

УДК.629.113

САВЕНКО Д.В., к.т.н.,

Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИЗНОСА ТОРМОЗНЫХ НАКЛАДОК

В статье проведен анализ существующих методов оценки интенсивности износа фрикционной пары «тормозной диск (барабан) – колодка», позволяющих прогнозировать ее ресурс.

Ключевые слова: тормозной диск, интенсивность износа, работа трения, фрикционный материал, мощность трения

Постановка проблемы

Совершенствование конструкции автомобиля и его скоростных характеристик выдвигает все более сложные задачи по обеспечению его эксплуатационной безопасности, которая во многом зависит от надежности и эффективности тормозной системы. Решение этих задач невозможно без современных методов расчета машин и механизмов, среди которых особый интерес, в виду его важности и сложности, представляет функциональный расчет фрикционной пары «тормозной диск (барабан) – колодка» [1].

Пара «тормозной диск (барабан) – колодка» в виду особо тяжелых условий эксплуатации является одной из наиболее ограниченных по ресурсу автомобильных пар трения, что вызвано в первую очередь высокими контактными давлениями в паре и интенсивным фрикционным разогревом при сухом абразивном трении. Это в свою очередь обуславливает актуальность работ [1,3,5–7], направленных на прогнозирование, выявление качественных и количественных закономерностей износа фрикционной пары и повышение ее ресурса.

Как известно, существуют прямые и косвенные методы определения износа пары «тормозной диск (барабан) – колодка» [2]. К прямым методам определения износа относят непосредственное взвешивание и измерение размеров деталей до и после эксплуатации. При этом используется поверенное контрольно-измерительное оборудование с требуемой точностью измерения, сложное и дорогостоящее оборудование для имитации тормозных режимов. Кроме того данный метод довольно трудоемок, т.к. требует разборку колесных тормозных механизмов.

Косвенные методы определения износа основаны на оценке эффективности тормозной системы при использовании специализированного диагностического оборудования или метода дорожных испытаний. Косвенным критерием оценки износа пары «тормозной диск – колодка» может свидетельствовать и появление интенсивных фрикционных колебаний, вызывающих отрицательный эксплуатационный эффект «вибрация при торможении» [3]. Данные методы зачастую не имеют четкой взаимосвязи между степенью износа тормозных накладок и контролируемым параметром – эффективностью тормозной системы, в виду влияния множества сопутствующих факторов.

Анализ последних достижений и публикаций

Основные методы идентификации процессов трения для прогнозирования критического состояния фрикционного контакта «тормозной диск (барабан) – колодка» отражены в трудах Ю.Д. Карпиевича, В.П. Волкова, А.М. Симоняна, А.А. Ревина и др. В этих работах в результате качественного и количественного анализа изношенных поверхностей деталей определяются причины низкой сопротивляемости изнашиванию и намечаются пути повышения износостойкости.

На сегодняшний день актуальность исследовательских работ в этом направлении обусловлено совершенствованием конструкции тормозных механизмов и существенным ростом количества автомобилей, штатно оборудованных антиблокировочной системой ABS (Anti-lock braking system). Данные системы препятствуют блокировке колес в процессе экстренного торможения и тем самым повышают управляемость и устойчивость автомобиля в тормозных режимах. При этом методы расчета интенсивности изнашивания и прогнозирования ресурса пары «тормозной диск (барабан) – колодка» значительно усложняются.

Цель и постановка задач исследования

Существующие теоретические и экспериментальные методы расчетов интенсивности изнашивания предполагают определение значения тормозного момента, среднестатистическую частоту и продолжительность торможения. В то же время, большинство математических моделей имеют упрощенный вид и не учитывают тенденции совершенствования конструкции тормозных систем и применяемых высокотемпературных фрикционных материалов. С целью повышения достоверности результатов необходима разработка новых методов и методик оценки износа пары «тормозной диск (барабан) – колодка», которые учитывают изменения тормозного момента системами ABS и значительный фрикционный нагрев изнашиваемой пары.

Основная часть

Руководящим нормативным документом РД 50-423-83 [4] интенсивности изнашивания накладок I_H и барабанов I_B для грузовых автомобилей, эксплуатируемых в равнинных условиях, предлагается рассчитывать от среднего удельного давления на поверхность трения P и средней скорости V по поверхности трения по формулам:

$$I_H = k_1 \cdot P^{0,8} \cdot v = 0,57 \cdot P^{0,8} \cdot v, \quad (1)$$

$$I_B = k_2 \cdot P^{0,8} \cdot v = 0,62 \cdot P^{0,8} \cdot v, \quad (2)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты корректирования интенсивности изнашивания тормозных накладок для равнинных условий эксплуатации [5].

Для горных условий эксплуатации:

$$I_H = k_1^* \cdot P^{0,8} \cdot v = 0,75 \cdot P^{0,8} \cdot v, \quad (3)$$

$$I_B = k_2^* \cdot P^{0,8} \cdot v = 0,089 \cdot P^{0,8} \cdot v, \quad (4)$$

где k_1^*, k_2^* – коэффициенты корректирования интенсивности изнашивания тормозных накладок для горных условий эксплуатации [5].

Действующая методика расчета интенсивности изнашивания накладок рассчитана на барабанные механизмы, преобладающие в тормозных системах на грузовых автомобилях.

В то же время существует ряд других универсальных методов оценки износа тормозных колодок. Так, доктором технических наук Ю.Д. Карпиевичем разработан метод бортового диагностирования степени износа тормозных накладок [6], отличающийся от традиционных, основанных на непосредственном измерении толщины накладок. При этом предполагается, что износ тормозных накладок линейно зависит от работы трения.

Метод определяет работу трения тормозных накладок путем интегрирования произведения значений информационных сигналов от первичных преобразователей тормозного момента на соответствующие им значения информационных сигналов от первичных преобразователей угловой скорости колес по времени.

Математическое описание износа тормозных колодок следующее [6]:

– для барабанного тормозного механизма передней оси:

$$L_0 = \int_0^t M_{T1} \omega_{\delta 1} dt, \quad (5)$$

$$L_{00} = \sum_{\rho=1}^n L_{0\rho}; \quad (6)$$

– для барабанного тормозного механизма задней оси:

$$L_k = \int_0^t M_{T2} \omega_{\delta 2} dt, \quad (7)$$

$$L_{0k} = \sum_{\rho=1}^n L_{k\rho}, \quad (8)$$

где M_{T1} , M_{T2} – значение тормозных моментов соответствующих осей автомобиля, Н·м;

L_0 , L_k – текущие значения работы трения тормозных накладок тормозного механизма соответственно передней и задней осей, Дж;

$\omega_{\delta 1}$, $\omega_{\delta 2}$ – угловые скорости колес передней и задней осей, с⁻¹;

L_{00} , L_{0k} – значения работы трения, соответствующие предельно допустимому износу тормозных накладок механизмов передней и задней осей, Дж;

$\rho = 1, 2 \dots n$;

n – количество торможений;

t – время трения тормозных накладок, с.

Предложенный автором метод использования работы трения как интегрального показателя при определении степени износа барабанных тормозных накладок позволяет оперативно, в любой период эксплуатации автомобиля, определить остаточный ресурс накладок каждого колеса, а также с высокой точностью прогнозировать время их замены. Как недостаток предложенного метода, можно отметить дискретность тормозного момента на автомобилях, оборудованных системами ABS.

Для дисковых тормозных механизмов, с учетом высокой температуры нагрева, Сибирским федеральным университетом под руководством С.В. Мальчикова, предложен метод контроля технического состояния тормозных колодок, за основу которого принята штатная система ABS [7].

Износ колодок описывает следующая формула:

$$U = I \cdot l, \quad (9)$$

где I – интенсивность изнашивания, мкм/км;

l – пробег за время работы тормозных колодок, км.

Известно, что основным фактором, определяющим эффективность и долговечность тормозной пары, является сила трения, возникающая между диском (барабаном) и колодкой. Интенсивный фрикционный разогрев приводит к снижению прочностных свойств металла поверхностного слоя диска и фрикционного материала, изменяет коэффициент трения, интенсифицирует процесс изнашивания контактирующих элементов. В то же время интенсивность износа тормозных колодок в значительной мере зависит от давления и температуры в зоне контакта, скорости скольжения, конструктивных параметров тормозного механизма. Перечисленные факторы влияют на интенсивность следующим образом [7]:

$$I = \int_0^{\tau} f(p, v_{ск}, t, K) d\tau, \quad (10)$$

где p – давление в контакте, Па;
 $v_{ск}$ – скорость скольжения, м/с;
 t – температура в зоне контакта, °С;
 K – конструктивные параметры.

Предложенная авторами модель достаточно точно описывает интенсивность износа тормозных колодок, но в достаточно узком диапазоне температур (от 0°С до 150°С), что не учитывает существенное влияние высоких температур на износ пары трения в зоне контакта.

В работе [7] было составлено уравнение энергетического баланса процесса трения тормозного устройства в единицу времени при циклической нагрузке с учетом энергетической и тепловой составляющей силы трения:

$$W = f_{тр} \cdot N \cdot v = W_{мех} + W_{тепл}, \quad (11)$$

где W – общая мощность трения, Дж/с;
 $W_{мех}$ – механическая составляющая, Дж/с;
 $W_{тепл}$ – тепловая составляющая, Дж/с;
 $f_{тр}$ – коэффициент трения;
 N – нагрузка в контакте, Н;
 v – относительная скорость перемещения, м/с.

Согласно зависимости (11) на величину механической составляющей энергетического баланса оказывают влияние силовые и геометрические факторы. Рассчитав энергетическую интенсивность изнашивания, можно рассчитать время наработки до отказа фрикционной пары «тормозной диск (барабан) – колодка» [8]:

$$t = \frac{F^2 \cdot S \cdot H}{0,6 \cdot 10^{-4} \cdot I_w \cdot R \cdot v \cdot N^2}, \quad (12)$$

где F – площадь фрикционной накладки, м²;
 S – толщина фрикционной накладки, м;
 R – радиус микронеровности поверхности тормозного диска, м;
 H – длина фрикционной накладки, м;

I_w – энергетическая интенсивность изнашивания;

N – нормально направленная прижимная нагрузка, Н;

v – скорость скольжения, м/с.

Предложенная модель изнашивания фрикционной пары учитывает площади контакта фрикционной пары «тормозной диск (барабан) – колодка». Увеличение площади фрикционной накладки способствует квадратичному увеличению срока наработки до отказа, а увеличение длины фрикционной накладки и уменьшение шероховатости тормозного диска пропорционально увеличивает время ее работы.

Выводы

Анализ рассмотренных известных методов оценки износа тормозных накладок свидетельствует об отсутствии на сегодняшний день единого подхода к описанию и оценке процесса износа пары «тормозной диск (барабан) – колодка» с учетом особенностей работы современных антиблокировочных систем. Из рассмотренных математических моделей трудно выделить модель, которая бы отвечала основным требованиям: достоверность, точность и простота. Практически всем математическим моделям присущ такой фактор, как интенсивность износа, а с учетом того что используемые фрикционные материалы постоянно совершенствуются по составу, необходимо определять этот параметр экспериментально, что не всегда удобно в эксплуатации.

Разработка достоверных методов оценки износа тормозных накладок позволит внедрить бортовые системы контроля технического состояния тормозной системы, имеющие широкие возможности для определения остаточного ресурса, корректировки пробегов до технических воздействий, используя фактическое состояние изношенности фрикционной пары тормозной системы.

Список литературы

1. Намазов Б.Ф. Разработка метода расчета барабанных колодочных тормозов автомобилей: Авторефер. дис. ... канд. техн. наук / Б.Ф. Намазов. – Баку: Азербайджанский технический университет, 1998. – 18 с.
2. Износ машин и оборудования / Машины и оборудование [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL:<http://www.mgm-machines.ru/metody-opredeleniya-iznosa.html>. – Заглавие с экрана.
3. Деревянко В.А. Тормозные системы легкового автомобиля / Пер. с польского В. Мицкевич. – М.: Петит, 2001. – 248 с.
4. РД 50-423-83. Надежность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию. – Введ. 01.01.85. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 20 с.
5. Елизаветин М.Л. Повышение надежности машин / М.Л. Елизаветин. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
6. Карпиевич Ю.Д. Метод определения численного значения работы трения как интегрального показателя при бортовом диагностировании степени износа тормозных накладок / Ю.Д. Карпиевич // Вестник БНТУ. – 2009 –. №6. – С. 88–90.
7. Томский К.О. Повышение эффективности работы и износостойкости тормозных устройств путем применения биметаллических материалов: Автореф. дис. ...кандидата техн. наук / К.О. Томский. – М.: ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина», 2013. – 24 с.

Савенок Д.В. Аналіз сучасних методів оцінки зносу гальмівних накладок

Анотація. У статті проведено аналіз сучасних математичних методів оцінки інтенсивності зносу фрикційної пари «гальмівний диск (барабан) – колодка», які дозволяють прогнозувати її ресурс.

Ключові слова: гальмівний диск, інтенсивність зношування, робота тертя, фрикційний матеріал, потужність тертя

Savenok D. The analysis of modern methods of the assessing brake linings wear

Abstract. The analysis of the existing methods for assessing the rate of wear of the friction pair «brake disc (drum) – block» predicting its resource was done in the article

Keywords: brake disc, wear rate, the work of friction, friction material, friction power

Стаття надійшла до редакції 03.09.2013 р.