УДК 622.6-592.112

Н. А. ВОЛЬЧЕНКО[1], *П. С. КРАСИН*[1], *С. И. КРИШТОПА*[2], *О. Б. СТАДНЫК*[2]

[1]Кубанский государственный технологический университет, Россия
[2]Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАР ТРЕНИЯ БАРАБАННО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Дана оценка энергонагруженности металлополимерных пар трения заднего тормозного механизма грузового автотранспортного средства при регламентируемых тормозных режимах их исследований. Установлено влияние принудительного охлаждения на энергонагруженность металлополимерных пар трения и выделено их термостабилизационное и метастабильное состояние.

Ключевые слова: *барабанно-колодочный тормоз, пара трения, обод тормозного барабана, охлаждение фрикционных узлов.*

Введение. Постоянный рост интенсивности движения и улучшение динамических свойств автотранспортных средств обостряют проблему повышения безопасности на дороге за счет разработки новых и усовершенствование существующих систем, которые ее обеспечивают. Это непосредственно касается тормозной системы, большинство дорожно-транспортных происшествий происходит во время торможения. Известно, что одним из основных условий эффективной и надежной эксплуатации пар трения барабанно-колодочного тормоза автотранспортных средств является их работа в интервале температур, ниже допустимой для материалов накладки. Поэтому работы [1-3], направленные на оценку энергонагруженности металлополимерных пар трения барабанно-колодочных тормозов автотранспортных средств, являются особенно важными. Однако, при этом следует заметить, что некоторые существенные факторы (как, например, термостабилизационное и метастабильное состояние обода и рабочей поверхности фрикционных накладок) влияющие на динамику энергонагруженности фрикционных узлов тормозных механизмов, до сего времени не учитывались. При этом, на указанное состояние металлополимерных пар трения оказывает влияние принудительное охлаждение их взаимодействующих поверхностей.

Целью работы является повышение эффективности металлополимерных пар трения барабанно-колодочных тормозов автотранспортных средств за счет принудительного охлаждения и установления их термостабилизационного состояния в лабораторных и дорожных условиях.

Лабораторный стенд и его работа. Проведение большого объема испытаний системы принудительного охлаждения, работающей в режимах многоэжекторного эффекта и тепловой трубы, металлополимерных пар трения барабанно-колодочных тормозов автотранспортных средств позволит объективно судить о ее работоспособности и эффективности отводить теплоту, генерируемую и аккумулируемую на различных режимах торможения.

Задачей экспериментальных исследований являлась проверка эффективности пар трения тормозов с принудительным жидкостным охлаждением.

Исходя из вышеизложенного, к тормозному стенду предъявляются следующие требования: возможность выполнения единичных и повторно-

кратковременных торможений; совершение экстренных торможений для оценки коэффициентов эффективности тормозных механизмов перед выполнением повторно-кратковременных торможений; моделирование реальных условий работы пар трения тормоза с возможностью изменения режимов работы многоэжекторной системы охлаждения.

При этом регистрации подлежали следующие параметры: время торможения; количество торможений; угловая скорость тормозного барабана; температура обода тормозного барабана; температура теплоносителя в камере тормозной колодки; температура поверхности трения; расход теплоносителя; тормозной момент; износ рабочей поверхности фрикционных накладок.

Исследованию энергонагруженности на тормозном стенде подвергались металлополимерные пары трения различных типов фрикционных узлов тормозов. Кинематическая схема стенда представлена на рис. 1.

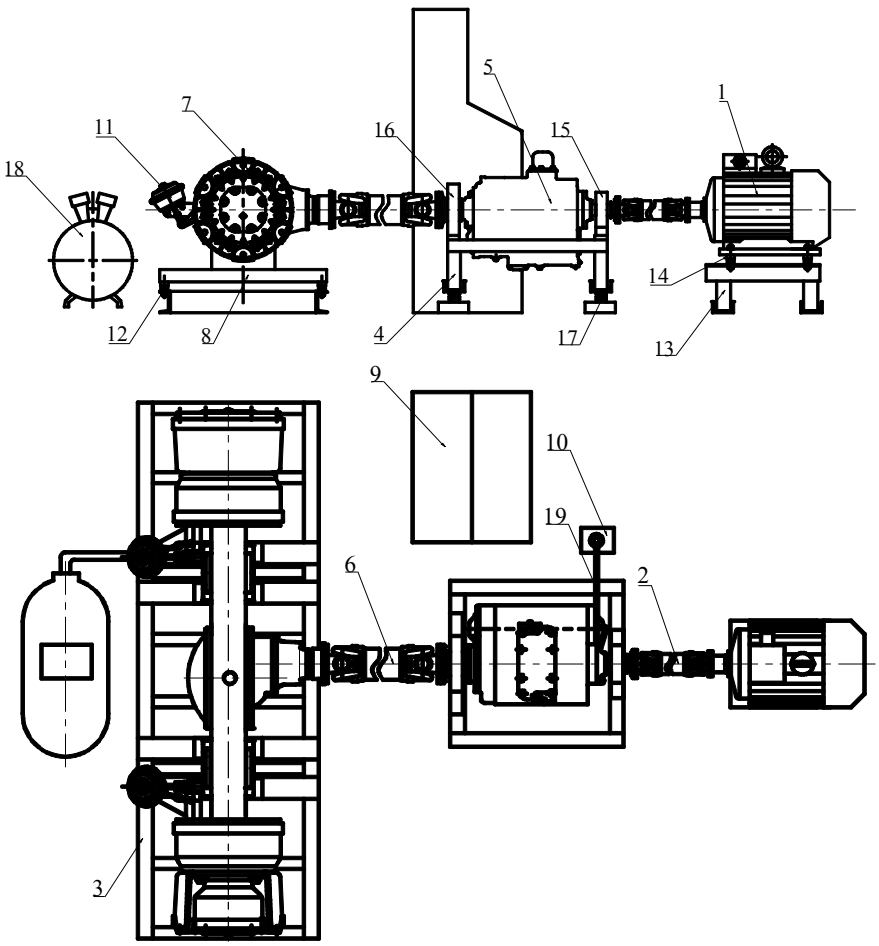

Рис. 1. Кинематическая схема стенда для испытания тормозных механизмов автотранспортных средств:*1* - электродвигатель; *2*, *6* - карданные передачи; *3*, *4*, *13* - основания под агрегаты и узлы; *5* - коробка переменных передач; *7* - задний мост автотранспортного средства МАЗ 551605-371 с тормозными механизмами; *8*- рама; *9* - пульт управления; *10* - тензометрический датчик; *11* - тормозные камеры; *12*, *14*, *17* - виброгасители; *15* - передняя опора; *16* - задняя опора; *18* - компрессор; *19* – рычаг

Тормозной стенд состоит из заднего (ведущего) моста автотранспортного средства МАЗ 551605-371 *7*, который установлен на восьми виброгасителях *12* и основании *8*. Задний мост приводится во вращение от электродвигателя *1*, который, в свою очередь, передает вращательный момент через карданную передачу *2* на коробку переменных передач *5*. Вращательный момент с выходного вала коробки переменных передач при помощи карданной передачи *6* передается ведущему мосту *7*. Электродвигатель *1* закреплен на основании *13* с помощью четырех виброгасителей *14*. Коробка переменных передач подвешена и закреплена с помощью передней *15* и задней *16* опор на раме *4*. Для гашения вибраций и колебаний узлов стенда рама *4* соединена с основанием посредством четырех виброгасителей *17*. Таким образом, при включении в сеть электродвигателя *1* вращательный момент через карданную передачу *2* передается на входной вал коробки переменных передач. В зависимости от включенной передачи в коробке переменных передач измененный вращательный момент с ее выходного вала через карданную передачу *6* приводит во вращение фланец ведущей шестерни главной передачи и через дифференциал передается на колесный движитель.

При имитации режимов торможения питание электродвигателя *1* отключается и при помощи пульта управления *9* воздух из компрессора *18* через двухсекционный кран по магистрали подается в тормозные камеры *11*, расположенные на ведущем мосту *7*. В результате этого тормозные барабаны блокируются, возникает реактивный момент, и КПП отклоняется на определенный угол вместе с рычагом *19*, закрепленным на ней. Рычаг *19* создает усилие нажатия на датчик усилия *10*.

Система для принудительного охлаждения фрикционных узлов. Предложенная система для принудительного охлаждения фрикционных узлов барабанно-колодочных тормозов автотранспортных средств (заявка на патент России № 2012140266 от 20.09.2012 г.), работает на эффектах эжектора (при разомкнутых парах трения) и тепловой трубы (при замкнутых парах трения).

Система охлаждения состоит из медной трубки 4, нагреваемой при торможении, и кондуктивным теплообменом передающей теплоту теплоносителю *11* в камере *10* тормозной накладки (рис. 2). За счет градиента давления между теплоносителем *11*, находящегося в системе сопловых отверстий 6 втулки *9* и межконтактным зазором между парами трения, теплоноситель *11* попадает на поверхность фрикционной накладки *2*, где испаряясь охлаждает рабочую поверхность тормозного барабана *1*. Наличие эффекта конфузора *13* в системе сопловых отверстий *6* во втулке *9* позволяет потокам воздуха и газов, циркулирующими между парами трения попадать в объем камеры *10* и диспергировать жидкость для её подъема по системе сопловых отверстий *6*, работающих в режиме диффузора *14*. Кроме того, отсос потоков воздуха и газов из межконтактного зазора между парами трения тормоза не только удаляет продукты их износа, но и эффективно охлаждает рабочую поверхность тормозного барабана. В процессе торможения система работает в режиме тепловой трубы, в которой различают горячую и холодную зоны. Торец узла охлаждения *3*, соприкасающийся с рабочей поверхностью обода тормозного барабана является горячей зоной тепловой трубы, а нижняя часть узла охлаждения *3* зануренная в теплоноситель *11* камеры *10* колодки – холодной зоной. За счет градиента температуры между горячей и холодной зонами и происходит циркуляция теплоносителя *11* в объемах сопловых отверстий *6* втулок *9*, способствуя тем самым отводу теплоты от обода тормозного барабана *1*. Интенсивность принудительного охлаждения обода тормозного барабана *1* зависит от длины эжекторных и тепловой трубки эффектов.

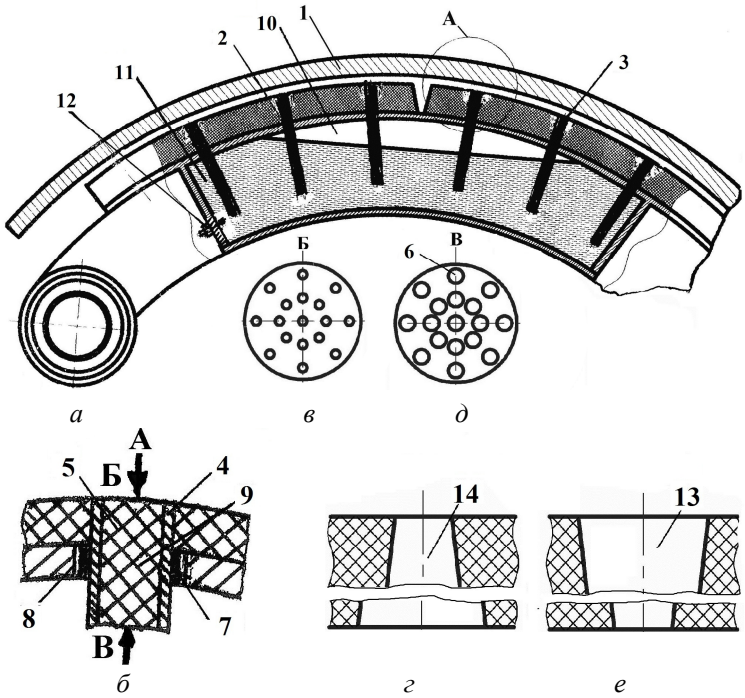

Рис. 2. Продольный разрез пар трения тормоза с узлами охлаждения (*а*); вид *А* – установка узла охлаждения в основание колодки и в накладки (*б*); вид *Б* и *В* на пластмассовую втулку с системой продольных сквозных отверстий (*в*, *д*); отверстия: диффузоры и конфузоры (*г*, *е*); *1* – тормозной барабан; *2* – фрикционные накладки; *3* – узлы охлаждения; *4*, *7*, *5* – медная трубка, ее выступ с резьбой и пластмассовая втулка; *6* – сопловые отверстия; *8* – отверстия с резьбой в основании колодки; *9* – отверстия в накладках; *10*, *11* – камеры колодки с теплоносителем; *12* – обратный клапан; *13*, *14* – отверстия: конфузоры, диффузоры

Оценка работоспособности системы для принудительного охлаждения металлополимерных пар трения производилась на тормозном стенде.

В процессе дорожных испытаний задних тормозных механизмов грузового автотранспортного средства МАЗ-6303А5-320 с серийными и усовершенствованными колодками замерялись и рассчитывались следующие параметры (кроме вышеперечисленных): скорости движения до и после торможения.

Автотранспортное средство МАЗ-6303А5-320 отнесено к подкатегории M_2, для которой первый тип испытаний заключался в реализации 15-ти последовательных торможений на горизонтальном участки дороги. Продолжительность каждого цикла 55,0 с и за это время на участке 1,0 км автотранспортное средство двигалось со скоростью 60 км/ч, и производилось его притормаживание до скорости 30 км/ч с замедлением 3,0 м/с^2.

Длительный режим испытаний задних тормозных механизмов производился путем буксирования по горизонтальному участку дороги длиной 6,0 км грузового автотранспортного средства МАЗ-63-09А5-320 с помощью специального автомобиля-тягача со скоростью 30,0 км/ч с тяговым усилием в сцепном устройстве $0{,}6gM_а$ (g – ускорение свободного падения тела; $M_а$ – масса автомобиля-тягача).

Результаты экспериментальных исследований энергонагруженности фрикционных узлов тормозов. Дорожные испытания серийных и усовершен-

ствованных фрикционных узлов заднего тормозного механизма грузового автотранспортного средства МАЗ-6303А5-320 с вынужденным и принудительным охлаждением были проведены при циклических и длительных торможениях. На рис. 3 проиллюстрирована энергонагруженность фрикционного узла тормоза при первом режиме торможений. Особенностью эксплуатации системы принудительного охлаждения явилось то, что она в процессе торможения работала в режиме тепловой трубы, а между торможения – в режиме эжектора.

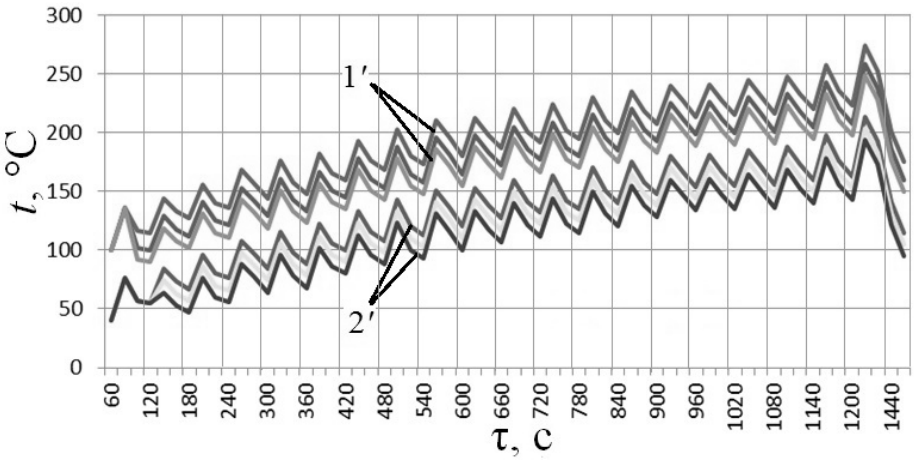

Рис. 3. Закономерности изменения поверхностной температуры ТБ от времени торможения, вынужденного и принудительного охлаждения различных типов фрикционного узла грузового автотранспортного средства МАЗ 6303А5-320 при проведении циклических испытаний: семейство кривых *1′* – серийных пар трения (нагревании, вынужденное охлаждение); семейство кривых *2′* – усовершенствованных пар трения (нагревание, принудительное охлаждение)

Из рис. 3 следует, что характер квазисинусоидальных кривых изменения поверхностных температур пар трения тормоза уподоблен закономерности изменения плоской электромагнитной волны.

Допустимую температуру материалы фрикционной накладки серийной тормозной колодки тормоза достигали после 15-ти циклических торможений. В то же время пары трения, которые принудительно охлаждались системами, вмонтированными в усовершенствованные тормозные колодки, достигали поверхностной температуры 200 °С. Эффективность принудительного охлаждения пар трения тормоза составила 24,0-26,0 %.

При этом остаточная эффективность барабанно-колодочных тормозов грузового автотранспортного средства МАЗ 6303А5-320 после проведения циклических торможений для первого и второго случаев испытаний составила, соответственно, 65,0 % и 68,0 %, тогда как по международным стандартам должна сохранятся в пределах 60 % нормативного значения. Второй случай (с принудительным охлаждением) полностью отвечает нормативным значениям.

Энергонагруженность фрикционного узла барабанно-колодочного тормоза грузового автотранспортного средства МАЗ 6303АБ-320 при длительном режиме нагружения показана на рис. 4. Особенностью эксплуатации системы принудительного охлаждения явилось то, что в процессе торможения она работала только в режиме тепловой трубы.

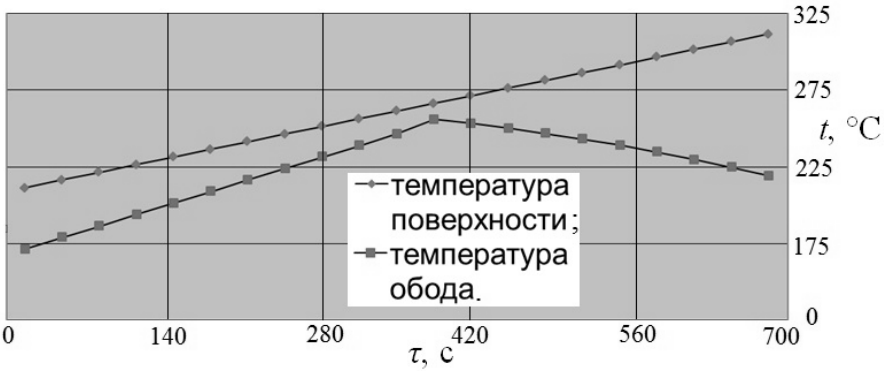

Рис. 4. Зависимости температур поверхности пары трения и обода заднего тормозного барабана от времени торможения при длительном режиме нагружения фрикционного узла барабанно-колодочного тормоза грузового автотранспортного средства МАЗ 6303АБ-320

Из приведенных графических зависимостей на рис. 3 и 4 следует:

– температура обода тормозного барабана в интервале времени от 280 с до 700 с изменилась всего примерно на 30,0 °С; ее рост наблюдался от 280 с до 390 с, а от 390 с до 700 с имело место падение температуры;

– в интервале времени от 280 с до 700 с при температурах (225,0-255,0)°С наблюдалось термостабилизационное состояние обода тормозного барабана [1];

– температура поверхности пары трения все время увеличивалась за счет метастабильного состояния поверхностей фрикционных накладок в приповерхностных слоях которых имели место эндотермические реакции.

Снижение температуры обода барабана от 255 °С до 220 °С за время от 390 с до 700 с объясняется наличием жидких фракций на поверхностях фрикционных накладок, образовавшихся в результате выгорания связующих компонентов их материалов.

Эффективность принудительного охлаждения тормозного барабана составила 25,0 %.

При этом остаточная эффективность барабанно-колодочного тормоза грузового автотранспортного средства МАЗ 6303А5-320 после проведения длительного режима его нагружения составила 75,0 %, тогда как согласно международного стандарта должна сохранятся в пределах 60,0 % нормативного значения.

Термостабилизационное состояние обода тормозного барабана. Согласно свидетельства об открытии [5] формула звучит следующим образом: «Установлено неизвестное ранее явление тепловой стабилизации в металлополимерных парах трения, заключающееся в том, что при термическом сопротивлении контактов металлополимерных пар трения и аккумулировании теплоты в зоне температур выше допустимой для материалов поверхностных и приповерхностных слоев в зоне трения возникает множество микротермобатарей с различной энергетической активностью, способствующих инверсии тепловых потоков от полимера к металлу и возникновению устойчивой тепловой стабилизации при минимальном температурном градиенте по толщине металлического фрикционного элемента».

При взаимодействии металлополимерных пар трения тормозных устройств контакт носит дискретный характер из-за постоянной смены его элементарных участков. Последние представляют собой очаг «электрических» и «термиче-

ских» неровностей. «Электрические» очаги способствуют генерированию электрических токов с помощью сформированных микротермобатарей с различными свойствами материалов и поэтому они работают в режиме микротермоэлектрогенератора и микротермоэлектрохолодильника. Одни участки нагреваются, а другие – охлаждаются. Кроме того, нагревание участков взаимодействия способствует их поляризации, а охлаждение других – деполяризации. При этом зоны перекрываемые торцами охлаждающих устройств в металлополимерных парах трения барабанно-колодочных тормозов является деполяризационными, что позволяет снижать трибоэффект. «Термические» очаги нагреваются за счет трибоэффекта. В дальнейшем более разогретые участки поверхности трения в результате термического расширения и податливости приподнимаются над остальной поверхностью и начинают вследствие этого воспринимать всю приложенную нагрузку. Так будет продолжатся до тех пор, пока локальный износ этого участка не приведет к понижению его уровня, после чего опять произойдет перераспределение нагрузки, которая окажется приложенной к другим участкам поверхности.

Выводы. Таким образом, предложенная система принудительного охлаждения металлополимерных пар трения барабанно-колодочного тормоза автотранспортного средства, работающая на эффектах «многоструйного эжектора» и «тепловой трубы», позволит снизить энергонагруженность их взаимодействующих поверхностей и избежать метастабильного состояния поверхностных и приповерхностных слоев материалов фрикционных накладок и термостабилизационного состояния ободов тормозных барабанов.

Список литературы

1. Федоров А. А. Моделирование температурных вспышек при трении / А. А. Федоров, Д. О. Бытев // Сб. докл. международн. конгресса «Механика и трибология транспортных систем-2003». – Ростов-на-Дону, 2003. – С.330-335.

2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника)/ Под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575с.

3. Новый подход к тепловой динамике трения фрикционных узлов тормозных устройств (часть 4) / М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко, Н. А. Вольченко [и др.]// Проблемы трения и износа: научн. техн. зб. – К.: НАУ, 2011. Вип. 56. – С. 55-70.

4. Хайнике Г. Трибохимия / Г. Хайнике. Мир, 1987. – 584 с.

5. Свидетельство об открытии №444 / Явление тепловой стабилизации в металлополимерных парах трения // А. И. Вольченко, М. В Киндрачук, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко / Заявитель: Национальный авиационный университет (Киев). Приоритет открытия 31 декабря 1970 г. – Москва: МААНОИ. – 2012.

Стаття надійшла до редакції 26.05.2014

М. О. ВОЛЬЧЕНКО, П. С. КРАСІН, С. І. КРИШТОПА, О. Б. СТАДНИК

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНОСТІ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ ПАР ТЕРТЯ БАРАБАННО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Дана оцінка енергонавантаженості металополімерних пар тертя заднього гальмівного механізму вантажного автотранспортного засобу при регламентованих гальмівних режимах їх досліджень. Встановлено вплив примусового охолодження на енергонавантаженість металополімерних пар тертя і виділено їх термостабілізаційний і метастабільний стан.

Ключові слова: барабанно-колодкове гальмо, пара тертя, обід гальмівного барабана, охолодження фрикційних вузлів.

N. A VOLCHENKO, P .S. KRASIN, S. I. KRYSHTOPA, O. B. STADNYK

EXPERIMENTAL RESEARCH OF ENERGY LOADING OF METAL-POLYMER FRICTION PAIRS OF DRUM-SHOE BRAKES OF VEHICLES

Energy loading's estimation of metal-polymer friction pairs of a rear brake mechanism of the cargo vehicle is given at regulated brake modes of their researches. Influence of compulsory cooling on energy loading of metal-polymer friction pairs is established and their thermal-stable and metastable condition is allocated. Objective - improving the efficiency of metal-polymer friction pairs of drum-shoe brakes of vehicles by using forced cooling and establish their thermal stabilization state in laboratory and road conditions. We have considered the following questions: forced cooling system for friction units; thermal stabilization condition of rim of brake drum.

Keywords: drum-shoe brake, friction pair, rim of brake drum, cooling of friction units.

Вольченко Николай Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и автосервиса, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия.
Красин Петр Сергеевич – аспирант кафедры материаловедения и автосервиса, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия.
Криштопа Святослав Игоревич – канд. техн. наук, доцент кафедры нефтегазового технологического транспорта, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина.
Стаднык Олег Богданович – аспирант кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина.