

# РАБОТА ТРЕНИЯ КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕПЕНИ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА ТОРМОЗНЫХ НАКЛАДОК АВТОМОБИЛЯ

Ю. Д. КАРПИЕВИЧ, А. Ф. БЕЗРУЧКО, В. В. МИХАЛКОВ

п - звы ч ц-ы рн зьб ц-н н б ц- з б з ч ц- б з з ,  
- б чФЭз б ш чн- зин 9220012, e-mail: viktor-mihalkov@mail.ru

5 ы б ин- з рч -16.09.2024)

Лин зьц-фн рн зцФчы ы н - ы -бз зр-б зрб ш -н ыцы ие бгб - -Эз б ш чз- зин Ф ш з -б ы ф  
ыр бчбьч зб ы бы ы зьц- бн рз зьц- з б ч Фчы ы н -бы н ш з -бз- ыш чьбн- б зьб ц- зьбнФбб -бн- бч -  
рши бз бт - ш бз бтфн з -Эз зб - -фн рн - бы ы з - бзр зб з- чьб ч -н ыцы ш - нфн б -ц ч:  
бб ы з ы б - зцФбьфьш -бьрб -бьнфн зш-з бт зч бы -бн-чн з зьббббы ц- ы зб - н ыцз-  
бз бзч б ц-бнб н иеб зцФ иеб бб фн -н ыцы ш - ш з -з бт ы бб-р н бы ы нб з- ф зб з-рнббб бт  
бб ы нФнбнш ф ч ыш н ш з б з чы бты ш нб - -б ы зрзбб - нбзз- зцбб б - бфрзц ц-б зш-ч- ш :  
ицбьбц - иеб ы нб - - нфн ы чз- ы ы - зц-р н бы ы нб - з б з чы бт ы ы б - ы цьфь -н ыцы иецФ  
нч-чнч-ынбты бтб зр б зр зш бн - зцн- з б з чы бты ш нб - - зцбб н- з бннн- з -  
- бц- ф-нч нш зьц- ш з -фн рн н-ы з бз зб -р н бы ы нб -н ыцы ш -ц ч бб ы з ы б - зц-з бт  
б н иеб -фн- з - бьш фь нб - з б з ч - зр -б ы иебб - рзб бы - бч бьнш б - ч -ц ч бб ы з :  
ы б - зц- б н иеб - р н бы ы нб -бьфьш з -фн- з - ы цз бь бт бьш фь нб -ы зц-нббн н -5рн :  
чы Ф бьш зш б -цз нб фьш Фц ч бк б-ы з бз -бзб з б ц-чбб ыш - зц -б ы зч н- б н иеб - зф :  
быш фь нб -чнч -ш бт бз нш ф ы нбб - з б з ч - зр - - зц- нц ц- ф з н -бзб ы бь нбб ы бт иы бзб -  
чбб ч -н ыцы ш - зьзы ыр цы - нфн ы ч -рбьш зш бь бт р н бы з чы бты ы рь нб -  
зы ыр цы - бфрнб -бьры б - зц- фнбн- зцФ бт - ыш б н-н ыцы иец-б -б ы зрзб -р н бы :  
з ч - н ы -ы цз н -фн зш б з-ы чьббзб -бн нцз ы Ф н нч з ф - - з б з чьб- ы ы б з-рбб ы з:  
рзб -р н бы з ч - н ы Ф бтз -н ыцы ш - ч ыш - - рз- ш нз -б -бзрбб ш - ш-ч з ч -  
з цн Ф бты н зш бб чнф нз -бн- н ы бы ы бы - фьш -н з н ы Ф зфьн бы -р зб Ф чьбьц з:  
ч Ф чьш з ч - -р -бьнфн зш -дн -н ыцы иецФьн ыр - - з б з ч - б н зьц- ы ы б Ф - бы :  
з - - н чьц-б ы зрзб - з инцзб б - н ы -бьр з нз -б з рз зцзбьш р н бы ы нб - ш - з б з:  
чьц-ы ш нб Ф з-ы з рб -бзб ы бь нбб з- рьш з-цн з нш б з-фн н -н ф- - ц-б ы иеб з- ыр -  
з- зр з-н ыцы ш з- ц- б б ш-ч- бфрнб - ы ы - зц-р н бы ы нб -н ыцы иецФ бт ш :  
з - бн ы зз- зц - з цн-нч нш б ц-  
ы ы н -р н бы чнФчнч- иецзб -чбб ч -н ыцы ш Фьбфьш з -бз цц -ч- з б з чьц-ы ш нб -ббт  
нч з чьц-б ы з бы - -фн- з - ы бт чш -бзб ы бь нбб з-цн з нш б з- - рьш з-фн н -б -б з рз:  
зцзбьш-ы ш нб - ы цьфьш- зц

**Ключевые слова** ы ы н -р н бы чнФ н ы н- зб Ф б з нш б ц-бьнфн зш Фц ч бб ы з ы б з- зц Фчы зб - зб

The main task facing the automobile industry enterprises in the Republic of Belarus is the production of competitive and reliable equipment that is supplied not only to the domestic market, but also to the markets of near and far abroad. The solution of these problems is facilitated by the introduction of various microprocessor systems into the design of the car, allowing to raise its efficiency indicators to a qualitatively new level. The most promising direction of the electronization of the car is its on-board diagnostics. The study of this issue, the analysis of operation, maintenance and previously carried out repair actions led to an in-depth study and development of on-board systems for diagnosing the technical condition of car brakes, since the scheduled preventive maintenance and repair system has exhausted itself.

In this regard, the task of ensuring the diagnosis of the car and its microprocessor control systems through the use of technical means of the latter is relevant. The identity of the functional structures of microprocessor control and diagnostic systems allows, through the joint use of common equipment (sensors, actuators, microcomputers), to ensure continuous monitoring of the system and control object without using any specialized technical means, thereby avoiding unjustified complication of the vehicle design and the need to develop additional diagnostic equipment.

The need to create such systems is caused by the fact that most vehicles, when carrying out diagnostic work, show significant deviations in the parameters characterizing their technical condition before the diagnostic work, i.e., vehicles are operated in a number of cases under unacceptable or critical conditions, which negatively affects the operability of units and assemblies, traffic safety, economic, environmental and other indicators. Some vehicles that are in good technical condition, in accordance with the schedule of scheduled maintenance, are subject to premature diagnostics or maintenance, i.e. unjustified labor and material costs are obvious. In this regard, in recent years, all leading automobile companies have begun to create on-board diagnostic systems for cars, which is currently very relevant.

On-board diagnostics, as an element of the car design, allows you to switch to maintenance based on actual needs and thereby eliminate unreasonable material and labor costs during premature maintenance of the brake system.

The article develops methods for on-board diagnostics of the degree of development of the resource of car brake linings using friction work.

**Key words:** on-board diagnostics, friction work, integral indicator, microprocessor systems, friction coefficient.

## Введение

В условиях рыночных отношений одной из основных задач, стоящих перед автомобилестроителями, является повышение технического уровня надежности и конкурентоспособности выпускаемой техники.

Отметим, что получивший наибольшее практическое распространение на автотранспорте регламентный характер контрольно-диагностических работ не может обеспечить требуемого уровня технического состояния агрегатов, и в частности тормозных систем, так как не учитывает индивидуальные особенности каждого автомобиля, условия его эксплуатации, технического обслуживания и проведенных ранее ремонтных работ [4; 5; 8].

Один из путей решения этой проблемы – разработка методов бортового диагностирования технического состояния тормозных систем автомобилей, позволяющих перейти к техническому обслуживанию по фактической необходимости, и за счет этого исключить, с одной стороны, возможность эксплуатации неисправного автомобиля, а с другой – необоснованные простои, материальные и трудовые затраты, например, при преждевременной замене тормозных накладок [6; 7; 9].

Целью исследования является разработка методики бортового диагностирования степени выработки ресурса тормозных накладок автомобиля.

## Основная часть

Рассмотрим новый метод бортового диагностирования степени износа тормозных накладок на примере двухосного автомобиля МАЗ. Структурная схема системы бортового диагностирования степени износа тормозных накладок показана на рис. 1 [3; 10].

Ядро системы – микроЭВМ, в ПЗУ которой хранится программа диагностирования. Для связи микроЭВМ с объектом диагностирования используется устройство сопряжения, предназначенное для предварительной фильтрации входных информационных сигналов и преобразования их в стандартную для микроЭВМ форму. Устройство отображения информации служит для индицирования степени износа тормозных накладок каждого колеса. Источник питания используется для обеспечения функционирования системы бортового диагностирования.

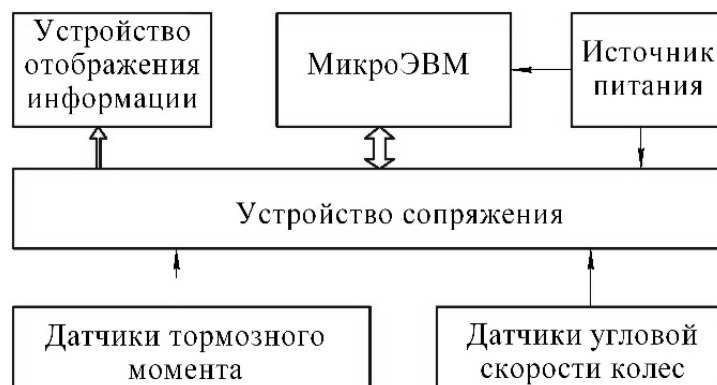


Рис. Структурная схема системы бортового диагностирования степени износа тормозных накладок

Получение необходимой информации для определения степени износа тормозных накладок может производиться при помощи датчиков тормозного момента и угловой скорости колес [2]. На реальном автомобиле тормозной момент может определяться с помощью штатных датчиков давления, установленных в тормозных камерах или на выходе электропневматических модуляторов тормозного давления.

С целью определения зависимости тормозного момента от давления в тормозных камерах проделаем некоторые расчеты. Из аналитического силового расчета тормозных механизмов автомобилей МАЗ находим зависимость тормозного момента  $M_T$  на колесе от усилия  $Q$  на штоке тормозной камеры, прилагаемого к рычагу разжимного кулака тормоза [1]:

$$M_T = Q\mu \cdot \frac{2L}{d_k} \cdot \frac{h_1+h_2}{2A} = Q \cdot 0,37 \cdot \frac{2 \cdot 0,15}{0,028} \cdot \frac{0,295+0,299}{2 \cdot 0,697} = 1,7Q, \quad (1)$$

где  $U$  – характеристический коэффициент тормозного механизма;  $L$  – длина рычага разжимного кулака;  $d_k$  – условный диаметр кулака;  $\mu$  – коэффициент трения между фрикционной накладкой и тормозным барабаном;  $h_1, h_2$  – плечи действия силы со стороны разжимного кулака на колодку.

Входящий в выражение (1) коэффициент  $U$  определяют по формуле [1]:

$$A = \frac{l}{r_6} \cdot \frac{\sin 2\alpha_0 - \sin 2(\alpha_0 + \beta_0) + 2\beta_0}{4[\cos \alpha_0 - \cos(\alpha_0 + \beta_0)]} = \frac{168}{210} \cdot \frac{\sin 58^\circ - \sin 278^\circ + 2\left(\frac{11}{18}\pi\right)}{4[\cos 29^\circ - \cos 139^\circ]} =$$

$$= \frac{168}{210} \cdot \frac{0,848 + 0,9903 + 3,84}{4 \cdot (0,8746 + 0,7547)} = \frac{168}{210} \cdot \frac{5,6783}{4 \cdot 1,6293} = 0,697, \quad (2)$$

где  $r_6$  – радиус тормозного барабана;  $l$  – расстояние от центра тормозного барабана до центра опорной оси колодки;  $\alpha_0$  – угловая координата начала фрикционной накладки;  $\beta_0$  – угол охвата фрикционной накладки.

Тормозные механизмы передней и задней осей двухосного автомобиля МАЗ конструктивно отличаются шириной накладок и комплектуются тормозными камерами типов 24 и 30 соответственно.

Силовые характеристики тормозных камер выражаются следующей зависимостью [1]:

$$\left. \begin{aligned} Q &= 146,67P - 35 \text{ (тип 24);} \\ Q &= 193,33P - 30 \text{ (тип 30).} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Подставляя значения  $Q$  из (3) в (1), получим зависимость тормозного момента на тормозных механизмах передней оси  $M_{T1}$  и на тормозных механизмах задней оси  $M_{T2}$  от давления сжатого воздуха в тормозных камерах:

$$\left. \begin{aligned} M_{T1} &= 1,7Q = 1,7 \cdot (146,67P - 35) = 249,34P - 59,5 \text{ (тип 24);} \\ M_{T2} &= 1,7Q = 1,7 \cdot (193,33P - 30) = 328,66P - 51 \text{ (тип 30).} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Измерение угловой скорости колес может производиться с помощью датчиков мод. 16.3843 (на стенде) или датчиков частоты вращения колес, используемых в антиблокировочной системе (АБС).

Предлагаемый метод диагностирования степени износа тормозных накладок отличается от традиционных, основанных на непосредственном измерении толщины накладок. При этом предполагается, что износ тормозных накладок зависит линейно от работы трения [11].

По данному методу [2] определяют 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. Полученное значение работы трения тормозных накладок для данного тормозного механизма после каждого торможения прибавляется к сумме предыдущих торможений. Общая сумма работы трения делится на заданное значение работы трения тормозных накладок, соответствующее предельно допустимому износу тормозных накладок. Таким образом определяется степень износа.

Значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу тормозных накладок для тормозных механизмов передней и задней осей, определяется предварительно экспериментальным путем на инерционном тормозном стенде, например на стенде ГКТИ мод. 509.252, путем циклических торможений и интегрирования произведения значений информационных сигналов от первичного преобразователя тормозного момента на соответствующие значения информационных сигналов от первичного преобразователя угловой скорости тормозного барабана по времени.

Полученное значение работы трения тормозных накладок для данного тормозного механизма после каждого торможения прибавляется к сумме предыдущих торможений. В результате определяем значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу тормозных накладок для тормозных механизмов передней и задней осей.

Математически это запишется следующим образом:

- для 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 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  $L_0, L_k$  – текущие значения работ трения тормозных накладок соответственно тормозных механизмов передней и задней осей;  $\omega_{\delta 1}, \omega_{\delta 2}$  – текущие значения угловых скоростей соответственно тормозных барабанов передней и задней осей;  $L_{00}, L_{0k}$  – значения работ трения, соответствующие предельно допустимому износу тормозных накладок соответственно тормозных механизмов передней и задней осей;  $\rho = 1, 2, \dots, b$ ;  $b$  – количество торможений;  $t$  – время трения тормозных накладок.

Определив экспериментально на стенде работу трения, соответствующую предельно допустимому износу тормозных накладок, запишем математические зависимости, которые позволяют рассчитать степень износа тормозных накладок при бортовом диагностировании:

- переднего левого тормозного механизма:

$$L_1 = \int_0^t M_{1k1} \omega_{k1} dt; \quad (9)$$

$$\Delta_1 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{1\rho}}{L_{00}} \cdot 100\%; \quad (10)$$

- переднего правого тормозного механизма:

$$L_2 = \int_0^t M_{2k2} \omega_{k2} dt; \quad (11)$$

$$\Delta_2 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{2\rho}}{L_{00}} \cdot 100\%; \quad (12)$$

- заднего левого тормозного механизма:

$$L_3 = \int_0^t M_{3k3} \omega_{k3} dt; \quad (13)$$

$$\Delta_3 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{3\rho}}{L_{0k}} \cdot 100\%; \quad (14)$$

- заднего правого тормозного механизма:

$$L_4 = \int_0^t M_{4k4} \omega_{k4} dt; \quad (15)$$

$$\Delta_4 = \frac{\sum_{\rho=1}^n L_{4\rho}}{L_{0k}} \cdot 100\%; \quad (16)$$

где  $L_1, L_2, L_3, L_4$  – текущие значения работ трения тормозных накладок соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого тормозных механизмов;  $\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \omega_{k4}$  – текущие значения угловых скоростей соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колес;  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$  – степень износа тормозных накладок соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого тормозных механизмов.

Из выражений (10, 12, 14, 16) видно, что степень износа накладок тормозных механизмов можно определить после каждого торможения.

### Заключение

Использование работы трения как интегрального показателя при определении степени износа тормозных накладок позволяет оперативно, в любой период эксплуатации автомобиля, определить остаточный ресурс накладок каждого колеса, а также прогнозировать время их замены. Указанный метод может быть использован также для обеспечения равномерности износа тормозных накладок автомобиля или автопоезда при разработке электронного привода тормозов.

### Ш ЯЭУ ЯЭУ

1. Грузовые автомобили / М. С. Высоцкий, Ю. Ю. Беленький, Л. Х. Гилелес [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 384 с.
2. Способ прогнозирования износа тормозных накладок каждого колеса транспортных или тяговых, машин и устройство для его осуществления / О. А. Маханьков, М. С. Лебедев, Ю. Д. Карпиевич [и др.]. – Положительное решение на выдачу патента Российской Федерации по заявке № 5015522/11 (062183) от 06.04.93.
3. Карпиевич Ю. Д. Теоретические основы создания бортового диагностирования тормозов автомобилей: дис. ... д-ра техн. наук / Ю. Д. Карпиевич. – Минск, 2004. – 310 л.
4. Технические средства диагностирования: справочник / В. В. Клюев [и др.]; под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
5. Волков А. А. О методах идентификации и диагностики в сложных системах / А. А. Волков, Л. Н. Дроботенко // Вопросы технической диагностики. – 2013. – №10. – С. 155–156.
6. Мороз С. М. Математическая модель объекта бортового контроля и диагностики автомобилей / С. М. Мороз. – Тр. МАДИ, 1996. – Вып. 115. – С. 79–81.
7. Лукин П. П. Конструирование и расчет автомобиля: учебник для студентов по специальности «Автомобили и тракторы» / П. П. Лукин, Г. А. Гаспаряну, В. Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
8. Каба И. В. Диагностирование авиационных газотурбинных двигателей / И. В. Каба. – М.: Транспорт, 1980. – 247 с.
9. Основы надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда / Р. В. Ротенберг [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
10. Карпиевич Ю. Д. Новое в диагностировании степени износа тормозных накладок / Ю. Д. Карпиевич, М. С. Лебедев. / Грузовик, Машиностроение, Москва, 2000. – №6. – С. 29–30.
11. Карпиевич Ю. Д. К вопросу бортового диагностирования степени износа тормозных накладок автотранспортных средств / Ю. Д. Карпиевич, В. В. Корсаков, Н. Г. Мальцев. / Инженер-механик, Минск, 2002. – №4 (17). – С. 39–41.