

УДК 621-891

М. В. КИНДРАЧУК¹, Д. А. ВОЛЬЧЕНКО², В. С. СКРЫПНИК², И. О. БЕКИШ²,
В. С. ЧУФУС²

¹Национальный авиационный университет, Украина

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТИ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ БУРОВЫХ ЛЕБЕДОК

Рассмотрен вопрос принудительного охлаждения, рабочей поверхности обода шкива ленточно-колодочного тормоза путем использования «тепловых трубок». Рассмотрены особенности элементов фрикционных узлов и методы снижения их энергонагруженности. Описаны принцип работы и эффект «тепловых трубок» и его последствие во фрикционных узлах тормозных устройств. Приведены и описаны две конструкции ленточно-колодочного тормоза с устройством и системой принудительного охлаждения рабочей поверхности обода шкива.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, обод шкива, фрикционный узел, энергонагруженность, принудительное охлаждение, эффект «тепловых трубок», теплопередача

Введение. Увеличить коэффициент теплоотдачи, как от металлических, так и от неметаллических элементов трения ленточно-колодочного тормоза можно путем образования развитой поверхности теплообмена (применение оребрения или дефлекторов шкива, выполнение в виде ребер заборников воздуха и т.д.), а также размещением в деталях тормоза турбулизаторов, которые могут быть выполнены в виде отверстия в реборде или системы отверстий и каналов в шкиве. Расположение сильфонов над тормозной лентой, взаимодействующих с ребордой шкива и соединенных с отверстиями в тормозной ленте и во фрикционной накладке, или конфузоров, диффузоров, вихревых трубок в парах «шкив-накладка» или «накладка-участок ленты» также интенсифицирует охлаждение фрикционного узла. Перечисленные конструктивные решения направлены на изменение термодинамических параметров воздуха, циркулирующего между рабочими деталями тормоза и, как следствие, на повышение эффективности естественного охлаждения.

Однако естественное охлаждение пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок не в состоянии обеспечить в процессе спуска колонны буровых труб в скважину температурный режим ниже допустимого для материалов фрикционной накладки, и поэтому перейдем к рассмотрению охлаждения принудительным путем.

Состояние проблемы. Наиболее эффективным принудительным охлаждением является эффект «тепловой трубы», который был реализован в барабанно-колодочных тормозах транспортных средств [1; 2]. Однако в барабанно-колодочных тормозах выполнялись герметичные камеры в их элементах между наружной и внутренней поверхностями обода тормозного барабана и его боковыми стенками; нерабочей поверхностью фрикционных накладок и основанием тормозной колодки; телом фрикционной накладки на глубине ее допустимого износа, цилиндрической частью основания, двумя внутренними радиальными ребрами колодки и установленной между ними поперечной стенкой. При разработке камер для эффекта «тепловой трубы» в ленточно-колодочном тормозе буровой лебедки со строительным объемом проблема является разрешимой.

Постановка задачі. В даній публікації розглянуті наступні питання застосовно до розв'язуваної проблеми:

- ефект «теплової трубки» і його наслідки в фрикційних вузлах тормозних пристроїв;
- ленточно-колодочний тормоз з пристроєм для примусового охолодження;
- ленточно-колодочний тормоз з системою примусового охолодження.

Ціль роботи. Розробка конструкцій камер під нерабочою поверхнею обода тормозного шків, працюючих на ефекті «теплової трубки» для зниження енергонапруженості пар тертя ленточно-колодочного тормоза.

Ефект «теплової трубки» і його наслідки в фрикційних вузлах тормозних пристроїв. Для зниження енергонапруженості тормозних шківів бурових лебедок їх необхідно примусово охолодити. На рис. 1 проілюстровані особливості конструкцій елементів фрикційних вузлів і методи зниження їх енергонапруженості в ленточно-колодочних тормозах бурових лебедок. Зупинимося на ефекті «теплової трубки» [3, 4].

К різновидностям жидкостного охолодження відносяться випарувально-конденсаційні системи, за принципом яких працюють різного роду теплообмінники, в тому числі і теплові труби. Останні представляють собою герметичне пристрій (в формі корпусу 1, рис. 2), працююче за замкнутим циклом для передачі теплового потоку (q) з допомогою теплоносія при малих перепадах температури між зонами випарування (2) і конденсації (3) (частина теплової труби, в якій під дією підведеної і відведеної теплоти відбувається, відповідно, процеси кипіння, випарування і конденсації теплоносія).

Принцип роботи теплової труби оснований на тому, що теплоносіть, випаруваясь на одному її кінці, поглинає теплоту, а потім, конденсуючись на іншому кінці, віддає її. Як теплоносіть використовується вода, аміак, метиловий спирт, рідкий метал і др. Внутрішня поверхня труби 4 вкрита капілярною структурою 5, т. є. фитилем, і частково заповнена теплоносіть, що дозволяє вакуумувати залишений її об'єм. Наявність капілярної структури 5 в теплової трубці забезпечує циркуляцію теплоносія по її артеріям (каналам, на рис. 2 не показані) в різних фазах під дією капілярних сил або сили тяжесті. Між зонами випарування 2 і конденсації 3 труби знаходиться транспортна зона 6. Крім того, внутрішня порожнина труби має паровий канал 7, по якому пар переміщується від випарувальної зони 2 к конденсаційній 3 за рахунок різниці його тисків.

Ефективність роботи теплової труби в значній мірі залежить від її орієнтації, т. є. положення відносно поля масових сил. Під полем масових сил розуміється гравітаційне, електричне, магнітне і акустичне поле, центробіжні сили і т. д. При цьому розрізняють позитивну (+ φ) і негативну (– φ) орієнтації теплової труби, при яких переміщення теплоносія від конденсаційної зони к випарувальної відбувається, відповідно, з зменшенням або збільшенням його потенціальної енергії.

Теплові труби бувають наступних видів: криогенні, низько- і середнетемпературного діапазону, високотемпературні (температура пари змінюється від 200 до 750 К), регульовані (з змінним термічним опором), газорегульовані (стабілізація температури частини корпусу труби здійснюється при використанні неконденсуючого газу), діодні (працюють при передачі теплового потоку тільки в одному напрямку) і др., при цьому можливі їх різноманітні

разные сочетания. Например, при термоэлектрическом охлаждении тепловые трубы служат радиаторами на холодных спаях термоэлементов батарей.



Рис. 1. Особенности элементов фрикционных узлов и методы снижения их энергонагруженности в ленточно-колодочных тормозах буровых лебедок

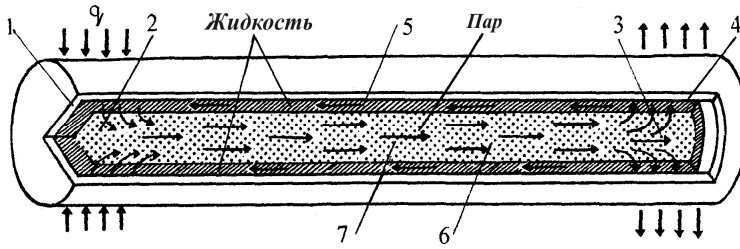


Рис. 2. Конструктивные элементы тепловой трубы: 1 – корпус; 2, 3, 6 – зоны: испарения, конденсации и транспорта; 4 – внутренняя поверхность; 5 – капиллярная структура; 7 – паровой канал

Рассмотрим процессы, происходящие в тепловой трубе. Жидкость в испарителе трубы должна быть перегрета из-за кривизны поверхности раздела «жидкость–пар» в порах фитиля, а также температурного напора. Когда перегрев достигает критической величины, начинается процесс кипения жидкости. В конденсаторе тепловой трубы пар перегрет по отношению к жидкости, находящейся в порах. Таким образом, рабочим телом в тепловой трубе является пар с капельками жидкости, как в испарителе, так и в конденсаторе.

Наличие в любой тепловой трубе фаз «жидкость–пар» накладывает ограничения на ее теплонагруженность посредством температур тройной (T_{mp}) и критической ($T_{кр}$) точек. Предпочтение отдается режиму работы теплоносителя вблизи критической точки, так как кривая зависимости давления пара от температуры является пологой, и перепад давления вызывает незначительное изменение термодинамических параметров пара. Согласно уравнению Клапейрона-Клаузиуса на границе раздела «жидкость–пар» внутри тепловой трубы возможно фазовое равновесие $f(p, T)=0$. В зависимости от тепловой нагрузки и рабочей температуры режим движения пара может быть ламинарным или турбулентным, а пар – сжимаемым или несжимаемым.

Закономерности процессов, происходящих в тепловой трубе, удобно изучать на их классических конструкциях, испытанных в лабораторных условиях.

Термокинетические и термодинамические процессы жидкости и пара в классических тепловых трубах осуществляются благодаря взаимодействию пара с жидкостью, подаче пара из испарителя в конденсатор и возврате жидкости из конденсатора в испаритель.

Целесообразно применять во фрикционных узлах низкотемпературные тепловые трубы ($200\text{ K} < t < 550\text{ K}$), для которых обычно критерий Био $Bi \leq 1$. В таких конструкциях поверхность тепловой трубы на участках испарения и конденсации принимается изотермической. При $Bi > 1$ неизотермичность поверхности негативно влияет на процесс переноса теплоты. При этом необходимо иметь ввиду, что эффект тепловой трубки успешно используется для снижения энергонагруженности горячих спаев при термоэлектрическом охлаждении в парах трения тормозных устройств.

Ленточно-колодочный тормоз с устройством для принудительного охлаждения. Строительный объем со стороны нерабочей поверхности обода тормозного шкива позволяет разместить в нем герметичные камеры для реализации эффекта «тепловой трубы».

На рис. 3 показан ленточно-колодочный тормоз с устройством для принудительного охлаждения: *a* – общий вид тормоза; *б* – продольный разрез тормоза по А-А; *в* – вид Б на узлы тепловой трубы [5].

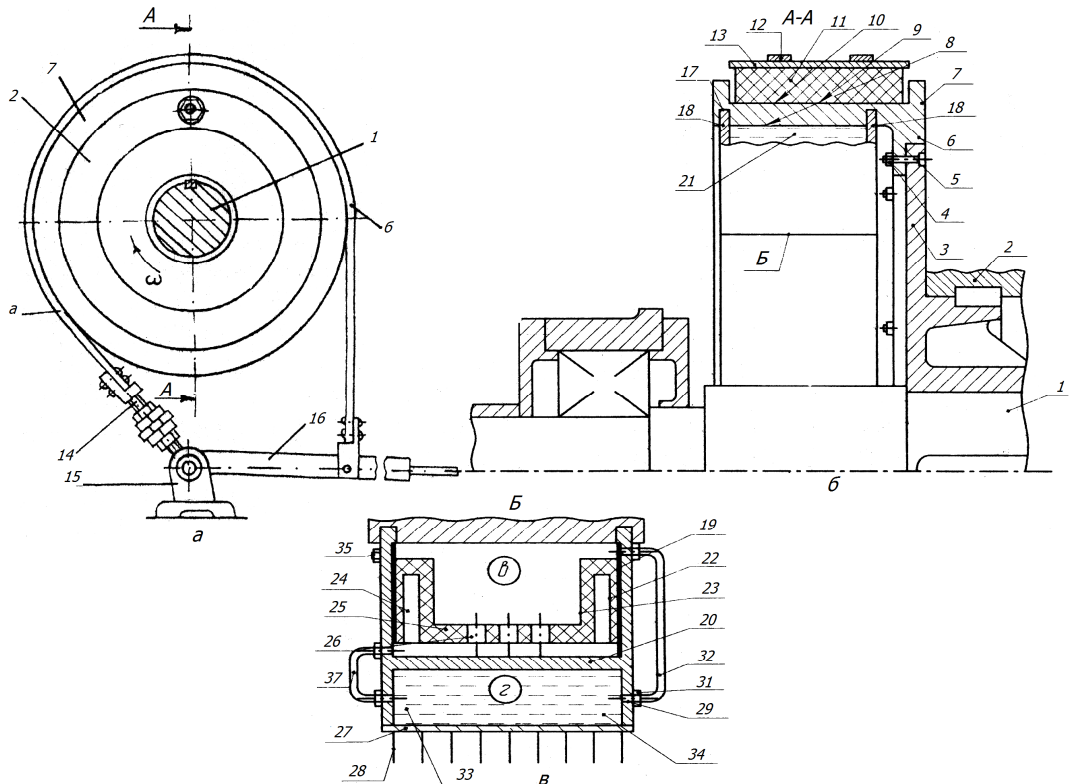


Рис. 3. Ленточно-колодочный тормоз с устройством для принудительного охлаждения: *a* – общий вид тормоза; *б* – продольный разрез тормоза по А-А; *в* – вид Б на узлы тепловой трубы: 1 – подъемный вал; 2, 3 – канатный барабан с фланцем; 4 – болтовое соединение; 5, 7, 8 и 9 – выступ, реборды, рабочая и нерабочая поверхности обода тормозного шкива (6); 10, 11, 12 – полимерная накладка с рабочей поверхностью и с крепежными усиками; 13 – тормозная лента с набегающей (*a*) и сбегающей (*б*) ветвью; 14 – резьбовая стяжка; 15 – опора; 16 – рычаг управления; 17 – продольные пазы на нерабочей поверхности обода шкива; 18, 19 – боковые стенки с капиллярно-пористой структурой; 20 – кольцевая стенка; 21, 22, 23, 25 – первая кольцевая камера с изделием (капиллярно-пористой структурой) с вертикальными и горизонтальными составляющими; 24 – несквозные пароотводящие каналы; 26 – конденсатоотводящие сквозные отверстия; 27, 8 – вторая кольцевая камера с оребрением; 29, 30 – сквозные отверстия с резьбой; 31, 32, 33 – штуцера паропроводов и конденсатопроводов; 34 – теплоноситель; 35 – обратный клапан

Ленточно-колодочный тормоз с устройством охлаждения состоит из подъемного вала 1 барабана 2, фланец 3 которого крепится с помощью болтового соединения 4 к выступу 5 тормозного шкива 6. Последний имеет реборды 7 и рабочую 8 и нерабочую 9 поверхности. Рабочая поверхность 8 шкива 6 в процессе торможения фрикционно взаимодействует с рабочими поверхностями 10 полимерных накладок 11, прикрепленных с помощью усиков 12 к тормозной ленте 13 имеющей набегающую (*a*) и сбегающую (*б*) ветви. Набегающая ветвь (*a*) лен-

ты 13 с помощью резьбовой стяжки 14 крепится к опоре 15, а ее сбегаящая ветвь (б) к рычагу 16 управления тормозом.

Устройство для охлаждения тормоза расположено на нерабочей поверхности 9 обода тормозного шкива б, в котором с его торца свободного края и на 2/3 длины обода в сторону защемления выполнены продольные пазы 17 по периметру. В продольные пазы 17 обода шкива б посажены с натягом боковые стенки 18, на которых внутренние поверхности покрыты капиллярно-пористой структурой 19. Боковые стенки 18 и кольцевая стенка 20 образуют первую кольцевую камеру 21. При этом стенки 18 и 20 имеют одинаковую толщину. В первой кольцевой камере 21 находится кольцевое изделие 22, являющееся капиллярной структурой, полученной методом безусадочного спекания двух компонентного капиллярно-пористого порошкового материала и имеющее в поперечном сечении перевернутую П-образную форму. Кольцевое изделие 22 имеет вертикальные составляющие 23, в которых выполнены несквозные пароотводящие каналы 24, а в горизонтальной составляющей 25 – конденсатоотводящие сквозные отверстия 26. Кольцевое изделие 22 имеет возможность вертикального перемещения в первой кольцевой камере 21 и таким образом взаимодействует с капиллярно-пористой структурой 19 боковых стенок 18. Вторая кольцевая камера 27, в которой верхняя кольцевая стенка 20 является общей для кольцевых камер 21 и 27. Нижняя кольцевая стенка выполнена тоньше по сравнению с другими стенками второй кольцевой камеры 27, и на ней расположены ребра 28. В боковых стенках камер 21 и 27 выполнены сквозные отверстия 29 и 30, на которых нарезана резьба (на рис. 3 не показана). И отверстия 29 и 30 завинчиваются штуцера 31 с прокладками (на рис. 3 не показана), соответственно, паропроводов 32 и конденсатоотводов 33.

Однако для того чтобы первая 21 и вторая 27 камеры стали зонами испарения (в) и конденсации (г) тепловой трубы их необходимо заполнить теплоносителем 34, а 1/3 объема первой камеры 21 вакуумировать. Технологически операции выполняются следующим образом, перед сборкой устройства охлаждения через сквозные отверстия с резьбой 30 заливают жидкий теплоноситель 34 (например, 25-ти% раствор аммиака) во весь объем второй полости камеры 27 и к полость первой камеры 21 до уровня отвечающего нижней кромки отверстия с резьбой (на рис. 3 не показана), в которое устанавливается обратный клапан 35, через который устройство охлаждения вакуумируется. Объем полостей первой 21 и второй 27 кольцевых камер, соединяемых паропроводами 32 и конденсатопроводами 33 зависит от энергонагруженности пар трения ленточно-колодочную тормоза.

Таким образом, первая кольцевая камера 21 с размещенным в ней изделием 22 и вторая кольцевая камера 27 являются, соответственно, зонами испарения (в) и конденсации (г) тепловой трубы и с соединяющими их звеньями, т.е. паропроводами 32 и конденсатопроводами 33. При этом одной из поверхностей зоны испарения (в) является «условно-открытая» горячая поверхность тепловой трубы, т.е. нерабочая поверхность 9 тормозного шкива б.

Ленточно-колодочный тормоз с устройством охлаждения работает следующим образом. При нажатии на рычаг 16 управления тормозом происходит затягивание тормозной ленты 13 и рабочие поверхности 10 полимерных накладок 11 взаимодействуют с рабочей поверхностью 8 тормозного шкива б, что способствует генерированию теплоты на их поверхностях. При этом значительная

часть теплоты поглощается ободом шкива 6, который является аккумулятором тепловой энергии. Теплоноситель 34, находящийся в первой кольцевой камере 21 под действием центробежных сил омывает нерабочую поверхность 9 шкива 6, являющийся зоной испарения (ϵ) «условно-открытой» горячей поверхностью тепловой трубы, при этом теплоноситель нагревается и испаряется. Сконденсированный теплоноситель 34 движется по капиллярным структурам 19 внутренних поверхностей боковых стенок 18 и по вертикальным составляющим кольцевого изделия 22, при этом часть парообразного теплоносителя 34 подается по пароотводному каналу 24 к кольцевой стенке 20 первой камеры 21. В то же время часть парообразного теплоносителя 34 по паропроводу 32, который намного длиннее конденсатопровода 33 движется в зону конденсации (ζ) второй кольцевой камеры 27. При этом большая часть парообразного теплоносителя 34 в нижней части паропровода 32 в сконденсированном состоянии попадает в зону конденсации (ζ) второй кольцевой камеры 27. Вращение вокруг оси обода тормозного шкива 6 обуславливает появление центробежного ускорения, одна из составляющих сил которого заставляет сконденсировавшийся теплоноситель 34 возвращаться из зоны конденсации (ζ) в зону испарения (ϵ). Кроме того, за счет центробежных ускорений поверхность раздела жидкой и парообразной фаз становится гладкой и устойчивой.

Однако управляющее воздействие в данном типе тепловой трубы с подвижным кольцевым изделием 22, являющегося своего рода поршнем в первой кольцевой камере 21, зависит на сколько его высокотеплопроводная капиллярно-пористая структура перекроет противоположные кольцевые поверхности зоны испарения (ϵ). Так при «прилипании» торцов вертикальных составляющих 23 кольцевого изделия 22 интенсифицируются процессы парообразования теплоносителя 34. В другом случае при «прилипании» торца горизонтального составляющего 25 кольцевого изделия 22 к общей горизонтальной кольцевой стенке 20 зон испарения (ϵ) и конденсации (ζ) интенсифицируются процессы конденсации теплоносителя 34. Более того, двигаясь вниз кольцевое изделие 22 будет соскабливать конденсат из капиллярной структуры 19 внутренних поверхностей боковых стенок 18 и насыщать им свои боковые поверхности вертикальных составляющих 23.

Неравномерно замедленный режим вращения обода шкива 6 при резком торможении вызывает колебания теплоносителя в первой 21 и во второй 27 кольцевых камерах, что при противоточном движении потоков пара и жидкости вызывают срыв капель и капиллярных структур 19 с внутренних поверхностей боковых стенок 18 и кольцевого изделия 22 и их перенос в зону конденсации (ζ). Для устранения этого эффекта в первой кольцевой камере 21 имеется в кольцевом изделии 22 горизонтальная составляющая 25, которая выполняет функции гасителя жидкого теплоносителя 34, благодаря ее вертикальному перемещению под действием центробежных сил при вращении обода шкива 6. Сквозные отверстия 26 позволяют связывать жидкость и пар друг с другом.

Интенсифицируется эффект «тепловой трубы» за счет кондуктивного и вынужденного естественного теплообмена. Отвод теплоты от тела тормозного шкива 6 осуществляется по следующей схеме: «боковые стенки 18 – кольцевая стенка 20 (первая кольцевая камера 21)» – «вторая кольцевая камера 27» – «нижняя кольцевая стенка камеры 27» – «ребра 28». При этом выполнение кольцевой стенки тонкой способствует стоку теплоты, и как следствие, ее подводу к ребрам 28 и от их развитых поверхностей отводу к скоростным токам омывающего воздуха. Основной

движущей силой в тепловой трубе является градиент температуры и давления, возникающий за счет изменения термодинамического состояния теплоносителя.

Ленточно-колодочный тормоз с системой принудительного охлаждения. Для повышения эффективности охлаждения камер, работающих по принципу «тепловой трубы», в их конструкции введены дополнительные устройства «диффузор-конфузор» для интенсификации подачи жидкого теплоносителя в зону испарения, т.е. на нерабочую поверхность обода тормозного шкива.

На рис. 4 проиллюстрирован ленточно-колодочный тормоз с системой принудительного охлаждения: *a* – общий вид тормоза; *б* – продольный разрез тормоза по А-А; *в*, *г* – виды Б и В на впускной и выпускной клапана; *д* – продольный разрез вертикальной трубки переменного сечения по ее длине [6].

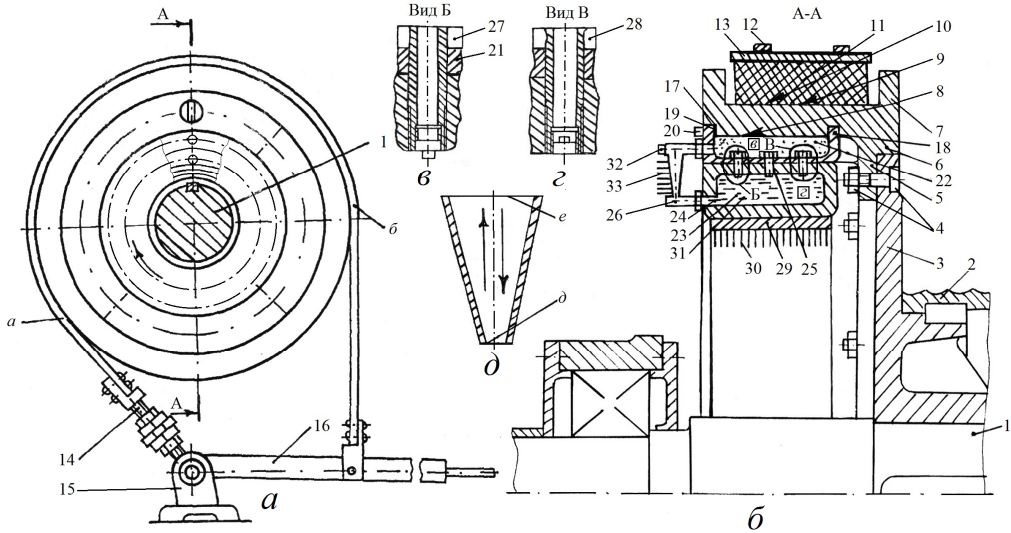


Рис. 4. Ленточно-колодочный тормоз с системой принудительного охлаждения: *a* – общий вид тормоза; *б* – продольный разрез тормоза по А-А; *в*, *г* – виды Б и В на впускной и выпускной клапана; *д* – продольный разрез вертикальной трубки переменного сечения по ее длине: 1 – подъемный вал; 2, 3 – канатный барабан с фланцем; 4, 20 – болтовое соединение и винты; 5, 7, 8 и 9 – выступ, реборды, рабочая и нерабочая поверхности обода тормозного шкива (6); 10, 11, 12 – полимерная накладка с рабочей поверхностью и с крепежными усиками; 13 – тормозная лента с набегающей (*a*) и сбегающей (*б*) ветвью; 14 – резьбовая стяжка; 15 – опора; 16 – рычаг управления; 17 – продольные пазы на нерабочей поверхности обода шкива; 18, 21, 22, 23 – боковые и горизонтальные стенки, образующие верхнюю и нижнюю кольцевые камеры; 19 – теплостойкая прокладка; 24, 25 – отверстия с резьбой в стенках камер; 26, 33 трубки трубопровода с оребрением; 27, 28 впускные и выпускные клапана; 29, 30 – цилиндрическое кольцо с оребрением; 31 – теплоноситель; 32 – обратный клапан

Ленточно-колодочный тормоз с системой охлаждения состоит из подъемного вала 1, барабана 2, фланец 3 которого крепится с помощью болтового соединения 4 к выступу 5 тормозного шкива 6. Последний имеет реборды 7 и рабочую 8 и нерабочую 9 поверхности. Рабочая поверхность 8 шкива в процессе торможения фрикционно взаимодействует с рабочими поверхностями 10 полимерных накладок 11, прикрепленных с помощью усиков 12 к тормозной ленте 13, имеющей набегающую (*a*) и сбегающую (*б*) ветви. Набегающая ветвь (*a*) ленты 13 с помощью резьбовой стяжки 14 крепится к опоре 15, а ее сбегающая ветвь (*б*) к рычагу 16 управления тормозом.

Система охлаждения тормоза расположена на нерабочей поверхности 9 обода тормозного шкива 6, в котором с его торца свободного края и на 2/3 длины обода в сторону заземления выполнены продольные пазы 17 по периметру. В продольные пазы 17 установлены боковые стенки 18, одна из которой крепится через теплоустойчивую прокладку 19 винтами 20 к телу обода шкива 6, а вторая посажена с натягом в паз 17. Боковые стенки 18 и горизонтальная стенка 21 образуют верхнюю кольцевую камеру 22. При этом стенки 18 и 21 имеют различную толщину. Нижняя кольцевая камера 23 имеет стенки одинаковой толщины. В вертикальной и горизонтальной плоскости в стенках камер 22 и 23 выполнены сквозные отверстия 24 и 25, на которых нарезана резьба (на фиг. 2 не показана). В отверстия 24 завинчиваются цилиндрические трубки трубопровода 26, имеющего также вертикальную трубку переменного сечения по ее длине с двойной функцией в направлении: нижней камеры 23 – диффузора (δ); верхней камеры 22 – конфузора (ϵ). В отверстия 24 устанавливаются впускные 27 и выпускные 28 клапаны, выполненные с резьбой, что и позволяет соединить между собой горизонтальные стенки верхней 22 и нижней 23 камер. После установки системы охлаждения в строительный объем шкива 6 она поджимается со стороны наружной поверхности горизонтальной стенки нижней камеры 23 посредством теплопроводного цилиндрического кольца 29 с оребрением 30.

Однако для того чтобы верхняя 22 и нижняя 23 камеры стали зонами испарения (ϵ) и конденсации (δ) тепловой трубы их необходимо заполнить теплоносителем 31, а 1/3 объема верхней камеры 22 вакуумировать. Технологически операции выполняются следующим образом. Перед сборкой системы охлаждения через сквозные отверстия с резьбой 24 заливают жидкий теплоноситель 31 (например 25-ти % раствор аммиака) во весь объем нижней полости камеры 23 после чего завинчивают в отверстия 25 впускные 27 и выпускные 28 клапаны. Затем заливают жидкий теплоноситель 31 через сквозное отверстие с резьбой 24 такого количества, чтобы при вращающемся шкиве 6 уровень теплоносителя 31 был ниже кромки отверстий с резьбой 24. В дальнейшем систему охлаждения герметизируют и вакуумируют с помощью обратного клапана 30, смонтированного в утолщенный торец трубки трубопровода 26 верхней камеры 22.

Объем полостей 22 и нижней 23 кольцевой камеры, соединяемых трубопроводом 6, зависит от энергонагруженности пар трения ленточно-колодочного тормоза. При этом расположение вертикальных трубок переменного сечения по их длине трубопровода 26 может быть установлено равное количество типа «конфузор (ϵ) – диффузор (δ)» и «диффузор (δ) – конфузор (ϵ)» при соединении кольцевых камер 22 и 23 в связи с тем, что шкив 6 вращается и изменяет положение трубопровода 26, а вместе с ним и вертикальных трубок.

Таким образом, верхняя 22 и нижняя 23 камеры являются, соответственно, зонами испарения (ϵ) и конденсации (δ) тепловой трубы с соединяющими их звеньями, т.е. трубопровода 26 и впускными 27 и выпускными 28 клапанами. При этом одной из поверхностей зоны испарения (ϵ) является «условно-открытая» горячая поверхность тепловой трубы, т.е. нерабочая поверхность 9 тормозного шкива 6.

Ленточно-колодочный тормоз с системой охлаждения работает следующим образом. При нажатии на рычаг 16 управления тормозом происходит затягивание тормозной ленты 13 и рабочие поверхности 10 полимерных наладок 11 взаимодействуют с рабочей поверхностью 8 тормозного шкива 6, что способствует

генерированию теплоты на их поверхностях. При этом значительная часть теплоты поглощается шкивом 6, который является аккумулятором тепловой энергии. Теплоноситель 31, находящийся в верхней кольцевой камере 22 под действием центробежных сил омывает нерабочую поверхность 9 шкива 6, являющейся зоной испарения (ϵ) «условно-открытой» горячей поверхности тепловой трубы, при этом теплоноситель нагревается и испаряется.

В дальнейшем за счет создаваемого перепада градиентов давления между зоной испарения (ϵ) и зоной конденсации (ζ) теплоноситель 31 через выпускные клапаны 28 попадает в нижнюю кольцевую камеру 23, где конденсируется. Подпитка жидким теплоносителем 31 из нижней кольцевой камеры 23 [зоны конденсации (ζ)] осуществляется посредством трубопровода 26, состоящего из системы трубок различного диаметра, расположенных в горизонтальной и вертикальной плоскости, в верхнюю кольцевую камеру 22 [зоны испарения (ϵ)]. Интенсифицируется подача жидкого теплоносителя 31 в том случае за счет эффекта «диффузор (δ) – конфузор (e)» трубок, расположенных в вертикальной плоскости трубопровода 26, из-за перепада градиента давления между различными фазовыми состояниями теплоносителя 31. Обратный эффект «конфузора (e) – диффузора (δ)» трубопровода 26 наблюдается в том случае, если создаваемый перепад градиентов давления между зоной испарения (ϵ) и зоной конденсации (ζ) будет минимальным и уровень жидкого теплоносителя в верхней 22 и нижней 23 кольцевых камер будет почти одинаковым. В том случае, если градиент давления жидкообразного теплоносителя 31 в зоне конденсации (ζ) нижней кольцевой камеры 23 мгновенно увеличится при условии, что в трубопроводе 26 будет жидкостная пробка срабатывают впускные клапаны 27, увеличивая тем самым количество теплоносителя 31 в верхней кольцевой камере 22. Таким образом, транспорт теплоносителя 31 в различных фазовых состояниях из зоны испарения (ϵ) верхней кольцевой камеры 22 в зону конденсации (ζ) нижней кольцевой камеры 23 и наоборот осуществляется помощью трубопровода 26 и впускных 27 и выпускных 28 клапанов. Эффект «тепловой трубы» способствует отводу теплоты от нерабочей поверхности 9 тормозного шкива 6 теплоносителем 31, который ее омывает в различных фазовых состояниях.

Интенсифицируется эффект «тепловой трубы» за счет кондуктивного и вынужденного естественного теплообмена. Отвод теплоты от тела тормозного шкива 6 осуществляется по следующей схеме «боковые стенки 18 – горизонтальная стенка 21 (верхняя кольцевая камера 22)» – «нижняя кольцевая камера 23 – теплопроводное цилиндрическое кольцо 29». При этом выполнение стенок 18 и 21 различной толщины способствует стоку теплоты от первых ко второй стенкам и частично ускоряет нагревание жидкого теплоносителя в верхней кольцевой камере 22.

Выполнение оребрения 33 на вертикальной трубке трубопровода 26 способствует интенсификации вынужденного охлаждения теплоносителя 31 при его циркуляции между объемами кольцевых камер верхнего 22 и нижнего 23 расположения и наоборот.

Наличие на теплопроводном цилиндрическом кольце 29 ребер 30, являющихся развитой поверхностью теплообмена, взаимодействующей со скоростными токами омывающей среды при вращении тормозного шкива 6, способствует отводу теплоты, в конечном итоге, от пар трения ленточно-колодочного тормоза при их замкнутом и разомкнутом состоянии.

Выводы. Таким образом, за счет эффекта «тепловой трубы» достигнуто принудительное охлаждение тормозного шкива с привлечением дополнительных процессов кондуктивного и вынужденного охлаждения. При этом удачно использовано строительный объем под нерабочей поверхностью обода тормозного шкива для размещения герметизированных камер.

Список литературы

1. Вольченко Д. А. Охлаждение фрикционных узлов: эффект тепловой трубы (часть первая) / Д.А. Вольченко, Г.П. Рыбин, Н.А. Вольченко // Приводная техника. – 1997. - №6. – С. 29-31.
2. Охлаждение фрикционных узлов: эффект тепловой трубы (часть вторая) / А.А. Петрик, Г.П. Рыбин, Н.А. Вольченко и др. – Приводная техника. – 1998. - №2. – С. 34-35.
3. ГОСТ 230733-78. Трубы тепловые. Термины, определение и буквенные обозначения. – М.: Стандарты, 1978. – 7с.
4. Ивановский М.Н. Физические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодкин. – М.: Атомиздат, 1976. – 256с.
5. Патент 2585364 С1 РФ F16D 65/813, F16D 49/08. Устройство и способ снижения температурных градиентов в ленточно-колодочном тормозе / Красин П.С., Вольченко Н.А., Вольченко Д.А., Вольченко А.И., Журавлев Д.Ю.; заявитель и патентообладатель Кубанск. государств. технолог. ун-т. - №2015122690/11; заявл. 11.06.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. №15. – 10с.
6. Патент 2585505 С1 РФ F16D 65/813, F16D 49/08. Система охлаждения пар трения ленточно-колодочного тормоза / Красин П.С., Вольченко Н.А., Скрыпник В.С., Журавлев Д.Ю., Малык В.Я.; заявитель и патентообладатель Кубанск. государств. технолог. ун-т. - №2015122693/11; заявл. 11.06.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. №15. – 12с.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2016

М. В. КИДРАЧУК, Д. О. ВОЛЬЧЕНКО, В. С. СКРИПНИК, І. О. БЕКИШ, В. С. ЧУФУС

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНОСТІ ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

Розглянуто питання примусового охолодження, робочої поверхні обода шкива стрічково-колодкового гальма шляхом використання «теплових трубок». Розглянуто особливості елементів фрикційних вузлів і методи зниження їх енергонавантажності. Описано принцип роботи і ефект «теплових трубок» і його наслідок у фрикційних вузлах гальмівних пристроїв. Наведено і описані дві конструкції стрічково-колодкового гальма з пристроєм і системою примусового охолодження робочої поверхні обода шкива.

Ключові слова: стрічково-колодкового гальма, обід шкива, фрикційний вузол, енергонавантажність, примусове охолодження, ефект «теплових трубок», теплопередача.

М. V. KINDRACHUK, D. A. VOLCHENKO, V. S. SKRYPNYK, I. O. BEKISH, V. S. CHUFUS

THE REDUCING OF ENERGYLOADING OF FRICTION UNITS OF BAND-BLOCK BRAKES OF DRAW-WORKS

To increase the heat transfer coefficient from metallic and non-metallic elements of the friction of band-block brakes we can use a developed heat exchange surface. However, the natural cooling of the friction pairs of band-block brakes of draw-works is not able to provide the temperature regime below the allowable temperature for friction pads materials during the descent of the drill string in the well. So we have to use additional devices under the work surface of frictional interaction.

We've raised the question of forced cooling of the working surface of the rim of the pulley of band-block brakes by using "heat pipes". The features elements of friction components and methods for reducing their energyloading have been considered. We've described the work and the effect of "heat pipes" and its consequence in the friction units of braking devices. We've shown and described two designs of band-block brake device and system of forced cooling of the working surface of the rim of the pulley.

Objective of this article is development of cameras under working surface of rim of pulley working on the effect of "heat pipes" to reduce energyloading of friction pairs of band-block brakes.

Keywords: band-block brake, rim of pulley, friction units, energyloading, forced cooling, effect of "heat pipes", heat Transfer.

Киндрачук Мирослав Васильевич – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедры машиноведения, Аэрокосмический институт, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058, тел.: +38 04440 6 74 10, E-mail: nau12@ukr.net.

Вольченко Дмитрий Александрович – доктор техн. наук, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, E-mail: vol21@ukr.net.

Скрыпник Василий Степанович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института нефтегазовой энергетики и экологии, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 03422 4 51 14, факс: +38 03422 4 00 89

Бекиш Ирина Орестовна – канд техн. наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск Украина, 76019, тел.: +38 03427 2 47 19, E-mail: ikg@nung.edu.ua

Чуфус Василий Михайлович – аспирант кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47, E-mail: mechmach@nung.edu.ua.