

УДК 621.891

С. И. КРИШТОПА

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина***ПОДАТЛИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ФРИКЦИОННЫХ
УЗЛОВ И ИХ СТЫКОВ ПРИ КОНТАКТНО-ИМПУЛЬСНОМ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАРАХ ТРЕНИЯ
ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ**

(часть III)

В материалах статьи показаны: особенности конструкций прямых и обратных пар трения ленточно-колодочного тормоза, податливость их элементов и ее влияние на статический и динамический коэффициенты взаимного перекрытия металлополимерных пар трения.

Ключевые слова: *металлополимерные пары трения, податливость, тормозные устройства, напряженно-деформированное состояние.*

Введение. Во второй части статьи были освещены вопросы, касающиеся сил трения, возникающих в металлополимерных прямых и обратных парах трения, а также формируемые при этом удельные нагрузки. Однако в развитие вышеприведенных вопросов необходимо остановиться на конструкциях прямых и обратных пар трения ленточно-колодочного тормоза, податливость их элементов и ее влияние на статический и динамический коэффициенты взаимного перекрытия металлополимерных пар трения.

Состояние проблемы. Под действием растягивающих усилий на концах набегающей и сбегающей ветви ленты формируются нормальные усилия, способствующие тому, что микровыступы металлического фрикционного элемента разрушают микровыступы поверхностей полимерных накладок до тех пор, пока первые не износятся (начальная стадия торможения). В дальнейшем микровыступы внутренней поверхности тормозной ленты не имеют опорных поверхностей, что способствует увеличению общей зоны взаимодействия и, как следствие, увеличивается коэффициент взаимного перекрытия пар трения. Для определения последнего необходимо знать особенности конструкции многопарных фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза.

Особенности конструкции многопарных фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов. Особенно удачной конструкцией является ленточно-колодочный тормоз с новыми фрикционными узлами, в которых полимерные накладки установлены на рабочую поверхность тормозного шкива.

На рис. 1, а схематически показан нетрадиционный ленточно-колодочный тормоз буровой лебедки с подпружиненными фрикционными накладками, смонтированными на тормозном шкиве.

Использованы следующие обозначения: ω – угловая скорость вращения шкива; $R_{ш}$ – радиус рабочей поверхности шкива; S_H, S_C – натяжение набегающей (I) и сбегающей (II) ветвей тормозной ленты; F_p – усилие, прикладываемое к рычагу управления тормозом.

На рис. 1, в проиллюстрированы варианты конструкций фрикционных узлов тормоза буровой лебедки: с подпружиненными (правый) и свободно установленными на рабочей поверхности тормозного шкива (левый) фрикционными накладками.

Ленточно-колодочный тормоз буровой лебедки с подвижными накладками, которые устанавливаются на тормозном шкиве, выполняются двух типов.

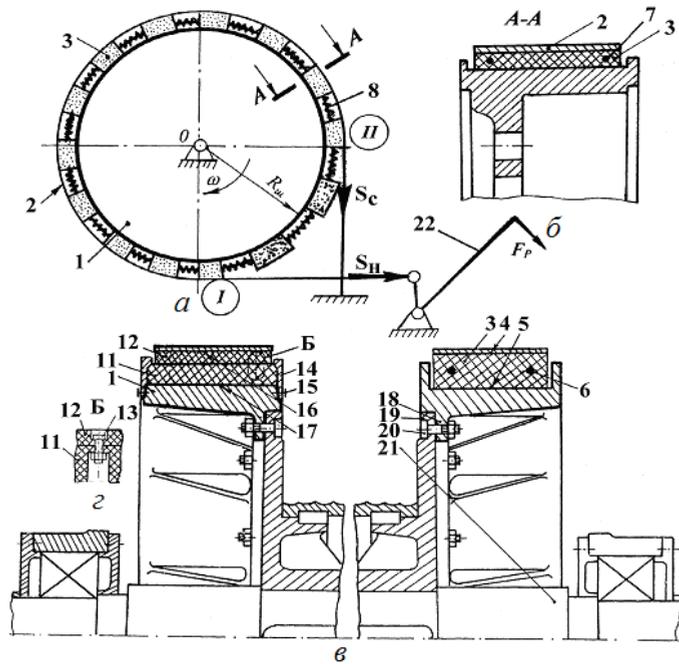


Рис. 1. Схема многопарного ленточно-колодочного тормоза (а); поперечное сечение фрикционного узла (б); варианты конструкции фрикционных узлов тормоза буровой лебедки (в); крепление к основной накладке дополнительной (г): 1, 9 – тормозной шкив с рабочей поверхностью; 2, 10 – тормозная лента с рабочей поверхностью; 3, 4, 5, 6 – фрикционная накладка с наружной и внутренней рабочей поверхностями и со сквозными отверстиями; 7 – кольцевые стержни; 8 – цилиндрические пружины; 11, 12, 16, 17 – основная, дополнительная накладки и их рабочие поверхности; 13, 15 – соединительные винты; 14 – съемные реборды; 18 – прилив шкива; 19 – фланец барабана; 20 – болтовое соединение; 21 – подъемный вал

Согласно первого варианта тормоз состоит из шкива 1, на рабочей поверхности 9 которого установлены серийные накладки 3. В последних по длине выполнены отверстия б, через которые они посажены на кольцевые стержни 7 с некоторым наперед заданным натягом. Накладки 3 между собой соединены цилиндрическими пружинами 8. Концы кольцевых стержней 7 соединены муфтами (на рис. 1, а не показано). Накладки 3 совместно с кольцевыми стержнями 7 и пружинами 8 образуют бандаж, который в разомкнутом тормозе вращается вместе со шкивом 1.

В нетрадиционном тормозе имеются внешние и внутренние пары трения. Внешние пары трения образуются при взаимодействии внутренней (рабочей) поверхности 10 тормозной ленты 2 с внешними поверхностями 4 накладок 3, а внутренние пары трения – при взаимодействии внутренних поверхностей 5 накладок 3 с рабочей поверхностью 9 тормозного шкива 1.

Во втором варианте тормоз состоит из шкива 1, к которому болтами 15 прикреплены специальные реборды. Последние с внутренней стороны имеют выступ с фаской. Такая же фаска имеется и на дополнительной фрикционной накладке 12, которая установлена на основной накладке 11. Между собой основная 11 и дополнительная 12 фрикционные накладки соединены винтами 13. Общая высота

основной 11 и дополнительной 12 накладок составляет 45,0 мм, что в 1,5 превышает толщину серийной накладки (материал ФК-24А).

Фрикционный узел тормоза имеет такие рабочие поверхности: 9 – шкива, 16 и 17 – дополнительной и основной накладок. С рабочей поверхностью 16 дополнительной накладки 12 взаимодействует внутренняя поверхность 10 тормозной ленты 2. Прилив 18 шкива 1 болтами 20 крепится к фланцу барабана 19. Тормозной шкив 1 смонтирован на подъемном вале 21 буровой лебедки. Управление тормозом осуществляется рычагом 22.

Внешние пары трения работают при взаимодействии внутренней (рабочей) поверхности 10 тормозной ленты 2 с рабочими поверхностями 16 дополнительных накладок 12, а внутренние – при взаимодействии рабочих поверхностей 17 основных накладок 11 с рабочей поверхностью 9 тормозного шкива 1. Нетрадиционный тормоз работает следующим образом. При прикладывании усилия к рычагу управления 22 происходит затягивание тормозными лентами 2 серийных накладок 3 (первый конструктивный вариант) и соединенных между собой накладками 11 и 12 (второй конструктивный вариант). При этом осуществляется взаимодействие внутренних поверхностей 10 тормозных лент 2 с внешними поверхностями 4 накладок 3 (первый вариант) и с рабочими поверхностями 16 дополнительных накладок 12 (второй вариант). Установлено, что ширина накладок 3 должна быть обратно пропорциональной к жесткости соединительных пружин 8, установленных между ними. При дальнейшем увеличении усилия затягивания тормозной ленты 2 работа внешних фрикционных узлов прекращается, поскольку силы трения на их рабочих поверхностях достигают такой величины, при которой накладки становятся неподвижными относительно ленты 2. В этот момент начинают работать внутренние фрикционные узлы тормоза, в которых трение происходит между внутренней поверхностью неподвижных накладок и рабочей поверхностью тормозного шкива, который вращается замедленно.

Соблюдение основного условия работоспособности, когда динамический коэффициент трения во внешних фрикционных узлах превышает этот параметр во внутренних фрикционных узлах [4] нетрадиционного тормоза с подпружиненными накладками, которые имеют одинаковые площади внешних и внутренних рабочих поверхностей, обеспечивает эффективную работу тормоза на стадиях:

- начальной, когда происходит взаимодействие внешних пар трения продолжительностью (t_n), при этом сила трения в них меньше силы трения во внутренних фрикционных узлах;
- заключительной, продолжительностью (t_3), когда работу трения выполняют внутренние фрикционные узлы и при этом сила трения во внешних фрикционных узлах является большей, чем во внутренних.

Эффективная работа ленточно-колодочного тормоза с подвижными накладками, площадь внешней поверхности которых является меньшей площади внутренней поверхности, происходит при условии, что удельные нагрузки во внутренних фрикционных узлах являются большими, а динамический коэффициент трения меньшим, чем во внешних парах трения. Соблюдение этого условия обеспечивает эффективную работу тормоза на стадиях:

- начальной (первой) продолжительностью (t_n), когда работу трения выполняют внешние фрикционные узлы;
- заключительной продолжительностью (t_3), когда работают внутренние фрикционные узлы.

Более детально материал по динамической и тепловой нагруженности многопарных фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза изложен в работах [1; 4].

Стабилизация термомеханических свойств внутренних пар трения многопарного ленточно-колодочного тормоза, в частности, внутренней рабочей поверхности фрикционных накладок марки ФК-24А, достигается как при их постоянном взаимодействии с нагретой поверхностью обода шкива, так и при кратковременной высокой температурной обработке, т.е. «термоимпульсного удара». Настоящая технологическая операция позволила стабилизировать показатель тормозной эффективности за счет предварительной приработки накладок и дополнительной термостабилизации их материалов. Последние процессы связаны с термостимулированной поляризацией и деполяризацией поверхностей полимерных накладок. Выполнение операции «термоимпульсный удар» с различной мощностью потенциалов за все время взаимодействия рабочих поверхностей полимерных накладок с рабочей поверхностью тормозного шкива оказывает существенное влияние на перераспределение их энергетических уровней. Кроме того, взаимодействие указанных поверхностей будет способствовать большему динамическому коэффициенту взаимного перекрытия многопарных ленточно-колодочных тормозов.

Таким образом, применение ленточно-колодочного тормоза с подвижными фрикционными накладками по сравнению с серийными узлами трения позволяет:

- использовать два узла трения с металлическими фрикционными элементами различной жесткости [«внутренняя поверхность тормозной ленты – внешние поверхности фрикционных накладок (обратная пара трения)» и «внутренние поверхности фрикционных накладок – рабочая поверхность тормозного шкива (прямая пара трения)»], что существенно снижает сопутствующие динамические соотношения нагруженности фрикционных узлов тормоза;

- изменять режимы торможения, что позволит выровнять до искомого уровня удельные нагрузки за счет времени взаимодействия внешних и внутренних пар трения тормоза;

- в процессе торможения, а также перед началом торможения изменять положение подвижных накладок относительно рабочей поверхности тормозной ленты, что способствует равномерному износу поверхностей взаимодействия, а также их термической импульсной обработке;

- интенсифицировать вынужденное охлаждение рабочих поверхностей шкива и фрикционных накладок за счет их вращения вместе со шкивом;

- наличие двух фрикционных узлов и их конструктивные особенности в тормозе облегчает реализацию принудительного охлаждения (термоэлектрического, магнитного, «тепловой трубы» и других видов), что позволяет существенно интенсифицировать отвод теплоты от внешних и внутренних пар трения.

Податливость элементов конструкций фрикционных узлов. Наиболее податливыми элементами во фрикционных узлах ленточно-колодочного тормоза являются полимерная фрикционная накладка и тормозная лента. Последняя может быть выполнена составной, состоящей из i -го количества тормозных лент. При этом накладки могут крепиться к тормозной ленте различными способами, о чем свидетельствуют рис. 2.

Остановимся на одном из способов крепления накладок к тормозной ленте. На рис. 3, а, б приведена конструкция и работа дополнительного крепления фрикционной накладки с помощью упругих пластин к тормозной ленте [4]. Фрагмент фрикционного узла тормоза (рис. 3, а) содержит тормозной шкив 1, тормозную ленту 2 с прорезями и фрикционную накладку 3 с усиками 4 (основное крепление).

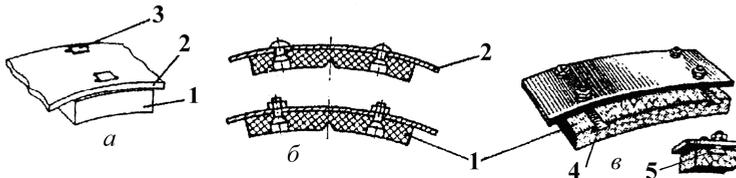


Рис. 2. Схемы различных типов креплений фрикционных накладок к тормозной ленте: *а* – усиками; *б* – заклепками и болтами; *в* – соединением «ласточкин хвост»; 1 – фрикционная накладка; 2 – тормозная лента; 3 – усики стальной планки; 4 – паз в накладке; 5 – вставка типа «ласточкин хвост»

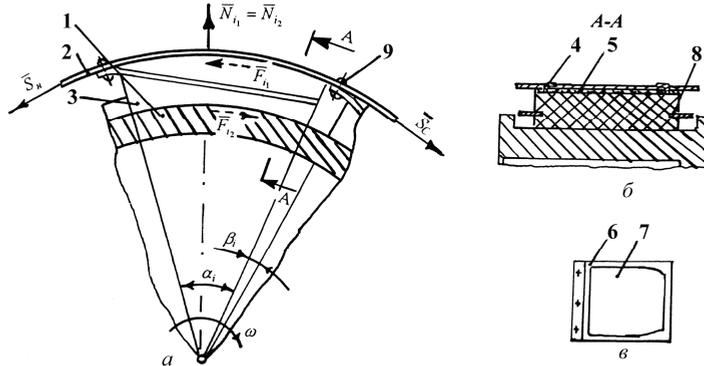


Рис. 3. Фрикционный узел тормоза с расчетной схемой (*а*), поперечное сечение узла трения (*б*), упругая пластина с окном (*в*) при дополнительном креплении накладок к тормозной ленте: 1 – тормозной шкив; 2 – тормозная лента; 3, 4, 8 – фрикционная накладка с крепежными усиками и пазами; 5 – термостойкая антифрикционная прокладка; 6, 7 – упругая пластина с окном; 9 – заклепки

Между внутренней поверхностью тормозной ленты 2 и внешней поверхностью накладки 9 установлена термостойкая антифрикционная прокладка 5. Упругая пластина 6 выполнена с окном 7, а фрикционная накладка 3 – с пазами 8, находящимися на расстоянии от ее рабочей поверхности, которое равно величине допустимого износа. Накладка 3 установлена в окне 7 с помощью упругой пластины 6, которая расположена к ней под углом и прикреплена жестко к тормозной ленте 2 посредством заклепок 9 со стороны набегающей поверхности накладки 3. В то же время упругая пластина 6 в пазах 8 накладки 3 направлена в сторону сбегающей ветви ленты 2.

На рис. 4 приведена расчетная схема ленточно-колодочного тормоза с углом обхвата (более 360°) тормозной ленты со сплошной фрикционной накладкой тормозного шкива.

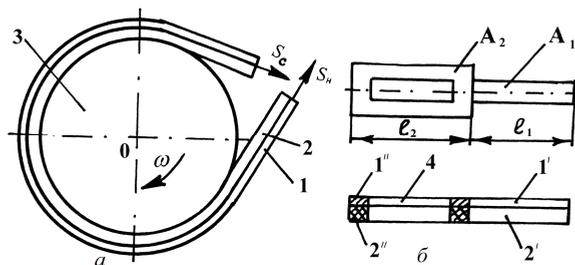


Рис. 4. Схема ленточно-колодочного тормоза с углом обхвата (более 360°) тормозной ленты со сплошной фрикционной накладкой тормозного шкива (*а*) и развертка ленты с накладкой (*б*): 1, 3 – тормозная лента и шкив; 2 – фрикционная накладка; 4 – прорезь в ленте с накладкой

В таблице приведены расчетные зависимости для определения деформации тормозных лент с различными конструктивными особенностями. При получении зависимостей (1–3) принималось, что растягивающие усилия, приложенные к концам тормозной ленты прямо пропорциональны деформациям участков, на которые она разбита. В случае рассмотрения ветвей ленты, то здесь деформации каждой из ветвей в отдельности пропорциональны усилиям, которые приложены к их концам. Расчетные возможности зависимостей (1–3) будут оценены в четвертой части статьи по данной проблеме.

Таблица

Деформации тормозных лент с различными конструктивными особенностями

Соединение накладок с лентой	Расчетные зависимости
«Ласточкиным хвостом» с болтами и заклепками	$\Delta l = S_C \left[\frac{1}{f} (e^{f\alpha} - 1) (e^{f\alpha} + e^{2f\alpha} + e^{f\alpha(n-1)} + \dots + e^{(n-1)f\alpha}) \times \frac{R_0 R_0'}{E_1 A_1 R_0' + E_2 A_2 R_0} + e^{f\alpha} (\beta_1 + e^{f\alpha} \beta_2 + \dots + e^{(n-2)f\alpha} \beta_{n-1}) + \frac{1}{2R_0} (l_C + l_H e^{nf\alpha}) \right]; \quad (1)$
Дополнительно упругими пластинами	$\Delta l = \sum_{i=1}^n \frac{S_i' R_0}{E A f_1} (e^{f_1 \alpha} - 1) + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{S_{i+1}' R_0 \beta}{E A} + \frac{S_C l_C}{2 E A} + \frac{S_H l_H}{2 E A}; \quad (2)$
Применение одной сплошной накладки	$\Delta l = S_C \left[\frac{1}{f} \frac{(e^{f\alpha} - 1) E_1 A' (E_1 A_1'' R_0' + E_2 A_2' R_0)}{(E_1 A_1'' + E_2 A_2') (E_1 A' + E_2 A_2')} + \frac{l_C}{E_1 A_1} + \frac{l_H e^{f\alpha}}{E_1 A_1''} \right]. \quad (3)$

В зависимостях (1–3) использованы следующие обозначения: α_i – центральный угол i -ой накладке i -ой тормозной ленты; β_i – угол между i -ой и $i+1$ накладками i -ой тормозной ленты; n_i – количество фрикционных накладок, которые расположенные на i -ой тормозной ленте; l_{C_i} , l_{H_i} – длина, соответственно, сбегающей и набегающей ветви i -ой тормозной ленты; S_{C_i} – усилия натяжения сбегающей ветви i -ой тормозной ленты; R_0 , R_0' – радиусы тормозной ленты и накладки; A_1 , A_2 – площади поперечных сечений ленты и накладки.

Особый интерес представляет определение усилия в i -ой тормозной ленте многорядного узла трения ленточно-колодочного тормоза, а также ее жесткости. Для получения зависимостей наиболее удобных для использования при расчетах в формуле (1) обозначим

$$\frac{R_0}{E_1 A_1} \left[\frac{1}{f} \left(e^{f\alpha_i} + e^{2f\alpha_i} + e^{f\alpha_i(n-1)} \beta_i e^{f\alpha_i} + \dots + \frac{1}{2R_0} (l_{C_i} + l_{H_i} e^{n_i f\alpha_i}) \right) \right] = C_i. \quad (4)$$

если с рычага управления на тормозную ленту передается усилие S , то

$$S = \sum_{i=1}^k S_{ci} . \quad (5)$$

По конструктивным особенностям фрикционного узла тормоза удлинение лент равны $\Delta l_1 = \Delta l_2 = \dots = \Delta l_i = \dots = \Delta l_k$.

Учитывая соблюдение равенств между участками тормозной ленты записываем

$$S_1 C_1 = S_2 C_2 = \dots = S_i C_i = \dots = S_k C_k . \quad (6)$$

Из равенства (6) находим

$$S_{ci} = \frac{S_k C_k}{C_i} . \quad (7)$$

С учетом (7), зависимость (5) приобретает вид

$$\begin{aligned} S &= S_{c1} C_1 + S_{c2} C_2 + \dots + S_i C_i + \dots + S_k C_k = \\ &= \frac{S_{ck} C_k}{C_1} + \frac{S_{ck} C_k}{C_2} + \dots + \frac{S_{ck} C_k}{C_i} + \dots + \frac{S_{ck} C_k}{C_k} = \\ &= S_{ck} C_k \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_i} + \dots + \frac{1}{C_k} \right) . \end{aligned}$$

$$\text{Тогда } S_{ck} = \frac{S}{C_k \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_i} + \dots + \frac{1}{C_k} \right)} = \frac{S}{C_k \sum_{i=1}^k \frac{1}{C_i}} ,$$

так как $S_i = \frac{S_{ck} C_k}{C_i}$, можно записать

$$S_i = \frac{S}{C_i \sum_{i=1}^k \frac{1}{C_i}} , \quad (8)$$

где C_i – коэффициент жесткости i -ой тормозной ленты, который рассчитывается по зависимости (4).

Из анализа формулы (8) видно, что усилия, действующие на ленту, зависят не только от жесткости ленты, но и от положения накладок на шкиве по отношению к ленте, а также и от их количества. Поскольку, в отличие от серийного тормоза, нагрузка от рычага управления делится на k -лент, то поперечное сечение каждой ленты, которое определено из условия прочности, меньше. Каждая лента получается более гибкой, что способствует более равномерному распределению удельных нагрузок между внешними и внутренними парами фрикционных узлов тормоза. Распределение усилий в тормозной ленте многорядных узлов трения существенно влияет на закономерности формирования удельных нагрузок в их внешних и внутренних парах трения.

Влияние податливости металлополимерных пар трения на их коэффициент взаимного перекрытия. В процессе разработки новых типов многорядных и многорядных фрикционных узлов существенную роль играет выбор величин коэффициентов взаимного перекрытия внешних и внутренних пар трения. Так, при взаимодействии внутренней поверхности тормозной ленты с наружны-

ми поверхностями фрикционных накладок, посаженных с натягом на рабочую поверхность тормозного шкива, происходит их взаимодействие следующим образом. Микровыступы рабочей поверхности ленты разрушают микровыступы фрикционных накладок и по мере увеличения нормального усилия глубина борозд увеличивается, что в конечном итоге приводит к достижению максимального значения коэффициентом взаимного перекрытия во внешних парах трения по завершении первой стадии торможения. После чего он остается постоянным даже при дальнейшем увеличении силы затягивания тормозной лентой. Это обстоятельство свидетельствует о том, что в сформировавшейся зоне контактного взаимодействия, происходит квазивывравнивание удельных нагрузок на непродолжительный промежуток времени. На третьей стадии торможения происходит взаимодействие внутренних поверхностей квазинеподежных накладок с рабочей поверхностью тормозного шкива, который вращается. При этом коэффициент взаимного перекрытия увеличивается до тех пор, пока не произойдет срыв натяга между внутренней поверхностью последней накладки бандажа и рабочей поверхностью шкива. Задачи о срыве натяга между указанными поверхностями, который может происходить одновременно для всех накладок и постоянно от первой до последней накладки, успешно решены в работах [1; 4]. При посадке с натягом бандажа фрикционных накладок происходит совместное разрушение опорных поверхностей микровыступов пар трения «полимер-металл», и как следствие, происходит увеличение их зоны контактирования. В дальнейшем коэффициент взаимного перекрытия во внутренних фрикционных узлах остается постоянным до завершения третьей стадии торможения. В связи с тем, что фрикционные узлы тормоза с подвижными накладками работают поочередно (сначала внешними, потом внутренними) для четкого разграничения стадий торможения лучше ввести понятия статического и динамического коэффициентов взаимного перекрытия.

С учетом вышеизложенного на первой стадии торможения динамический коэффициент взаимного перекрытия внешних пар трения (рис. 5, а, прямая 1 а) является величиной переменной во времени, при этом статический коэффициент взаимного перекрытия внутренних пар трения (см. рис. 5, левая часть прямой 2 з) – постоянный.

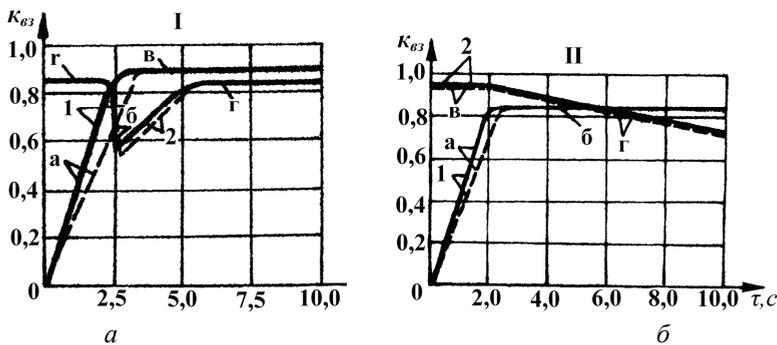


Рис. 5. Зависимость динамического (а, з) и статического (б, в) коэффициентов взаимного перекрытия внешних (1) и внутренних (2) пар трения фрикционных узлов с подпружиненными (I) и неподпружиненными (II) накладками в модельном тормозе на различных стадиях торможения

На третьей стадии торможения статический коэффициент взаимного перекрытия внешних пар трения (см. рис. 5, а, прямая 1 в) является величиной постоянной во времени, а динамический коэффициент взаимного перекрытия внутрен-

них пар трения после срыва натяга между ними увеличивается (см. рис. 5, а, прямая 2 б) и к концу торможения переходит в статический (см. рис. 5, а, прямая 2 з). Штриховыми линиями на рис. 5, а показаны возможные изменения статических и динамических коэффициентов взаимного перекрытия внешних и внутренних пар трения, которые вызваны амплитудой и частотой вынужденных колебаний электрических и тепловых параметров пар трения тормозов.

Следует заметить, что на заключительной (третьей) стадии торможения работа трения внутренних фрикционных узлов тормозов эквивалентна работе трения серийного ленточно-колодочного тормоза, в котором отсутствует первая и вторая стадии торможения.

Из обобщенного закона трения следует, что увеличение площади контакта, при той же величине удельной нагрузки, ведет к увеличению динамического коэффициента трения. Реальным средством увеличения фактической площади контакта является обеспечение максимально полного взаимного прилегания сопряженных поверхностей путем образования общей поверхности трения, составленной с элементарных участков контактов, нагруженных независимо один от другого. Такая конструкция во всех случаях приводит к увеличению фактической площади контакта. Доказано, что две поверхности, которые нагружены нормальными силами N , имеют фактическую площадь контакта большую, нежели удвоенная за площадью поверхность, нагруженная силой $2N$.

Перейдем к анализу графической зависимости, приведенной на рис. 5, б. Поскольку динамический коэффициент трения во внутренних парах трения больше, чем во внешних, то бандаж из накладок будет вращаться вместе со шкивом с той же угловой скоростью. При взаимодействии внешних поверхностей накладок, которые вращаются с внутренней поверхностью неподвижной тормозной ленты, динамический коэффициент взаимного перекрытия внешнего фрикционного узла тормоза все время увеличивается и достигает своего максимального значения в конце первой (начальной) стадии торможения.

В начале первой стадии торможения сила трения во внешних фрикционных узлах становится большей, чем во внутренних, вследствие чего фрикционные накладки относительно тормозной ленты становятся неподвижными. Динамический коэффициент взаимного перекрытия внутренних фрикционных узлов (см. рис. 5, линия 1 з) изменяется во времени. На рис. 5, б штриховыми линиями проиллюстрированы изменения статических и динамических коэффициентов взаимного перекрытия внешних и внутренних пар трения во времени на начальной и заключительной стадии торможения.

Выводы. Таким образом, на макроуровне оценена податливость тормозной ленты и тела полимерной накладки и показано их влияние на статический и динамический коэффициент взаимного перекрытия многопарных фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза.

Список литературы

1. Вольченко Н.А. Динамика многопарных фрикционных узлов/ Н.А. Вольченко. – Ростов: Северо-Кавказск. научн. центр высш. школы, 2005. – 238 с.
2. Джанахмедов А.Х. Трибологические проблемы в нефтегазовом оборудовании/ А.Х. Джанахмедов. – Баку: Элм, 1998. – 216 с.
3. Вольченко Н.А. Моделирование закономерностей изменения удельных нагрузок в парах трения тормозов буровой лебедки/Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, С.И. Кришто-

па, А.В. Возный//Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку. – 2012. – № 3(4). – С. 46–60.

4. Ленточно-колодочные тормоза/[Е.И. Крыжановский, А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко и др.]. Монография (научн. изд.). в 2-х томах. Том 2. Ивано-Франковск. национал. техн. ун-т нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2007. – 215 с.– на укр. яз.

Статья поступила в редакцию 05.08.2013

C. I. КРИШТОПА

**ПІДДАТЛИВІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ ТА ЇХ
З'ЄДНАНЬ ЗА КОНТАКТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ВЗАЄМОДІЇ
В МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ ПАРАХ ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ**

У матеріалах статті показані сили тертя, що виникають в металлополімерних прямих і зворотних парах тертя, і сформовані при цьому питомі навантаження.

Ключові слова: металополімерні пари тертя, піддатливість, гальмівні пристарої, напружено-деформований стан.

S. I. KRYSHTOPA

**CREEP OF FRICTION UNITS ELEMENTS AND THEIR CONTACTS AT
CONDITIONS OF PULSE-CONTACT INTERACTION AT METAL-POLIMER
FRICTION PAIRS OF BRAKE DEVICES**

Friction forces arising up in the polymer friction direct and reverse pairs and formed here specific loadings are shown in materials of the article.

Key words: metal-polymer friction units, brake devices, stressed-deformed state.

Криштопа Святослав Ігорович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри нафтогазового технологічного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.