

Техніка і технології

УДК 629.113

ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА С ОХЛАЖДЕНИЕМ ТИПА «ТЕПЛОВАЯ ТРУБА»

Д.А. Вольченко

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

Розглядаються конструкції пристроїв і систем для примусового охолодження пар тертя барабанно-стрічково-колодкових гальм, що працюють на ефекті теплової труби. Наведено принцип роботи гальмівних пристроїв. Використання двоступінчастого стрічково-колодкового гальма в буровій лебідці дає змогу істотно поліпшити не тільки динаміку гальмування, але й зносо-фрикційні характеристики зворотних пар тертя першого ступеня гальма за рахунок інтенсивного охолодження. Розглянуто стадії гальмування двоступінчастим стрічково-колодковим гальмом. Розглянуто роботу двоступінчастих гальм в різних гальмівних режимах

Ключові слова: стрічково-колодкове гальмо, барабанно-колодкове гальмо, бурова лебідка, робочі поверхні шківів, фрикційна накладка

Рассматриваются конструкции устройств и систем для принудительного охлаждения пар трения барабанно- и ленточно-колодочных тормозов, работающие на эффекте тепловой трубы. Наведено принцип работы тормозных устройств. Использование двухступенчатого ленточно-колодочного тормоза в буровой лебедке позволяет существенно улучшить не только динамику торможения, но и износо-фрикционные характеристики обратных пар трения первой ступени тормоза за счет интенсивного охлаждения. Рассмотрены стадии торможения двухступенчатым ленточно-колодочным тормозом. Рассматривается работа двухступенчатых тормозов в разных тормозных режимах

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, барабанно-колодочный тормоз, буровая лебедка, рабочие поверхности шкивов, фрикционная накладка

The constructions of devices and systems are examined for the forced cooling of pairs of friction drum- and band-shoe brakes that work on the effect of thermal pipe. Principle over of work of brake devices is brought. The use of two-stage band-shoe brake in a boring winch assists the substantial improvement of not only braking dynamics but also wear-friction descriptions of reverse pairs of friction of the first degrees of brake due to their intensive cooling. The stages of braking a two-stage band-shoe brake are considered. Work of two-stage brakes is considered in a different brake.

Keywords: band-shoe brake, drum-shoe brake, drilling winch, working surfaces pulleys, frictional unit

Принудительное охлаждение пар трения тормозных устройств подъемно-транспортного оборудования, дорожных и строительных машин, а также транспортных средств направлено на их работу в диапазоне поверхностных температур ниже допустимой для материалов накладки. Это позволит эксплуатировать пары трения тормозных устройств с улучшенными износо-фрикционными свойствами из-за непопадания материала накладок в зону термодеструкционных превращений. Особо эффективным охлаждением пар трения тормозных устройств является снижение теплонагруженности на эффекте тепловой трубы, относящейся к жидкостному охлаждению.

К разновидностям жидкостного охлаждения относятся испарительно-конденсационные системы, по принципу которых работают различного рода теплообменники, в том числе и тепловые трубы. Последние представляют собой герметичное устройство (в виде корпуса 1, рис. 1), работающее по замкнутому циклу для передачи теплового потока (q) с помощью теплоносителя при малых перепадах температуры между зонами испарения 2 и конденсации 3 (части тепловой трубы, в которых под воздействием подводимой и отводимой теплоты протекают, соответственно, процессы кипения, испарения и конденсации теплоносителя). Принцип работы тепловой трубы основан на

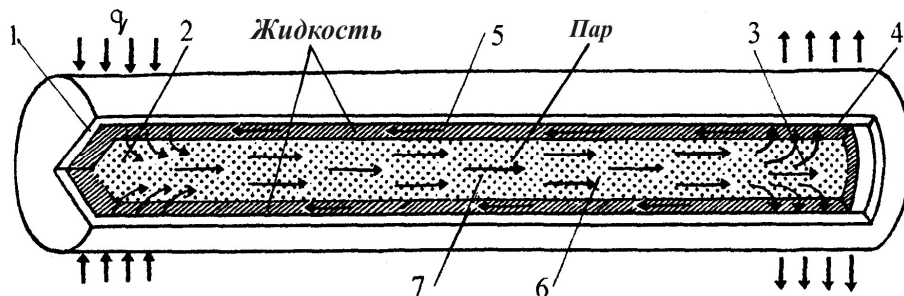


Рисунок 1 – Конструктивные элементы тепловой трубы

том, что теплоноситель, испаряясь на одном ее конце, поглощает теплоту, а затем, конденсируясь на другом конце, отдает ее.

В качестве теплоносителя используются вода, аммиак, метиловый спирт, жидкий металл и др. Внутренняя поверхность трубы 4 покрыта капиллярной структурой 5, т. е. фитилем, и частично заполнена теплоносителем, что позволяет вакуумировать оставшийся ее объем. Наличие капиллярной структуры 5 в тепловой трубе обеспечивает циркуляцию теплоносителя по ее артериям (каналам, на рис. 1 не показаны) в различных фазах под воздействием капиллярных сил либо силы тяжести. Между зонами испарения 2 и конденсации 3 трубы находится транспортная зона 6. Кроме того, внутренняя полость трубы имеет паровой канал 7, по которому пар перемещается от испарительной зоны 2 к конденсационной 3 за счет разности его давлений.

Эффективность работы тепловой трубы в значительной степени зависит от ее ориентации, т. е. положения относительно поля массовых сил. Под полем массовых сил подразумевается гравитационное, электрическое, магнитное и акустическое поля, центробежные силы и т. д. При этом различают положительную (+φ) и отрицательную (-φ) ориентации тепловой трубы, при которых перемещение теплоносителя от конденсационной зоны к испарительной происходит, соответственно, с уменьшением или увеличением его потенциальной энергии.

Различают тепловые трубы следующих видов: криогенные, низкотемпературного и среднетемпературного диапазонов, высокотемпературные (температура пара изменяется в диапазоне от 200 до 750 К), регулируемые (с переменным термическим сопротивлением), газорегулируемые (стабилизация температуры части корпуса трубы достигается путем использования неконденсирующегося газа), диодные (работают при передаче теплового потока только в одном направлении); также возможны их разнообразные сочетания.

Наличие во фрикционных узлах тормозных устройств (барабанно- и ленточно-колодочных) подъемно-транспортного оборудования, дорожных и строительных машин, а также транспортных средств свободных строительных объемов позволяет использовать эффект тепловой трубы. Остановимся на анализе работ, посвященных данному виду охлаждения в тормозных устройствах.

В работе [1] рассмотрена конструкция барабанно-колодочного тормоза с охлаждением типа «тепловая труба», в которой на тормозном щите выполнена камера, подключенная с помощью пустотелых трубопроводов к металлическим фрикционным накладкам тормозных колодок. Данная система является некомпактной, так как в ней не использован объем колодок под их основаниями, а также объем над нерабочей поверхностью ободов тормозных барабанов.

Двухступенчатые ленточно-колодочные тормоза позволяют разгрузить тормозные шкивы [2], но при этом необходимо эффективно охлаждать их фрикционные элементы, подверженные одновременному двухстороннему тепловому воздействию в процессе работы.

Эффективность охлаждения фрикционных узлов барабанно-колодочных тормозов зависит от того, в каком месте находится зона конденсации тепловой трубы, имеющей различную форму. Тепловая труба может быть вмонтирована в подвижный (обод тормозного барабана) или в неподвижный (тормозная колодка) их элементы, или могут быть вынесены за пределы тормозного механизма.

Остановимся на особенностях конструкций и их работе барабанно-колодочных тормозов, охлаждаемых с помощью эффекта «тепловой трубы».

На рис. 2 а представлен поперечный разрез барабанно-колодочного тормоза, а на рис. 2 б разрез по А-А охлаждающего узла с фрикционными элементами тормоза.

Барабанно-колодочный тормоз содержит тормозной барабан 1, имеющей обод 2 с рабочей 3 и нерабочей 4 поверхностями. На последней со стороны свободного края обода 2 выполнен прилив в виде подкрепляющего кольца 5. В средней части обода 2 тормозного барабана 1 расположены сквозные отверстия 6 одинакового диаметра. Отверстия 6 выполнены по периметру обода 2 с равномерным шагом и в них установлены цилиндрические трубы 7, торцы которых с заглушкой 8 находятся заподлицо рабочей поверхности 3 обода 2.

Полость 9 цилиндрической трубы 7 заполнена жидкостью, например, 25%-ым раствором аммиака, имеющего высокую скрытую теплоту парообразования. Объемы полости 8 и цилиндрических труб 7 вакуумированы, что позволяет использовать эффект «тепловой трубы» для охлаждения фрикционных узлов тор-

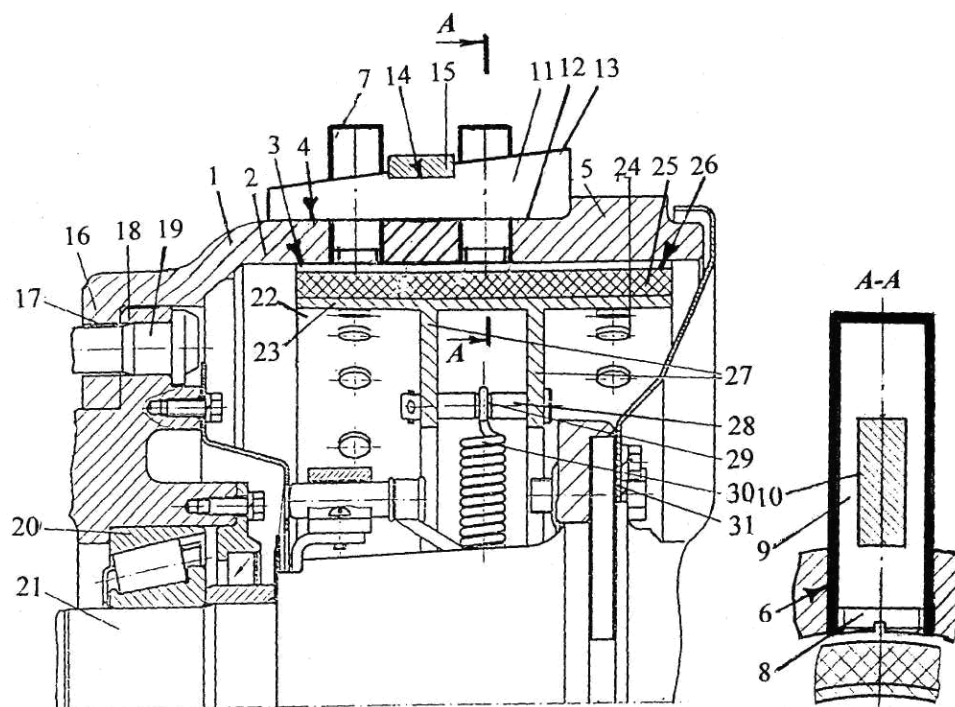


Рисунок 2 – Барабанно-колодочный тормоз (а) с охлаждаемым устройством (б)

моза. В средней части тепловых труб 7 имеются сквозные клиноподобные отверстия 10 прямоугольного сечения, в которые установлены клиноподобные пластины 11, являющиеся дополнительными поверхностями теплообмена. Кроме того, больший торец (по высоте) клиноподобной пластины 11 упирается в выступ подкрепляющего кольца 5 обода 2. При этом клиноподобные пластины 11 своими внутренними торцевыми поверхностями 12 (по длине) соприкасаются с нерабочей поверхностью 4 обода 2 барабана 1. На наружной поверхности 13 клиноподобных пластин 11 между тепловыми трубами 7 выполнены проточки 14, в которые установлено прижимное пружинное кольцо 15.

С противоположной стороны обода 2 барабана 1 сопряжен с фланцем 16, в котором выполнены отверстия 17. С помощью последних тормозной барабан 1 прикреплен к фланцу 16 ступицы 18 посредством болтов 19. В свою очередь, фланец 16 ступицы 18 снизу через роликовый подшипник 20 опирается на полуось 21 заднего моста.

Внутри тормозного барабана 1 установлены тормозные колодки 22, к основаниям 23 которых прикреплены с помощью заклепок 24 фрикционные накладки 25, имеющие рабочую поверхность 26. С нерабочей стороны основания 23 колодок 22 размещены их ребра жесткости 27, которые между собой соединены пальцем 28 с проточкой 29. В последнюю посажена оттяжная цилиндрическая пружина 30. Со свободного края обода 2 тормозного барабана 1 установлен направляющий диск 31.

Барабанно-колодочный тормоз с охлаждением типа «тепловая труба» работает следующим образом. Разгоняют транспортное средство до заданной скорости и выполняют его тор-

можение. В процессе торможения барабанно-колодочным тормозом разжимной кулак (не показан) разводит тормозные колодки 22 с фрикционными накладками 25, которые взаимодействуют своими рабочими поверхностями 26 с рабочими поверхностями 3 ободов 2 тормозных барабанов 1. При этом на поверхностях трения тормоза генерируется некоторое количество теплоты, которое в дальнейшем отводится от нерабочей поверхности 4 обода 2 барабана 1 конвекцией и лучеиспусканием.

Незначительная часть теплоты отводится кондуктивным теплообменом от фланца 16 барабана 1 к ступице 18 заднего моста транспортного средства.

Особенностью работы охлаждающих устройств в барабанно-колодочном тормозе в процессах притормаживания и полного торможения является следующее. Часть поверхности тепловой трубы 7, которая находится в ободу 2 тормозного барабана 1, является ее зоной испарения (а). Остальная часть поверхности тепловой трубы 7, т. е. выступающая над нерабочей поверхностью 3 обода 2, является зоной конденсации (б). Для интенсификации теплообмена в тепловых трубах 7 зона конденсации (б) снабжена дополнительными поверхностями теплообмена, которые имеют клиноподобные пластины 11 и пружинное кольцо 15. Кроме того, необходимо отметить, что сопряжение внутренней поверхности 12 клиноподобной пластины 11 с нерабочей поверхностью 4 обода 2 позволяет интенсифицировать кондуктивный вид теплообмена от тормозного барабана 1. При расчетах соотношения поверхностей охлаждения (матовых) к нагреваемой (полированной) тормозного барабана 1, должно быть равно отношению коэффициентов излучения ма-

товой поверхности к полированной для обеспечения квазиустановившегося теплового состояния его обода 2. Так, для заднего тормозного барабана транспортного средства КраЗ-250, изготовленного из чугуна, отношение указанных поверхностей составляет

$$\frac{A_{ОХЛ}}{A_{НАГР}} = \frac{0,6945}{0,2375} = 2,92, \text{ а коэффициентов излучения - } \frac{c_{ЛМ}}{c_{ДИ}} = 3,3.$$

Поэтому все поверхности клиноподобных пластин 11 должны быть матовыми и иметь общую площадь равную 0,143 м²,

что обеспечит отношение $\frac{A_{ОХЛ}}{A_{НАГР}} = 3,3$.

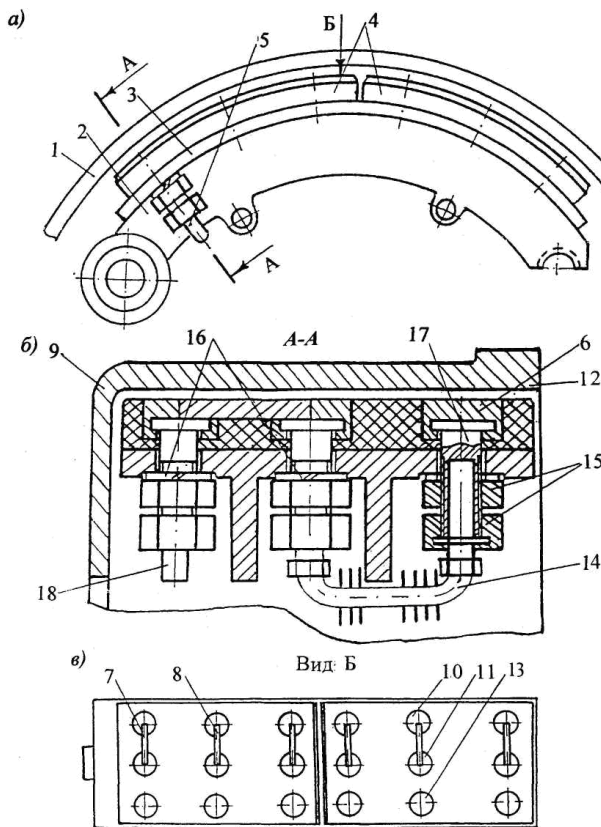
В процессах притормаживания и полного торможения транспортного средства тормозной барабан 1 вращается, поэтому симметрично расположенные тепловые трубы 7 будут находиться сверху и снизу его обода 2. При этом жидкость будет находиться в зоне испарения (а) тепловых труб 7, располагающихся сверху обода и частично разбрызгиваться в зону конденсации (б) за счет действия центробежных сил. В тех тепловых трубах 7, которые будут расположены снизу обода 2 барабана 1, жидкость будет находиться в их зоне конденсации (б) и частично разбрызгиваться в зону испарения (а) за счет действия центробежных сил. В зонах испарения (а) тепловых труб 7 жидкость превращается в пар, а в зонах конденсации (б) – конденсируется. Таким образом, циркуляция жидкости в полости 9 тепловых труб 7 и будет способствовать интенсивному отводу теплоты от пар трения барабанно-колодочного тормоза. Кроме того, теплота отводится от наружных поверхностей тепловых труб 7 конвективным, радиационным и кондуктивным теплообменом.

После завершения торможения транспортным средством водитель снимает нагрузку с тормозной педали и с помощью оттяжной цилиндрической пружины 30, концы которой сидят в проточках 29 пальцев 28, чем способствует отведению тормозных колодок 22 с накладками 25 от рабочей поверхности 3 тормозного барабана 1. После завершения торможения транспортного средства процессы охлаждения тормозных барабанов 1 продолжают, но только не с такой интенсивностью как раньше.

Применение предложенного технического решения позволяет снизить теплонагруженность пар трения барабанно-колодочного тормоза, повысить эффективность их действия и увеличить ресурс фрикционных элементов.

Посредством эффекта “тепловой трубы” достигается выравнивание тепловой нагруженности фрикционных узлов барабанно-колодочных тормозов.

На рис. 3 а, б показан фрагмент барабанно-колодочного тормоза (а) и его поперечный разрез по А-А (б), на рис. 3 в – вид сверху на тормозную колодку [3].



а – фрагмент барабанно-колодочного тормоза;
 б – поперечный разрез фрикционного узла с охлаждающими устройствами;
 в – вид Б (сверху) на тормозную колодку

Рисунок 3 – Устройства для выравнивания теплонагруженности барабанно-колодочного тормоза

Барабанно-колодочный тормоз содержит тормозной барабан 1, тормозную колодку 2, на основании 3 которой установлены фрикционные накладки 4, пустотелые винты 5, являющиеся устройством для охлаждения пар трения тормоза, выполненные в виде тепловой трубы. Сверху на головки пустотелых винтов 5 прямоугольной формы надеты теплоотводящие вставки 6, имеющие в своей нижней части вырезы (не показаны) для удобства их соединения с пустотелыми винтами 5. В верхней части теплоотводящие вставки 6 имеют поперечные теплопроводные пластины 8 со стороны защемления обода барабана 1 с фланцем 9, соединяющие первый 10 и второй 11 ряды теплоотводящих вставок 6. При этом второй ряд 11 вставок находится в средней части накладок 4. Второй ряд 11 концов пустотелых винтов 5 со стороны нерабочей поверхности основания 3 колодки 2 и свободного края обода барабана 12 соединен с третьим рядом 13 посредством гибкого оребренного трубопровода 14. Фрикционные накладки 4 крепятся к основанию 3 тормозной колодки 2 посредством гаек 15 через шайбу 16.

Полость винтов 5 представляет собой так называемые “тепловые трубы”, которые запол-

наются теплоносителем, а также тонкой путаной проволокой, губчатым медным порошком и другими материалами, исполняющими роль фитиля. Фитиль применяется для увеличения поверхности теплообмена. Незаполненная полость винтов 5 вакуумируется и герметизируется. В трубе различают горячую 17 и холодную 18 зоны. При подводе теплоты к горячей зоне 17, хладагент превращается в пар, который конденсируется в холодной зоне 18, а затем по фитилю передается в горячую зону 17 тепловой трубы. Таким образом, осуществляется циркуляция хладагента в различных фазах в объеме тепловой трубы.

Барабанно-колодочный тормоз с устройствами для выравнивания теплонагруженности его пар трения работает следующим образом.

При взаимодействии рабочих поверхностей тормозного барабана 1 и накладок 4 с теплоотводящими вставками 6 вследствие разных по величине коэффициентов их теплопроводности большая часть теплоты передается от обода барабана 1 к горячей зоне 17 тепловой трубы, в которой хладагент превращается в пар. Конденсируясь в холодной зоне 18, хладагент возвращается обратно в горячую зону 17 тепловой трубы. Циклы циркуляции хладагента повторяются, способствуя тем самым работе тепловых труб в режиме снижения поверхностных температур пар трения барабанно-колодочного тормоза.

Выравнивание теплонагруженности пар трения тормоза достигается за счет последовательного соединения горячих зон 17 тепловых труб первого 10 и второго 11 ряда посредством поперечных теплопроводных пластин 8, установленных в накладках 4. Первый ряд 10 тепловых труб нагревается в 1,225 раза быстрее, чем второй ряд 11, что и обеспечивает интенсивный отвод теплоты от пар трения тормоза. В дальнейшем переданная теплота от второго ряда 11 тепловых труб с помощью увеличенной зоны конденсации (оробренного гибкого трубопровода 14) интенсивно рассеивается в окружающую среду. Третий ряд 13 тепловых труб также осуществляет сброс теплоты в оробренный гибкий трубопровод 14. Таким образом, за счет неравномерного охлаждения пар трения тормоза и достигается выравнивание их теплонагруженности.

При работе тормоза совместно с фрикционными накладками 4 изнашиваются теплоотводящие вставки 6 и поперечные теплопроводные пластины 8. Головки винтов 5, установленные на величину допустимого износа фрикционных накладок 4, износу не подвержены. В дальнейшем замененные теплоотводящие вставки 6 и пластины 8 совместно с пустотелыми винтами 5 применяются для крепления новых фрикционных накладок 4.

Упрощение конструкции устройств для охлаждения и выравнивания поверхностных температур пар трения тормоза позволяет использовать пустотелые винты многократно. Применение предлагаемых устройств способ-

ствует повышению эффективности и надежности фрикционных узлов тормозов.

Более сложной конструкцией в серийном ленточно-колодочном тормозе является комбинированная система охлаждения, в которой составным выступает эффект «тепловой трубы».

На рис. 4 показаны кинематические схемы буровой лебедки (а) и ленточно-колодочного тормоза (б); на рис. 5 проиллюстрирован фрагмент ленточно-колодочного тормоза с барабаном, имеющим комбинированную систему охлаждения (поперечный разрез по А-А представлен на рис. 4 а).

Серийный ленточно-колодочный тормоз содержит тормозные ленты 2, на которых установлены фрикционные накладки 3 с постоянным шагом. Тормозные ленты 2 имеют набегающую (I) и сбегающую (II) ветви, которые подвержены натяжениям S_H и S_C . Со стороны сбегающей ветви (II) тормозные ленты 2 через тяги 13 и 14 прикреплены к балансиру 11. Последний при неравномерном изнашивании рабочих поверхностей накладок 3 лент 2 в момент торможения несколько отклоняется от горизонтального положения и выравнивает нагрузки на сбегающей ветви (II) тормозных лент 2, обеспечивая при этом равномерный и одновременный обхват ими тормозных шкивов 4. Благодаря шаровым шарнирам передача усилий от тормозных лент 2 к балансиру 11 при этом не изменяется. Со стороны набегающих ветвей (I) тормозные ленты 2 напрямую присоединены к шатунным шейкам 6 коленчатого вала 10, имеющего также кривошип 9 и 12 с радиусом r . В свою очередь, с коленчатым валом 10 связан рычаг управления 1 тормоза, к которому бурильщик прикладывает усилие (F_p). К одной из шатунных шеек 6 коленчатого вала 10 присоединен шток пневматического цилиндра 8, который через кран 7 подключен к сети сжатого воздуха. Тормозные ленты 2 с накладками 3 при работе тормоза взаимодействуют со шкивами 4, имеющими рабочую 15 и нерабочую 16 поверхности. Со стороны нерабочей поверхности 16 шкив 4 имеет выступ 17, который с помощью болтового соединения 18 крепится к фланцу 19 барабана 20. Снизу фланец 19 переходит в ступицу 21, которая с помощью шпонки 22 крепится к подъемному валу 23 лебедки.

Внешний контур тепловой трубы 24 имеет цилиндрическую поверхность и устанавливается с зазорами между внутренней поверхностью 25 барабана 20 и подъемным валом 23 после его монтажа. Тепловая труба 24 изготавливается из теплопроводного материала, имеющего малый удельный вес, например, из алюминиевого сплава. Тепловая труба 24 основаниями с обеих сторон через кольцевую прокладку 26 присоединена к внутренним поверхностям 27 фланца 19 барабана 20 с помощью болтовых соединений 28. Внутренняя полость 29 тепловой трубы 24 образована снизу цилиндрической поверхностью 30, а сверху конусоподобными поверхностями 31, суживающимися в ее средней части к цилиндрической перемычке 32,

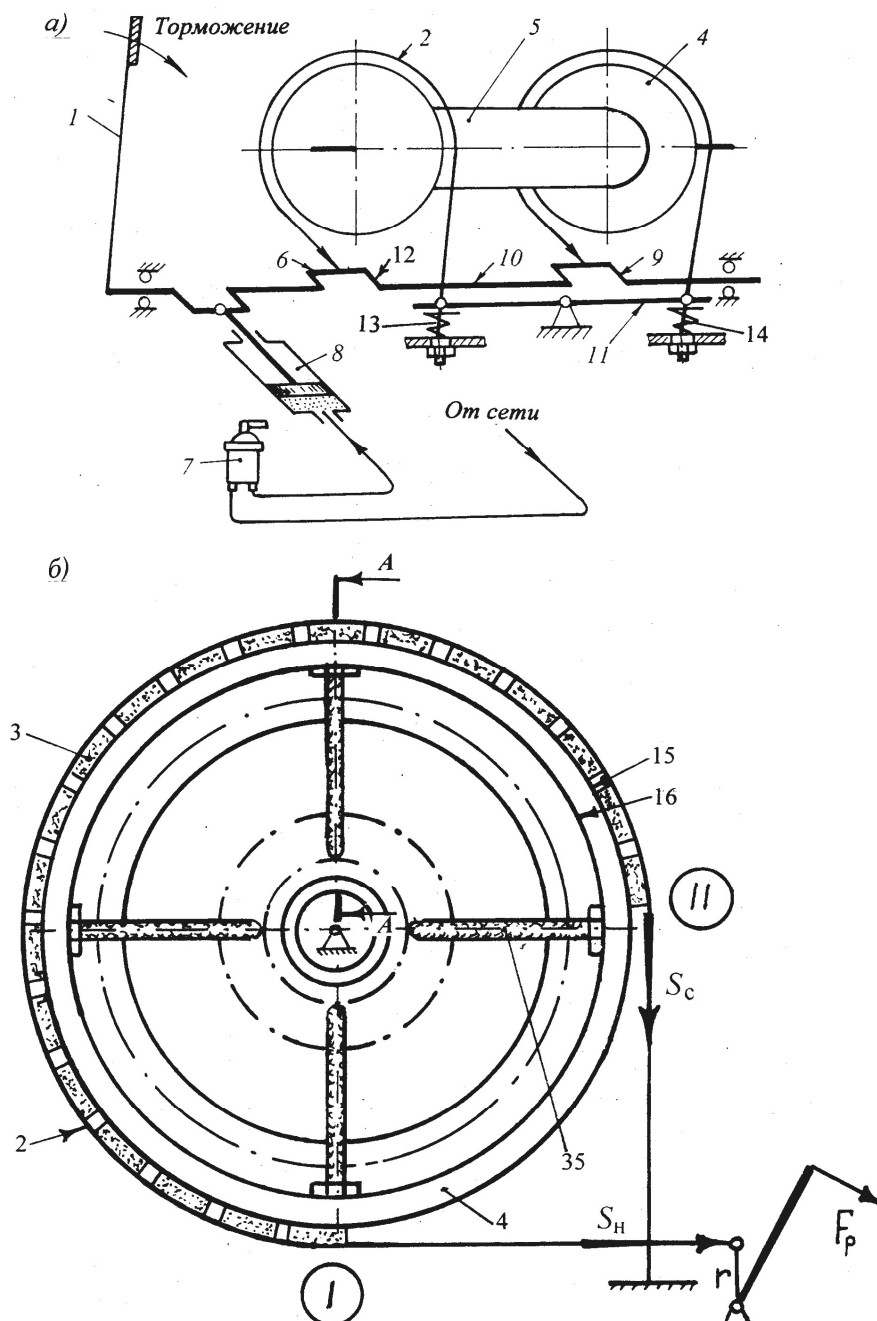


Рисунок 4 – Кинематические схемы буровой лебедки (а) и ленточно-колодочного тормоза (б)

в которой размещены цилиндрические отверстия 33 различного диаметра. Во фланцах 19 имеются отверстия 34 с резьбой, в которые заворачиваются с наружной поверхности фланца 19 барабана 20 штуцера гибких теплопроводных шлангов 35.

На втором конце гибких теплопроводных шлангов 35 нарезана резьба, на которую навинчена специальная гайка 36, установленная в резьбовые отверстия 37 шкива 4 и являющаяся заглушкой 38 с выступом, торец которой выведен заподлицо его рабочей поверхности 15. Со стороны нерабочей поверхности 16 шкива 4 специальная гайка 36 стопорится обычной гайкой 39.

Заправка полости 29 тепловой трубы 24 производится теплоносителем через заливное

отверстие (на чертеже не показано), после чего оставшийся объем полости 29 вакуумируется, и его герметизируют. Таким образом, получают теплопередающее устройство, называемое тепловой трубой. В случае повышения давления, образовавшегося пара из теплоносителя, в полости 29 тепловой трубы 24 срабатывает предохранительный клапан (на чертеже не показан), стравливающий пар на внутреннюю поверхность 25 барабана 20.

Количество гибких теплопроводных шлангов 35 и размер их поперечного сечения, которое монтируется в тормозные шкивы 4 и фланцы 19 барабана 20, а также объем теплоносителя в полости 29 тепловой трубы 24 зависит от энергоемкости тормозных шкивов 4 буровой лебедки.

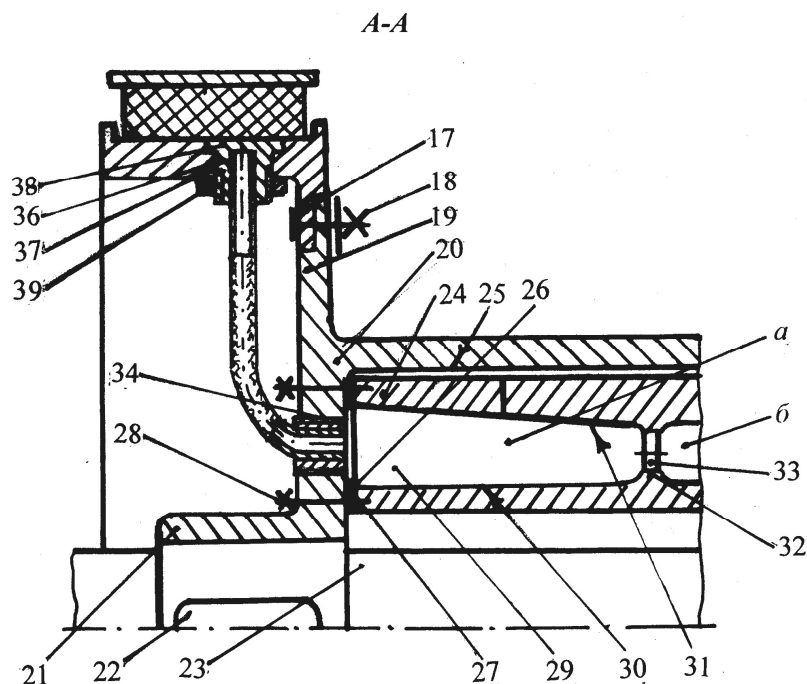


Рисунок 5 – Фрагмент ленточно-колодочного тормоза с барабаном, имеющим комбинированную систему охлаждения

Серийные ленточно-колодочные тормоза буровой лебедки работают следующим образом. Перемещением рукоятки 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. Управление тормозом буровой лебедки осуществляют также подачей сжатого воздуха через кран 7 бурильщика в пневматический цилиндр 8, шток которого соединен с одной из шатунных шеек коленчатого вала 10 тормоза. Величину давления сжатого воздуха в пневмоцилиндре 8 регулируют поворотом крана 7 бурильщика.

Процесс торможения ленточно-колодочным тормозом характеризуется следующими стадиями: начальной (первой), промежуточной (второй) и заключительной (третьей). Остановимся на каждой из стадий по отдельности.

На начальной стадии торможения фрикционные накладки 3, размещенные в средней части тормозной ленты 2, взаимодействуют с рабочей поверхностью тормозного шкива 4. Фронт взаимодействия расширяется в сторону фрикционных накладок 3 набегающей ветви (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 все неподвижные накладки 3 тормозной ленты 2 взаимодействуют с рабочей поверхностью вращающегося шкива 4. При притормаживании последовательность вхождения поверхностей трения в контакт повторяется. Полный цикл торможения завершается ос-

тановкой тормозных шкивов 4 с барабаном 5. Комбинированная система охлаждения фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки при торможении работает следующим образом. Теплота в процессе торможения генерируется на поверхностях трения ленточно-колодочного тормоза и распределяется так: в материал накладок 3 поступает до 5,0 %, а остальная часть теплоты поглощается тормозным шкивом 4. Кондуктивная схема передачи теплоты от тормозных шкивов 4 к тепловой трубе 24 и ее теплоносителю осуществляется двумя путями. Первый путь – от тормозных шкивов 4 через выступы 17 к фланцу 19 барабана 20, через кольцевые прокладки 26 к телу тепловой трубы 24. Второй путь – от рабочей поверхности 15 тормозных шкивов 4 и их поверхностей, прилегающих к специальным гайкам 36, к гибким теплопроводным шлангам 35 и непосредственно к теплоносителю полости 29 тепловой трубы 24.

Полость 29 тепловой трубы 24, вращающейся вокруг своей оси, с объемами гибких теплопроводных шлангов 35, необходимо рассматривать в двух положениях. Первое – когда верхний сектор полости 29 тепловой трубы 24 с примыкающими к нему объемами гибких теплопроводных шлангов 35 не заполнен теплоносителем и все поверхности данной системы являются зоной испарения. Второе положение – когда верхний сектор полости 29 тепловой трубы 24 с примыкающими к нему объемами гибких теплопроводных шлангов 35 за счет поворота барабана 20 с тормозными шкивами 4 на угол π становится заполненным теплоносителем, и поэтому все поверхности данной системы являются зоной конденсации. Такое разделение на зоны испарения и конденсации явля-

ется идеальным при статическом положении барабана 20 с тормозными шкивами 4. На самом деле зоны испарения и конденсации в объеме гибких теплопроводных шлангов 35 и полости 23 тепловой трубы 24 являются переменными, так как узлы комбинированной системы вращаются как при замкнутом, так и разомкнутом тормозе. Это способствует нагреванию и испарению теплоносителя, находящемуся в объеме гибких теплопроводных шлангов 35 и в полости 23 тепловой трубы 24. Попадание жидкого теплоносителя из полости 29 тепловой трубы 24 в объеме гибких теплопроводных шлангов 35 осуществляется за счет конусоподобных поверхностей 31, на которых центростремительная сила инерции теплоносителя увеличивается. Пересыхание сконденсировавшегося теплоносителя как в левой (а), так и в правой (б) камерах полости 29 тепловой трубы 24 невозможно из-за того, что они соединены между собой дросселирующими отверстиями 32 различного диаметра.

Циркуляция теплоносителя в разных фазах, т. е. жидкой и газообразной, в объеме гибких теплопроводных шлангов 35 и в полости 29 тепловой трубы 24, способствует интенсивному охлаждению тормозных шкивов 4, что позволяет повысить его эффективность и снизит термические напряжения в его ободке. Такое выполнение системы охлаждения обеспечит интенсивный отвод теплоты от пар трения тормоза, эффективность его торможения и их надежность.

В последнее время разработчики ленточно-колодочных тормозов начали обращать внимание на двухступенчатое их конструктивное выполнение, исходя из необходимости тепловой разгрузки тормозного шкива.

На рис. 6 а, б представлен общий вид охлаждаемого двухступенчатого ленточно-колодочного тормоза (а) и его поперечный разрез (б). На рис. 7 а, б показаны: а – вид В на фрикционный узел тормоза (см. рис. 6 а); б – вид В на прямую пару трения тормоза (см. рис. 6 а) [4].

Двухступенчатый ленточно-колодочный тормоз содержит тормозной шкив 1, имеющий окна 2 с резьбой постоянного диаметра, расположенные с постоянным шагом по периметру его рабочей поверхности 3. Шкив 1 имеет выступ 4, которым он с помощью болтового соединения 5 крепится к фланцу 6 барабана 7. Ступица 8 барабана 7 с фланцем 6 посредством призматической шпонки 9 закреплена на подъемном валу 10 лебедки.

В окна 2 шкива 1 установлены фрикционные элементы (накладки) 11, состоящие из основной 12 и дополнительной 14 накладок, с выпуклыми рабочими поверхностями 13 и 15, которые отличаются площадями их поверхностей. Соединены между собой накладками 12 и 14 с помощью трубообразной емкости 16, на внешней поверхности которой выполнена наружная резьба 17. Внутренняя резьба 18 выполнена только на $\frac{1}{4}$ длины трубы 16. Внутренний объем трубы 16 заполнен теплопоглощающим наполнителем 19, например, карби-

дом алюминия (Al_4C_3). При этом нижний торец трубы 16 в дополнительной накладке 14 находится на уровне допустимого износа ее рабочей поверхности 15. Сверху труба 16 закрывается крышечкой 20, имеющей прорезь 21, и, таким образом, торец трубы 16 выведен заподлицо рабочей поверхности 13 основной фрикционной накладки 12. При этом верхний торец крышки 19 расположен на глубине допустимого износа рабочей поверхности 13 основной накладки 12, после чего в пустотелый объем верхней части трубы 16 запрессовывается цилиндрический столбик 22 из фрикционного материала основной накладки 12, увеличивая таким образом ее площадь поверхности. Над рабочими поверхностями 13 основных накладок 12 расположена внутренняя (рабочая) поверхность 23 тормозной ленты 24, имеющей набегающую (а) и сбегающую (б) ветви.

Своими рабочими поверхностями 15 дополнительные фрикционные накладки 14 контактируют с нанесенным фрикционным покрытием 25 на наружную поверхность 26 торовой резиновой пневмокамеры 27. Внутренняя поверхность 28 пневмокамеры 27 расположена на неподвижном цилиндрическом выступе 29 специального фланца 30, опирающегося на установочную лапу 31. Крепление внутренней поверхности 28 торовой резиновой пневмокамеры 27 к цилиндрическому кольцевому выступу 29 осуществляется при помощи штуцеров 32 воздушных трубопроводов 33. Трубопроводы 33 подсоединены к воздушному тракту 34, проходящему через отверстия, выполненные в специальном фланце 30. Второй шкив тормоза (на рис. 6 а, б и рис. 7 а не показан) подключен аналогичным образом к общей пневмосистеме.

Тормозная лента 24 своей набегающей ветвью (а) связана с опорой 35, а сбегающая ветвь (б) соединена с рычагом 36 управления тормозом.

В данном тормозе различают следующие пары трения при условии, что их рабочие поверхности сопряжены:

обратная – «рабочая поверхность 13 основной накладки 12 (индекс 1) – рабочая поверхность 23 тормозной ленты 24 (индекс 2)» при соблюдении условия расположения ее материалов: $H_2 > H_1$ (твердость) и $A_{H2} > A_{H1}$ (площади поверхностей касания);

обратная – «рабочая поверхность 15 дополнительной накладки 14 (индекс 3) – фрикционное покрытие 25 наружной поверхности 26 торовой резиновой пневмокамеры 27 (индекс 4)» при соблюдении условия расположения ее материалов: $H_4 > H_3$ (твердость) и $A_{H4} > A_{H3}$ (площади поверхностей трения).

Охлаждаемый двухступенчатый ленточно-колодочный тормоз работает на следующих тормозных режимах.

Первый тормозной режим

При нажатии на рычаг управления 37 тормозная лента 24 набегающей (а) и сбегающей (б) ветвями взаимодействует с выступающими над поверхностью шкива 1 выпуклыми рабочими поверхностями 13 основных фрикционных

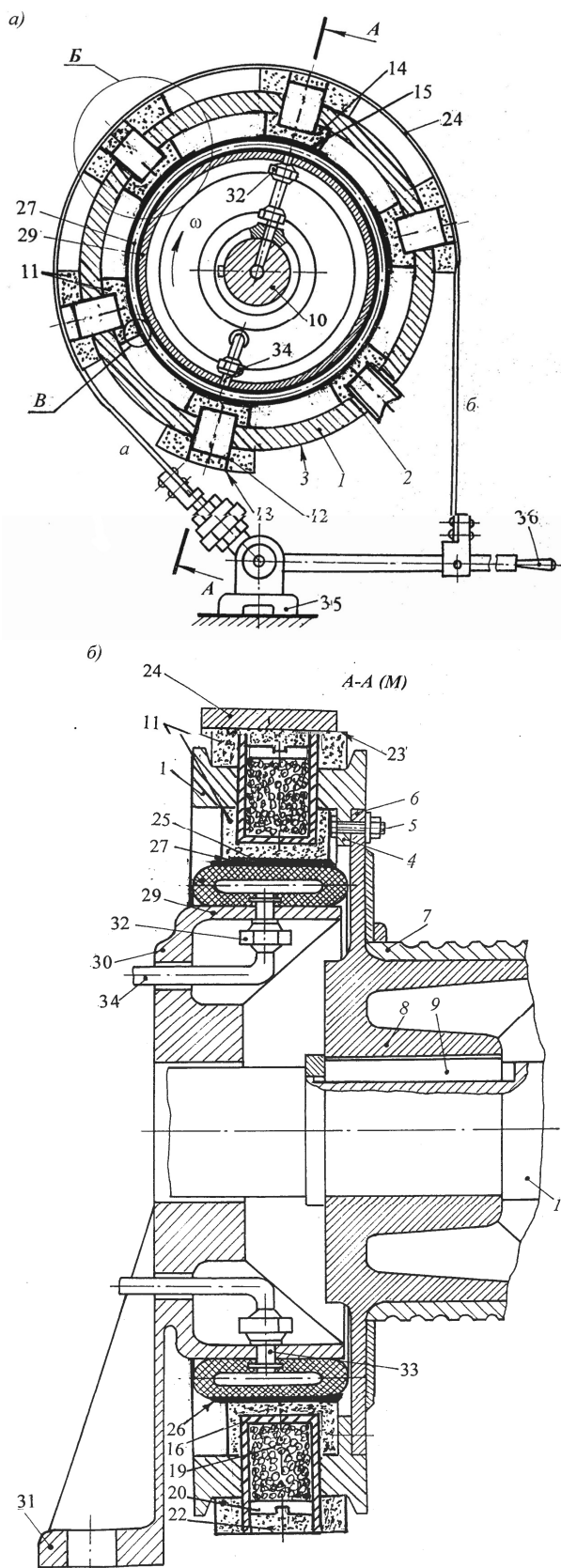


Рисунок 6 – Общий вид охлаждаемого двухступенчатого ленточно-колодочного тормоза (а) и его поперечный разрез (б)

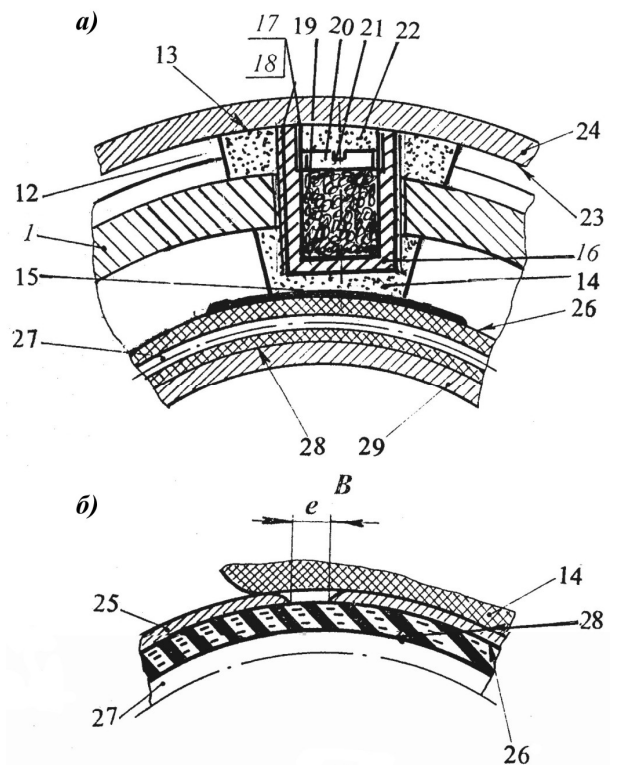


Рисунок 7 – Фрикционный узел (а) и его прямая пара трения (б) в двухступенчатом ленточно-колодочном тормозе

накладок 12, обуславливая тем самым притормаживание шкива 1, имеющего момент инерции меньший, чем у серийного шкива. При этом на поверхностях трения «внутренняя поверхность 23 тормозной ленты 24 – рабочие поверхности 13 основных фрикционных накладок 12» генерируется некоторое количество теплоты. Последнее делится на две части. Первая часть теплоты воспринимается тормозной лентой 24 и от ее наружных поверхностей конвективным и радиационным теплообменом рассеивается в окружающую среду. Вторая часть теплоты посредством теплопроводности от торцов труб 16, которые расположены заподлицо рабочих поверхностей 13 основных накладок 12, передается теплопоглощающему наполнителю 19 (например, Al_4C_3), имеющему высокую удельную теплоемкость и низкую плотность. От наружной поверхности трубы 16, которая завинчена 8 отверстие 2 шкива 1 теплота передается к его телу и от его наружной и внутренней поверхности рассеивается в окружающую среду конвективным и радиационным теплообменом. Для интенсификации радиационного теплообмена от наружных и внутренних поверхностей тормозного шкива 1 они выполняются матовыми.

При увеличении усилия нажатия на рычаг управления 37 тормозная лента 24 набегающей (а) и сбегающей (б) ветвями взаимодействует с выступающими над наружной поверхностью шкива 1 выпуклыми рабочими поверхностями 13 основных фрикционных накладок 12, обуславливая тем самым остановку шкива 1.

Второй тормозной режим

В этом случае работают торовые резиновые пневмокамеры, которые заполняются сжатым воздухом, в результате чего фрикционное покрытие 25, расположенное на наружной поверхности 26 пневмокамеры 27, взаимодействует с рабочими поверхностями 15 дополнительных фрикционных накладок 14 и тем самым притормаживают тормозной шкив 1. Данный тормозной режим является вспомогательным и при его реализации на взаимодействующих парах трения генерируется незначительное количество теплоты, поэтому их трущиеся поверхности не охлаждаются.

Третий тормозной режим

Данный режим торможения является суммарным, включающий первый и второй.

Величина развиваемого тормозом тормозного момента определяется усилием замыкания тормоза (усилием на рычаге управления 37), но и давлением сжатого воздуха в торовой резиновой пневмокамере 27, поскольку именно величина давления сжатого воздуха в ней влияет на силу прижатия основных накладок 12 к тормозной ленте 24. В общем случае тормозной момент, развиваемый ленточно-колодочным тормозом, равен $M_{T1} = (S_H - S_C)R$, где S_H , S_C – натяжение набегающей (a) и сбегающей (b) ветвей тормозной ленты 24; R – радиус поверхности трения. Таким образом, управлять величиной тормозного момента можно не только изменяя разность натяжения ветвей тормозной ленты 24, но и давлением сжатого воздуха в пневмокамере 27.

Тормозной момент, развиваемый вторыми обратными парами трения тормоза, равен $M_{T2} = n \cdot p \cdot A_2 \cdot f_2 \cdot R_2$, где n – количество обратных пар трения тормоза; p – давление сжатого воздуха в полости пневмокамеры 27; A_2 – площадь вторых обратных пар трения; f_2 – коэффициент трения скольжения во вторых обратных парах трения тормоза; R_2 – радиус поверхности трения вторых обратных пар трения. Суммарный тормозной момент равен $M_C = M_{T1} + M_{T2}$. Все составляющие, входящие в последнюю аналитическую зависимость для определения суммарного тормозного момента, являются переменными. Целенаправленно изменяя величины S_H , S_C ; n ; p ; A_2 ; f_2 ; R_1 и R_2 можно добиться существенного уменьшения усилий натяжения тормозной ленты 24 при том же значении тормозного момента.

При реализации третьего тормозного режима суммарный тормозной момент, развиваемый данным видом тормоза, будет несколько большим, чем максимальный тормозной момент серийного тормоза.

Интенсивность износа рабочей поверхности 13 основной накладки 12 и рабочей поверхности 15 дополнительной накладки 14 будет различной. Большая – основной накладки 12 и меньшая – дополнительной накладки 14 фрикционного элемента 11. Однако интенсивное охлаждение рабочей поверхности 13 основной накладки 12 будет способствовать улучшению

ее износостойкости. После износа рабочей поверхности 13 основной накладки 12 до торца крышки 20 трубы 16 и рабочей поверхности 15 дополнительной накладки 14 до торца дна трубы 16, т. е. до их допустимой величины, производят замену всего фрикционного элемента 11. Изношенное фрикционное покрытие 25 наружной поверхности 26 торовой резиновой пневмокамеры 27 наносят на указанную поверхность после ее снятия с цилиндрического кольцевого выступа 29.

В данном виде тормоза вторую обратную пару можно превратить в прямую пару путем установки на рабочей поверхности 15 дополнительной накладки 14 в виде металлического фрикционного элемента.

Предложенное техническое решение позволяет существенно улучшить не только динамику процесса торможения, но и износостойкость характеристики обратных пар трения первой ступени тормоза путем интенсивного охлаждения.

Таким образом, предложены конструкции устройств и систем для принудительного охлаждения не только прямых, но и обратных пар трения тормозных устройств, работающих на эффекте тепловой трубы, позволяющих улучшать износостойкость свойства, и следовательно, эффективность торможений подъемно-транспортного оборудования, дорожных и строительных машин, а также транспортных средств.

Литература

- 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 Вольченко Д.А. Особливості конструкцій і режими роботи двоступеневих стрічково-колодочкових гальм бурових лебідок / Д.А. Вольченко // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – №1(22). – С. 5-9.
- 3 Пат. 2224927 Российская Федерация, МПК⁷ F16D 65/82. Устройство для выравнивания теплонагруженности барабанно-колодочного тормоза / [Вольченко А.И., Палюх М.Д., Вольченко Н.А., Палюх В.М., Вольченко Д.А.]; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковск. национал. техн. ун-т нефти и газа и ассоциация «Автобус». – №2000103357; заявл. 10.02.2000; опубл. 27.02.2004. Бюл. №6. – 10 с.
- 4 Пат. 2224927 Российская Федерация, МПК⁷ F16D 49/08; F16D 65/813. Охлаждаемый двухступенчатый ленточно-колодочный тормоз / Вольченко А.И., Крыжановский Е.И., Вольченко Н.А., Вольченко Д.А., Малов А.Ю.; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковск. национал. техн. ун-т нефти и газа. – №2006141976; заявл. 27.11.2006; опубл. 20.04.2009. Бюл. №11. – 9 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
14.09.11*

*Рекомендована до друку професором
Мойсишиним В.М.*