

Научная статья
УДК 629.3

Исследование влияния износа тормозных колодок и дисков на эффективность тормозной системы автомобилей

Самар Ибрахим¹, Алексей Александрович Пегачков²

^{1,2}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹Samaribrahim548@gmail.com

²pegachkov@yandex.ru

Аннотация Увеличение количества транспортных средств приводит к увеличению плотности движения, что повышает среднее количество торможений на каждый километр пройденного пути, тем самым, повышая нагрузку на тормозную систему каждого автомобиля.

Целью данного исследования является подбор параметров и оценка влияния степени изнашивания пары трения «диск – тормозная колодка» на тормозной путь и время торможения для дальнейшего создания математических моделей эффективности тормозных систем.

Ключевые слова: тормозная система, износ, тормозная колодка, тормозной диск, тормозной путь.

Для цитирования: Ибрахим С., Пегачков А.А. Исследование влияния износа тормозных колодок и дисков на эффективность тормозной системы автомобилей // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 2 (40).

Original article

Researches for a correlation between the wear of brake pads and discs and the impact of this wear on the efficiency of vehicle braking systems

Samar Ibrahim¹, Aleksey A. Pegachkov²

^{1,2}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

¹Samaribrahim548@gmail.com

²pegachkov@yandex.ru

Abstract. An increase in the number of vehicles leads to an increase in traffic density, which increases the average number of braking times per kilometer traveled, thereby increasing the load on the braking system of each vehicle.

The purpose of this study is to select parameters and assess the influence of the wear level of the disc-brake pad friction pair on the braking distance and braking time for the further creation of mathematical models of the efficiency of braking systems.

Keywords: brake system, wear, brake pad, brake disc, braking distance.

For citation: Ibrahim S., Pegachkov A.A. Researches for a correlation between the wear of brake pads and discs and the impact of this wear on the efficiency of vehicle braking systems. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura.* 2024. № 2 (40).

Введение

Основными элементами, которые подвергаются наибольшему износу в тормозных механизмах, являются тормозные колодки и диски.

Сегодня к тормозным дискам и колодкам автомобиля предъявляется комплекс часто взаимоисключающих друг друга требований, перечисленных ниже:

1. Материалы, используемые для изготовления дисков и колодок должны обладать высокой прочностью, термостойкостью, а также соответствовать подобранным фрикционным характеристикам.
2. Тормозные диски должны иметь хорошие свойства по отводу и рассеиванию тепла, чтобы предотвратить перегрев и снижение эффективности работы тормозной системы. Они могут иметь вентиляционные прорези или отверстия, создаваемые с целью более активного отвода тепла.
3. Тормозные колодки должны иметь соответствующий коэффициент трения, чтобы обеспечить эффективное торможение, при этом, не вызывая чрезмерного износа тормозных дисков. Отметим, что такой коэффициент трения должен быть тщательно подобран с учетом конкретного автомобиля и параметров его тормозной системы.

4. Тормозные колодки должны быть спроектированы так, чтобы минимизировать шумы и вибрации во время торможения. Этого можно добиться за счет использования шумопоглощающих прокладок, создания фасок или технологических пазов на тормозных колодках или дисках.

5. Тормозные диски и колодки должны соответствовать стандартам и правилам безопасности, установленным соответствующими органами страны или региона, где используется автомобиль. Эти стандарты гарантируют, что тормозная система соответствует необходимым требованиям к производительности и надежности [1].

Отметим, что при исследованиях эффективности тормозных систем чаще всего используются два базовых параметра: время торможения и тормозной путь [2].

Известно, что кинетическая энергия автомобиля при торможении преобразуется в тепловую, что повышает температуру работы тормозных механизмов и оказывает существенное негативное влияние на коэффициент трения. Ускоренный износ дисков и колодок – явление, возникающее в любой тормозной системе, связанное с понижением коэффициента трения и повышением температуры пары трения «диск – тормозная колодка». Кроме того, повышенная температура при торможении вызывает не только ускоренный износ дисков и колодок, но и приводит к преждевременному износу, испарению тормозной жидкости, выходу из строя ступичных подшипников, тепловым вибрациям и короблению.

«Идеальные» тормозные колодки должны обеспечивать равномерное и стабильное трение при различных внешних условиях работы в том числе независимо от температуры диска и колодок. Для достижения желаемых характеристик торможения антифрикционные материалы тормозных систем должны иметь состав, обладающий комплексом требуемых свойств, таких как относительно стабильные показатели коэффициента трения в

зависимости от температуры, отсутствие шумов и вибраций при торможении, пониженный уровень шума в различных условиях торможения и т.п [3].

Методы оценки эффективности тормозных систем

Отметим, что для оценки эффективности тормозной системы, значения параметров замедления и тормозного пути недостаточно.

В дополнение к вышеуказанным параметрам также необходимо учитывать показатель эффективности торможения (ГОСТ Р 41.13-2007) [4].

При определении данного показателя, эффективность тормозной системы транспортного средства определяется как тормозная сила, создаваемая в процентах от общей массы транспортного средства, или эффективность торможения – это соотношение между тормозной силой и массой транспортного средства, выраженное в процентах, следующим соотношением [5,6].

$$\eta = \frac{F}{M} * 100\% \quad (1)$$

где η – коэффициент трения между покрытием и шинами автомобиля;

F – сила трения (торможения) (сила, замедляющая автомобиль), Н;

M – вертикальная сила, действующая на 4 шины, Н.

Если коэффициент трения равен единице, то тормозящая сила, создаваемая колесами, равна весу самого транспортного средства, что, теоретически, равно силе гравитации, испытываемой свободно падающим телом с массой, равной массе транспортного средства. В этом случае транспортное средство испытывает замедление, равное ускорению силы тяжести g , и тормозная система считается эффективной на 100% процентов.

Используя зависимость (1), а также принимая во внимание, что механическая работа, совершаемая тормозной системой автомобиля с момента торможения до полной остановки движения, должна быть равна начальной кинетической энергии транспортного средства, то зависимость можно выразить в виде зависимости (2):

$$F = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot S} \quad (2)$$

где v – начальная скорость движения, м/с

S – тормозной путь, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Отметим, что создание сверхэффективных тормозных механизмов, обеспечивающих максимально возможное замедление противоречит требованиям безопасности и может привести к таким негативным последствиям, как потеря управляемости при торможении или травмы пассажиров и водителя.

Так, например, в сверхэффективных тормозных механизмах возникают следующие явления, влияющие на их эффективность:

1. Происходит ускоренный износ пар трения (тормозных колодок, дисков и даже шин).
2. Существует риск блокировки колес, который по сути является риском потери управляемости и контроля над автомобилем.

Именно поэтому, реальные значения эффективности современных тормозных механизмов колеблются в среднем от 50% до 80%, обеспечивая с одной стороны – отсутствие полной блокировки колес за счет применения антиблокировочных систем, с другой стороны – минимальный тормозной путь [7].

На эффективность торможения также оказывает влияние ряд дополнительных эксплуатационных факторов:

1. Замасливание поверхности колодок.
2. Изменение состава, вследствие выгорания фрикционных элементов.
3. Неравномерное изнашивание.
4. Неплотное прилегание (перекос колодки в суппортах).

5. Изменение характеристик системы, связанное с повышением температуры пары трения при многократных торможениях за короткий промежуток времени.

Именно поэтому, при исследованиях эффективности тормозных систем используются математические модели, в которых должны быть учтены как минимум все вышеперечисленные факторы [8].

Для подбора и оценки влияния этих факторов, необходимо применение расчетных методов, позволяющих анализировать такие рабочие характеристики, как изменение в процессе торможения момента трения, температуры поверхностей тормозных дисков, скорости и продолжительности торможения, а также совершаемой работы в зависимости от физико-механических и теплофизических свойств материалов фрикционной пары, и что немаловажно – конструктивные, силовые и кинематические параметры тормоза.

Величину средней температуры пары трения, учитывая кратковременность торможения, без учета теплоотдачи в окружающую среду, можно определить по зависимости (3), полученной профессором А.В. Чичинадзе [9].

$$\vartheta = \frac{W_{T\Pi}(1-\alpha''_{T\Pi})b_1}{\lambda_1 A_{a1} t_T} \left[\frac{1}{3} \tau_N + \tau_w F_{01} \right] \quad (3)$$

где $W_{T\Pi}$ – полная работа торможения;

$\alpha''_{T\Pi}$ – коэффициент распределения тепловых потоков;

A_{a1} – номинальная площадь трения;

t_T – продолжительность торможения;

$\lambda_{1,2}$ – коэффициент теплопроводности;

τ_N, τ_w – временные характеристики мощности и работы;

F_{01} – числа Фурье фрикционных элементов.

Экспериментальные исследования влияния износа элементов тормозной системы

Чтобы экспериментально определить эффективность тормозной системы, испытания проводилось на одном и том же транспортном средстве с 4 дисковыми тормозами в двух состояниях:

Состояние 1. Автомобиль с изношенными передними и задними колодками и дисками, где степень износа передних тормозных колодок составила 75%, а задних 35%, степень износа тормозных дисков передней и задней осей составляла 50% и 65%. При этом, для достоверности экспериментальных сведений, тормозные механизмы были обслужены, согласно требованиям производителя.

Состояние 2. Автомобиль с новыми передними и задними тормозными колодками и дисками той же марки. Это означает, что, теоретически, степень износа составляет 0%. И в состоянии 1 и в состоянии 2 проводились по 5 измерениям тормозного пути и времени торможения автомобиля. Между торможениями выдерживался период по 30 минут для охлаждения тормозной системы [10].

Отметим, что в настоящее время практически все транспортные средства оснащаются системой АБС (антиблокировочной тормозной системой). Согласно определения из ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» "антиблокировочная тормозная система" – это тормозная система транспортного средства с автоматическим регулированием в процессе торможения степени проскальзывания колес транспортного средства в направлении их вращения. В данном испытании антиблокировочная система (АБС) была отключена с помощью физического отключения всех 4-х датчиков вращения колес.

В дальнейшем влияние антиблокировочной системы будет учтено в математической модели эффективности торможения, но в данном исследовании необходимо было выяснить влияние износа элементов

тормозной системы на эффективность торможения без учета влияния системы АБС [11]. Результаты экспериментальных испытаний приведены в табл. 1. По результатам испытаний, проведенных на автомобиле, как с новыми, так и с изношенными элементами тормозной системы, было установлено, что эффективность тормозной системы при установке новых колодок и дисков (на переднюю и заднюю ось) в среднем повысилась на 14% (с 59 до 73%).

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований тормозной системы
с целью оценки влияния износа колодок и дисков
на эффективность торможения

Тормозная система и ее показатели	КПД или эффективность, %	Начальная скорость, км/ч	Средний тормозной путь, м	Среднее время торможения, с
Система с изношенными дисками и колодками	59	25	1.38	1.21
		40	4.26	1.89
		50	5.44	2.46
Система с новыми дисками и колодками.	73	25	1.31	1.17
		40	3.92	1.74
		50	5.14	2.20

Выводы

1. При проведении исследований, установлено, что ряд исследуемых параметров (тормозной путь и время торможения до полной остановки) для определения эффективности торможения увеличиваются с увеличением

скорости автомобиля. Именно поэтому, дополнительно, для более точного определения эффективности элементов тормозной системы, необходимо проводить оценку износа тормозных колодок и дисков, исходя из начальной скорости торможения в городских условиях, которая будет определяться в зависимости от интенсивности движения.

2. В условиях нормальной нагрузки автомобиля эффективность тормозной системы составила всего 59%, с учетом факта, что минимально допустимый уровень эффективности тормозной системы должен составлять 43,5%. Базируясь на полученных результатах, можно сделать вывод, что замена колодок и дисков на новые необходима даже в более короткие сроки, чем рекомендуют производители.

3. Все современные автомобили оснащены системой АБС, поэтому для создания достоверных математических моделей износа необходимо оценить степень ее влияния на износ тормозных дисков и колодок в целом, с учетом того, что система срабатывает лишь при экстренных торможениях или при определенном состоянии дорожного полотна.

Исследования в данном направлении будут продолжены, поскольку конечной целью является создание математических моделей изнашивания оптимизации параметров каждой пары трения «диск-тормозная колодка» с целью повышения

developing Material Requirements for Automotive Brake Disc. Mod Concept Material Sci. 2(2): 2019. MCMS.

Список источников

1. Баженов, Ю. В. Оценка работоспособности тормозной системы, оборудованной АБС / Ю. В. Баженов, М. Ф. Кунин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – С. 130. – EDN PBIQWH.
2. Sabri, M. Analysis of vehicle braking behaviour and distance stopping / M. Sabri, A. Fauza // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 309(1). – P. 012020. DOI10.1088/1757-899X/309/1/012020.

3. Ilie, Filip. Experimental Study of the Correlation between the Wear and the Braking System Efficiency of an Auto-Vehicle / Filip Ilie, Andreea-Catalina Cristescu // Sci. – 2023. – Vol. 13(14). – P. 8139. DOI 10.20944/preprints202306.0215.v1.
4. Childs, P.R. Chapter 13 – Clutches and Brakes. In Mechanical Design Engineering Handbook / P.R. Childs. – UK, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. – pp. 513–564. DOI 10.1016/B978-0-08-097759-1.00013-7.
5. Popa, M.-F. Study of Brake System Parameters for Commercial Vehicles / M.-F. Popa, N.V. Burnete // In Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018). – Switzerland: Springer Cham, 2019. – P. 686-694.
6. Berjoza, Dainis. Testing automobile braking parameters by varying the load weight / Dainis Berjoza, Ilmars Dukulis, Vilnis Pirs, Inara Jurgena // 7th TAE, Prague, Czech Republic, 17-20 September 2019.
7. Руис, С. Тормозные системы и их модернизация / Стивен Руис, Кэрол Смит. – Текст: электронный // О тормозных системах и эффективности торможения: информационно-справочный портал. – 2018. – URL: <https://www.drive2.ru/b/509054093524730171>.
8. Чичинадзе, А.В. Тепловая динамика трения / А.В. Чичинадзе. – М.: Наука, 1970. – 171 с.
9. Дыгало, В. Г. Оценка тепловой нагруженности пар трения автоматизированной тормозной системы автомобиля / В. Г. Дыгало, И. С. Жуков // Прогресс транспортных средств и систем - 2018 : Материалы международной научно-практической конференции, Волгоград, 09–11 октября 2018 года / Под редакцией И.А. Каляева, Ф.Л. Черноусько, В.М. Приходько. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – С. 103-105. – EDN YYPDТА.
10. Пегачков, А. А. Комментарии к приложению № 8 Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 018 / 2011 "О безопасности колесных транспортных средств", связанные с требованиями к тормозным системам / А. А. Пегачков // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – № 3. – С. 74-78. – EDN YFOFDX.

References

1. Bazhenov YU.V., Kunin M.F. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya, 2012, no. 4, pp. 130.
2. Sabri M., Fauza A. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 309(1), pp. 012020, DOI10.1088/1757-899X/309/1/012020.
3. Ilie Filip. Cristescu Andreea-Catalina. Filip Ilie, Sci, 2023, vol. 13(14), pp. 8139, DOI 10.20944/preprints202306.0215.v1.
4. Childs P.R. Chapter 13 – Clutches and Brakes. In Mechanical Design Engineering Handbook UK, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014, pp. 513–564, DOI 10.1016/B978-0-08-097759-1.00013-7.

5. Popa M.-F., Burnete N.V. *In Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018)*, Switzerland: Springer Cham, 2019, pp.686-694.
6. Berjoza Dainis, Dukulis Imars, Pirs Vilnis, Jurgena Inara. *7th TAE*, Prague, Czech Republic, 2019.
7. URL: <https://www.drive2.ru/b/509054093524730171>.
8. Chichinadze A.V. *Thermal dynamics of friction* (Тепловая динамика трения), Moscow, Nauka, 1970, 171 p.
9. Dygalo V.G., Zhukov I.S. *Progress transportnykh sredstv i sistem – 2018*, Materialy konferentsii, Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2018, pp. 103-105.
10. Pegachkov A.A. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2017, no. 3, pp. 74-78.

Рецензент: Н.И. Баурова, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Ибрахим Самар, магистрант, МАДИ.

Пегачков Алексей Александрович, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Information about the authors

Ibrahim Samar, undergraduate, MADI.

Pegachkov Aleksey A., Candidate of Sciences (Technical), associate professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 07.04.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 17.06.2024.

The article was submitted 07.04.2024; approved after reviewing 10.04.2024; accepted for publication 17.06.2024.