УДК 113.29

© А. Г. Кириллов, канд. техн. наук, доцент
© А. С. Ратников, канд. техн. наук, доцент
© О. П. Кокарев, аспирант
(Владимирский государственный университет
имени А. Г. и Н. Г. Столетовых)
E-mail: cdo_atf_vlsu@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-168-172

© A. G. Kirillov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© A. S. Ratnikov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© O. P. Kokarev, post-graduate student
(Vladimir State University
named after Alexander and Nikolay Stoletovs)
E-mail: cdo_atf_vlsu@mail.ru

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

METHOD OF OPERATIONAL FORECASTING THE RESIDUAL LIFE OF THE BRAKE SYSTEM ELEMENTS

Рассматривается методика прогнозирования отказов (замен) тормозных колодок и тормозных дисков автомобилей KIA RIO. При техническом обслуживании, особенно самостоятельно автовладельцами, некорректно оценивается техническое состояние указанных выше элементов, что приводит к потере работоспособности тормозной системы и, как следствие, к дорожно-транспортному происшествию. Предлагаемая методика обладает простотой и имеет практическую значимость при эксплуатации автомобилей. Определение остаточного ресурса не требует применения дорогостоящего оборудования, что свидетельствует о доступности использования как на станциях технического обслуживания, так и в гаражных условиях.

Ключевые слова: тормозная система, тормозной диск, тормозная колодка, износ, прогнозирование ресурса.

The paper considers the method of forecasting failures (replacements) of brake pads and brake discs of KIA RIO cars. At maintenance, especially when independently done by car owners, the technical condition of the specified elements is not correctly estimated, which may lead to the loss of the brake system operability and, as a consequence, to a road traffic accident. The proposed method is simple and has practical significance in the operation of cars. Determination of residual life does not require the use of expensive equipment, which indicates its availability both at service stations and in garage conditions.

Keywords: brake system, brake disc, brake pad, wear, forecasting the residual life.

Современные темпы развития технической науки позволяют активнее внедрять в автомобильную промышленность ее передовые разработки. За счет использования инноваций автомобили становятся комфортнее, динамичнее, экономичнее, безопаснее, надежнее и т. д.

Автомобиль — сложная техническая система, которую необходимо с определенной периодичностью обслуживать. Особое внимание следует уделять системам, отвечающих за активную

безопасность автомобиля¹: рулевое управление, подвеска, тормозная система (ТорС) [1–3] и др.

При эксплуатации автомобиля всегда происходят физико-химические процессы, которые вызывают изменение начальных свойств всех его систем, деталей и узлов. В результате таких процессов возникают различного рода повреж-

¹ Руководящий документ РД 37.009.026–92 «Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, мини-трактора)» (утв. приказом по Департаменту автомобильной промышленности Минпрома РФ от 1 ноября 1992 г. № 43).

дения: изнашивание, загрязнение, старение, коррозионное разрушение, окисление контактов, разрушение изоляции и т. д. Несвоевременное выявление и устранение указанных повреждений элементов ТормС может привести к отказу всей тормозной системы, что нарушает требования безопасности дорожного движения² и может привести к дорожно-транспортным происшествиям, в том числе с человеческими жертвами.

В соответствии с ЕЭК ООН-13 автомобильной компанией KIA MOTORS предусмотрено производство автомобилей с антиблокировочной системой (АБС). С ее помощью сокращается тормозной путь и появляется возможность управлять автомобилем во время торможения [4], что значительно сокращает возможность возникновения дорожно-транспортного происшествия.

Изменение конструктивных параметров элементов ТормС оказывает воздействие на выходные параметры тормозной системы, что приводит к потере ею работоспособного состояния [5, 6].

Техническое обслуживание (ТО) тормозной системы включает комплекс контрольно-диагностических и профилактических мероприятий, выполнение которых позволяет минимизировать вероятность возникновения отказов элементов ТормС в эксплуатации. Одним из самых важных элементов системы ТО является техническая диагностика, которая предоставляет индивидуальную информацию о техническом состоянии тормозных колодок, дисков и других элементов ТормС.

В табл. 1 приведены результаты исследований распределения отказов конструктивных элементов ТормС KIA RIO с задними дисковыми тормозными механизмами на базе станции ТО г. Владимира, проведенные авторами.

Из таблицы следует, что большинство отказов приходится на тормозные колодки и тормозные диски. Следовательно, техническому состоянию указанных элементов необходимо уделять особое внимание при ТО автомобиля.

² Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 04.12.2018) «О Правилах дорожного движения» (вместе с «Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения»).

Тормозные колодки и тормозные диски образуют механизм, функционирование которого основано на создании трения [7, 8].

Отказы рассматриваемых элементов напрямую связаны с износом рабочих поверхностей. Износ — процесс разрушения и отделения материала поверхности тормозного диска и тормозных колодок при трении, проявляющийся в изменении геометрических параметров. Количественные характеристики процесса изнашивания — износ, скорость изнашивания и интенсивность изнашивания [5, 6].

Интенсивность изнашивания J — это отношение износа U к обусловленному пути трения L , на котором он произошёл:

$$J = \frac{U}{L}. \quad (1)$$

Для тормозного механизма интенсивность изнашивания не будет качественной показательной характеристикой. Изнашивание элементов тормозного механизма будет зависеть не только от пути трения, но и от давления, оказываемого на тормозную колодку [7] на этом пути в процессе торможения. При одном и том же пути трения, но при разном давлении на тормозную колодку износ будет различен. При расчете интенсивности изнашивания потребуется учитывать давление, оказываемое на тормозную колодку, что создает дополнительные трудности.

Для оценки процесса изнашивания тормозных колодок и дисков предлагается использо-

Таблица 1

Распределение отказов конструктивных элементов ТормС

№ п/п	Конструктивный элемент	Доля отказов, %
1	Тормозные колодки	49,7
2	Тормозные диски	15,9
3	Направляющие пальцы тормозного суппорта	11,8
4	Тормозной поршень	8,6
5	АБС	4,7
6	Тормозные трубки и шланги	4,7
7	Прочие	4,6
	Итого	100

вать только такие характеристики, как износ $U(t)$ и скорость изнашивания $\gamma(t)$.

Скорость изнашивания представляет собой отношение износа, возникшего за определенный интервал времени, к величине этого интервала:

$$\gamma(t) = \frac{U(t)}{t}, \quad (2)$$

где $\gamma(t)$ — скорость изнашивания; $U(t)$ — износ; t — интервал времени, за который произошел данный износ.

В формуле (2) целесообразно использовать в качестве интервала времени наработку, в течение которой произошел износ. Тогда выражение (2) будет иметь следующий вид:

$$\gamma(l) = \frac{U(l)}{l} = \text{мм/тыс. км}, \quad (3)$$

где l — наработка, в течение которой произошел износ, тыс. км.

Математическое выражение (3) позволяет определить скорость изнашивания индивидуально тормозных колодок и тормозных дисков на различных интервалах наработки. При расчете скорости изнашивания учитывать давление на тормозную колодку и разные режимы работы механизма не имеет смысла.

Для определения износа исследуемых элементов требуется информация о толщине рабочего тела. Предоставляется информация заводами-изготовителями в открытом доступе³. Номинальные и предельные значения толщины колодок и дисков приведены в табл. 2.

Фактический износ тормозных колодок и дисков на конкретной наработке l определяется из выражения

$$U(l) = U_n - U_\phi, \quad (4)$$

где U_n и U_ϕ — номинальные и фактические значения толщины тормозных колодок и дисков.

Определение фактической толщины тормозных колодок осуществляют штангенциркулем с точностью измерения 0,1 мм, а тормозных дисков — микрометром с точностью измерения 0,001 мм.

Определив значение износа (4), вычисляют скорость изнашивания (3) и остаточную толщину рабочего тела:

$$U(l)_{\text{ост}} = U(l) - U_{\text{доп}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{доп}}$ — минимально допустимое значение толщины, мм.

Полученные по уравнениям (3) и (5) значения остаточной толщины рабочего тела и скорости изнашивания позволяют судить об остаточном ресурсе исследуемых элементов тормозной системы, а также спрогнозировать момент их отката (замены).

Остаточный ресурс следует определять как отношение остаточной толщины к скорости изнашивания:

$$S(l)_{\text{ост}} = \frac{U(l)_{\text{ост}}}{\gamma(l)}. \quad (6)$$

При неудовлетворении условия $S(l)_{\text{ост}} \geq S_{\text{ТО}}$ — межсервисный интервал ТО назначается замена тормозных колодок или тормозного диска.

Прогнозирование остаточного ресурса рассматриваемых элементов тормозной системы позволяет не только предупреждать возможные отказы, но и более обоснованно планировать режимы эксплуатации и профилактические мероприятия, что непосредственно влияет на безопасность дорожного движения.

Предложенная выше методика была применена на практике при выполнении технического обслуживания автомобиля KIA RIO с пробегом 29 745 км. После выполнения замеров толщин рабочих тел было установлено: самая мини-

Таблица 2

Номинальные и допустимые значения толщины тормозных колодок и дисков KIA RIO комплектации Q8

№ п/п	Ось	Толщина новых тормозных колодок, мм	Минимально допустимое значение толщины колодки, мм	Толщина новых тормозных дисков, мм	Минимально допустимое значение толщины дисков, мм
1	Передняя	11	2	22	20
2	Задняя	10	2	10	8

³ Автомобили KIA. Пошаговый ремонт. URL: <https://avto-kia-remont.ru/avtomobil-kia-rio/tormoznaya-sistema> (дата обращения: 30.09.2019).

Таблица 3

**Результаты расчета остаточного ресурса исследуемых элементов
тормозной системы**

№ п/п	Параметр	Элементы ТопС			
		Передняя ось		Задняя ось	
		Колодки	Диски	Колодки	Диски
1	Наработка, тыс. км	29,745	29,745	29,745	29,745
2	Допустимый износ U_d , мм	2	20	2	8,4
3	Номинальное значение U_n , мм	11	22	10	10
4	Фактическое значение U_f , мм	6,8	21,71	6,9	9,78
5	Износ U , мм	4,2	0,29	3,1	0,22
6	Скорость изнашивания γ , мм/тыс. км	0,141	0,010	0,104	0,007
7	Остаточная толщина $(U-U_d)$, мм	4,80	1,71	4,90	1,38
8	Остаточный ресурс $S_{ост}$, тыс. км	33,994	175,393	47,016	186,582
9	Замена элементов, через тыс. км	30,000	165,000	45,000	180,000

мальная толщина накладки передних тормозных колодок составила 6,8 мм, толщина переднего тормозного диска — 21,73 мм. Получив фактические значения, зная номинальные и предельно допустимые, были определены износ и скорость изнашивания исследуемых элементов ТопС. На основе полученных данных были даны рекомендации по их замене. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что минимально допустимая толщина передних тормозных колодок будет достигнута через 33,994 тыс. км. В соответствии с межсервисным интервалом ТО, установленным заводом-изготовителем в 15 тыс. км, замену передних тормозных колодок целесообразно выполнить через 30 тыс. км на ТО-4 (60 тыс. км пробега); замену передних тормозных дисков выполнить через 195 тыс. км (ТО-13), задних тормозных колодок — через 45 тыс. км (ТО-5 или на 75 тыс. км) и задних тормозных дисков — через 180 тыс. км на ТО-14 (210 тыс. км).

Разработанная методика прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы позволяет рационально планировать режим технического обслуживания [10], что положительно сказывается не только на эксплуатационные затраты [11] при ТО, но и на безопасность дорожного движения, от которой зависят здоровье и жизни людей.

Таким образом, при выполнении технического обслуживания в обязательном порядке сле-

дует выполнять замеры толщины рабочего тела тормозных колодок и дисков и использовать рассмотренную выше методику.

Библиографический список

1. Рушаков В. З. Безопасность автотранспортных средств в эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.10 Москва, 2004. 360 с. РГБ ОД, 71:05-5/632.
2. Калачев С. М. Экспериментально-расчетный метод контроля качества работы гасящих устройств подвески автомобиля : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Москва, 2006. 170 с. РГБ ОД, 61:06-5/2456.
3. Соцков Д. А. Повышение активной безопасности автотранспортных средств при торможении: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. Владимир, 1988. 547 с. РГБ ОД.
4. Харб М. Ж. Разработка диагностических признаков тормозной системы легкового автомобиля с АБС: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2000.
5. Баженов Ю. В., Баженов М. Ю. Основы надежности и работоспособности технических систем. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. 267 с.
6. Зорин В. А. Основы работоспособности технических систем. М.: Магистр-Пресс, 2005. 536 с.
7. Болдырев Д. А. Повышение работоспособности и ресурса пары трения «тормозной диск – колодка»: дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01. Тольятти, 2004. 137 с. РГБ ОД, 61:05-5/1420.
8. Колесник П. А., Кланица В. С. Материаловедение на автомобильном транспорте. М.: Академия, 2012. 320 с.

9. Автомобили KIA. Пошаговый ремонт. URL: <https://avto-kia-remont.ru/avtomobil-kia-rio/tormoznaya-sistema> (дата обращения: 30.09.2019).

10. Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин. М.: Колос, 1976. 287 с.

11. Туревский И.С. Экономика отрасли (автомобильный транспорт). М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2008. 288 с.

12. Кузнецов Е. С. Теоретические и нормативные основы технической эксплуатации и сервиса автомобилей: тех. состояние и методы обеспечения работоспособности автомобилей. М.: МАДИ ТУ-М, 2000. 56 с.

13. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1990. 272 с.

14. Топалиди В. А. Повышение эффективности эксплуатационного контроля тормозных свойств и систем АТС // Автомобильная промышленность. 2008. № 3. С. 25–27.

15. Аринин И. Н., Коновалов С. И., Баженов Ю. В., Бочков А. А. Техническая эксплуатация автомобилей. (Управление технической готовностью подвижного состава). Владимир: Владим. гос. ун-т., 2003. 248 с.

References

1. Rusakov V. Z. *Bezopasnost' avtotransportnykh sredstv v ekspluatatsii*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Safety of motor vehicles in operation. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2004, 360 p.

2. Kalachev S. M. *Eksperimental'no-raschetnyy metod kontrolya kachestva raboty gasyashchikh ustroystv podveski avtomobilya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Experimental and computational method for quality control of car suspension damping devices. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2006, 170 p.

3. Sotskov D. A. *Povyshenie aktivnoy bezopasnosti avtotransportnykh sredstv pri tormozhenii*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Increasing the active safety of vehicles when braking. Dr. Sci. Tech. diss.]. Vladimir, 1988, 547 p.

4. Kharb M. Zh. *Razrabotka diagnosticheskikh priznakov tormoznoy sistemy legkovogo avtomobilya s ABS*. PhD in Sci. Tech. diss. [Development of diagnostic features of the brake system of a passenger car with ABS. PhD in Sci. Tech. diss.]. Volgograd, 2000.

5. Bazhenov Yu. V., Bazhenov M. Yu. *Osnovy nadezhnosti i rabotosposobnosti tekhnicheskikh system*

[Fundamentals of reliability and performance of technical systems]. Vladimir, VIGU Publ., 2017, 267 p.

6. Zorin V. A. *Osnovy rabotosposobnosti tekhnicheskikh system* [Fundamentals of health of technology systems]. Moscow, Magistr-Press Publ., 2005, 536 p.

7. Boldyrev D. A. *Povyshenie rabotosposobnosti i resursa pary treniya «tormoznoy disk – kolodka»*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the performance and resource of the friction pair “brake disc-pad”. PhD in Sci. Tech. diss.]. Tolyatti, 2004, 137 p.

8. Kolesnik P. A., Klanitsa V. S. *Materialovedenie na avtomobil'nom transporte* [Material engineering for road transport]. Moscow, Akademiya Publ., 2012, 320 p.

9. *Avtomobili KIA. Poshagoviy remont* [KIA cars. Step-by-step repair]. Available at: <https://avto-kia-remont.ru/avtomobil-kia-rio/tormoznaya-sistema> (accessed: 30.09.2019).

10. Mikhlin V. M. *Prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya mashin* [Forecasting the technical condition of vehicles]. Moscow, Kolos Publ., 1976, 287 p.

11. Turvskiy I. S. *Ekonomika otrasli (avtomobil'niy transport)* [Economics of the industry (motor transport)]. Moscow, ID 2FORUM, INFRA – M Publ., 2008, 288 p.

12. Kuznetsov E. S. *Teoreticheskie i normativnye osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii i servisa avtomobiley: tekhn. sostoyanie i metody obespecheniya rabotosposobnosti avtomobiley* [Theoretical and normative bases of technical operation and service of cars: technical condition and methods of ensuring the performance of cars]. Moscow, MADI TU-M Publ., 2000, 56 p.

13. Kuznetsov E. S. *Upravlenie tekhnicheskoy ekspluatatsiey avtomobiley* [Management of technical operation of cars]. 2-nd ed. revised. Moscow, Transport Publ., 1990, 272 p.

14. Topalidi V. A. *Povyshenie effektivnosti ekspluatatsionnogo kontrolya tormoznykh svoystv i sistem ATS* [Improving the efficiency of operational control of brake properties and CAD CAM systems]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automotive industry*, 2008, no. 3, pp. 25–27.

15. Arinin I. N., Kononov S. I., Bazhenov Yu. V., Bochkov A. A. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley. (Upravlenie tekhnicheskoy gotovnost'yu podvizhnogo sostava)* [Technical operation of cars. (Management of technical readiness of rolling stock)]. 2-nd ed., revised. Vladimir, Vladim. gos. un-t. Publ., 2003, 248 p.