УДК 629.3.017.5

© И. С. Гладушевский, аспирант
© С. С. Евтюков, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: iglad6@gmail.com, ese-89@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-2-142-146

© I. S. Gladushevskiy, post-graduate student
© S. S. Evtyukov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: iglad6@gmail.com, ese-89@mail.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОРМОЗНОГО ПУТИ НА СУХОМ АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ШИПОВАННЫХ ШИНАХ

THE METHOD OF CALCULATING THE BRAKING DISTANCE ON A DRY ASPHALT CONCRETE PAVEMENT WHEN DRIVING ON STUDDED TIRES

Предложен вариант совершенствования методики оценки тормозного пути транспортного средства на сухом асфальтобетонном покрытии в связи с отличием коэффициентов сцепления протекторов шипованной и нешипованной шин транспортного средства. Представлена математическая модель и показаны результаты расчета.

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

The article submits a proposal for improving the method for estimating the stopping distance of a vehicle driving on a dry asphalt concrete surface, taking into consideration different coefficients of adhesion of the tire tread of the spike tire from the non-studded tire of the vehicle. A mathematical model is presented and calculation results are shown.

Keywords: transport, tire tread, braking distance, traction, braking efficiency, spikes.

Зависимость тормозного пути от сцепления с дорожным покрытием напрямую влияет на расстояние, пройденное транспортным средством с момента начала срабатывания тормозной системы до полной остановки [1].

В зависимости от времени года и климатических условий автомобилистам приходится менять летнюю резину на зимнюю и наоборот. Происходит это не всегда с приходом низких температур. В соответствии с актуальной редакцией решением Коллегии ЕЭК от 25 декабря 2018 года N 219 ТР ТС 018/2011 Технический регламент таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» [2] эксплуатировать транспортные средства категорий L, M, N и O, предназначенные для эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования на шипованной зимней резине возможно с сентября по май. На нешипованной зимней резине с марки-

ровкой M+S разрешается эксплуатировать круглый год.

Некоторые автолюбители злоупотребляют подобным положением и эксплуатируют транспортное средство ненадлежащим образом. Здесь и возникает вопрос об изменении тормозного пути транспортного средства с установленными зимними шипованными шинами в теплое и сухое время года.

Влияние установленных шипов на сцепные свойства в системе колесо–дорога положительно сказывается на льду, но на сухом асфальтобетонном покрытии может возникать эффект проскальзывания. Переходить на зимнюю резину стоит при температурах +5–7 °C и ниже. В это время летняя резина начинает терять эластичность и вырастает вероятность сноса.

Перейдем к рассмотрению зимних типов шин, в которых работу шипов можно рассмотреть только совместно с протектором. Во время

движения транспортного средства на шину действуют следующие силы:

- нормальные — действующие перпендикулярно к плоскости дороги;
- касательные — действующие параллельно плоскости дороги в плоскости колеса и перпендикулярно к ней.

При возрастании коэффициента сцепления эти силы воспринимаются всей площадью зоны контакта. Однако при движении шипованной резины по дороге, покрытой льдом, только нормальные силы воспринимаются полностью всей зоной контакта беговой дорожки.

Касательные силы из-за малого коэффициента сцепления передаются на колеса через активную часть шипов, внедряющихся в лед, и только небольшая часть — через протектор. В зоне контакта находится всего 10–15 шипов. В этом случае резко возрастает нагрузка на слой резины, окружающий шип. Это предъявляет определенные требования к посадочному месту шипа и его конструкции. При ошиповке резины непосредственно для посадки шипа требуется площадь сплошной резины диаметром 12 мм для легковых и 20 мм для грузовых шипов. Для правильной установки шипа необходимо, чтобы он выступал над поверхностью протектора на 8–12 % своей полной длины, от 1,0 мм у шин легковых автомобилей и до 2,5–3,0 мм у грузовых, а его верхний фланец должен быть углублен в подканавочный слой, но при этом, чтобы не повредить брекеры, слоя резины между фланцем и брекером шины должно быть достаточно.

При движении по сухому асфальтобетонному покрытию шипы вдавливаются в резину и препятствуют полному прилеганию колеса к дорожному покрытию, тем самым уменьшается коэффициент сцепления.

На малых скоростях данная деформация протектора не ощущается и кажется, что колесо лучше цепляется за дорожное полотно, но при увеличении скорости эта ситуация кардинально меняется и приводит к уменьшению коэффициента сцепления на 10–15 % по сравнению с нешипованным протектором.

Длина тормозного пути зависит от многих факторов, таких как электронные системы [3], состояния рисунка протектора и быстродействия тормозной системы, и прочие [4, 5, 6]. Но

в данной ситуации отличие протектора сказывается на пятне контакта, что влияет на коэффициент сцепления колеса с дорогой [7].

Разработка методики для определения динамических характеристик транспортных средств, оборудованных шипованной резиной, основана на рисунке протектора и его деформации при движении [8].

Для расчета динамических характеристик автомобиля с шипованными шинами использовались:

- схема расположения шипов на протекторе;
- данные автомобиля;
- тип, количество и геометрические параметры шипов.

Изменения динамических характеристик автомобиля на шипованных шинах связаны с уменьшением коэффициента сцепления шин на сухом асфальтобетонном покрытии. Это вызвано отсутствием ледяного покрытия, в которое врезается шип и деформацией самого рисунка, что приводит к уменьшению пятна контакта с дорожным покрытием [9].

Таким образом, общий тормозной путь транспортного средства имеет вид:

$$S_{\text{тор. путь}} = \sum_n \frac{\Delta V_n^2}{2J_{n \text{ зам}}}, \quad (1)$$

где n — количество интервалов скорости; V — скорость движения T ; $J_{n \text{ зам}}$ — замедление при экстренном торможении транспортного средства на определенном интервале:

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

где m_a — фактическая масса АТС; $m_{\text{тор}}$ — масса, проходящая на заторможенные колеса; g — ускорение свободного падения; α — угол продольного наклона дороги; φ_n — коэффициент сцепления колес с дорогой на определенном интервале; $K_{\alpha n}$ — коэффициент эффективности торможения на определенном интервале; $P_{n \text{ в}}$ — сила сопротивления воздуха; δ — коэффициент учета вращающихся масс:

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

где z_k — число вращающихся колес; J_k — момент инерции колес, кгм^2 ; r_k — статический радиус колес;

$$P_{n\text{ в}} = \frac{C_x \cdot \rho \cdot F_A \cdot V_n^2}{2}, \quad (4)$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления; ρ — плотность воздуха, кг/м³; V — скорость движения ТС; F_A — лобовая площадь, м²;

Сила зацепления, создаваемая одним шипом, рассчитывается из предположения, что твердосплавная вставка шипа разрушает ледяную поверхность с постоянным сопротивлением, равным произведению динамического предела прочности на разрушения σ_p и площади продольного сечения вставки шипа $F_{\text{ВШ}}$:

$$P_{\text{зац}} = \sigma_p \cdot F_{\text{ВШ}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{зац}}$ — сила зацепа шипа; σ_p — произведение динамического предела прочности на разрушение; $F_{\text{ВШ}}$ — площадь продольного сечения вставки шипа.

Если предположить, что замедление автомобиля на всем пути торможения было равномерным, то следует, что тормозящая сила также постоянна, а формула для подсчета тормозного пути автомобиля примет вид

$$S_{\text{тор. путь}} = \frac{V_n^2 m_a}{2P_{\Sigma}}, \quad (6)$$

где m_a — фактическая масса АТС; P_{Σ} — суммарная тормозящая сила.

Известно, что при торможении автомобиля минимальный тормозной путь обеспечивается в том случае, если не допускается блокировка колес. Отсюда следует, что схема расположения шипов на протекторе шины не оказывает существенного влияния на величину тормозного пути, так как практически отсутствует скольжение колеса относительно дорожного полотна.

Как было сказано выше, расчетная сила торможения отчасти складывается из суммарных тормозящих сил:

$$P_{\Sigma} = P_{n\text{ в}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{зац}}, \quad (7)$$

где P_{Σ} — суммарная тормозящая сила; $P_{n\text{ в}}$ — сила сопротивления воздуха; $P_{\text{ш}}$ — сила сцепления шины с дорожным полотном; $P_{\text{зац}}$ — сила зацепа шипа.

Эти силы влияют на замедление транспортного средства на горизонте и, подставив их в формулу (2), получим

$$J_{n\text{ зам}} = \frac{g(m_{\text{тор}} \cdot \cos \alpha \cdot \varphi_n + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha) + P_{n\text{ в}} + P_{\text{зац}}}{m_a \cdot \delta \cdot K_{\Sigma n}}, \quad (8)$$

Таким образом, скорректировав формулу (1), получим следующий вид:

$$S_{\text{тор. путь}} = \frac{V_n^2 \cdot m_a \cdot \delta \cdot K_{\Sigma n}}{g(m_{\text{тор}} \cdot \cos \alpha \cdot \varphi_n + m_a \cdot g \cdot \sin \alpha) + (C_x \cdot \rho \cdot F_A \cdot V_n^2) + (0,1 \cdot z \cdot \sigma_p \cdot F_{\text{ВШ}})}, \quad (9)$$

где z — количество шипов на колесе.

Множитель 0,1 в формуле (9) указывает на контакт с опорной поверхностью только 10 % шипов от общего количества.

Рис. 1. Сравнение результатов расчетов тормозного пути на сухом асфальтобетонном покрытии трех типов шин

Таблица 1

Расчет тормозного пути для летней, зимней нешипованной и зимней шипованной резины

Тип шины	Летняя	Зимняя нешипованная	Зимняя шипованная
Модель шины	Toyo DRB 205/55R16	Toyo Observe gsi 5 205/55R16	Toyo Observe g 3 ice 205/55R16
Коэффициент сцепления	0,80	0,60	0,50
Замедление на горизонте, м/с ²	6,47	5,37	4,76
Время торможения, с	3,40	4,09	4,62
Тормозной путь, м	37,39	45,03	50,83

Таблица 2

Сравнительный расчет тормозного пути транспортного средства ГАЗ–2705 с установленной зимней шипованной резиной с учетом и без учета поправочного коэффициента на взаимодействие шипов с асфальтобетонным покрытием

Тип расчета	Тоуо Observe g 3 ice 205/55R16 с поправочным коэффициентом	Тоуо Observe g 3 ice 205/55R16 без поправочного коэффициента
Тип шины	Зимняя шипованная	Зимняя шипованная
Модель шины	Тоуо Observe g 3 ice 205/55R16	Тоуо Observe g 3 ice 205/55R16
Коэффициент сцепления	0,50	0,50
Замедление на горизонте, м/с ²	4,76	4,53
Время торможения, с	4,62	4,86
Тормозной путь, м	50,83	53,41

Расчеты, представленные в табл. 1, были произведены на базе машины ГАЗ-2705 с учетом коэффициентов для данной резины. Сравнение результатов представлено на рис. 1.

Введение в модель расчета для зимней шипованной резины поправочного коэффициента (рис. 2), влияющего на взаимодействие шипов с покрытием, позволило более точно рассчитать тормозной путь транспортного средства [10–15]. Сравнение расчетов с поправочным коэффициентом и без него представлены в табл. 2.

Результаты расчетов с введением поправочного коэффициента наглядно показывают изменение тормозного пути транспортного средства более чем на 2 метра. Это обусловлено взаимодействием шипов с шероховатостью покрытия.

Библиографический список

1. Гладушевский И. С., Евтюков С.С. Зависимость тормозного пути от вида протектора. Коэффициент сцепления // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 6 (71). С. 175–179.
2. Гладушевский И. С., Шаронов А. А., Пирогов Д. И. Прогнозирование автоматизации функции управления // сб. статей магистрантов и аспирантов. Вып. 1. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 79–81. Сер.: «Автомобильные дороги и транспорт».
3. Евтюков С. А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 97.
4. Куракина Е. В., Евтюков С. А. Исследование влияния сцепных качеств дорог на безопасность дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 5 (40). С. 166–172.
5. Евтюков С. С., Куракина Е. В. Исследование сцепных характеристик дорожного покрытия при ав-

Рис. 2. Сравнение тормозного пути транспортного средства ГАЗ – 2705 с установленной зимней шипованной резиной с учетом и без учета поправочного коэффициента на взаимодействие шипов с асфальтобетонным покрытием

тотехнической экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 216–223.

6. Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Транспорт, 1989. 210 с.

7. Лазарев Д. А. Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования процесса торможения автомобиля: дис. ... канд. техн. наук. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2018.

8. Глазков В. Ф., Евтюков С. А. Основы теории надежности, работоспособности и диагностики машин. СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2011. 450 с.

9. Куракина Е. В., Евтюков С. А. Исследование влияния сцепных качеств дорог на безопасность дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 5 (40). С. 166–172.

10. Евтюков С. С., Куракина Е. В. Исследование сцепных характеристик дорожного покрытия при ав-

тотехнической экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 216–223.

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

12. Лукьянчук А. Д. Безопасность транспортных средств. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2012. 152 с.

13. Домке Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 288 с.

14. Евтюков С. А. Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2012. 324 с.

References

1. Gladushevskiy I. S., Evtyukov S. S. *Zavisimost' tormoznogo puti ot vida protektora. Koehffitsient stsepleniya* [Technique of the braking distance calculation taking into account the change of the coefficient of the wheel grip depending on the speed.]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 6 (71), pp. 175–179.

2. Gladushevskiy I. S., Sharonov A. A., Pirogov D. I. *Prognostirovanie avtomatizatsii funktsii upravleniya* [Forecasting of the control functions automation]. *Trudy konf. magistrantov i aspirantov «Avtomobil'nye dorogi i transport»* [Proc. of the conf. of undergraduates and graduate students "Roads and Transport"]. Iss. 1. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018, pp. 79–81.

3. Evtyukov S. A. *Vliyanie faktorov na stsepnye kachestva pokrytiy avtomobil'nykh dorog* [The influence of factors on the coupling qualities of road pavements]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2012, no. 3, p. 97.

4. Kurakina E. V., Evtyukov S. A. *Issledovanie vliyaniya stsepnykh 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.

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

6. Ilarionov V. A. *Ehkspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Examination of road traffic accidents]. Moscow, Transport Publ., 1989, 210 p.

7. Lazarev D. A. *Lazarev D. A. Sovershenstvovanie dorozhno-transportnoy ehkspertizy na osnove issledovaniya protsessa tormozheniya avtomobilya. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improvement of road transport expertise based on the study of the braking process of the vehicle. PhD in Sci. Tech. diss.] Belgorod, BGTU im. V. G. Shukhova Publ., 2018.

8. 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.

9. Kurakina E. V., Evtyukov S. A. *Issledovanie vliyaniya stsepnykh 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.

10. Evtyukov S. S., Kurakina E. V. *Issledovanie stsepnykh kharakteristik dorozhnogo pokrytiya pri avtotekhnicheskoy ehkspertize DTP* [Study of adhesion characteristics of the road surface in auto technical examination of the road traffic accident]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2013, no. 5 (52), pp. 216–223.

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

12. Luk'yanchuk A. D. *Bezopasnost' transportnykh sredstv* [Safety of transport vehicles. Lecture notes]. Minsk, Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskiy universitet Publ., 2012, 152 p.

13. Domke Eh. R. *Rassledovanie i ehkspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Investigation and examination of road accidents. Textbook for students of higher ed. institutions]. 2-nd ed., revised. Moscow, Akademiya Publ., 2012, 288 p.

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