УДК 656.1

© И. С. Брылев, канд. техн. наук, доцент

© И. В. Ворожейкин, студент

© Е. В. Куракина, канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: ilya2104@mail.ru, igor.vorozheikin@mail.ru,

elvl_86@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-2-136-141

© I. S. Brylev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© I. V. Vorozheikin, student

© E. V. Kurakina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: ilya2104@mail.ru, igor.vorozheikin@mail.ru,

elvl_86@mail.ru

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ БОКОВОМ СКОЛЬЖЕНИИ ДВУХКОЛЕСНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА СУХОМ И МОКРОМ АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ

ANALYSIS OF THE FRICTION COEFFICIENT AT LATERAL SLIDING OF A TWO-WHEELED AUTOMOTIVE VEHICLE ON DRY AND WET ASPHALT CONCRETE ROAD PAVEMENT

Проводится исследование коэффициента трения для легких двухколесных механических транспортных средств при скольжении на асфальтированной дороге.

Ключевые слова: коэффициент трения, двухколесные транспортные средства, дорожно-транспортное происшествие, автомобильная дорога, дорожное покрытие.

The paper presents the study results of the friction coefficient for light weight two-wheeled automotive vehicles when sliding on an asphalt road.

Keywords: friction coefficient, two-wheeled automotive vehicles, road traffic accident, highway, road pavement.

Установление истинных причин нарушения правил дорожного движения, приведших к аварии и способствующим ей обстоятельствам, — одна из важных задач обеспечения безопасности движения и эксплуатации мототранспорта [1–3].

Анализ значений замедления двухколесных транспортных средств — одно из его основных тормозных характеристик. От его значения во многом зависит итог реконструкции механизма ДТП (т. е. определение наличия либо отсутствия у водителя мотоцикла технической возможности предотвратить дорожно-транспортное происшествие). Отметим, что экспертные организации располагают информацией о параметрах замедления мотоциклов, полученных ВНИИСЭ СССР более 40 лет назад, при этом в Российской Федерации до сих пор действует ГОСТ 6253–78,

в котором методы испытаний ТС категории L_3 не удовлетворяют современному уровню развития как отечественного, так и зарубежного мотостроения [4, 5]. При эксплуатации автомобильных дорог параметры состояния покрытий постоянно изменяются. Это зависит от свойств материалов покрытия и типа асфальтобетонной смеси, характеристики транспортного потока, погоднo-климатического воздействия. Причиной динамического роста повреждений и деформаций является несоответствие установленной прочности дорожной одежды существующим нагрузкам транспортного потока. Это происходит из-за изменения состава транспортного средства (ТС) в потоке, повышения нагрузок на их оси, а также превышением скорости движения ТС, что снижает жизненный цикл конструкции до-

рожной одежды. Повысить качество и безопасность подсистемы «дорога» и снизить уровень аварийности можно своевременным контролем, диагностикой и оценкой прочности дорожных одежд, а также разработкой эффективных мер по реконструкции или ремонту автомобильных дорог [5]. Анализ статистики аварийности показал, что на территории Ленинградской области прослеживается динамика ДТП с пострадавшими по причине неудовлетворительного состояния автомобильных дорог (рис. 1).

Проведенные исследования покрытия автомобильных дорог в Санкт-Петербурге и Ленинградской области показывают несоответствие фактических значений нормативным. Пример сравнения фактических значений коэффициента сцепления приведен на рис. 2.

Сотрудниками кафедры НТТМ СПбГАСУ исследована зависимость коэффициента трения от скорости скольжения легкого двухколесного механического транспортного средства (ДМТС). Цель экспериментов — исследование коэффициента трения для легкого ДМТС при скольжении на асфальтовой дороге, что позволит повысить точность и достоверность реконструкции механизма ДТП с участием мотоциклов.

Затрудненное управление мотоциклом при возникновении опасности для движения часто

приводит к его падению и скольжению по дорожному покрытию [6, 7, 8]. При реконструкции ДТП для определения скорости мотоцикла используется коэффициент трения и величина его отброса (длина следов при боковом скольжении, которые оставлены мотоциклом при соприкосновении с дорожным покрытием [9, 10, 12]. В большинстве проведенных ранее исследований использовались тяжелые мотоциклы, поэтому проведенная работа направлена на исследование коэффициента скольжения легких мотоциклов на сухих и мокрых асфальтовых дорогах. Для проведения исследований использовалось несколько мотоциклов с объемом двигателя до 200 см³. Процедура испытаний была разработана для имитации условий вождения мотоцикла во время дорожно-транспортного происшествия. При тестировании мотоцикл был выпущен из пикапа в вертикальном положении и опрокинут на бок, прежде чем он начал скользить. На проезжей части фиксировались следы от начала бокового скольжения мотоцикла до его конечного положения. Следы бокового скольжения измерялись с помощью рулетки.

В ходе работы было проведено шестнадцать экспериментов на сухом асфальте с диапазоном скоростей от 20 до 50 км/ч. Первоначальная кинетическая энергия мотоцикла при его падении

Рис. 1. Динамика ДТП с погибшими и ранеными из-за неудовлетворительного состояния дорог в Ленинградской области за период 1/2012–12/2018

Рис. 2. Сравнение экспериментально полученных (фактических) значений коэффициента сцепления на мокром покрытии для I категории автомобильной дороги

постепенно потреблялась силой трения между корпусом мотоцикла и поверхностью дороги [11, 13, 17]. Мотоцикл переставал скользить после того, как его кинетическая энергия была полностью погашена. В период скольжения мотоцикла по поверхности дороги сила трения $F_{тр}$ является произведением коэффициента трения p и силы тяжести мотоцикла mg , т. е. $F_{тр} = p \cdot mg$. Работа A силы трения является произведением $F_{тр}$ и длины следа скольжения S , т. е. $A = F_{тр} \cdot S$ или $A = p \cdot mg \cdot S$. Мотоцикл находится в состоянии покоя, когда работа равна начальной кинетической энергии мотоцикла. Теорема рабочей энергии дает уравнение $p \cdot mg \cdot S = mV^2$. Следуя теореме работы-энергии, коэффициент трения равен:

$$p = V^2 / (2 \cdot g \cdot S). \quad (1)$$

Для определения p были подставлены значения начальной скорости скольжения мотоцикла и длины следа бокового скольжения в уравнение (1). Полученные значения коэффициентов трения находятся в диапазоне от 0,38 до 0,56 при скорости бокового скольжения мотоцикла от 20 до 50 км/ч. Среднее значение p в шестнадцати проведенных экспериментах состави-

ло около 0,43, кроме этого, полученные данные свидетельствуют о небольшом диапазоне изменения p . На рис. 3, 4 показаны p при различных начальных скоростях скольжения мотоцикла.

Для определения p на мокрой асфальтовой дороге было проведено пять экспериментов в условиях дождя. Экспериментальный процесс для мокрого асфальта был таким же, как и для сухого асфальта. Результаты показывают, что полученные коэффициенты находятся в диапазоне от 0,32 до 0,41. Среднее значение p на мокром асфальте составило порядка 0,36, что ниже, чем на сухом асфальте на 0,07.

В период скольжения мотоцикла до состояния покоя p считается постоянным, поскольку механическая работа, выполняемая силой трения, потребляет кинетическую энергию. Кроме того, p должен быть постоянным, когда состояние двух твердых поверхностей в относительном движении не изменяется [14, 15, 16]. Основываясь на экспериментальных результатах, исследование проводилось статистическим анализом, чтобы узнать независим ли p от скорости скольжения. Уравнение (1), полученное из теоремы

Рис. 3. Значения μ при различных начальных скоростях скольжения мотоциклов на сухом асфальтобетонном покрытии

о рабочей энергии, дает μ . Из уравнения (1) μ является постоянным, при этом существует линейная зависимость между длиной следа S бокового скольжения и переменной скорости $V^2/2$. Чтобы выяснить взаимосвязь между S и переменной скорости $V^2/2$, был использован регрессионный анализ, чтобы определить, как типичное значение S при боковом скольжении изменялось при различной начальной скорости скольжения. Статистический анализ показывает, что взаимосвязь между $S(y)$ и $V^2(x)$ может быть выражена следующей моделью линейной регрессии:

$$Y = 0,007x + 2,16. \quad (2)$$

С помощью уравнения (2) можно определить линейную зависимость между $S(y)$ и $V^2(x)$. Коэффициент детерминации R^2 составил 0,85; следовательно, коэффициент корреляции R равен 0,9 (рис. 5). Коэффициент корреляции 0,8 обычно описывается как высокий, в то время как R 0,5

Рис. 4. Значения μ при различных начальных скоростях скольжения мотоциклов на мокром асфальтобетонном покрытии

обычно характеризуется как низкий. Коэффициент корреляции в этом исследовании составлял больше 0,8, что указывает на наличие сильной положительной линейной корреляции между S и V^2 . Эта линейная корреляция указывает на то, что μ практически не зависит от скорости. Для исследования линейной зависимости между S и $V^2/2$ на мокром асфальте снова был применен регрессионный анализ. Статистический анализ показывает, что зависимость между $S(y)$ и $V^2(x)$ на мокром асфальте также может быть выражена с помощью линейной регрессионной модели, $y = 0,008x + 3,09$. Коэффициент детерминации R^2 составил 0,83; следовательно, коэффициент корреляции R равен 0,9, что указывает на то, что S и V^2 имеют высокую положительную линейную корреляцию на мокром асфальте (рис. 6). Статистический анализ результатов экспериментов для мотоциклов, скользящих по мокрому асфальту показывает, что коэффициент трения на мокром асфальте практически не зависит от скорости скольжения мотоцикла.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициенты трения на сухом и мокром асфальтобетонном покрытии находились в диапазоне от 0,38 до 0,56 и от 0,32 до 0,41 соответственно. Средний коэффициент трения на мокром и сухом асфальтобетонном покрытии составил 0,36 и 0,43 соответственно.

2. Соотношение между длиной следа при боковом скольжении и переменной скоростью как на сухом, так и на мокром асфальтобетонном покрытии можно выразить с помощью линейной

Рис. 5. Диаграмма разброса S и V^2 на сухой асфальтированной дороге

Рис. 6. Диаграмма разброса S и V^2 на мокрой асфальтированной дороге

регрессионной модели. Линейная зависимость указывает, что коэффициент трения практически не зависит от скорости скольжения мотоцикла по проезжей части.

Библиографический список

1. Брылев И. С. Экспериментальные исследования параметров установившегося замедления ДМТС // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 2 (49). С. 131–137.
2. Брылев И. С. Оценка погрешности расчетов скорости движения мотоциклов на стадии сближения // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). С. 178–182.
3. Брылев И. С., Евтюков С. А. Обзор существующих методик расчета скорости двухколесных транспортных средств // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: www.science-education.ru/113-10750
4. Евтюков С. А., Брылев И. С. Проблемы проведения автотехнических экспертиз с участием мотоциклистов // Фундаментальные и прикладные науки NorthCharleston, SC, USA – 2013. С. 125–129.
5. Куракина Е. В., Евтюков С. С. Исследование сцепных характеристик дорожного покрытия при автотехнической экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 216–223.
6. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб.: СПбГАСУ. 2012. С. 30–32.
7. Elena Kurakina, Sergei Evtiukov, Jaroslaw Rajczyk. Forecasting of road accident in the DVRE system. Transportation Research Procedia. Vol. 36, 2018, Pp. 380–385.
8. Paweł Rajczyk, Elena Kurakina, Marcin Knapieński. The influence of surface topography on the safety of road and utility surfaces. Transportation Research Procedia. Vol. 36, 2018. Pp. 640–648.
9. Брылев И. С., Евтюков С. А. Экспериментальные исследования параметров установившегося замедления и тормозного пути транспортных средств категории L_3 // Мир транспорта и технологических машин. 2014. № 4. С. 125–130.
10. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: Издательский дом Петрополис, 2012. 323 с.
11. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб.: СПбГАСУ. 2012. 310 с.
12. Kurakina E., Evtiukov S. Results of studying road construction parameters condition // Architecture and Engineering. 2018. Т. 3, № 1. С. 29–37.
13. Брылев И. С., Евтюков С. А. Экспериментальные исследования факторов, влияющих на значение установившегося замедления двухколесных механических транспортных средств // Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» 19–20 мая 2015. Орел, ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК». С. 131–136.
14. Марусин А. В., Данилов И. К., Марусин И. В., Ворожейкин И. В. Перспективные технические решения контроля движения транспортных средств при перевозках // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 285–290.
15. Куракина Е. В. Об эффективности проведения исследований мест концентрации ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 2 (67). С. 231–237.
16. Evtiukov S., Ginzburg G. Problem of accident reconstruction mechanism using parameters of braking process of two-wheeled motor vehicles // Architecture and Engineering. Vol. 1 Issue 2: 2016, p. 23–26. URL: <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/31>
17. Брылев И. С., Гинзбург Г., Волков С. А. Проблемы механизма реконструкции ДТП по параметрам процесса торможения двух колесных механических транспортных средств // Transportation research procedia volume 20, 2017, p. 212–218. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517300546>

References

1. Brylev I. S. *Ehksperimental'nye issledovaniya parametrov zamedleniya transportnykh sredstv kategorii L3* [Experimental studies of the deceleration parameter of the vehicles of category L3]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 2 (49), pp. 131–137.
2. Brylev I. S. *Otsenka pogreshnosti raschetov skorosti dvizheniya mototsiklov na stadii sbliizheniya* [Error estimation of motorcycle speed on the approach stage].

Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers, 2014, no. 6 (47), pp. 178–182.

3. Brylev I. S., Evtyukov S. A. *Obzorsushchestvuyushchikh metodik rascheta skorosti dvukhkolesnykh transportnykh sredstv* [Review of existing methods for calculating the speed of two-wheeled vehicles]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2013, no. 6. Available at: www.science-education.ru/113-10750
4. Evtyukov S. A., Brylev I. S. *Problemy provedeniya avtotekhnicheskikh ehkspertiz s uchastiem mototsiklistov* [Problems of auto technical examinations with participation of motorcyclists]. *Fundamental and Applied Sciences*, North Charleston, South Carolina, USA, 2013, pp. 125–129.
5. Kurakina E. V., Evtyukov S. S. *Issledovanie stepnykh 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. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *Ehkspertiza DTP: metody i tekhnologii* [Road accident examination: methods and technologies]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2012, pp. 30–32.
7. Elena Kurakina, Sergei Evtyukov, Jaroslaw Rajczyk. Forecasting of road accident in the DVRE system. *Transportation Research Procedia*, vol. 36, 2018, pp. 380–385.
8. Paweł Rajczyk, Elena Kurakina, Marcin Knapieński. The influence of surface topography on the safety of road and utility surfaces. *Transportation Research Procedia*, vol. 36, 2018, pp. 640–648.
9. Brylev I. S., Evtyukov S. A. *Ehkspertiznye issledovaniya parametrov ustanovivshegosya zamedleniya i tormoznogo puti transportnykh sredstv kategorii L3* [Experimental studies of the parameters of the steady deceleration and braking distance of vehicles of category L3]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of transport and technological machines*, 2014, no. 4, pp. 125–130.
10. 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, 323 p.
11. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *Ehkspertiza DTP: metody i tekhnologii* [Examination of road accidents: methods and technologies]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2012, 310 p.
12. Kurakina E., Evtyukov S. Results of studying road construction parameters condition. *Architecture and Engineering*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 29–37.
13. Brylev I. S., Evtyukov S. A. *Ehkspertiznye issledovaniya faktorov, vliyayushchikh na znachenie ustanovivshegosya zamedleniya dvukhkolesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv* [Experimental studies of factors affecting the value of the steady slowdown of two-wheeled motor vehicles]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskaya konferentsii «Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte» 19-20 maya 2015* [Proc. of the Int. sci. and pract. conf. "Information technologies and innovations in transport" May 19–20, 2015]. Orel, Gosuniversitet – UNPK Publ., pp. 131–136.
14. Marusin A. V., Danilov I. K., Marusin I. V., Vorozheykin I. V. *Perspektivnye tekhnicheskie resheniya kontrolya dvizheniya transportnykh sredstv pri perevozkakh* [Challenging engineering solutions for controlling the traffic flow during transportation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 6 (65), pp. 285–290.
15. Kurakina E. V. *Ob ehffektivnosti provedeniya issledovaniy mest kontsentratsii DTP* [On the effectiveness of studies carried out at places of road traffic accident concentration]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 2 (67), pp. 231–237.
16. Evtyukov S., Ginzburg G. Problem of accident reconstruction mechanism using parameters of braking process of two-wheeled motor vehicles. *Architecture and Engineering*, 2016, vol. 1, iss. 2, pp. 23–26. Available at: <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/31>
17. Brylev I. S., Ginzburg G., Volkov S. A. *Problemy mekhanizma rekonstruktsii DTP po parametram protsessa tormozheniya dvukh kolesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv* [Problems of the reconstructing road accidents basing on the parameters of two wheeled motor vehicles' braking process]. *Transportation Research Procedia*, vol. 20, 2017, pp. 212–218. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517300546>