УДК 629.3.017.5

© И. С. Гладушевский, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: iglad6@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-202-207

© I. S. Gladushevskiy, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: iglad6@gmail.com

ТОРМОЗНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШИН НА УКАТАННОМ СНЕЖНОМ ПОКРЫТИИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

BRAKING TESTS OF TIRES ON ROLLED SNOW COVERING IN WINTER

Исследовано замедление транспортных средств категории M_1 в зимний период при отрицательной температуре окружающего воздуха $-15 \pm 0,5$ °C на укатанном снежном покрытии при помощи деселе-рометра BRAKE TESTER модели LWS-2/MC. При помощи значений, полученных в результате экспери-ментального исследования, выведены коэффициенты сцепления транспортных средств для заданного покрытия, учитывающие конструктивные особенности.

Ключевые слова: транспорт, протектор, шипы, тормозной путь, сцепление с дорогой, эффективность торможения, технологии, замедление.

The paper presents the research results of deceleration of category M_1 vehicles in winter season under conditions of negative ambient air temperature of -15 ± 0.5 °C, on rolled snow, using the BRAKE TESTER model LWS-2/MC decelerometer. Using the values obtained as a result of the experimental research, the adhesion coefficients of vehicles for the given covering are derived, taking into account design features.

Keywords: transport, tread, studs, braking distance, road adhesion, braking efficiency, technology, deceleration.

Качество дорожного покрытия влияет как на значения коэффициента сцепления, так и на значения установившегося замедления, полученного в результате проведенных экспериментов. В систему «машина–дорога» входит как транспортное средство, осуществляющее замедление и влияющее на его нарастание, так и протектор шины, взаимодействующий с дорожным покрытием. Современные системы безопасности, взаимодействующие с тормозными механизмами транспортных средств, позволяют минимизировать время нарастания замедления, уменьшить пройденный тормозной путь и увеличить реакцию транспортного средства на действия водителя. Коэффициент сцепления транспортного средства (ТС) с дорожным покрытием позволяет реализовать возможности как ускорения, так и замедления ТС, заложенные заводом-производителем. Полная реализация динамических возможностей ТС доступна лишь при значении коэффициента сцепления, равном или

превосходящем значение коэффициента сцепления на сухом асфальтобетонном покрытии при положительных температурах >15 °C [1, 2]. При движении на укатанном снежном покрытии невозможно реализовать динамические характеристики в полной мере, но можно выделить факторы [3–5], влияющие на замедление:

- массу транспортного средства;
- давление в шине;
- ширину и пропорциональность шины;
- индексы нагрузки и скорости шины;
- наличие системы ABS;
- наличие вспомогательных систем торможения;
- количество шипов на протекторе шины и высоту из подъема относительно протектора [6];
- высоту протектора шины.

Экспериментальное исследование проводилось на ровном участке дорожного покрытия. Толща укатанного снега >3 см. Замедление ТС фиксировалось с отметки 40 км/ч [7]. Произво-

дилось оно одним водителем и с одним пассажиром при заданных значениях факторов, оказывающих значимое влияние на замедление автомобиля. В экспериментальном исследовании было задействовано 36 современных транспортных средств категории M_1 . Замедление каждого из них фиксировалось деселерометром 10 раз в целях недопущения введения ложных данных. Датчик, регистрирующий замедление транспортного средства, крепился на лобовое стекло ТС, а его калибровка производилась при каждом втором измерении (ввиду возможности изменения его положения в результате экстренного торможения). Замедлению на укатанном снежном покрытии сопутствовали скольжение и снос колес. Вспомогательные системы, такие как ABS и ESP, работали в штатном режиме и не были отключены во время исследования. Особое внимание было уделено высоте протектора шины и наличию шипов. Износ шин и шипов рассматриваемых ТС составлял не более 10 % [8–10].

В результате проведенных измерений были получены данные замедления ТС (рис. 1 и 2). На рисунках видно, что:

- измерения проводили на укатанном снежном покрытии;

- пиковые значения замедления достигались во время всего торможения из-за срабатывания противоблокировочных систем.

На рисунках также линии показывают процесс замедления машин. Можно увидеть разницу между красными линиями замедления. Более активное срабатывание антиблокировочной системы видно на рис. 2. Оба транспортных средства оснащены зимними нешипованными шинами. Если на графике замедления автомобиля 2008 года линия замедления опускается не так быстро, то на графике замедления автомобиля 2015 года линия замедления имеет более вертикальное направление и более стабильное замедление после нарастания тормозных усилий.

В табл. 1 представлены данные, полученные при проведении испытаний для 15 транспортных средств. Также в таблице отражено наличие или отсутствие шипов в протекторе шины для каждого транспортного средства.

Расчеты коэффициента сцепления ϕ были применены к модельному расчету замедления ТС. Значения ϕ укатанного снежного покрытия

$$0,15 < \phi < 0,25. \quad (1)$$

Таким образом, с учетом значения замедления был проведен расчет замедления ϕ по фор-

Рис. 1. Результат замера замедления ТС Mercedes-Benz C-class (красная линия — замедление; зеленая — скорость; желтая — расстояние)

Рис. 2. Результат замера замедления ТС Audi A3 (красная линия — замедление; зеленая линия — скорость; желтая линия — расстояние)

муле (2) [11]. В табл. 2 приведены результаты расчетов замедления и результаты установившегося замедления, полученные в ходе проведения замеров

$$J_{\text{зам}} = \frac{g(m_{\text{тор}} \cos \alpha \varphi_n + m_a g \sin \alpha) + P_{\text{в}} + P_{\text{зац}}}{m_a \delta K_{\text{э}}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{э}}$ — коэффициент эффективности торможения; g — ускорение свободного падения; $m_{\text{тор}}$ — масса, приходящаяся на заторможенные колеса; α — угол продольного наклона дороги; φ — коэффициент сцепления колес с дорогой; m_a — фактическая масса ТС; $P_{\text{зац}}$ — сила зацепа шипа.

Таблица 1

Замедление транспортных средств категории М₁ при использовании зимних шин на укатанном снежном покрытии и окружающей температуре $-15 \pm 0,5$ °С

№ п/п	Марка ТС	Модель ТС	Год ТС	Масса ТС, кг	Протектор, мм	Шипы	$J_{\text{ТС max}}, \text{ м/с}^2$	$J_{\text{ТС}}, \text{ м/с}^2$
1	Audi	A8	2016	2100	6,31	Да	4,46	3,50
2	BMW	750D	2017	2160	8,82	Да	4,44	3,48
3	Mersedes	S-klasse	2016	2215	7,43	Нет	3,67	2,81
4	Audi	A6	2018	1949	8,03	Да	4,40	3,44
5	BMW	5	2016	1910	6,39	Нет	3,98	2,79
6	Mersedes	E-klasse	2017	1880	5,66	Нет	3,85	2,89
7	Volvo	S80	2011	1931	7,04	Да	4,40	3,44
8	Toyota	Camry	2017	1760	5,84	Да	4,33	3,37
9	Lexus	IS	2013	1700	6,64	Да	4,32	3,36
10	Mersedes	C-klasse	2015	1540	7,00	Да	3,89	2,93
11	Audi	A4	2016	1550	5,94	Да	4,31	3,35
12	BMW	3	2013	1550	5,58	Да	4,34	3,38
13	Audi	A3	2008	1690	5,30	Нет	3,78	2,77
14	Mazda	CX-5	2015	1700	6,89	Да	4,27	3,31
15	Toyota	LC 150	2019	2375	9,00	Да	4,24	3,28

Таблица 2

**Расчет коэффициента сцепления ТС категории М₁
при использовании зимней резины**

№ п/п	Марка ТС	Модель ТС	$J_{\max}$, м/с ²	$\varphi_{\max}$	J , м/с ²	$\varphi_{\text{факт}}$
1	Audi	A8	4,46	0,46	3,50	0,36
2	BMW	750D	4,44	0,46	3,48	0,36
3	Mersedes	S-klasse	3,67	0,38	2,81	0,29
4	Audi	A6	4,40	0,45	3,44	0,35
5	BMW	5	3,98	0,41	2,79	0,29
6	Mersedes	E-klasse	3,85	0,40	2,89	0,30
7	Volvo	S80	4,40	0,45	3,44	0,35
8	Toyota	Camry	4,33	0,45	3,37	0,35
9	Lexus	IS	4,32	0,45	3,36	0,35
10	Mersedes	C-klasse	3,89	0,40	2,93	0,30
11	Audi	A4	4,31	0,45	3,35	0,35
12	BMW	3	4,34	0,45	3,38	0,35
13	Audi	A3	3,78	0,39	2,77	0,28
14	Mazda	CX-5	4,27	0,44	3,31	0,34
15	Toyota	LC 150	4,24	0,43	3,28	0,33

Коэффициент учета вращающихся масс рассчитывается по формуле

$$\delta = 1 + \left(\frac{Z_k J_k}{m_a r_k^2} \right), \quad (3)$$

где Z_k — число вращающихся колес; J_k — момент инерции колес; r_k — статический радиус колес.

Сила сопротивления воздуха рассчитывается по формуле

$$P_b = \frac{C_x \rho F_A V^2}{2}, \quad (4)$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления; ρ — плотность воздуха; F_A — лобовая площадь.

Сила зацепа шипа рассчитывается по формуле

$$P_{\text{зац}} = 0,1 z \sigma_p F_{\text{вш}}, \quad (5)$$

где σ — произведение динамического предела прочности на разрушение; $F_{\text{вш}}$ — площадь продольного сечения вставки шипа; z — количество шипов на колесе; множитель 0,1 указывает на контакт с опорной поверхностью только 10 % шипов от общего количества.

В табл. 2 приведены значения полученного из экспериментального замедления фактического коэффициента сцепления. Можно сделать вывод [12–14], что φ укатанного снежного покрытия из формулы (1) не соответствует φ установившегося замедления системы «шина–дорога» на выбранном участке дорожного покрытия.

Получены значения φ :

для шипованных шин

$$0,33 < \varphi < 0,36;$$

для нешипованных шин

$$0,28 < \varphi < 0,30.$$

На полученных графиках видно, что максимальные значения замедления и коэффициента сцепления на укатанном снежном покрытии достигаются к концу торможения, в то время как при положительных температурах на асфальто-бетонном покрытии максимальные значения достигаются в начале замедления [1, 2].

Полученные значения φ для шипованных легковых шин на укатанном снежном покрытии из формулы (6) превышают табличные значения для данного покрытия и близки к значениям для укатанного снежного покрытия без ледяной корки с россыпью песка [8, 14]. Значения из формулы (7) аналогичным образом превышают табличные значения, но в данном случае являются граничными значениями для обледеневшего укатанного снежного покрытия и россыпью песка. Из полученных при проведении экспериментальных исследований данных можно сделать вывод, что наличие шипов на шинах влияет на замедление легкового транспортного средства на укатанном снежном покрытии.

Библиографический список

1. Евтюков С. С., Гладушевский И. С. Тормозные испытания шин на сухом асфальтобетонном покрытии в летний период // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5 (82). С. 181–186.
2. Евтюков С. С., Гладушевский И. С. Тормозные испытания шипованной резины на влажном асфальтобетонном покрытии при нулевых температурах // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 3 (80). С. 173–177.
3. Евтюков С. А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. URL: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/3/29.pdf>
4. Гладушевский И. С., Евтюков С. С. Выявление факторов, наиболее значимо влияющих на оценку замедления транспортных средств категории М₁ // Информационные технологии и инновации на транспорте : VI Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. Н. Новикова. Орел: Орловский гос. ун-т им. И. С. Тургенева, 2020. С. 24–28.
5. Евтюков С. С., Гладушевский И. С. Совершенствование методики исследования замедления ТС при эксплуатации летних шин с разной высотой протектора // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 1 (68). С. 72–78.
6. Гладушевский И. С., Евтюков С. С. Методика расчета тормозного пути на сухом асфальтобетонном покрытии при движении на шипованных шинах // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). С. 142–146.
7. Гладушевский И. С., Евтюков С. С. Метод расчета тормозного пути, учитывающий изменение коэффициента сцепления колеса с дорогой в зависимости от скорости // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 6 (71). С. 175–179.
8. Евтюков С. А., Голов Е. В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. СПб.: Петрополис, 2017. 204 с.
9. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: Петрополис, 2012. 324 с.
10. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Справочник по экспертизе ДТП. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Петрополис, 2020. 516 с.
11. Евтюков С. С. Современные методы автотехнической экспертизы на основе математических моделей. СПб.: Петрополис, 2019. 156 с.
12. Куракина Е. В., Евтюков С. А. Исследование влияния сцепных качеств дорог на безопасность дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 5 (40). С. 166–172.

13. Евтюков С. С., Куракина Е. В. Исследование сцепных характеристик дорожного покрытия при автотехнической экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 216–223.

14. Евтюков С. А., Евтюков С. С. Параметры, влияющие на сцепные качества покрытий автодорог // Вестник Тувинского гос. ун-та. Технические и физико-математические науки. 2013. № 3 (18). С. 75–82.

References

1. Evtyukov S. S., Gladushevskiy I. S. *Tormoznye ispytaniya shin na sukhom asfal'tobetonnom pokrytii v letniy period* [Brake tests of tires on dry asphalt concrete pavement in summer period]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 5 (82), pp. 181–186.
2. Evtyukov S. S., Gladushevskiy I. S. *Tormoznye ispytaniya shipovannoy reziny na vlazhnom asfal'tobetonnom pokrytii pri nulevykh temperaturakh* [Brake tests of studded rubber motor tyres on wet bituminous concrete pavement at zero temperatures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 3 (80), pp. 173–177.
3. Evtyukov S. A. *Vliyanie faktorov na stsepnnye kachestva pokrytiy avtomobil'nykh dorog* [Influence of factors on the coupling quality of road coverings]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2012, no. 3. Available at: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/3/29.pdf>
4. Gladushevskiy I. S., Evtyukov S. S. *Vyyavlenie faktorov, naibolee znachimo vliyayushchikh na otsenku zamedleniya transportnykh sredstv kategorii M1* [Identification of factors that most significantly affect the assessment of the slowdown of vehicles of category M1]. *Trudy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte»* [Proceedings of the VI International scientific and practical conference "Information technologies and innovations in transport"]. Ed. by Novikov A. N. Orel, Orlovskiy gosudarstvenniy universitet imeni I. S. Turgeneva Publ., 2020, pp. 24–28.
5. Evtyukov S. C., Gladushevskiy I. S. *Sovershenstvovanie metodiki issledovaniya zamedleniya TS pri ekspluatatsii letnikh shin s raznoy vysotoy protektora* [Improving the methodology for the study of vehicle deceleration during the operation of summer tires with different tread heights]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2020, no. 1 (68), pp. 72–78.
6. Gladushevskiy I. S., Evtyukov S. S. *Metodika rascheta tormoznogo puti na sukhom asfal'tobetonnom pokrytii pri dvizhenii na shipovannykh shinakh* [The method of calculating the braking distance on a dry asphalt concrete pavement when driving on studded

tires]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 2 (73), pp. 142–146.

7. Gladushevskiy I. S., Evtyukov S. S. *Metod rascheta tormoznogo puti, uchityvayushchiy izmenenie koeffitsienta stsepleniya kolea s dorogoy v zavisimosti ot skorosti* [Technique for the braking distance calculation taking into account the change of coefficient of the wheel grip depending on the speed]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 6 (71), pp. 175–179.

8. Evtyukov S. A., Golov E. V. *Rekonstruktsiya dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Reconstruction of road accidents]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 204 p.

9. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *Rekonstruktsiya i ekspertiza DTP v primerakh* [Reconstruction and examination of road accidents in examples]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2012, 324 p.

10. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *Spravochnik po ekspertize DTP* [Reference book on the examination of road accidents]. 3-rd ed., revised. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2020, 516 p.

11. Evtyukov S. S. *Sovremennye metody avtotekhnicheskoy ekspertizy na osnove matematicheskikh*

modeley [Modern methods of auto-technical expertise based on mathematical models]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2019, 156 p.

12. Kurakina E. V., Evtyukov S. A. *Issledovanie vliyaniya stepnykh kachestv dorog na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya* [Investigation of the influence of coupling characteristics of roads on road safety]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2013, no. 5 (40), pp. 166–172.

13. Evtyukov S. S., Kurakina E. V. *Issledovanie stepnykh kharakteristik dorozhnogo pokrytiya pri avtotekhnicheskoy ekspertize DT* [Study on adhesion characteristics of the road surface at auto technical examination of the road traffic accident]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 5 (52), pp. 216–223.

14. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S. *Parametry, vliyayushchie na stepnye kachestva pokrytiy avtodorog* [Parameters affecting the coupling quality of road surfaces]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki – Bulletin of the Tuva State University. Technical and physical-mathematical sciences*, 2013, no. 3 (18), pp. 75–82.