УДК 629.077

© Н. В. Подопригора, канд. техн. наук, доцент
© В. Н. Добромиров, д-р техн. наук, профессор
© П. А. Стёпина, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: n.v.podoprighora@gmail.com,
viktor.dobromirov@mail.ru, pamallia@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-179-183

© N. V. Podoprighora, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© V. N. Dobromirov, Dr. Sci. Tech., Professor
© P. A. Stepina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: n.v.podoprighora@gmail.com,
viktor.dobromirov@mail.ru, pamallia@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ТОРМОЗНОЙ ЖИДКОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРАБАТЫВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

METHODS OF ASSESSING THE INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT IN THE BRAKE FLUID ON THE EFFICIENCY OF THE BRAKING ACTION

Предложены варианты совершенствования методики реконструкции ДТП путем учета качественного состава тормозной жидкости, изменение которого в ходе эксплуатации может вызывать увеличение времени срабатывания тормозного привода и, как следствие, длины остановочного пути транспортного средства (ТС). Экспериментально установлена закономерность влияния процентного содержания влаги в тормозной жидкости на общее время срабатывания тормозной системы. Выведен и научно обоснован коэффициент, учитывающий влияние этого фактора на расчетное время торможения и длину остановочного пути ТС.

Ключевые слова: автотранспортное средство, экспертиза ДТП, тормозная система с гидроприводом, техническое состояние тормозной системы, процесс торможения, эффективность торможения.

Some proposals for improving the assessment methodology at examining traffic accidents (TA) are presented with a due account to the composition of the brake fluid, the change of which during operation may cause an operation time increase of the brake actuator and, as a consequence, the length of the stopping path of the vehicle. Consistent pattern of the influence of moisture percentage in braking fluid on the general response time of the braking system is experimentally determined. The coefficient considering the influence of this factor on the estimated time of braking and the length of stopping way of the vehicle has been calculated and substantiated.

Keywords: vehicle, traffic accident examination, hydraulic drive braking system, braking system condition, braking process, braking efficiency.

Согласно статистическим исследованиям с процессом торможения связано каждое третье ДТП. Максимально объективно установить влияние технического состояния тормозной системы на возникновение и развитие ДТП в ходе экспертных исследований на момент проведения осмотра автомобильного транспортного средства (АТС) весьма проблематично [6–13].

Действующие методы инструментального контроля технического состояния тормозных систем, применяемые в настоящее время, а также перечень оборудования, которым сегодня оснащены станции инструментального контроля, не позволяют всесторонне оценить состояние тормозной системы, находящейся

в эксплуатации. Программное обеспечение станций инструментального контроля осуществляет лишь сравнение результатов фактических измерений выходных параметров с нормативными и делает вывод о соответствии состояния системы установленным требованиям нормативно-технической документации.

Как показывает практика экспертных исследований, динамика изменения технического состояния системы оценивается в большинстве случаев интенсивностью износа фрикционных накладок. Однако изменениям в эксплуатации подвергается ряд других факторов, среди которых — содержание влаги в составе тормозной жидкости. В существующей системе инстру-

ментального контроля на станциях технического осмотра контроль показателей вязкости и температуры кипения тормозной жидкости, характеризующих содержание в ней влаги, не осуществляется. Данная процедура не является обязательным пунктом в техническом регламенте. На сегодняшний день существует только регламент завода-изготовителя ТС, в котором содержится информация о периодичности замены тормозной жидкости. Как правило, она составляет от 1 до 3 лет, в зависимости от типа тормозной жидкости. Однако в ходе проведения экспериментальных исследований удалось установить влияние на динамику изменения эффективности срабатывания тормозного привода качественного состояния тормозной жидкости с учетом величины ее наработки.

Проведенный анализ нормативно-технической документации, которой руководствуются автотехнические эксперты в своей деятельности, показал, что основная часть дополнений и изменений наблюдается лишь в описательных и нормативных разделах. Разделы, регламентирующие методы проверки основных систем, обеспечивающих конструктивную безопасность АТС, существенно не изменились, а большая их часть копируется с незначительными поправками из предыдущих документов.

Анализ основных формул для определения скорости движения ТС (V_a), времени (t) и пути торможения (S_0), которые применяют автотехнические эксперты при реконструкции ДТП, показал, что в них не учитываются такие эксплуатационные факторы, как фактические величины тормозного усилия на педали тормоза, на колесах передней и задней осей, а также износ тормозных накладок. Необходимость учета этих факторов и методика корректировки расчетных зависимостей с учетом их влияния на итоговое заключение эксперта о возможности водителя предотвратить ДТП рассмотрены в работах [6–12].

Предлагаем усовершенствовать методику реконструкции ДТП путем учета такого дополнительного фактора эксплуатационного характера, вызывающего увеличение времени торможения и длины остановочного пути транспортного средства (ТС), оснащенного гидроприводом, как содержание влаги в составе тормозной жидкости.

Проведенные авторами экспериментальные исследования технического состояния тормозной системы ТС, оснащенной дисковыми тормозами и гидроприводом, позволили оценить влияние качественного состава тормозной жидкости, характеризующегося содержанием влаги (%), на общее время срабатывания тормозной системы ($t_{ср}$).

Как показывает опыт технического обслуживания и ремонта АТС, требование по замене тормозной жидкости выполняется, как правило, в период нахождения автомобиля на гарантии, в основном во время прохождения планового технического обслуживания в официальном дилерском центре. После окончания гарантийного периода, согласно статистике, владельцы АТС все чаще пренебрегают заменой тормозной жидкости, ограничиваясь исключительно контролем уровня тормозной жидкости в бачке и отсутствием следов ее подтекания.

Известно, что показатели вязкости, а также температуры кипения тормозной жидкости определяют работоспособность гидропривода тормозов в условиях предельно допустимой рабочей температуры его элементов. Доказано, что в процессе экстренного торможения температура фрикционных накладок достигает 600 °С, а тормозной жидкости — 150 °С. Такие высокие температуры в комплексе с гигроскопичностью жидкости приводят тормозные механизмы к преждевременному старению, образованию коррозии на металлических деталях [3].

Образование пузырьков газа при нагреве пара в тормозной жидкости, вызывающее снижение эффективности тормозного управления, связано с повышенным содержанием воды в ее составе или низким показателем температуры кипения. Стоит заметить, что при эксплуатации ТС в условиях значительных отрицательных температур повышенное содержание влаги в тормозной жидкости повышает вероятность образования ледяных пробок в трубопроводах тормозного привода [1, 2, 4].

Экспериментально установлено, что за один год эксплуатации АТС в гидравлической системе в составе тормозной жидкости скапливается порядка 2–3 % воды, при этом показатель температуры ее кипения снижается в среднем на 30–40 °С [6, 7].

Для оценки влияния содержания влаги в составе тормозной жидкости (%) на общее время срабатывания тормозной системы (t_{cp}) разработан метод экспериментальных исследований на тормозном стенде.

В качестве объекта исследования были использованы автомобили марки Ford Fiesta. Измерение показателя содержания влаги в составе тормозной жидкости осуществлялось рефрактометром ADD502. Испытания эффективности срабатывания тормозной системы были проведены на стенде тормозных испытаний МАНА IW2 Eurosystem согласно алгоритму, предложенному в [5–7].

Результаты исследования по автомобилю Ford Fiesta представлены в таблице.

На основании полученных экспериментальных данных построены зависимости измеряемых параметров от фактического пробега ТС (рис. 1, 2).

Значение содержания влаги в тормозной жидкости, полученное в результате измерения, принимается как нормативное (y_{nor}) для исследуемого ТС. В ситуации, когда техническое состояние ТС после полученных в результате ДТП повреждений позволяет производить исследование состояния тормозной жидкости, фактический результат (y_{fac}) необходимо сравнивать с принятым нормативным (стандарт FMVSS № 116 «Автомобильные тормозные жидкости») и делать заключение о состоянии тормозной системы: если $y_{fac} \leq y_{nor}$, то измеряемая величина не влияет на увеличение времени срабатывания тормозов и корректирующий коэффициент K_4 принимается равным 1; если $y_{fac} > y_{nor}$, то измеряемая величина влияет на увеличение времени срабатывания тормозов и коэффициент снижения эффективности K_4 высчитывается по зависимости

$$K_4 = \frac{y_{faci}}{y_{nori}}. \quad (1)$$

Результаты измерений Ford Fiesta

Измеряемые параметры	Значения параметров при пробеге, тыс. км					
	0	30	60	90	120	150
Содержание влаги в тормозной жидкости, %	0,82	1,94	3,87	4,9	5,48	7,44
Время срабатывания тормозной системы, с	0,33	0,37	0,41	0,47	0,58	0,67

На основании проведенных экспериментальных исследований в методику вычисления времени срабатывания тормозной системы предложено включить дополнительный корректирующий коэффициент K_4 , уточняющий как время нарастания замедления t_3 до максимального, так и время торможения с установившимся замедлением t_4 .

Таким образом, формулы для расчетов параметров торможения при экспертизах ДТП, по которым можно определять S_o , V_a , D_6 с учетом влияния содержания влаги в тормозной жидкости, принимают вид [6–13]:

- остановочный путь для ТС, оснащенных ABS, м:

Рис. 1. Зависимость содержания влаги в тормозной жидкости от пробега ТС

Рис. 2. Зависимость времени срабатывания тормозной системы от содержания влаги в тормозной жидкости

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,375K_1K_4 \{t_{\text{ном}} - t_2 - t_p\})V_a + \frac{V_a^2}{1,5\varphi g}; \quad (2)$$

• остановочный путь для ТС, не оснащенных ABS, м:

$$S_0 = (t_1 + 0,5t_3K_1K_2K_4) \frac{V_a}{3,6} + \frac{t_2V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26J_n\Psi_1\Psi_2\Psi_3}; \quad (3)$$

при $\varphi g > a$:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5K_1K_2K_4 \{t_{\text{ном}} - t_2 - t_p\})V_a + \frac{V_a^2 M_n}{2aM_c}, \quad (4)$$

при $\varphi g < a$:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5K_1K_2K_4 \{t_{\text{ном}} - t_2 - t_p\})V_a + \frac{V_a^2}{2\varphi g}; \quad (5)$$

• скорость автомобиля перед торможением с учетом юза, км/ч:

$$V_a = 1,8J_n\Psi_1\Psi_2\Psi_3t_3K_1K_2K_4 + \sqrt{26J_n\Psi_1\Psi_2\Psi_3S_{\text{ю}}}; \quad (6)$$

• необходимое расстояние между задним и передним автомобилем в момент торможения переднего для избегания наезда, м:

$$D_6 = (t_1 + t_2 + 0,5t_3K_1K_2K_4) \frac{V_2}{3,6} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{26J_n\Psi_1\Psi_2\Psi_3}, \quad (7)$$

где Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 — коэффициенты замедления, учитывающие марку ТС, дорожные условия и степень загрузки автомобиля [13]; M_n — действительная масса ТС в момент ДТП; M_c — масса снаряженного ТС; $t_{\text{ном}}$ — установленное техническим регламентом максимально допустимое время срабатывания тормозного механизма; t_p — время нарастания замедления (до вступления в силу технического регламента $t_p = 0,5$ с); φ — коэффициент сцепления колеса с дорогой; a — предельно допустимая величина тормозного ускорения; K_1 — коэффициент, корректирующий время нарастания замедления t_3 до максимального; K_2, K_4 — коэффициенты, корректирующие как t_3 , так и время торможения с установившимся замедлением t_4 ; K_3 — коэффициент, корректирующий t_4 , где t_4 — время торможения с установившимся замедлением, с:

$$t_4 = K_2K_3K_4 \frac{V_a - 1,8J_n t_3}{3,6J_n}. \quad (8)$$

Предложенные дополнения к методике позволяют экспертам в своей деятельности повысить корректность и объективность заключения при оценке технического состояния тормозной системы, оснащенной гидравлической систе-

мой тормозов. Практическое применение предложенного подхода может быть использовано и для других марок АТС при проведении идентичных исследований взаимосвязи качественного состава тормозной жидкости и эффективности тормозной системы в целом.

Библиографический список

1. Бухарин Н. А., Прозоров В. С., Шукин М. М. Автомобили. М.: Машиностроение, 1965. 504 с.
2. Гуревич Л. В., Меламуд Р. А. Тормозное управление автомобиля. М.: Транспорт, 1978. 152 с.
3. Иларионов В. А. Эксплуатационные свойства автомобиля. М.: Машиностроение, 1966. 279 с.
4. Крузе И. И. Автомобильные тормозы. М.: Военное изд-во министерства Вооруженных сил Союза ССР, 1947. 287 с.
5. Глазков В. Ф., Евтюков С. А. Основы теории надежности, работоспособности и диагностики машин. СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2011. 450 с.
6. Подопригора Н. В., Добромиров В. Н., Стёпина П. А. Методика оценки влияния качественного состояния тормозной жидкости на эффективность срабатывания тормозной системы при экспертизе ДТП // Транспорт России: проблемы и перспективы. Материалы междунар. науч.-практ. конф., 14–15 ноября 2017 г. СПб.: ИПТ РАН, 2017. С. 414–417.
7. Podoprighora N., Dobromirov V., Pushkarev A., Lozhkin V. Methods of Assessing the Influence of Operational Factors on Brake System Efficiency in Investigating Traffic Accidents // 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities", SPbOTSIC-2016, 28–30 September 2016, St. Petersburg, Russia. Transportation Research Procedia Volume 20. Pp. 516–522.
8. Подопригора Н. В. Определение параметров процесса торможения автотранспортных средств при реконструкции и экспертизе ДТП // Мир транспорта и технологических машин. 2015. № 1 (48). С. 93–102.
9. Подопригора Н. В. Влияние дополнительных факторов на время срабатывания тормозной системы транспортного средства при вычислении остановочного пути // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. URL: www.science-education.ru/102-6096
10. Евтюков С. А., Подопригора Н. В. Совершенствование методики вычисления остановочного пути // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 4 (33). С. 214–219.
11. Подопригора Н. В. Совершенствование методики определения тормозных параметров при реконструкциях и экспертизах ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 6 (35). С. 143–149.

12. Подопригора Н. В. Методика определения параметров процесса торможения автотранспортных средств при реконструкции ДТП // Материалы 11-й междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». СПб.: СПбГАСУ, 2014. С. 489–498.

13. Подопригора Н. В., Стёпина П. А. Уточнение традиционной методики вычисления остановочного пути // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. СПб.: СПбГАСУ, 2012. С. 121–123.

References

1. Bukharin N. A., Prozorov V. S., Shchukin M. M. *Avtomobili* [Automobiles]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965, 504 p.

2. Gurevich L. V., Melamud R. A. *Tормозное управление автотранспорта* [Brake control of the vehicle]. Moscow, Transport Publ., 1978, 152 p.

3. Ilarionov V. A. *Ehkspluatatsionnye svoystva avtomobilya* [Operational properties of the car]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966, 279 p.

4. Kruze I. L. *Avtomobil'nye tormozy* [Automotive brakes]. Moscow, Voennoe izdatel'stvo ministerstva vooruzhennykh sil Soyuz SSR Publ., 1947, 287 p.

5. Glazkov V. F., Evtyukov S. A. *Osnovy teorii nadezhnosti, rabotosposobnosti i diagnostiki mashin* [Fundamentals of the theory of reliability, performance and diagnostics of machines]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2011, 450 p.

6. Podoprighora N. V., Dobromirov V. N., Stepina P. A. *Metodika otsenki vliyaniya kachestvennogo sostoyaniya tormoznoy zhidkosti na ehffektivnost' sratyvaniya tormoznoy sistemy pri ehkspertize ДТП* [The method of assessing the impact of the qualitative state of the brake fluid on the effectiveness of the brake system at the examination of the road traffic accident]. *Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 14–15 noyabrya 2017 «Transport Rossii: problemy i perspektivy»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf., 14–15 November, 2017 “Transport of Russia: problems and prospects”]. St. Petersburg, IPT RAN Publ., 2017, pp. 414–417.

7. Podoprighora N., Dobromirov V., Pushkarev A., Lozhkin V. (2016). *Methods of Assessing the Influence of Operational Factors on Brake System Efficiency in Investigating Traffic Accidents*. 12-th International Conference “Organization and Traffic Safety Management

in large cities”, SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. *Transportation Research Procedia*, vol.20, pp. 516–522.

8. Podoprighora N. V. *Opredelenie parametrov protsessa tormozheniya avtotransportnykh sredstv pri rekonstruktsii i ehkspertize ДТП* [Determination of the parameters of the braking process of vehicles in the reconstruction and examination of the road traffic accident]. *Mir transport i tekhnologicheskikh mashin – The world of transport and technological machines*, 2015, no. 1(48), pp. 93–102.

9. Podoprighora N. V. *Vliyanie dopolnitel'nykh faktorov na vremya sratyvaniya tormoznoy sistemy transportnogo sredstva pri vychislenii ostanovochnogo puti* [The influence of additional factors on the time of operation of the vehicle braking system in the calculation of stopping distance]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2012, no. 2. Available at: www.science-education.ru/102-6096

10. Evtyukov S. A., Podoprighora N. V. *Sovershenstvovanie metodiki vychisleniya ostanovochnogo puti* [Improving the methodology for calculating the vehicle stopping distance]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2012, no. 4 (33), pp. 214–219.

11. Podoprighora N. V. *Sovershenstvovanie metodiki opredeleniya tormoznykh parametrov pri rekonstruktsiyakh ДТП* [Improvement of methods for determining the braking parameters in the reconstruction of road traffic accidents]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2012, no. 6 (35), pp. 143–149.

12. Podoprighora N. V. *Metodika opredeleniya parametrov protsessa tormozheniya avtotransportnykh sredstv pri rekonstruktsii ДТП* [Methods of determining the parameters of the braking process of vehicles at the reconstruction of the road traffic accident]. *Trudy 11-oy mezhdunarodnoy konferentsii «Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh»* [Proc. of the 11-th Int. sci.-pract. conf. “Organization and road traffic safety in large cities”]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2014, pp. 489–498.

13. Podoprighora N. V., Stepina P. A. *Utochnenie traditsionnoy metodiki vychisleniya ostanovochnogo puti* [Refinement of the traditional method of calculating the stopping way]. *Trudy mezhdunar. nauch.-prak. konf. studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i doktorantov «Aktual'nye problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. of students, postgraduates, young scientists and doctoral students “Actual problems of road safety”]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2012, pp. 121–123.