

¹М. В. Киндрачук, д-р техн. наук, проф.,

²Д. А. Вольченко, канд. техн. наук, доц.,

²Я. Б. Сторож, канд. техн. наук, доц.,

³П. А. Поляков, асп.

ВЛИЯНИЕ ВЛАГИ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ И ЕЕ УДАЛЕНИЕ С ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

¹Национальный авиационный университет

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

³Кубанский государственный технологический университет, Россия

Показано влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств. Установлено термостабилизационное состояние обода барабана тормоза, которое необходимо учитывать при тепловых расчетах пар трения, наряду с допустимой температурой для материалов фрикционной накладки. Предложено устройство для принудительного удаления влаги с поверхностей пар трения барабанно-колодочных тормозов, выполняющего функции ограничителя для тепловых явлений.

Введение. Эффективность действия барабанно-колодочных тормозов транспортных средств зависит от того, какое количество влаги попадает на поверхности их пар трения.

Остановимся на работах, посвященных влиянию влажности воздуха на эксплуатационные параметры испытываемых пар трения.

В парах трения «мягкое железо – мягкое железо» при нагрузке $p = 1,0$ МПа с увеличением относительной влажности воздуха в межконтактной зоне увеличивается и величина удельного износа ее элементов [1]. В этом случае продуктами износа является металлический порошок, который способствует развитию процесса схватывания. При уменьшении удельных нагрузок до $p = 5 \cdot 10^4$ Па зависимость удельного износа от увеличенной удельной влажности воздуха в межконтактной зоне износ пары трения уменьшается.

Выполненные исследования [1–4] свидетельствуют о том, что с увеличением относительной влажности воздуха в парах трения наблюдается увеличение износа их рабочих поверхностей, вы-

званного ростом момента трения. Кроме того, отмечается, что увеличение влажности окружающей среды может вызвать увеличение износа полимерного фрикционного элемента больше чем в 200 раз [1]. В то же время в работах [2; 5] отмечалось, что с ростом парциального давления водяного пара в межконтактном зазоре пар трения уменьшается момент трения, а следовательно, и величины износа фрикционного материала.

Таким образом, из рассмотренных работ [1–5] следует, что относительная влажность воздуха, попадающего в межконтактную зону пар трения, несет дополнительную нагрузку и вызывает изменение их эксплуатационных параметров.

Влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств транспортных средств необходимо рассматривать через призму:

- возникновения двойных электрических слоев в парах трения;
- прямого преобразования тепловой энергии в электрическую в парах трения;
- электрического баланса токов в зоне контактирования пар трения;
- межконтактной газовой среды во фрикционных узлах;
- нанотрибологических процессов, которые происходят на рабочих поверхностях пар трения и в приповерхностных слоях фрикционных накладок;
- стабилизационного теплового состояния металлических фрикционных элементов.

Все это необходимо рассматривать с точки зрения влияния жидкости (воды, пара и влаги), т.е. многокомпонентной системы со свойствами диэлектрика, полупроводника и проводника. Поэтому проблема удаления влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза является актуальной.

Цель работы – разработка эффективного устройства для принудительного удаления влаги с поверхностей трения барабанно-колодочных тормозов транспортных средств.

Режимы работы пар трения барабанно-колодочных тормозов транспортных средств и стабилизационное тепловое состояние металлического фрикционного элемента. Режимы рабо-

ты пар трения барабанно-колодочных тормозов транспортных средств носят аperiodический циклический характер. Испытание тормозных устройств транспортных средств проводится по нормам Европейской экономической комиссии при Организации Объединенных Наций [6] на трех типах режимов: «0», «I» и «II». Нулевой тип испытаний относится к предварительному. Первый тип испытаний относится к циклическому режиму, а второй – к длительному. Как при первом, так и втором типе испытаний барабанно-колодочных тормозов транспортных средств на их поверхностях трения развиваются температуры, превышающие допустимые для материалов фрикционных накладок. Однако не они снижают эффективность действия барабанно-колодочного тормоза, а термостабилизационное тепловое состояние обода барабана.

Стабилизационное тепловое состояние металлического фрикционного элемента отвечает термодинамическому равновесию, в котором внутренние параметры системы являются одинаковыми. При этом тормозной барабан имеет сложную форму и его все внутренние параметры не зависят от координат. С этой точки зрения процесс установления термодинамического равновесия можно рассматривать как процесс выравнивания внутренних параметров, который сопровождается переносом тепловой энергии от металлических фрикционных элементов до их фланцев, до тех пор, пока не будем иметь отрицательный темп нагревания металлического фрикционного элемента при положительном темпе нагревания его фланца. Известно, что в в термодинамических процессах температура определяется как параметр, постоянство которого характеризует положение термодинамического равновесия. Кроме того, выравнивание температур металлических фрикционных элементов и их фланцев сопровождается конвективным и радиационным теплообменом от их матовых поверхностей. С этой точки зрения температура принадлежит к обобщенным термодинамическим потенциалам, а ее отклонение от равновесного уровня определяют интенсивность процесса теплообмена [6; 7] в зависимости от того, нагревается или вынужденно охлаждается металлический фрикционный элемент.

Первоначально рассмотрим процесс нагревания металлического фрикционного элемента. В установившемся режиме энергия W_p , поступающая в систему извне, за счет диссипации механиче-

ской энергии в тепловую при реализации удельных нагрузок ($W_H + \Delta W$) во фрикционных узлах тормозных устройств должна рассеяться в окружающую среду от матовых поверхностей металлических фрикционных элементов.

При появлении в трибосистеме возмущения (термоокислительной деструкции связующих компонентов полимерных фрикционных материалов при температурах выше допустимой) изменяется тепловое состояние металлических фрикционных элементов. Предположим, что возмущение проявляется в изменении только одного параметра Π , т. е. поверхностных температур металлических фрикционных элементов, и именно они определяют их дальнейший тепловой режим. Предположим далее, что изменение мало, т. е. что рассматриваются только такие отклонения, при которых участки кривых температур, определяющих тепловой режим, можно считать линейным. В возмущенном тепловом режиме при перераспределении энергии между матовой и полированной поверхностями металлического фрикционного элемента из-за принудительного охлаждения последней (при появлении $\Delta\Pi$) этот баланс нарушается, так как происходит изменение свойств трибосистемы, при котором энергия поглощается. Если свойства трибосистемы таковы, что расход энергии $W = W_H + \Delta W$ после отклонения теплового режима (после возмущения) будет происходить более интенсивно, чем увеличение энергии $\Delta W_H = f(\Pi)$, которую может дать после возмущения очередное взаимодействие фрикционных узлов, то новый (возмущенный) тепловой режим ведет в трибосистеме к поддержанию прежнего теплового режима (или режима близкого к нему), т.е. трибосистема будет устойчива. Из этого определения устойчивости (стабильности) следует, что математически записанным условием ее сохранения, или, как говорят, критерием устойчивости K будет условие

$$\Delta W / \Delta \Pi > \Delta W_H = \Delta \Pi$$

или в дифференциальной форме

$$d(V_p - W)d\Pi < 0.$$

Введем обозначение $W_p - W = \Delta W_H$ и назовем его избыточной энергией. Эта энергия положительна, если дополнительная энергия термохимической реакции деструкции связующих компонентов материалов фрикционных накладок и радиационного теплообмена

между рабочими поверхностями пар трения тормозного устройства будет возрастать интенсивнее, чем энергия нагрузки трибосистемы, включая потери на работу трения в его фрикционных узлах. Критерий устойчивости теперь запишется в виде

$$K = \frac{d(\Delta W_{II})}{d\Pi} < 0$$

или $K < 0$.

Тепловой режим устойчив, если производная от избыточной энергии по определяющему параметру Π , т. е. температура отрицательна полированной поверхностей фрикционного металлического элемента различных видов тормозных устройств. Необходимо заметить, что незначительная доля энергии металлического фрикционного элемента расходуется на формирование двойного электрического слоя по схеме «полированная поверхность металлического фрикционного элемента – рабочая поверхность фрикционной накладки».

Резкое изменение удельных долей теплоты рабочей зоны фрикционной накладки, которая идет на аккумуляцию теплоты ее приповерхностным слоем прослеживается в середине длительного режима испытаний барабанно-колодочного тормоза, после чего темп нагревания стабилизируется и становится равным нижнему уровню приповерхностного слоя накладки. Объясняется это тем, что в приповерхностном слое накладки начинается взаимодействие компонентов фрикционных материалов, носящих характер эндотермических реакций.

При этом значительная часть энергии идет на формирование двойного электрического слоя «рабочая поверхность фрикционных накладок (не взаимодействующих с металлическим фрикционным элементом – нижний уровень приповерхностного слоя накладок)», а также на выделение газовой смеси и ее ионизацию, так и на десорбцию влаги из жидких фракций, образовавшихся в приповерхностных слоях накладок.

Кроме того, в дальнейшем после половины времени длительного нагревания возможны инверсия токов электризации по схеме «полированная поверхность металлического фрикционного элемента – ионизированная газовая среда», так и десорбция влаги – «рабочая поверхность фрикционных накладок – нижний уровень

приповерхностного слоя накладок» при положительном квазистабильном темпе их нагревания.

Что касается темпов охлаждения рабочей зоны приповерхностного слоя и его нижнего уровня фрикционной накладки, то примерно к концу четвертой минуты (после завершения испытаний) они стабилизируются при отрицательных темпах охлаждения.

Энергия $\Delta W_{\text{и}}$ должна определяться для рассматриваемой трибосистемы в целом, с учетом всех влияющих процессов (нагревания, охлаждения, радиационного теплообмена и термохимической деструкции связующих компонентов фрикционного материала) только после с помощью критерия ($K < 0$) производится оценка энергосистемы с привлечением токов электризации, возникающих в парах «приповерхностный слой накладок – рабочие поверхности накладок» (и взаимодействующие с металлическим фрикционным элементом) и «рабочие поверхности накладок – металлический фрикционный элемент», соединенных между собой ионизированной газовой смесью и десорбцией влаги. Инверсия токов осуществляется в обратном направлении, т. е. происходит изменение знака токов электризации.

Проводимая согласно вышеуказанному критерию оценка устойчивости (стабильности) трибосистемы по соотношению: коэффициентов излучательной способности полированной и матовой поверхностей металлического фрикционного элемента и энергией термохимических реакций, происходящих при деструкции связующих компонентов, находящихся во фрикционной накладке и их энергетических характеристик в чистом виде, т. е. без структурных связей с другими компонентами в накладке, показывает интенсивность внешнего воздействия на трибосистему с точки зрения стабилизации теплового состояния ее металлического фрикционного элемента при изменении физико-химических свойств поверхностных слоев фрикционных накладок.

Особенности конструкции и работа устройства для удаления влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза. Удаление влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза транспортного средства производится для того, чтобы исключить снижение его эффективности и недопущения попадания фрикционных накладок в зону допустимой температуры для их мате-

риалов, а также предотвращения попадания обода тормозного барабана в зону стабилизационного теплового состояния.

На рис. 1 представлен поперечный разрез барабанно-колодочного тормоза с устройством для принудительного удаления влаги с его поверхностей трения; на рис. 2, *а, б* проиллюстрировано положение капли воды на вогнутых поверхностях обода тормозного барабана; на рис. 3, *а, б, в* показано положение капли воды на поверхностях фрикционных накладок с боковым, верхним и нижним расположениями тормозных колодок.

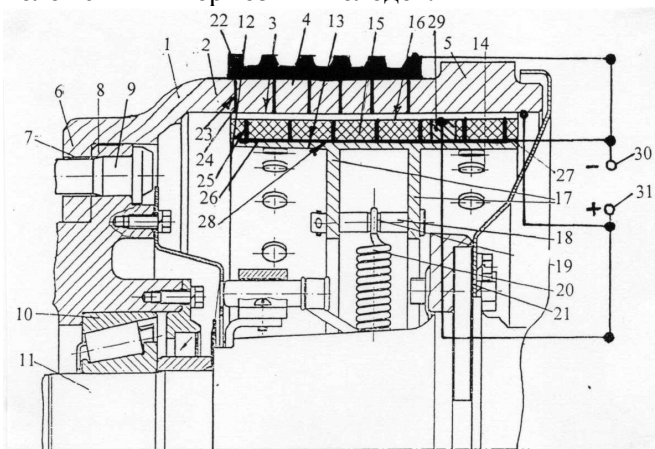


Рис. 1. Поперечный разрез барабанно-колодочного тормоза с устройством для принудительного удаления влаги с его поверхностей трения

Барабанно-колодочный тормоз содержит тормозной барабан 1, имеющий обод 2 с внутренней 3 (рабочей) и наружной 4 (не рабочей) поверхностями. На наружной поверхности 4 обода 2 со стороны его свободного края выполнен прилив в виде подкрепляющего кольца 5. С противоположной стороны обод 2 барабана 1 сопряжен с фланцем 6, в котором выполнены отверстия 7. С помощью последних тормозной барабан 1 прикреплен к фланцу ступицы 8 снизу через роликовый подшипник 10, который опирается на полуось 11 заднего моста.

Внутри тормозного барабана 1 установлены тормозные колодки 12, к основаниям 13 которых прикреплены с помощью заклепок 14 фрикционные накладки 15, имеющие рабочую поверхность 16.

С нерабочей стороны основания 13 колодок размещены их ребра жесткости 17, которые между собой соединены пальцем 18 с проточкой 19. В последнюю посажена оттяжная цилиндрическая пружина 20.

Со свободного края обода 2 тормозного барабана 1 установлен направляющий диск 21.

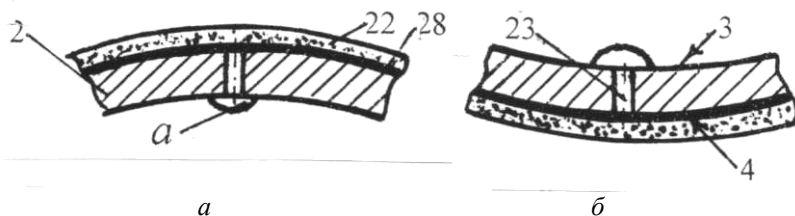


Рис. 2 Положение капли воды (а) на вогнутых поверхностях обода тормозного барабана

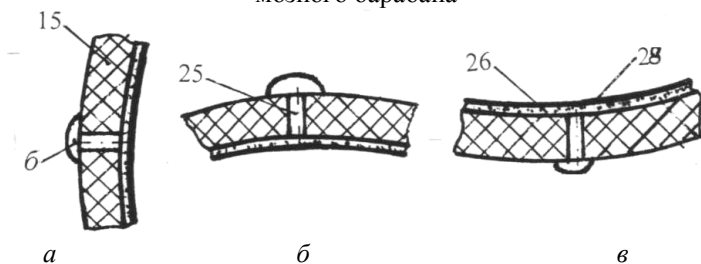


Рис. 3. Положение капли воды (б) на поверхностях фрикционных накладок с боковым (а), верхним (б) и нижним (в) расположением тормозных колодок

Барабанно-колодочный тормоз работает следующим образом. При торможении транспортного средства рабочие поверхности фрикционных накладок 15 посредством тормозных колодок 12 прижимаются к рабочей поверхности 3 обода 2 тормозного барабана 1, это вызывает генерирование теплоты на их поверхностях. Генерируемая теплота отводится в атмосферу с помощью оребренного охладителя 22. Во время дождя при переезде транспортного средства через водную преграду или при эксплуатации во влажную сырую погоду включают источник постоянного тока, напряжение от которого с отрицательного полюса 30 подают на охладитель 22 и капиллярно-пористый слой 26 оснований 13 колодок 12, а с положительного полюса 31 – на поверхности трения 3 обода 2 барабана 1 и металлических фрикционных элементов 29, расположенных по периметру тормозных колодок.

При этом осуществляется процесс электроосмоса, т.е. движение влаги с поверхностей трения обода 2 барабана 1 и фрикционных накладок 15 по капиллярно-пористым цилиндрическим элементам 24 обода 2 барабана 1, накладок 15 и металлических фрикционных элементов 29 колодок 12 за счет создания разности электрических потенциалов между горячими и холодными торцами капиллярно-пористых цилиндрических элементов 24, способствующему возникновению так называемого потенциала течения, и обеспечивающему перемещение влаги к охладителю 22 и к слою 26 капиллярно-пористого материала, где она собирается и рассеивается в атмосферу.

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет удалять с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза не только влагу, но и жидкие фракции с поверхностей полимерных фрикционных накладок не только при замкнутом, но и разомкнутом тормозе, что позволит повысить его эффективность действия.

Устройство для принудительного удаления влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза содержит охладитель 22, выполненный в виде оребренного кольца, изготовленного из капиллярно-пористого материала, соединенного с помощью сквозных радиальных отверстий 23, выполненных в ободе 2 тормозного барабана 1 с равномерным шагом, в которые установлены капиллярно-пористые цилиндрические элементы 24. Во фрикционных накладках 15 колодок 12 также выполнены сквозные радиальные отверстия 25 большего диаметра с равномерным шагом с установленными в них капиллярно-пористыми цилиндрическими элементами 24. Оси отверстий 23 и 25 смещены и поэтому не совпадают. Цилиндрические элементы 24 накладок 15 своими торцами контактируют со слоем 26 капиллярно-пористого материала, расположенного во впадине 27 оснований 13 колодок 12 и имеющего электроизоляционную подложку 28. Аналогичной подложкой покрывается поверхность охладителя 22 перед напрессовкой на нерабочую поверхность 4 обода 2 тормозного барабана 1.

Конструктивными элементами капиллярных структур являются дискретные цилиндрические волокна из меди, нержавеющей стали, никеля, алюминия или некоторых других металлов. Основу технологии изготовления капиллярных структур составляют процессы войлокования, спекания и прессования. В конечном итоге пористый материал из спеченных металлических волокон пред-

ставляет собой достаточно прочную конструкцию в виде охладителя 22 и цилиндрических элементов 24, в которых дискретные цилиндрические волокна расположены перпендикулярно поверхностям трения тормоза.

На рис. 2, *а, б* проиллюстрировано положение капли воды (*а*) в самой высокой и низкой точках на рабочей поверхности 3 вращающегося обода 2 барабана 1. На рис. 3, *а, б, в* изображены капли воды (*б*) на рабочих поверхностях 16 фрикционных накладок 15 неподвижных тормозных колодок 12, имеющих боковое, верхнее и нижнее расположение в плоскости барабанно-колодочного тормоза. При этом объемы капель воды (*а* и *б*), попавшие на поверхность 3 обода 2 барабана 1, находящегося во вращательном движении, и на поверхности фрикционных накладок 16 и металлических фрикционных элементов 29 тормозных колодок 12 в зависимости от теплового состояния перечисленных выше поверхностей ведут себя по-разному.

Что касается электрической схемы подключения устройства для принудительного удаления влаги с поверхностей трения барабанно-колодочного тормоза, то в нем охладитель 22 и капиллярно-пористый слой 26 оснований 13 колодок 12 подсоединен к отрицательному полюсу 30 источника постоянного напряжения, а поверхности трения 3 обода 2 барабана 1 и металлические фрикционные элементы 29, расположенных по периметру тормозных колодок 12, соединены с положительным полюсом 31 источника постоянного напряжения.

Путем регулирования напряжения, и достигается удаление необходимого количества влаги с поверхностей трения барабанно-колодочных тормозов транспортных средств.

Выводы.

Таким образом, наряду с учетом допустимой температуры для материалов фрикционной накладки пар трения барабанно-колодочных тормозов транспортных средств необходимо учитывать термостабилизационное состояние обода тормозного барабана. Как первое, так и второе состояние можно предотвратить только с помощью устройства для принудительного удаления влаги с поверхностей пар трения тормоза.

Список литературы

1. Uetz *Í.* Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Gleitverschleiß metallischer Werkstoffe // *Verstoffe und Korrosion.* – 1968. – Het 8. – P. 665–676.

2. Утц Н. Общие представления о процессах в поверхностных слоях при сухом трении стали по стали / Н. Утц, К. Зоммер, К. Рихтер // Теория трения, износа и проблемы стандартизации. – Брянск: Приокское, 1978. –С. 90–110.

3. Мадаминов Б.А. Исследование влияния влажности воздуха на степень наводороживания стали У8 при трении и ее износ / Б.А. Мадаминов, А.В. Сахаров // тезисы докл. ВНТК Влияние среды на взаимодействие твердых тел при трении./ –Днепропетровск, 1981. –С. 144–145.

4. Ковыршин О.Н. Влияние влажности воздуха на трение в шарикоподшипниках / О.Н. Ковыршин // Среда и трение в механизмах. – Таганрог, 1970. –С. 56–60.

5. Дедков А.К. Влияние влагосодержания атмосферы на фрикционно-износные характеристики пар трения / А.К. Дедков // Известия вузов: Машиностроение. – 1975. – №1. – С. 65–69.

6. Барабанно-колодочные тормозные устройства / [А.А.Петрик, А.И.Вольченко, Н.А.Вольченко, Д.А.Вольченко]. – Краснодар: Из-во Кубанск. государств. технолог. ун-та. – Т.1. – 2006. – 264 с.

7. Барабанно-колодочные тормозные устройства / [А.А.Петрик, А.И.Вольченко, Н.А.Вольченко, Д.А.Вольченко]. – Краснодар: Из-во Кубанск. государств. технолог. ун-та. – Т.2. – 2007. – 215 с.

Кіндрачук М.В., Вольченко Д.О., Сторож Я.Б., Поляков П.О.
Вплив вологи на триботехнічні параметри фрикційних вузлів гальмівних пристроїв та її видалення з їхніх поверхонь тертя // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.95–105.

Показано вплив вологи на триботехнічних параметри фрикційних вузлів гальмівних пристроїв. Установлено термостабілізаційний стан обода барабана гальма, який необхідно враховувати за тепловими розрахунками пар тертя поряд з допустимою температурою для матеріалів фрикційної накладки. Запропоновано пристрій для примусового видалення вологи з поверхонь пар тертя барабанно-колодкового гальма, що виконує функції обмежувача для теплових явищ.

Рис. 3, список літ.: 7 найм.

Moisture effect on the tribotechnical parameters of brake friction units and moisture removal from their friction surfaces

The moisture effect on the tribological parameters of brake friction units is shown. The thermal stabilization state of brake drum rim is established, which must be considered in friction heat calculations, along with the permissible temperature for the friction lining materials. A device for the forced moisture removing from friction surfaces of drum brakes, acting as a limiter for the above-noted thermal phenomena.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2010