

Д. Ю. Журавлев

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА

В материалах статьи проиллюстрировано расчет и проектирование фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза. Обосновано конструкцию и работу серийного ленточно-колодочного тормоза, показана кинематика и динамика спуска колонны бурильных труб с помощью основного и дополнительного тормоза и непосредственно представлена методика проектирование фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, фрикционный узел, буровая лебедка, тормозная лента, фрикционная накладка, спуско-подъемный комплекс

Д. Ю. Журавльов

Ивано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВОГО ГАЛЬМА

У матеріалах статті проілюстровано розрахунок і проектування фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм. Обґрунтовано конструкцію і роботу серійного стрічково-колодкового гальма, показана кінематика і динаміка спуску колони бурильних труб за допомогою основного і додаткового гальма і безпосередньо представлена методика проектування фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм бурової лебідки.

Ключові слова: стрічково-колодкового гальмо, фрикційний вузол, бурова лебідка, гальмівна стрічка, фрикційна накладка, спуско-піднімальний комплекс.

D. Zhuravlov

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
THE CALCULATION AND DESIGN OF UNITS FRICTION BAND-SHOE BRAKES

Features rig only shows its possible performance obtained by calculation in the design process, and the reliability and efficiency of tripping when creating complex installation take to determine its mode of operation. Last largely depends on the operating parameters of the friction shoe assemblies belt brake (main) and a hydrodynamic brake (optional). Hydrodynamic brake tripping complex rig performs the function of the auxiliary brake. In steady motion deflatable portion of the drill string speed varies depending on the filling level of the hydrodynamic brake fluid cavity. To coordinate the work of the hydrodynamic and band-shoe brake winch is necessary that the first brake shaft frequency does not exceed the limit speed winch drum. Value patterns of change in the angular velocity of the pulley belt drum brake allows you to communicate operating parameters with the parameters of its braking mechanical brake system, which ensure efficiency. The process of moving the hook block with round-MAST operations, the drill string is cyclical and consists of individual lifting and lowering cycles of the drill string, the length of multiples of one candle. Design parameters were brake band portion width, the thickness and the angle of wrap, and the portion of the tape strength and degradability. Knowing the angle of wrap brake band brake linings with a pulley rim possible to estimate static and dynamic coefficient overlapping on which depend the main operating parameters of the brake. The design parameters of the brake pulley determined using elements of geometrical theory of programming, taking into account the thermal currents circulating in the body of its rim, and the appearance of cracks on the working surface of the pulley rim due to thermal stress. Illustrated by way of performance evaluation of friction knots band-shoe brakes with subsequent determination of their design parameters.

Keywords: band-shoe brake friction assembly, drawworks, brake band, friction lining, tripping complex.

Состояние проблемы. Характеристики буровой установки показывает только ее возможную производительность, полученную расчетным путем в процессе проектирования, а надежность и работоспособность спуско-подъемного комплекса при создании установки принимают для определенного его режима эксплуатации. Последний в значительной степени зависит от эксплуатационных параметров фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза (основного) и гидродинамического тормоза (дополнительного).

На участке установившегося движения скорость спускаемой колонны бурильных труб изменяется в зависимости от уровня заполнения жидкостью полости гидродинамического тормоза (коэффициент λ_m). Для согласования работы гидродинамического и ленточно-колодочного тормозов лебедки необходимо чтобы частоты вала первого тормоза не превысила предельную частоту вращения барабана лебедки ($n^* \leq n_{np}$), определяемой по формуле [1]:

$$n_{np} = \frac{\frac{M_T}{k_T} - M_{\text{вр}}}{0,1J} - t_T, \quad (1)$$

где M_T - тормозной момент ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки:

$$M_T = \frac{(P_{\text{max}} + G_T)D_{cp}}{2i_{TC}} \eta_{\text{нв}} \eta_{TC}, \quad (2)$$

k_T - коэффициент запаса торможения; $M_{\text{вр}}$ - вращающий момент, создаваемый под действием спускаемого веса; J - приведенный к подъемному валу барабана лебедки момент инерции вращающихся и поступательно движущихся масс; t_T - время торможения; P_{max} - допустимая нагрузка на крюке талевого механизма буровой установки; G_T - вес подвижных частей талевой системы; D_{cp} - средний диаметр навивки каната на барабан лебедки; $\eta_{\text{нв}}$ - КПД подъемного вала лебедки; i_{TC}, η_{TC} - талевая система: передаточное отношение; КПД.

Перейдем к рассмотрению конструкции и работы серийного ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки.

Конструкция и работа серийного ленточно-колодочного тормоза. Остановимся на конструктивных особенностях и работе фрикционных узлов серийного ленточно-колодочного тормоза.

Согласно кинематической схеме (см. рис. 1 а, б) фрикционные накладки 3 установлены на тормозных лентах 2, которые одним концом (со стороны сбегающей ветви (I) ленты) прикреплены к балансиру 11, а вторым (со стороны набегающей ветви ленты) - к мотылевым шейкам 6 и 9 коленчатого вала 10.

Серийные ленточно-колодочные тормоза буровой лебедки работают следующим образом. Перемещением рычага 1 осуществляется поворот коленчатого вала 10 в результате которого бурильщик затягивает тормозные ленты 2 с фрикционными накладками 3 и они садятся на тормозные шкивы 4. Процесс торможения в ленточно-колодочном тормозе (см. рис. 1 а, б) характеризуется следующими стадиями: начальной (первой), промежуточной (второй) и заключительной (третьей). Остановимся на каждой стадии в частности.

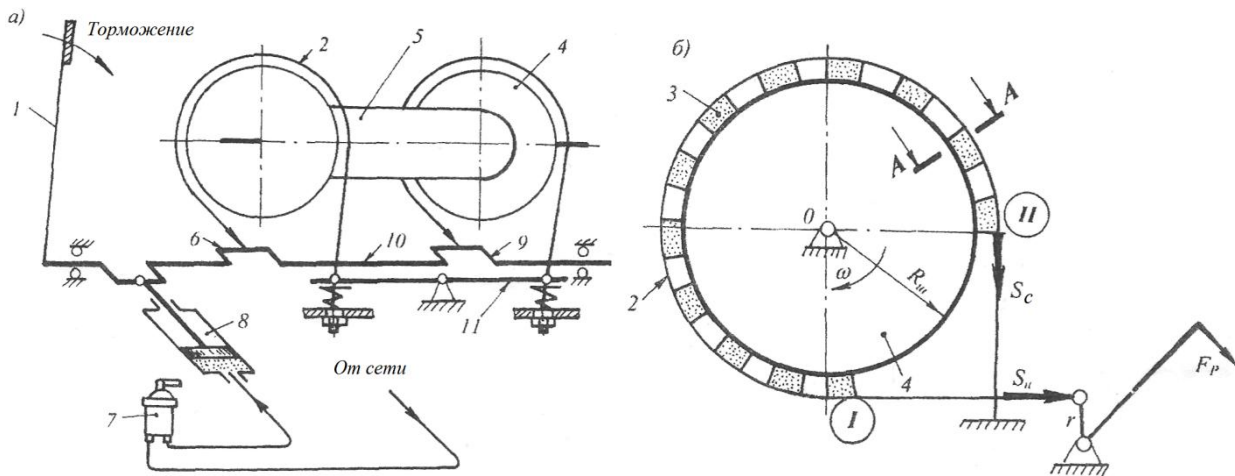


Рис. 1 а, б Кинематические схемы ленточно-колодочных тормозов (а, б) буровой лебедки У2-5-5: 1 - рычаг управления; 2, 4 - тормозные ленты и шкивы; 3 - фрикционные накладки; 5 - барабан; 6, 9, 10 - мотылевые шейки коленчатого вала; 8 - пневматический цилиндр; 11 - баланси́р

В начальной стадии торможения фрикционные накладки 3, размещенные в средней части тормозной ленты 2, взаимодействуют с рабочей поверхностью тормозного шкива 4. Фронт взаимодействий распространяется в сторону фрикционных накладок 3 набегающей ленты (I) тормозной ленты 2.

Промежуточная стадия торможения характеризуется дальнейшим распространением фронта взаимодействия в сторону фрикционных накладок 3 сбегающей ветви (II) тормозной ленты 2.

Конечная стадия торможения характеризуется тем, что почти неподвижные накладки 3

тормозной ленты 2 взаимодействуют с рабочей поверхностью шкива 4, который вращается. Во время притормаживаний последовательность вхождения поверхностей трения в контакт повторяется. Полный цикл торможения завершается остановкой тормозных шкивов 4 с барабаном 5. Остановить тормозные шкивы 4 с барабаном 5 можно также подачей сжатого воздуха через кран 7 бурильщика в пневматический цилиндр 8, шток которого соединен с одной из мотылевых шеек коленчатого вала 10 тормоза. Величину давления сжатого воздуха в пневмоцилиндре 8 регулируют поворотом крана 7 бурильщика.

Кинематика и динамика спуска колонны бурильных труб с помощью основного и дополнительного тормоза. Гидродинамический тормоз в спуско-подъемном комплексе буровой установки выполняет функции вспомогательного тормоза.

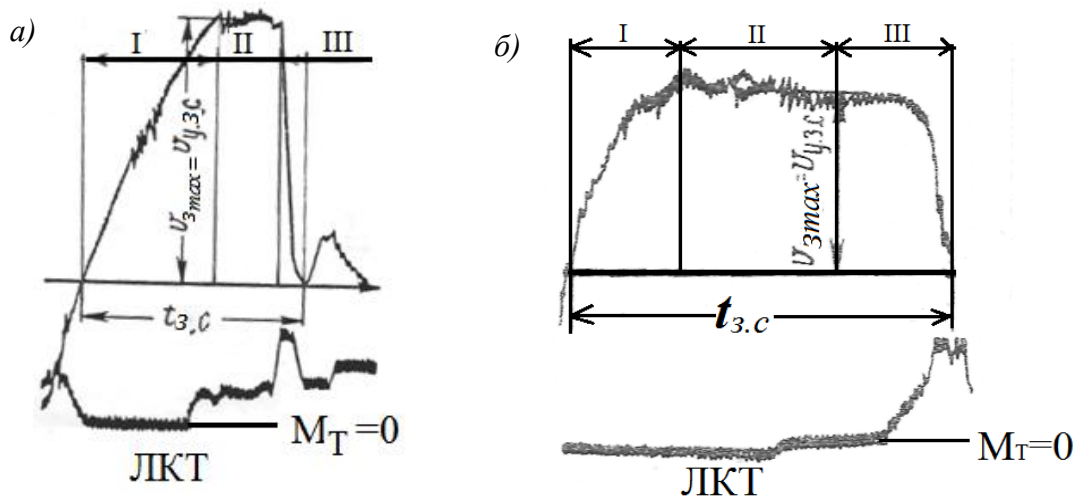


Рис. 2 а, б - Разновидности трапецидальных тахограмм спуска бурильной колонны на длину свечи: ЛКТ - ленточно-колодочный тормоз и развиваемый тормозной момент (M_T)

На практике гидродинамическим тормозом пользуются после спуска первых 20-25 свечей бурильных труб, и при этом реализуется трапецидальная тахограмма, состоящая из трех участков, соответствующих разгону, установившемуся равномерному движению и остановке спускаемой колонны труб с помощью фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки [1].

Приведенный на рис. 2 а режим спуска по трехпериодной (трапецидальной) тахограмме реализуется с помощью ленточно-колодочного тормоза. Однако в этом случае тормоз используется не только для остановки системы, но и для поддержания установившейся скорости движения $v_{y,3,c} = v_{c,max}$.

Трапецидальная тахограмма (рис. 2 б) характеризуется совместным использованием гидродинамического и ленточно-колодочного тормозов, причем последний используется только на участке замедления.

При режиме спуска по трапецидальной тахограмме (рис. 2 а, б) существуют три периода движения элеватора. В 1-й период происходит его разгон с ускорением $a_{p,3,c}$, во второй — движение с постоянной скоростью $v_{y,3,c} = v_{c,max}$, в третий — остановка с замедлением $a_{z,3,c}$. Таким образом, при любом виде тахограммы режим спуска загруженного элеватора определяется максимальной скоростью спуска $v_{c,max}$ и значениями $a_{p,3,c}$ и $a_{z,3,c}$, характеризующими интенсивность разгона и торможения.

Из анализа профиля тахограмм (рис. 2 а, б) следует, что при втором режиме спуска $t_{3,c}$ (продолжительность спуска загруженного элеватора) и $v_{c,max}$, соответственно, намного больше и меньше, чем при первом режиме спуска бурильной колонны на длину свечи.

Перейдем к анализу кинематических и динамических параметров этапов цикла спуска колонны бурильных труб в скважину согласно табл. 1, в которой использованы следующие условные обозначения; K_d - обобщенный коэффициент динамичности колонны бурильных труб, талевой и тормозной системы; $F_{T1,3}$ - импульсная сила трения; $F_{об}$ - движущая сила, которая

вызывает движение колонны бурильных труб в скважине при отсутствии вынужденного торможения; m - масса колонны бурильных труб.

Таблица 1

Кинематические и динамические параметры этапов цикла спуска колонны бурильных труб в скважину

Параметры	Этапы циклов		
	I-ий	II-ой	III-ий
Кинематические: Скорость, ϑ	$\vartheta = a_1 \cdot t_1$ (1)	При $\vartheta = \vartheta_{уст}$; $\vartheta_{уст} = a_1 \cdot t_1$ (2)	$V_{уст} - a_{III} \cdot t$; (3)
Перемещение, X	$X_I = \frac{\vartheta_{уст}^2}{2a_1}$; (4)	$X_{II} = l - \frac{\vartheta_{уст}^2}{2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right)$; (5)	$X_{III} = \frac{\vartheta_{уст}^2}{2a_3}$; (6)
Суммарное время, t	$t_I = \frac{l}{\vartheta_{уст}}$; (7)	$t_{II} = \frac{l}{\vartheta_{уст}} - \frac{\vartheta_{уст}}{2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right)$; (8)	$t_{III} = \frac{\vartheta_{уст}}{a_3}$; (9)
Динамические: Система сил Работа трения	$K_0 F_{T1} = F_{\partial\partial} - ma_1$, При этом $F_{\partial\partial} \geq K_0 F_{T1}$; $a > 0$. (10) $A_1 = K_0 (F_{\partial\partial} - ma_1) \frac{\vartheta_{уст}^2}{2a_1}$; (13)	$K_0 F_{T1} = F_{\partial\partial}$; $a_2 = 0$; (11) $A_2 = K_0 F_{\partial\partial} \left[1 - \frac{\vartheta_{уст}^2}{2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) \right]$; (14)	$K_0 F_{T3} = F_{\partial\partial} - ma_3$ (12) $a_3 < 0$. $A_3 = K_0 (F_{\partial\partial} - ma_3) \frac{\vartheta_{уст}^2}{2a_3}$ (15)

Кинематические параметры этапов цикла спуска колонны бурильных труб в скважину описаны зависимостями (1-9).

На этапе I (этапе разгона) скорость крюкоблока увеличивается от нуля до ее определенного значения установившегося движения $\vartheta_{уст}$ (или 7), $a_1 > 0$.

На этапе II (этап установившегося движения) скорость движения крюкоблока почти не изменяется. Этот этап начинается в момент достижения скорости установившегося движения $\vartheta_{уст}$ и завершается в момент начала торможения колонны. Для этого этапа $a_2 = 0$.

На этапе III (этапе торможения) скорость движения крюкоблока уменьшается от скорости установившегося движения $\vartheta_{уст}$ до нуля. При этом в конце этапа торможения перемещения крюкоблока равно длине свечи l . Ускорение на этом этапе имеет отрицательный знак, $a_3 < 0$. Динамика движения крюкоблока во время спуска колонны бурильных труб описана зависимостями (10-12), а

также работа трения (зависимости 13-15) представлены в табл.1. Существенным при этом является то, что процесс перемещения крюкоблока при спуско-подъемных операциях колонны бурильных труб носит циклический характер и состоит из отдельных циклов спуска и поднимания колонны бурильных труб, кратных длине l одной свечи.

Значение закономерностей изменения угловой скорости шкива ленточно-колодочного тормоза позволяет установить связь эксплуатационных параметров его торможения с параметрами механической системы тормоза, которые обеспечивают его работоспособность [2].

Остановимся на квазилинейном законе снижения скорости тормозного шкива на участке замедления при спуске загруженного элеватора (без учета тормозного момента, который развивает гидродинамический тормоз). При этом эксплуатационные параметры тормозной системы группируем следующим образом.

Первая группа; режим вращения тормозного шкива; время торможения; натяжение ветвей тормозной ленты; закономерности изменения: допустимых удельных нагрузок в парах трения; тормозных моментов в парах трения; коэффициент запаса тормозного момента; закономерности изменения работы трения фрикционных узлов; усилие, которое прикладывается к рычагу управления тормозом; коэффициент полезного действия тормоза.

Вторая группа: коэффициент запаса прочности поперечного сечения тормозной ленты; деформация тормозной ленты; деформация фрикционной накладки; общая деформация элементов тормозной системы.

Третья группа: теплота, температура и их распределение по толщине обода тормозного шкива; интенсивность теплообмена; коэффициент распределения тепловых потоков во фрикционных узлах тормоза; тепловые деформации обода тормозного шкива и фрикционной накладки.

Четвертая группа: износ рабочих поверхностей фрикционных накладок от механического, электрического и теплового фактора.

Перечисленные выше эксплуатационные параметры фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза определены с помощью методов, предложенных в работе [3].

Проектирование фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки.

Фрикционный узел состоит из участка тормозной ленты, полимерной накладке и тормозного шкива.

Конструктивными параметрами участка тормозной ленты были: ширина, толщина и угол обхвата, а также участок ленты оцениваемый на прочность и податливость. Знание угла обхвата тормозной лентой с накладками обода тормозного шкива позволило оценить статический и динамический коэффициент взаимного перекрытия от которых зависят основные эксплуатационные параметры тормоза. Полимерная накладка была подвержена синтезу согласно метода, предложенного И. В. Крагельского, с последующим определением ее конструктивных параметров (ширины, толщины и угла обхвата). Конструктивные параметры тормозного шкива (диаметр, толщина и ширина) определялись с помощью элементов теории геометрического программирования [3] с учетом циркулирующих тепловых токов в теле его обода и возникновению микротрещин на рабочей поверхности обода шкива за счет температурных напряжений.

Выводы. Таким образом, проиллюстрированы пути оценки эксплуатационных параметров фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза с последующим определением их конструктивных параметров.

Литература

1. Винницкий М. М. Рациональное управление спуско-подъемными операциями / М. М. Винницкий. - М.: Недра, 1978. - 252 с.
2. Ленточно-колодочные тормозные устройства / Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, Д.Ю. Журавлев [и др.]; Кубанский государственный технологический университет. - Краснодар - Ивано-Франковск: Изд-во Прикарпатского нац. ун-та им. В. Стефаника, 2013. - 441 с.
3. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок / А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко, Д. Ю. Журавлев [и др.] - Стандарт. - Баку: "Апострофф", 2016. - 312 с.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2016