УДК 629.413-592.113 DOI: 10.18372/0370-2197.2(83).13686

Д. А. ВОЛЬЧЕНКО[1]*, М. В. КИНДРАЧУК*[2]*, В. С. СКРЫПНЫК*[1]*, И. О. БЕКИШ*[1]*,*
Е. Ю. АНДРЕЙЧИКОВ[1]

[1]***Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина***
[2]***Национальный авиационный университет, Украина***

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА СИСТЕМЫ КОСВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С НАНОТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ ПАР ТРЕНИЯ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В материалах статьи рассмотрен метод оценки теплового баланса самовентилируемого тормозного диска с камерами, заполненными нанотеплоносителями, дисково-колодочного тормоза транспортного средства. Оценка теплового баланса диска произведена температурным методом в режимах движения и торможения транспортного средства.

Ключевые слова: *транспортное средство, самовентилируемый дисково-колодочный тормоз, полудиски с камерами, пустотелые шипы, нанотеплоносители.*

Введение. Повышение безопасности движения транспортных средств в неуклонно возрастающих их потоках на дорогах страны тесно связано с эффективностью действия дисково-колодочных тормозов. Работоспособность их пар трения зависит от уровня энергонагруженности тормозного узла. Применение самовентилируемых дисков в тормозах не удовлетворяет условию снижения их энергонагруженности [1; 2]. Объясняется это тем, что тормозные механизмы имеют ограниченный строительный объем, поэтому увеличить площади поверхностей теплообмена в самовентилируемых тормозных дисках не представляется возможным. Кроме того, коэффициент теплоотдачи вынужденной воздушной конвекции в десятки раз меньше, чем при других видах принудительного охлаждения (например, при косвенном принудительном водяном охлаждении пар трения дисково-колодочного тормоза транспортного средства).

Состояние проблемы. Известен метод оценки теплового баланса сплошного диска, входящего в состав дисково-колодочного тормоза транспортного средства, температурным методом [2]. Смысл последнего заключается в определении поверхностных температур последовательно теплоизолируемых поверхностей конструктивных элементов сплошных дисков, что требует значительных затрат времени. Поэтому одной из основных задач при оценке теплового баланса самовентилируемых тормозных дисков с камерами, заполненными нанотеплоносителями, является отказ от теплоизоляции их матовых (нерабочих) поверхностей.

В настоящее время сформирован банк результатов многочисленных экспериментов, касающихся исследования теплофизических параметров наножидкостей (коллоидный раствор в жидкости металлических наночастиц). Однако эти данные имеют большой разброс и зачастую противоречат друг другу. Большая часть результатов указанных экспериментальных исследований свидетельствует об аномальном увеличении теплопроводности наножидкостей и имеет большое расхождение с результатами аналитических расчетов. Необходимо отметить, что при малых концентрациях наночастиц в воде аномального увеличения теплопроводности учеными разных стран не обнаружено [3–6].

Классификация наножидкостей и анализ методов моделирования коэффициентов интенсивности переноса в них теплоты приведены в [7; 8]. В частности, отмечено, что строгая теория процессов переноса теплоты в наножидкостях пока не разработана, а применение моделирования теплопроводности методами молекулярной динамики позволяет прогнозировать результаты, сильно отличающиеся от классической теории.

Большой разброс экспериментальных данных связан с рядом объективных причин: методикой синтеза наночастиц, функцией распределения наночастиц по размерам, теплофизическими параметрами наночастиц, технологией приготовления наножидкостей, а также методами определения теплопроводности, термического сопротивления, коэффициентов теплопроводности, коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи от омываемых ими поверхностей и интенсивности передачи тепловых потоков по схеме ”металл – нанотеплоноситель – металл”.

Постановка задачи. В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к решаемой проблеме:

– выбор нанотеплоносителей для систем охлаждения тормозов;

– особенности конструкции дисково-колодочного тормоза с жидкостной системой косвенного охлаждения;

– оценка теплового баланса системы охлаждения с нанотеплоносителями тормоза.

Цель работы – определение потерь теплоты в самовентилируемом тормозном диске с камерами, заполненными нанотеплоносителями, дисково-колодочного тормоза в режимах торможения и движения транспортного средства.

Выбор нанотеплоносителей для систем охлаждения тормозов. Остановимся кратко на наножидкостях и их теплофизических параметрах. Динамическая вязкость жидкости обусловлена, в первую очередь, молекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул. В жидкости молекула может проникнуть в соседний слой лишь при возникновении в нем трещины, достаточной для внедрения в нее молекулы. На образование трещин (на «рыхление» жидкости) расходуется так называемая энергия активации вязкого трения. Эта энергия уменьшается с ростом температуры и понижением давления. В этом состоит одна из причин резкого снижения вязкости жидкости с повышением температуры и роста ее при высоких давлениях.

Возникновение в дисперсных системах пространственных структур, образуемых макромолекулами, вызывает резкое повышение вязкости.

При течении структурированной жидкости работа внешней силы затрачивается не только на преодоление истинной (ньютоновской) вязкости, но и на разрушение структуры.

Вязкость жидкости зависит от химической структуры молекул и возрастает с увеличением молекулярной массы.

Исследования показали, что наножидкости, начиная с определенных концентраций наночастиц в них, становятся неньютоновскими, [4]. Рассмотренные наножидкости на основе воды с наночастицами оксида меди (CuO) при их объемных концентрациях свыше 0,25% оказываются вязкопластическими, причем их реология описывается степенными функциями для жидкости. Степень отклонения реологии наножидкостей от ньютоновских растет с увеличением объемной концентрации наночастиц в растворе. Это обстоятельство следует учитывать при практическом применении наножидкостей.

Наножидкость представляет собой коллоидный раствор мельчайших металлических частиц с высоким коэффициентом теплопроводности. В качестве раствора выступает жидкость (вода, 25% раствор аммиака (для районов с холодным климатом)) или жидкий аргон. Наночастицами являются, например, алюминий (Al), медь (Cu), цинк (Zn), оксид алюминия (Al_2O_3), окись меди (CuO) с их размерами до 10 nm. Многочисленные исследования [3-8 и др.] показали, что зависимость количества наночастиц от диапазона изменения их размера имеет вид плотности нормального распределения.

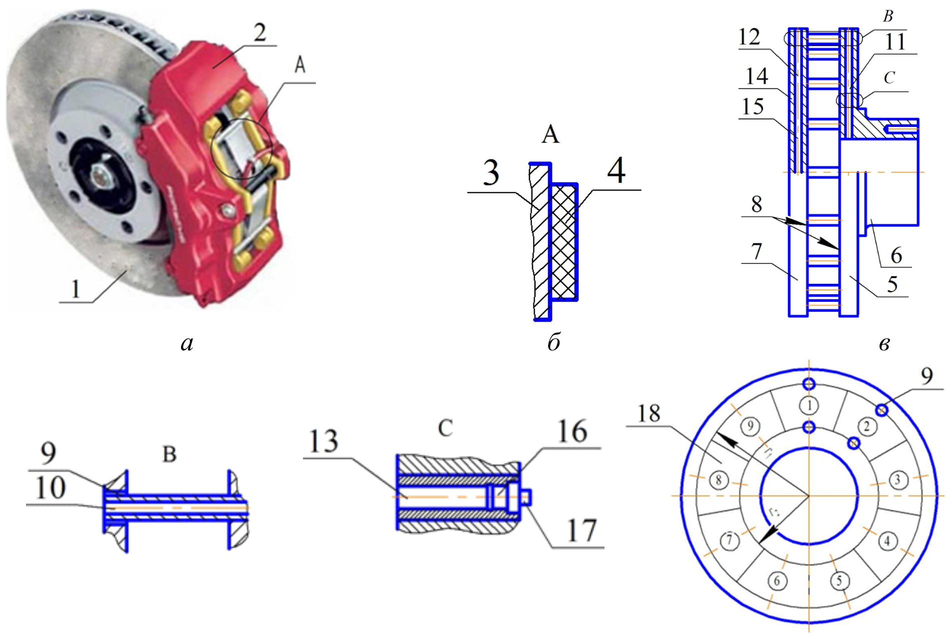
Коэффициент теплопроводности наножидкости является функцией температуры. На коэффициент теплопроводности наножидкостей влияют следующие составляющие: кинетическая, потенциальная, столкновительная, потенциально-кинетическая, столкновительно-кинетическая, потенциально-столкновительная. При этом взаимодействие несущей среды с наночастицей определяется потенциально-кинетическим потенциалом.

Согласно молекулярно-динамической теории фазовых траекторий наночастиц в жидкости и в насыщенном влажном паре, находящихся в системе охлаждения дисково-колодочного тормоза, имеет место их локальная неустойчивость и перемешивание. При этом необходимо иметь в виду, что находящиеся в воде наночастицы покрываются пленкой, что способствует возрастанию коэффициента теплопередачи.

Особенности конструкции дисково-колодочного тормоза с жидкостной системой косвенного охлаждения. Рассмотрим конструктивные особенности и работу системы охлаждения с наножидкостью дисково-колодочного тормоза транспортного средства (рис. 1). В системе охлаждения камера *11* правого полудиска *5* с фланцем *6* заправлена водой с тяжелыми наночастицами из цинка диаметром от 5,0 до 10,0 нм, а камера *12* левого полудиска *7* – водой с легкими наночастицами из алюминия диаметром от 2,0 до 40 нм. Таким образом, в камерах *11* и *12* полудисков *5* и *7* сформирована подвижная пористая структура, состояние которой зависит от угловой скорости диска тормоза при движении и торможении транспортного средства. Термодинамическое состояние подвижной пористой структуры и ее положение в камерах *11* и *12* полудисков *5* и *7* определяют эффективность охлаждения.

Система охлаждения дисково-колодочного тормоза транспортного средства работает следующим образом.

При торможении дисково-колодочным тормозом на трущихся поверхностях генерируется теплота, значительная часть которой от поясов трения *18* передается правому полудиску *5* с фланцем *6* и левому полудиску *7*. В дальнейшем сформировавшиеся тепловые потоки взаимодействуют с наножидкостью *16*. Потоки теплоты в камерах *11* и *12* полудисков *5* и *7*, соединенных пустотелыми цилиндрическими шипами *9*, обусловлены переносом наночастицами жидкости кинетической и потенциальной энергии, а также в результате их столкновений. При этом наличие в камере *11* (меньшего объема) правого полудиска *5* с фланцем *6* тяжелых наночастиц в воде обеспечивает формирование защитного теплового барьера для температурного градиента на границе между внутренним радиусом r_1 пояса трения *18* и сопряжением полудиска *5* с фланцем *6*.



г *д* *е*

Рис. 1. Общий вид самовентилируемого дисково-колодочного тормоза (*а*) и его фрикционный узел (*б*); тормозной диск с системой охлаждения и ее элементами (*в*, *г*, *д*); полудиск с очертанием пояса трения и положениями накладки на его поверхности (*f*): *1* – тормоз; *2* – суппорт; *3* и *4* – тормозные колодки с накладками; *5*, *6* – правый полудиск с фланцем; *7* – левый полудиск; *8* – внутренние поверхности полудисков; *9*, *10* – цилиндрический шип с отверстием; *11*, *12* – камеры; *13*, *14* – заливные отверстия; *15* – наножидкость; *16*, *17* – пробка с выпускным клапаном; *18* – пояс трения полудиска

Масса полудиска *5* с фланцем *6* и камерой *11*, заполненной наножидкостью *15*, больше, чем левого полудиска *7* с камерой *12*, заполненной водой с легкими наночастицами. Вращение вокруг оси полудисков *5* и *7* обусловливает появление центробежного ускорения, радиальная составляющая сил которого заставляет под действием градиента плотности тяжелых и легких наночастиц, находящихся в воде, циркулировать их по схеме: тяжелые наночастицы камеры *11* полудисков *5* – отверстия *10* цилиндрических шипов *9* – легкие наночастицы камеры *12* полудиска *7*. Кроме того, центробежная сила при превращении воды в пар за счет градиента плотности заставляет сконденсировавшуюся воду возвращаться из холодных зон камер *11* и *12* в горячие их зоны. При этом под действием центробежной силы поверхность раздела жидкой и парообразной фаз становится гладкой и устойчивой.

Неравномерно замедленный режим вращения полудисков *5* и *7* при резком торможении вызывает колебания наножидкости *15* в камерах *11* и *12* полудисков *5* и *7*, что при противоточном движении потоков пара и жидкости вызывает срыв капель с наночастиц подвижной пористой структуры и их перенос в холодные зоны камер *11* и *12*. В процессе движения и торможения автотранспортного средства происходит омывание наружных поверхностей полудисков *5* и *7* встречными потоками воздуха.

При образовании пара из жидкости в камерах *11* и *12* полудисков *5* и *7* и повышении его давления до критического срабатывают выпускные клапаны *17*, соединяющие камеры *11* и *12* с окружающей средой.

При фрикционном взаимодействии пар трения тормоза происходит последовательное чередование горячих и холодных зон поясов трения *18* полудисков *5* и *7* при движении накладок *4* колодок *3* по их новому следу (см. рис. 1, *е*, положения 1– 9 накладки на поясе трения *18* диска). При этом на поверхностях поясов трения *18* дисков *5* и *7* возникает переменный температурный градиент в связи с непостоянством генерируемых тепловых потоков. Последние к концу торможения уменьшаются и становятся отрицательными вследствие эффективного принудительного охлаждения наножидкостью *15*, несмотря на положительный градиент удельных нагрузок к концу процесса торможения.

Оценка теплового баланса системы охлаждения тормоза с нанотеплоносителями. Метод оценки теплового баланса системы косвенного охлаждения с наножидкостью пар трения дисково-колодочного тормоза различных категорий движущихся транспортных средств реализуется в четыре этапа.

На первом этапе камеры *11* и *12* с неодинаковыми объемами правого полудиска *5* с фланцем *6* и левого полудиска *7* заправляются наножидкостями *15* с легкими и тяжелыми частицами. Камеры *11* и *12* соединены между собой пустотелыми шипами *9*, *10*. При движении транспортного средства в режиме циклических торможений и определяют энергонагруженность пар трения по величине повышения их поверхностной температуры: t_1-t_0 (где t_0 – температура окружающей среды) с помощью спаев термопар *21*, вмонтированных в тело фрикционных накладок *4*.

На втором этапе наножидкость *15* в камерах *11* и *12* полудисков *5* и *7* заменяют водой. При движении транспортного средства в режиме циклических торможений также определяют, насколько изменилась температура поверхностей трения t_2-t_0. Величина отношения $(t_1-t_0)/(t_2-t_0)$ указывает на долю теплоты, которую отводят металлические частицы от пар трения тормоза.

На третьем этапе удаляют воду из камер *11* и *12* полудисков *5* и *7* тормоза. При движении транспортного средства в режиме циклических торможений вновь фиксируют повышение поверхностной температуры t_3-t_0. Величина отношения $(t_2-t_0)/(t_3-t_0)$ указывает на долю теплоты, которую отводит вода от узлов трения тормоза.

На четвертом этапе нагревают пары трения тормоза с сухими камерами *11* и *12* его полудисков *5* и *7* при движении транспортного средства в режиме циклических торможений, повторяя такие циклы неоднократно. Затем транспортное средство движется с различными скоростями одинаковое время. По снижению энергонагруженности пар трения тормоза определяют эффективность вынужденного воздушного охлаждения.

За счет использования наножидкости с высоким коэффициентом теплопроводности интенсифицируется отвод теплоты от поясов трения *18* полудисков *5* и *7*, что позволяет парам трения тормоза работать в диапазоне температур ниже допустимой для материала накладки, способствуя повышению эффективности действия тормоза. При превращении жидкости, находящейся в камерах *11* и *12*, во влажный насыщенный или сухой пар эффективность системы принудительного охлаждения заметно повышается.

Метод оценки теплового баланса системы косвенного охлаждения с наноносителями пар трения дисково-колодочного тормоза различных категорий движущихся транспортных средств реализуется в два этапа.

<u>На первом этапе</u> камеры *11* и *12* правого полудиска *5* с фланцем *6* и левого полудиска *7* заполняют наножидкостями *15* с одинаковыми диаметрами частиц. Камеры *11* и *12* соединены между собой пустотелыми шипами 9, 10. При движении транспортного средства в режиме циклических торможений за время τ_1 температура воды в камерах *11* и *12* полудисков *5* и *7* возрастает до температуры ее кипения (99,9 °С). Определяют, на сколько поднялась температура воды t_1-t_0 (где t_0 – температура окружающей среды). При дальнейших циклических торможениях температура пара достигает 200 °С, т.е. за время τ_2 она поднялась на t_2-t_1. По величине отношения $(t_1$-$t_0)/(t_2$-$t_1)$ определяют долю теплоты, которую отводят нанопаром от узлов трения тормоза.

<u>На втором этапе</u> для двухфазного состояния воды при температурах t_j по зависимости вида: $Q_1 = \dfrac{\alpha_i F(t_i - t_0)}{\tau}$ (где α_i – коэффициент теплоотдачи; F – площадь омывания) определяют количество теплоты, отведенное от узлов трения тормоза нанотеплоносителями.

Таким образом, предложенный метод прогнозирования теплового баланса системы косвенного охлаждения с нанотеплоносителями узлов трения дисково-колодочного тормоза различных транспортных средств позволяет оценить эффективность каждой фазы теплоносителя при снижении энергонагруженности узлов трения тормоза.

Выводы. Предложен метод оценки теплового баланса самовентилируемого тормозного диска с камерами, заполненными нанотеплоносителями, дисково-колодочного тормоза транспортного средства, позволяющий определять эффективность охлаждения как системы в целом, так и термодинамических фаз теплоносителя в отдельности.

Список литературы

1. Особенности оценки интенсивности теплообмена самовентилируемых дисково-колодочных тормозов транспортных средств // Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко, А. И. Вольченко [и др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, №1/5(97), 2019 – С. 47-53.

2. К вопросу оценки теплового баланса сплошных дисков тормозов в подкатегориях транспортных средств / Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко, В. С. Скрыпник [и др.] // Проблеми тертя та зношування. – Киев. – 2018. – №3 (80). – С. 16-23.

3. Рудяк В Я., Краснолуцкий С. Л. Моделирование коэффициентов теплопроводности наножидкости с малыми частицами методом молекулярной динамики / В. Я. Рудяк, С. Л. Краснолуцкий // Журнал технической физики. 2017. Т. 87. Вып. 10 – С. 1450-1458.

4. Измерение коэффициента теплоотдачи наножидкости на основе воды и частиц окиси меди / А. В. Минаков, В. Я. Рудяк, Д. В. Гузей, А. С. Лобасов // ТВТ, том 53, вып 2, 2015. – С. 258-263.

5. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизмы теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы. Ч. 2. Конвективный теплообмен // Теплофизика и аэромеханика, 2010. №2. – С. 173.

6. Рудяк В. Я., Белкин А. А., Томлина Е. А. О коэффициенте теплопроводности наножидкостей // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. Вып. 14. – С. 49.

7. Рудяк В. Я., Белкин А. А. Моделирование коэффициентов переноса наножидкостей // Наносистемы: физика, химия, математика. 2010. Т. 1. №1. – С. 156.

8. Цветков Ф. Ф., Григорьев Б. А. Тепломассообмен. М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 215с.

Стаття надійшла до редакції 14.04.2019.

Д. О. ВОЛЬЧЕНКО, М. В. КІНДРАЧУК, В. С. СКРИПНИК, І. О. БЕКІШ, Є. Ю. АНДРЕЙЧІКОВ

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ СИСТЕМИ НЕПРЯМОГО ОХОЛОДЖЕННЯ З НАНОТЕПЛОНОСІЯМИ ПАР ТЕРТЯ ДИСКОВО-КОЛОДКОВОГО ГАЛЬМА РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ ТРАНСПОРНИХ ЗАСОБІВ

Підвищення безпеки транспортних засобів в умовах неухильного зростання їх потоків на дорогах країни тісно пов'язане з ефективністю дискових гальм. Продуктивність їх пар тертя залежить від енергетичного навантаження гальмівного вузла. Використання самовентильованих дисків у гальмах не задовольняє умові зниження енергетичного навантаження. Це пояснюється тим, що гальмівні механізми мають обмеження по габаритам, тому неможливо збільшити площу теплообмінних поверхонь у самовентильованих гальмівних дисках. Крім того, коефіцієнт теплопередачі примусової конвекції повітря в десятки разів менше, ніж при інших видах примусового охолодження (наприклад, при непрямому примусовому водяному охолодженні пар тертя дискового гальма автомобіля). Динамічна в'язкість рідини обумовлена головним чином молекулярним взаємодією, що обмежує рухливість молекул. У рідині молекула може проникати в сусідній шар тільки тоді, коли в ній з'являється тріщина, що достатньо для введення молекули в неї. Утворення тріщин (до «розпушування» рідини) споживає так звану енергію активації в'язкого тертя. Ця енергія зменшується з підвищенням температури і зниженням тиску. Це одна з причин різкого зниження в'язкості рідини з підвищенням температури і її зростання при високих тисках. Поява просторових структур, утворених макромолекулами в дисперсних системах, викликає різке збільшення в'язкості. З потоком структурованої рідини робота зовнішньої сили витрачається не тільки на подолання справжньої (ньютонівської) в'язкості, але і на руйнування структури. В'язкість рідини залежить від хімічної структури молекул і зростає зі збільшенням молекулярної маси. Коефіцієнт теплопровідності нанорідини є функцією часу. На коефіцієнт теплопровідності нанорідини впливають наступні компоненти: кінетична, потенційна, ударна, потенційно-кінетична, ударно-кінетична, потенційно-ударна. При цьому взаємодія носія з наночастинкою визначається потенційно-кінетичним потенціалом. Згідно молекулярно-динамічної теорії фазових траєкторій наночастинок в рідині і насиченому вологому парі, що знаходяться в системі охолодження дискового гальма, відбувається їх локальна нестійкість і перемішування. Слід мати на увазі, що наночастинки у воді покриті плівкою, що сприяє збільшенню коефіцієнта теплопередачі. Спосіб оцінки теплового балансу системи непрямого охолодження з парами нанорідинного тертя дискового гальма різних категорій транспортних засобів, що рухаються в гальмівному режимі і вільно реалізується в чотири етапи. Метод оцінки теплового балансу системи непрямого охолодження з наноносіями пар тертя дискового гальма різних категорій транспортних засобів в режимі руху і гальмування реалізується у два етапи. Таким чином, прогнозування теплового балансу системи непрямого охолодження з нано-теплоносіями вузлів тертя дискового гальма різних транспортних засобів дозволяє оцінити кожне з двофазних станів охолодження ефективності зниження енергетичного навантаження на тертя пари гальма.

Ключові слова: транспортний засіб, самовентильовані дисково-колодкові гальма, напівдиски з камерами, порожнисті шипи, нанотеплоносії.

D. A. VOLCHENKO, M. V. KINDRACHUK, V. S. SKRYPNYK, I. O. BEKISH, Ye. Yu. ANDREJCHIKOV

TO THE QUESTION OF THE ESTIMATION OF HEAT BALANCE OF THE SYSTEM OF ADVANCED COOLING WITH NANOTHELD CARRIERS OF THE FRIENDS OF DISC-SHOE BRAKE OF DIFFERENT CATEGORIES OF VEHICLE

Improving the safety of vehicles in steadily increasing their flows on the roads of the country is closely linked to the effectiveness of the disc-shoe brakes. The performance of their friction pairs depends on the energy loading of the brake assembly. The use of self-ventilated discs in the brakes does not satisfy the condition for reducing their energy load. This is explained by the fact that the brake mechanisms have a limited construction volume; therefore, it is not possible to increase the area of heat exchange surfaces in self-ventilated brake discs. In addition, the heat transfer coefficient of forced air convection is tens of times less than with other types of forced cooling (for example, with indirect forced water cooling of friction pairs of a vehicle disk-brake brake).

The dynamic viscosity of a fluid is primarily due to the molecular interaction that limits the mobility of molecules. In a liquid, a molecule can penetrate into the neighboring layer only when a crack appears in it, which is sufficient to introduce the molecule into it. The formation of cracks (to “loosening” the liquid) consumes the so-called activation energy of viscous friction. This energy decreases with increasing temperature and decreasing pressure. This is one of the reasons for the sharp decrease in the viscosity of a liquid with increasing temperature and its growth at high pressures.

The appearance of spatial structures formed by macromolecules in dispersed systems causes a sharp increase in viscosity.

With the flow of a structured fluid, the work of an external force is expended not only to overcome the true (Newtonian) viscosity, but also to destroy the structure.

The viscosity of a liquid depends on the chemical structure of the molecules and increases with increasing molecular weight.

The thermal conductivity coefficient of nanofluid is a function of time. The following components influence the thermal conductivity coefficient of nanofluids: kinetic, potential, collisional, potential-kinetic, collisional-kinetic, potential-collisional. In this case, the interaction of the carrier medium with the nanoparticle is determined by the potential-kinetic potential.

According to the molecular-dynamic theory of the phase trajectories of nanoparticles in a liquid and in saturated wet steam that are in the cooling system of a disk-brake brake, their local instability and mixing take place. It should be borne in mind that the nanoparticles in the water are covered with a film, which contributes to an increase in the heat transfer coefficient.

The method of estimating the heat balance of an indirect cooling system with nano-fluid friction pairs of a disk-brake brake of various categories of vehicles moving in the brake mode and freely implemented in four stages.

The method for estimating the heat balance of an indirect cooling system with nano-carriers of friction pairs of a disk-brake brake of various categories of vehicles in motion and braking mode is implemented in two stages.

Thus, the prediction of the thermal balance of the indirect cooling system with nano-heat carriers of friction units of the disk-brake brake of various vehicles allows evaluating each of the two-phase coolant states of the effectiveness of reducing the energy load of friction pairs of the brake.

Key words: vehicle, self-ventilated disc-shoe brake, half-disks with chambers, hollow spikes, nanofiber.

References

1. Osobennosti otsenki intensivnosti teploobmena samoventiliruyemykh diskovo-kolodochnykh tormozov transportnykh sredstv // N. A. Volchenko, D. A. Volchenko, A. I. Volchenko [i dr.] // Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – Khar'kov, №1/5(97), 2019 – S. 47-53.

2. K voprosu otsenki teplovogo balansa sploshnykh diskov tormozov v podkategoriyakh transportnykh sredstv / N. A. Volchenko, D. A. Volchenko, V. S. Skrypnik [i dr.] // Problemi tertya ta znoshuvannya.- Kiyev. – 2018. - №3 (80), – S. 16-23.

3. Rudyak V YA., Krasnoluts'kiy S. L. Modelirovaniye koeffitsiyentov teploprovodnosti nanozhidkosti s malymi chastitsami metodom molekulyarnoy dinamiki / V. YA. Rudyak, S. L. Krasnoluts'kiy // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki, tom 87, vyp. 10, 2017 – S. 1450-1458.

4. Izmereniye koeffitsiyenta teplootdachi nanozhidkosti na osnove vody i chastits okisi medi / A V. Minakov, V. YA. Rudyak, D. V. Guzey, A. S. Lobasov // TVT, tom 53, vyp 2, 2015. – S. 258-263.

5. Terekhov V. I., Kalinina S. V., Lemanov V. V. Mekhanizmy teplopere-nosa v nanozhidkostyakh: sovremennoye sostoyaniye problemy. CH. 2. Konvektivnyy teploobmen // Teplofizika i aeromekhanika, 2010. №2. – S. 173.

6. Rudyak V. YA., Belkin A. A., Tomlina Ye. A. O koeffitsiyente teploprovodnosti nanozhidkostey // Pis'ma v ZHTF. 2010. T. 36. Vyp. 14. – S. 49.

7. Rudyak V. Ya., Belkin A. A. Modelirovaniye koeffitsiyentov perenosa nanozhidkostey // Nanosistemy: fizika, khimiya, matematika. 2010. T. 1. №1. –S. 156.

8. Tsvetkov F. F., Grigor'yev B. A. Teplomassoobmen. M.: Izd-vo MEI, 2005. – 215 s.

Вольченко Дмитрий Александрович – докт. техн. наук, профессор кафедры добычи нефти и газа, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел..: +38 0342 72 71 41, моб. 050-373-82-42, E-mail: divo99@ukr.net.

Киндрачук Мирослав Васильевич – докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедры машиноведения, Киевский национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058, E-mail: nau12@ukr.net

Скрыпнык Василий Степанович – канд. техн. наук, доцент, преподаватель Надворнянского колледжа при Киевском национальном транспортном университете, Ивано-Франковская обл., г. Надворная.

Бекиш Ирина Орестивна – 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 0342 72 47 19, E-mail: ikg@nung.edu.ua

Андрейчиков Евгений Юрьевич - подполковник кафедры военной подготовки, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019.