-за ее квазистатического состояния.

Продолжительность действия теплового потока при торможении ленточно-колодочным тормозом характеризуется числом Фурье [1]

$$F_o = \frac{a\tau_T}{\delta_o^2}, \quad (15)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала тормозного шкива, м/с²;

τ_T – время торможения;

δ_o – толщина нагреваемого слоя тормозного шкива, мм.

При подсчете числа Фурье для накладки иногда рекомендуется учитывать ее влияние на охлаждение обода шкива при попадании ее в зону выше допустимой температуры для ее материалов. Однако в данном случае рассматривается энергонагруженность поверхности фрикционной накладке ниже допустимой температуры для ее материалов.

При малых числах Фурье $F_o < 0,01$ теплоотдача с нерабочей стороны накладке практически отсутствует, и можно считать, что накладка нагревается потоками $q_1(t)$ и $q_2(t)$.

Таблица 1 – Зависимость параметра B от толщины нагреваемых обода шкива тормозной ленты

Материал нагреваемого элемента	Параметр B при глубине нагревания, δ_0 , мм						
	10/1,0	20/2,0	30/3,0	50/5,0	60/6,0	70	80
Сталь	114,00	28,50	12,667	4,560	3,167	2,327	1,781
	11,4	2,85	1,27	0,46	0,32	-	-
Чугун	104,00	26,00	11,556	4,160	2,889	2,122	1,625
	10,4	2,6	1,16	0,416	0,29	-	-

В табл. 1 приведен параметр B , рассчитанный для фрикционных элементов из различных материалов. Число Фурье определялось по формуле $F_0 = 10^3 B \tau$, где τ – время действия теплового потока (секунд).

Расчеты показывают, что для реальных условий торможения буровой лебедки значения числа Фурье не превышают $F_0 = 15$. При этом необходимо знать не только глубину нагревания (особенно тормозного шкива), но и прогрев его поверхностных слоев, позволяющих устанавливать, соответственно, термостабилизационный и установившиеся режимы пар трения ленточно-колодочного тормоза.

Согласно работ [1-6 и др.] составляющими процессов термостабилизационного явления обода тормозного шкива являются:

- отсутствие кондуктивного теплообмена между ободом шкива и его крепежным выступом;

- адсорбционно-десорбционные и деструкционные изменения в поверхностных и подповерхностных слоях полимерных накладок, которые способствуют инверсии тепловых потоков от них к рабочей поверхности обода шкива. Это происходит при условии, что для первых температурный градиент слоя больше, чем для второго элемента; по толщине полимерной накладки температурный градиент является намного большим минимального градиента по толщине обода шкива;

- слабый теплообмен поверхностей металлополимерных пар трения со скоростными токами омывающей среды в течении термостабилизационного явления, то есть теплообмен якобы «останавливается».

Рассмотрим теплонагруженность металлополимерных пар трения при температурах ниже и выше допустимой для материалов фрикционной накладки.

До температуры ниже допустимой для материалов накладок пар трения тормоза преобладает, в основном, вынужденный конвективный теплообмен от поверхностей металлического фрикционного элемента. После превышения допустимой температуры для материалов накладок пар трения тормоза уже преобладает лучистый теплообмен (перенос теплоты осуществляется электромагнитными волнами). В это время происходит выгорание связующих компонентов из приповерхностных слоев накладок. Идущая термохимическая реакция с точки зрения энергетики является слабой, так

как она носит эндотермический характер. Согласно электронно-ионной теории о двойном электрическом слое в это время формируются два двойных электрических слоя. Первый – на полированной поверхности металлического фрикционного элемента и рабочих поверхностях накладок. Второй слой охватывает рабочие поверхности фрикционных накладок (которые не взаимодействуют с полированной поверхностью металлического фрикционного элемента) и нижний уровень их подповерхностного слоя. В то же время на контактных поверхностях пар трения происходит непрерывное образование «жестких» и «мягких» окисных пленок, частично экранируемых взаимным массопереносом, и являющимися соединительными мостиками термоэлементов в микротермобатареях. При этом зарождается тепловое равновесие между металлическим фрикционным элементом и его крепежным выступом из-за перераспределения теплоты между ними на основе темпов нагревания.

Выбор объектов исследования металлических элементов трения ленточно-колодочных тормозов обусловлен условиями эксплуатации, степенью их динамической и тепловой нагруженности и, как следствие, границами изменения эксплуатационных параметров тормоза.

При торможении происходит генерирование электрических токов и аккумуляирования теплоты в поверхностных слоях рабочих деталей фрикционного узла. Наибольшие изменения указанные процессы вызывают в приповерхностных слоях фрикционных накладок. В процессе пластической деформации в их материалах происходит изменение структуры и свойств. Одновременно с этим непрерывно изменяются механические и температурные градиенты в поверхностных слоях накладок, уровень которых зависит от режимов торможения. На рис. 1 а приведены закономерности изменения температуры на разных стадиях нагревания (I, II, III) в приповерхностных слоях фрикционных накладок ФК-24А при различных величинах их линейного износа. Указанные накладки установлены на тормозной ленте ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5. По мере износа рабочих поверхностей фрикционных накладок уменьшается толщина их приповерхностных слоев (см. столбец 1-3). Это объясняется тем, что на рабочих поверхностях за счет химико-физических процессов, которыми сопровождается трение, образуются вторичные

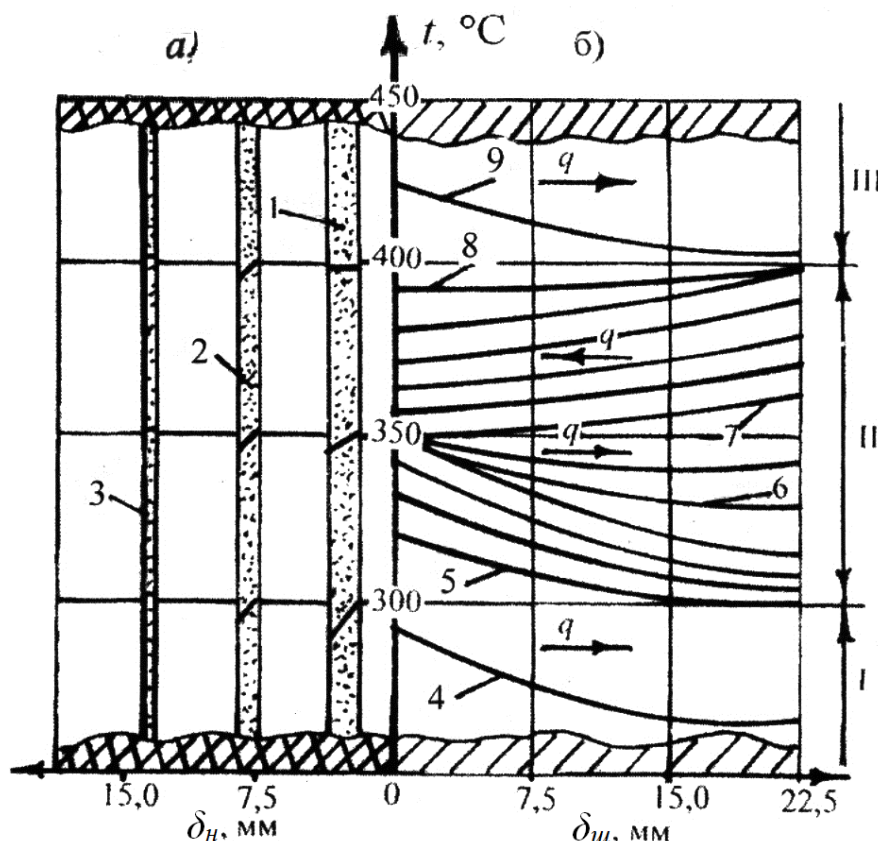


Рисунок 1 – Закономерности изменения температуры на различных стадиях нагревания (I, II, III) в приповерхностных слоях фрикционных накладок ФК-24А (а) при различных величинах их линейного износа; по толщине обода шкива (б) ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5

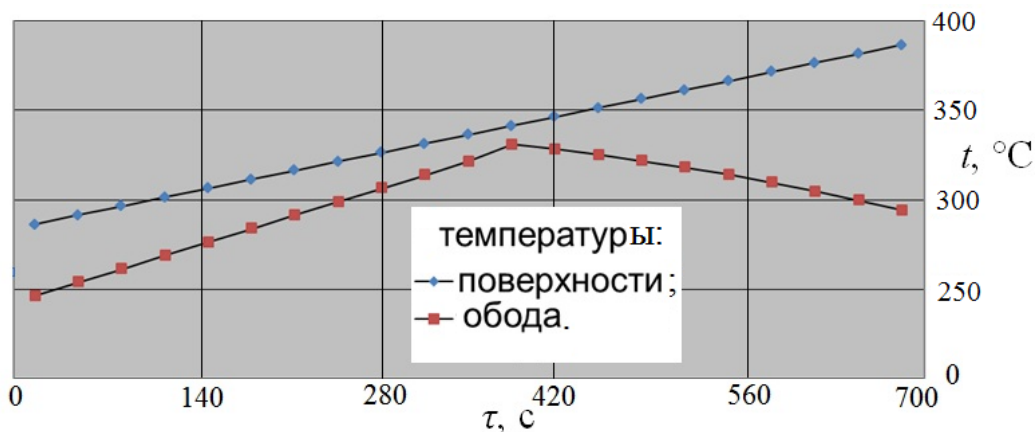


Рисунок 2 – Зависимость температур поверхности пары трения и обода тормозного шкива ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5 от времени

структуры. Вследствие этого происходит закупоривание пор материалов накладки и снижение интенсивности выгорания их связующих компонентов из поверхностных слоев. Температурные градиенты по толщине приповерхностного слоя уменьшаются и становятся квазипостоянными при износе фрикционной накладки до допустимой величины. Исследованиями установлено, что такой же величины температурного градиента достигает поверхностный слой накладки в процессе ее приработки при температуре 400°C (столбец 1), когда, в основном, завершаются деструкционные преобразо-

вания в их материалах. Течение деструкционных процессов происходит интенсивнее в поверхностных слоях материалов эксплуатируемых накладок, чем в материалах чистых образцов, изготовленных из серийных накладок, поскольку они находятся под действием тепловых потоков, возникающих при трении.

На рис. 1 б приведены закономерности изменения температуры на разных стадиях нагревания (I, II, III) по толщине обода тормозного шкива ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5.

Графические закономерности изменения температуры по толщине тормозного шкива (рис. 1 б, кривые 4-9) на разных стадиях его нагревания полученные экспериментальным путем при спуске колонны бурильных труб весом 962,23 кН на глубину 4108,0 м при скорости ее движения 2,7-8,1 м/с, удельных нагрузках во фрикционных узлах 0,2-0,95 МПа и скорости скольжения поверхностей трения 1,3-4,8 м/с. Температурные градиенты по толщине обода тормозного шкива (см. рис. 1 б) в интервалах его поверхностных температур 200-450°C на первой стадии (I) составили 40-60°C, на второй (II) – 20-30°C, на третьей (III) – 30-50°C.

Изменение величин температурных градиентов по толщине ободов тормозных шкивов ленточно-колодочного тормоза на второй стадии нагревания в интервалах температур 350-400°C составляет, 7,5-12,5°C, что свидетельствует о наличии стабилизационного теплового состояния исследуемых ободов шкивов. На это указывает также на изменение направления тепловотока (q), что, в свою очередь, свидетельствует о высокой интенсивности принудительного охлаждения рабочей поверхности обода тормозного шкива.

Из приведенных графических зависимостей на рис. 2 следует:

- температура обода тормозного шкива в интервале времени от 280 с до 700 с изменилась всего примерно на 40,0 °С; ее рост наблюдался от 280 с до 390 с, а от 390 с до 700 с имело место падение температуры;

- в интервале времени от 280 с до 700 с при температурах (310,0-335,0)°С наблюдалось термостабилизационное состояние обода тормозного шкива [5];

- температура поверхности пары трения все время увеличивалась за счет метастабильного состояния поверхностей фрикционных накладок в приповерхностных слоях которых имели место эндотермические реакции.

Снижение температуры обода шкива от 336,0 °С до 290,0 °С за время от 390 с до 700 с объясняется наличием жидких фракций на поверхностях фрикционных накладок, образовавшихся в результате выгорания связующих компонентов их материалов.

Следовательно, снижение энергонагруженности пар трения ленточно-колодочного тормоза позволит улучшить их износостойкие свойства и работать в регламентированном интервале удельных нагрузок, динамических коэффициентов трения, тормозных моментов и поверхностных температур.

Практическая значимость параметрического синтеза фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза заключается в том, что он позволяет конструктору на стадии проектирования варьировать их конструктивными параметрами.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований параметрический синтез фрикционных узлов дополнен мощностью трения пар трения и термостабилизационным состоянием обода тормозного шкива ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки. Кроме того, параметрический синтез фрикционных узлов тормоза позволяет его спроектировать таким образом, чтобы избежать попаданию обода тормозного шкива в зону термостабилизационного состояния, и как следствие, уменьшить его поверхностные температурные напряжения.

Литература

- 1 Трение изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред. И.В. Крагельского, Э.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – 358 с.
- 2 Вольченко Н.А. Многопарные фрикционные узлы / Н.А. Вольченко. – Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский научн. центр высш. школы, 2005. – 237 с.
- 3 Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
- 4 Трибология / А.И. Вольченко, М.В. Киндрачук, Д.Ю. Журавлев [и др.]. – Киев – Краснодар: Изд-во "Плай", 2015. – 575 с.
- 5 Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок / А.Х. Джанахмедов, Д.А. Вольченко, Д.Ю. Журавлев [и др.]. – Баку: Апострофф, 2016. – 312 с.
- 6 Ленточно-колодочные тормозные устройства: монография (научное издание) в 2 т. Т. 2 / Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, Д.Ю. Журавлев [и др.]. – Краснодар – Иванов-Франковск: Кубанский государствен. технологич. ун-т., 2013. – 441 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
22.05.16*

*Рекомендована до друку
професором **Копєєм Б.В.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-р техн. наук **Ромасевичем Ю.О.**
(Національний університет біоресурсів і
природокористування України, м. Київ)*