УДК 539.4

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор

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

© М. М. Блиндер, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: ilya2104@mail.ru, maria.blinder@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-6-186-194

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor

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

© M. M. Blinder, post-graduate student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: ilya2104@mail.ru, maria.blinder@mail.ru

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

FACTORS AFFECTING THE FORMATION OF THE STEADY STATE DECELERATION OF TWO-WHEEL VEHICLES

Описываются факторы, влияющие на формирование параметров торможения двухколесных транспортных средств, в частности велосипедов, на сухом асфальте и грунте. Проведены испытания на торможение в целях определения замедления с помощью деселерометра модели «LWS-2MC» на сухом асфальте и грунте. В зависимости от типа тормозной системы, способа торможения, массы двухколесного транспортного средства и велосипедиста, а также от конструкции подвески, были построены графики и получены уравнения регрессии. Дана количественная оценка факторам, влияющим на формирование установившегося замедления двухколесного транспортного средства при экстренном торможении.

Ключевые слова: установившееся замедление, экстренное торможение, двухколесное транспортное средство, горный велосипед, дорожно-транспортная экспертиза.

The article describes the factors influencing the formation of braking parameters for two-wheeled vehicles, in particular, bicycles, moving on dry asphalt and ground. There were carried out braking tests to determine the deceleration using the decelerometer of LWS-2MC type on dry asphalt and ground. Depending on the braking system type, the method of braking, the mass of the two-wheeled vehicle and the weight of the cyclist, as well as the suspension design, there were built graphs, and regression equations were obtained. A quantitative assessment of the factors influencing the formation of a steady state deceleration of a two-wheeled vehicle during emergency braking is given.

Keywords: steady state deceleration, emergency braking, two-wheeled vehicle, mountain bike, road traffic examination.

Важным аспектом реконструкции дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием велосипедов является оценка их способности к торможению.

В настоящее время существует крайне мало опубликованных источников, в которых бы присутствовали данные об ускорении, торможении и сопротивлении качению для велосипедов. В работе Пучкина В. А. [3] даны следующие определения: замедление — изменение скорости транспортного средства за единицу времени; установившееся замедление — среднее значение замедления за время торможения от момента окончания периода времени нарастания замед-

ления до конца торможения; время установившегося замедления — промежуток времени, в течение которого замедление транспортного средства остается постоянным, а также представлена таблица с параметрами установившегося замедления велосипедов и мотовелосипедов, однако в связи с активным развитием конструкции подвески, тормозной системы и типов велосипедов требуется более детальное рассмотрение факторов, оказывающих влияние на параметры торможения для актуализации баз данных и действующих методик реконструкций ДТП. В работах [14, 15] рассмотрены преимущества и недостатки велосипедного движения и уровень

его развития в разных странах, однако не представлены никакие данные о ДТП с участием велосипедистов.

В испытаниях принимали участие шесть велосипедистов на шести велосипедах с различными материалами рам, типами тормозной системы, подвесками, геометрией двухколесных транспортных средств (ДТС) и его назначением (табл. 1, 2). Были собраны данные о росте и массе велосипедистов, о массе велосипеда и полной массе испытуемых (велосипед + велосипедист) (табл. 3). Измерение замедления ДТС проводилось с использованием деселерометра модели «LWS-2МС», который предназначен для любых категорий ТС [6, 12, 13]. Испытания на торможение были проведены на двух участках: на ровном сухом грунте (табл. 3–5) и на ровном сухом асфальте (табл. 6–8). Методика заключается в том, что водители ДТС применяли экстренное торможение при скорости 20–30 км/ч, с блокировкой колес, испытывая определенный тип торможения: передним, задним тормозом и комбинированным способом (передним и задним тормозом) [8–11].

Согласно статистике New Retail¹, горный велосипед — один из популярных видов двухколесного транспорта в России. Многие ДТП связаны с горными велосипедами. На официальном сайте Госавтоинспекции² за период 2017–2020 гг. прослеживается динамика ДТП с участием двухколесных транспортных средств (рис. 1, 2).

¹ Медиалпортал New Retail. URL: https://new-retail.ru/novosti/retail/velosipednyy_bum_v_rossii_za_god_spros_vyros_na_tret2897/

² Официальный сайт Министерства внутренних дел Российской Федерации 2020. ГИБДД России. URL: <http://stat.gibdd.ru>

Установление истинных причин нарушения правил дорожного движения, приведших к аварии, и способствующих им обстоятельств — одна из важных задач обеспечения безопасности движения и эксплуатации велосипедов (рис. 3, 4) [7].

Важным аспектом реконструкции ДТП является способность ДТС к торможению. Оценим различия между тремя основными методами торможения. Первый метод (только передний тормоз) включал пульсирующую или прерывистую блокировку переднего колеса во время торможения. Более безопасный метод заключается не в полной блокировке, а в быстрой и многократной блокировке и разблокировке переднего колеса, особенно на неровных поверхностях. Удерживая переднее колесо от блокировки, водитель может сохранять управляемость [4]. Как и в случае с автомобилями, не оборудованными антиблокировочной системой тормозов, после блокировки передних колес водитель теряет значительный контроль над рулевым управлением [1]. Второй метод включает блокировку заднего колеса и противодействие рулевому управлению для поддержания баланса. Этот метод отличается от первого блокировкой тормозного колеса [2]. Третий метод, при котором используются оба тормоза, наиболее эффективный при снижении скорости [5, 6].

После проведения испытаний были построены графики зависимости установившегося замедления от полной массы испытуемого ДТС (велосипедист + велосипед) (рис. 5, 6).

Рис. 1. Динамика ДТП с участием ДТС с погибшими и ранеными за 2017–2020 гг. в РФ

Рис. 2. Динамика ДТП с участием ДТС с погибшими и ранеными за 2017–2020 гг. в Санкт-Петербурге

Рис. 3. Соотношение вины в ДТП с участием ДТС в процентах

Рис. 4. Основные причины ДТП с участием велосипедистов

Таблица 1

Характеристики велосипедов

Велосипед	Материал рамы	Тип тормоза	Вид (назначение)	Ширина шины спереди-сзади, мм	Глубина протектора спереди-сзади, мм
Diamondback	Алюминий	Shimano 105	Горный	52	2,5
				52	1,7
Mongoose	Алюминий	Shimano BR-M400	Горный	52	3,1
				52	3,1
Cannondale	Алюминий	Shimano 105	Шоссейный	24	<0,9
				24	<0,9
GT	Карбон	SRAM Level TL	Горный	55	2,4
				49	2,4
Merida	Титановый	TRP Spyre Flatmount	Шоссейный	29	0,9
				29	<0,9
Specialized	Алюминий	Shimano BR-MT200	Горный	47	3,2
				52	4,8

Таблица 2

Характеристики велосипедистов

Велосипед	Возраст	Рост, см	Масса водителя, кг	Масса велосипеда, кг	Полная масса, кг
Diamondback	31	189	90,1	13,6	103,7
Mongoose	40	172	69,1	12,1	81,2
Cannondale	40	173	68,3	7,9	73,2
GT	34	171	75	12	87
Specialized	40	191	96,6	9,4	103
Merida	33	175	71,2	11,4	82,6
		179	78,9	11,2	90,1

Таблица 3

Испытания на торможение (установившееся замедление), проведенные на ровном сухом грунте с использованием комбинированного торможения

Велосипед	Установившееся замедление (j), м/с ²
Diamondback	5,0
Mongoose	5,9
Cannondale	5,9
Specialized	5,3
Merida	7,1
Среднее значение	5,8

Таблица 4

Испытания на торможение (установившееся замедление), проведенные на ровном сухом грунте с использованием только переднего тормоза

Велосипед	Установившееся замедление (j), м/с ²
Diamondback	4,6
Mongoose	5,3
Cannondale	5,2
Specialized	4,7
Merida	6,5
Среднее значение	5,3

На основании экспериментальных данных по каждому исследуемому ДТС определен характер изменения установившегося замедления в зависимости от полной массы (рис. 7, 8). Обработка результатов экспериментальных исследований

позволила получить полиномиальные уравнения регрессии (табл. 11).

Полученные уравнения регрессии описывают полиномиальные кривые (средние значения), с помощью которых можно получить единичное

Таблица 5

Испытания на торможение (установившееся замедление), проведенные на ровном сухом грунте с использованием только заднего тормоза

Велосипед	Установившееся замедление (j), м/с ²
Diamondback	4,6
Mongoose	5,0
Cannondale	4,6
Specialized	4,5
Merida	5,1
Среднее значение	4,8

Таблица 6

Испытания на торможение (установившееся замедление), проведенные на ровном сухом асфальте с использованием комбинированного торможения

Велосипед	Установившееся замедление (j), м/с ²
Diamondback	5,9
Mongoose	6,6
Cannondale	6,1
GT	6,7
Merida	6,8
Specialized	5,8
Среднее значение	6,3

значение установившегося замедления, для любого режима торможения ДТС в зависимости от состояния дорожного покрытия, массы велосипеда и велосипедиста (табл. 7).

Практическая значимость уравнений регрессии заключается в возможности их использования для определения величины установившегося замедления для различного режима торможения ДТС, когда исследование или проведение следственного эксперимента для определения величины установившегося замедления не представляется возможным из-за полученных в результате ДТП повреждений двухколесного транспорта.

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

1. Масса водителя и ДТС оказывает влияние на формирование параметра установившегося замедления. На сухом асфальте разница между

Таблица 7

Испытания на торможение (установившееся замедление), проведенные на ровном сухом асфальте с использованием только переднего тормоза

Велосипед	Установившееся замедление (j), м/с ²
Diamondback	5,5
Mongoose	5,7
Cannondale	5,7
GT	5,3
Merida	5,6
Specialized	5,0
Среднее значение	5,5

Таблица 8

Испытания на торможение (установившееся замедление), проведенные на ровном сухом асфальте с использованием только заднего тормоза

Велосипед	Установившееся замедление (j), м/с ²
Diamondback	4,8
Mongoose	5,1
Cannondale	4,8
GT	4,8
Merida	4,9
Specialized	4,8
Среднее значение	4,9

минимальным и максимальным значением массы 9–11 %, при прохождении испытаний на сухом грунте — 33–35 %.

2. Элементы подвески, а также конструкции рам улучшают эффективность торможения на 7–10 %, что сказывается на формировании значения установившегося замедления.

3. Значение замедления при комбинированном торможении на сухом асфальтовом покрытии больше на 23 % по сравнению с торможением задним тормозом и на 13 % по сравнению с передним тормозом.

4. Значение замедления при комбинированном торможении на грунте больше на величину около 10 % по сравнению с торможением задним тормозом и на 18 % по сравнению с передним тормозом.

Таблица 9

Установившееся замедление на ровном сухом грунте: средние и диапазонные значения

Действие	Установившееся замедление (j), м/с ²	Диапазон значений, м/с ²
Торможение с испытанием обоих тормозов	5,8	От 4,8 до 7,1
Торможение с испытанием переднего тормоза	5,3	От 4,4 до 6,5
Торможение с испытанием заднего тормоза	4,8	От 4,3 до 5,1

Таблица 10

Установившееся замедление на ровном сухом асфальте: средние и диапазонные значения

Действие	Установившееся замедление (j), м/с ²	Диапазон значений м/с ²
Торможение с испытанием обоих тормозов	6,3	От 5,7 до 6,6
Торможение с испытанием переднего тормоза	5,5	От 4,9 до 5,7
Торможение с испытанием заднего тормоза	4,9	От 4,7 до 5,1

Рис. 5. График зависимости установившегося замедления от полной массы на сухом грунте с использованием переднего и заднего тормозов

Рис. 6. График зависимости установившегося замедления от полной массы на сухом асфальте с использованием переднего и заднего тормозов

Рис. 7. Изменение установившегося замедления от полной массы на сухом асфальте с использованием комбинированного торможения

Рис. 8. Изменение установившегося замедления от полной массы на сухом грунте с использованием переднего и заднего тормозов

Таблица 11

Уравнения регрессий значений установившегося замедления ДТС

№ п/п	Параметры измерения	Рис.	Уравнения регрессии, $y = f(x)$	Достоверность аппроксимации, R^2
1	$J_{уст}$ — на сухом асфальте с использованием обоих тормозов	7	$y = -0,0007 \cdot 2 + 0,1309x + 0,0855$	0,9567
2	$J_{уст}$ — на сухом асфальте с использованием переднего тормоза	7	$y = 0,0022 \cdot 2 - 0,4114x + 24,048$	0,9706
3	$J_{уст}$ — на сухом асфальте с использованием заднего тормоза	7	$y = 2E - 05 \cdot 2 - 0,0052x + 5,147$	0,9697
4	$J_{уст}$ — на сухом грунте с использованием обоих тормозов	8	$y = 0,0064 \cdot 2 - 1,1561x + 57,348$	0,9661
5	$J_{уст}$ — на сухом асфальте с использованием переднего тормоза	8	$y = 0,0056 \cdot 2 - 1,009x + 49,889$	0,956
6	$J_{уст}$ — на сухом грунте с использованием заднего тормоза	8	$y = 0,0006 \cdot 2 - 0,1053x + 9,2042$	0,9524

Примечание: x — полная масса испытуемого, кг; y — установившееся замедление, м/с².

Дальнейшие исследования будут посвящены выявлению факторов, влияющих на формирование значения не только установившегося замедления, но и времени его нарастания на других видах двухколесных транспортных средств в других погодных условиях с иными конструктивными особенностями, что позволит актуализировать и расширить базу данных, необходимую для совершенствования методик реконструкций ДТП.

Библиографический список

1. Beck R. F. Mountain Bicycle Acceleration and Braking Factors. Casteel, Beck & Associates, Inc. San Diego, California, 2004. P. 9.
2. Rutman J. How to do a Roll-down Test. Hyperlink. 2007. P. 22.
3. Пучкин В. А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий: Базы данных. Экспертная техника. Методы решений. Ростов-на-Дону: ИПО ЮФУ, 2010. С. 192–193.
4. Grant J. Bicycle wheel components. URL: <http://www.livestrong.com/article/82697-bicycle-wheel-components/>, 2010.
5. Schwalbe S. Rolling resistance. URL: http://www.schwalbetyres.com/tech_info/rolling_resistance, 2011.
6. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб.: СПбГАСУ, 2012. 310 с.
7. Евтюков С. А., Брылев И. С. Обзор существующих методик расчета скорости двухколесных транспортных средств // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 2–3.
8. Брылев И. С. Реконструкция ДТП по параметрам процесса торможения двухколесных механических транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук 2015. С. 68–91.
9. Евтюков С. С., Гинзбург Г. Problem of accident reconstruction mechanism using parameters of braking process of two-wheeled motor vehicles Architecture and Engineering, 2016. URL: <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/31>.
10. Евтюков С. А., Гинзбург Г., Волков С. А. Проблемы механизма реконструкции ДТП по параметрам процесса торможения двухколесных механических транспортных средств. Transportation research procedia, 2017. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517300546>
11. Kurakina E., Evtyukov S. Results of studying road construction parameters condition. Architecture and Engineering. 2018. T. 3, № 1. С. 29–37.
12. Евтюков С. А., Евтюков С. С. Проблемы расчета скорости движения двухколесных механических

ских транспортных средств при ДТП. Transportation research procedia. Journal 36. 2018. Pp. 84–89.

13. Брылев И. С., Ворожейкин И. В., Куракина Е. В. Анализ коэффициента трения при боковом скольжении двухколесного механического транспортного средства на сухом и мокром асфальтобетонном покрытии // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). С. 4–6.

14. Брылев И. С., Евтюков С. С., Ворожейкин И. В. Оценка времени реакции водителя двухколесного механического транспортного средства при применении им торможения // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (83). С. 277–283.

15. Трофименко Ю. В., Шелмакова С. В., Зега С. О., Шашина Е. В. Велосипедный транспорт в городах. М.: МАДИ, 2020. С. 13–35.

References

1. Beck R.F. Mountain bicycle acceleration and braking factors. Proceedings of the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XIV; June 27–30, 2004; Ottawa, Ontario, 2004, 15 p.
2. Rutman J. How to do a roll-down test. Hyperlink, 2007, 22 p.
3. Puchkin V. A. Osnovy ekspertnogo analiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy: Bazy dannykh. Ekspertnaya tekhnika. Metody resheniy [Fundamentals of expert analysis of road accidents: Databases. Expert technique. Decision methods]. Rostov-on-Don, YuFU Publ., 2010, pp. 192–193.
4. Grant J. Bicycle wheel components. Available at: <http://www.livestrong.com/article/82697-bicycle-wheel-components/>, 2010.
5. Schwalbe S. Rolling resistance. Available at: http://www.schwalbetyres.com/tech_info/rolling_resistance, 2011.
6. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. Ekspertiza DTP: metody i tekhnologii [Examination of road accidents: methods and technologies]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2012, 310 p.
7. Evtyukov S. A., Brylev I. S. Obzor sushchestvuyushchikh 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, pp. 2–3.
8. Brylev I. S. Rekonstruktsiya DTP po parametram protsessa tormozheniya dvukhkolesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv [Reconstruction of road accidents according to the parameters of the braking process of two-wheeled motor vehicles]. 2015, pp. 68–91.
9. Evtyukov S. S., Ginzburg G. Problem of accident reconstruction mechanism using parameters of braking

process of two-wheeled motor vehicles. Architecture and Engineering, 2016. Available at: <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/article/view/31>

10. Evtyukov S.A., Ginzurg G., Volkov S. A. *Problemy mekhanizma rekonstruktsii DTP po parametram protsessa tormozheniya dvukhkolesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv* [Problems of the mechanism of reconstruction of road accidents according to the parameters of the braking process of two-wheeled motor vehicles]. *Transportation Research Procedia*, 2017. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517300546>

11. Kurakina E., Evtyukov S. Results of studying road construction parameters condition. *Architecture and Engineering*, 2018, vol. 3, no.1, pp. 29–37.

12. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S. *Problemy rascheta skorosti dvizheniya dvukhkolesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv pri DTP* [Problems of calculating the speed of two-wheeled motor vehicles in an accident].

Transportation Research Procedia. Journal, 2018, no. 36, pp. 84–89.

13. Brylev I. S., Vorozheykin I. V., Kurakina E. V. *Analiz koeffitsienta treniya pri bokovom skol'zhenii dvukhkolesnogo mekhanicheskogo transportnogo sredstva na sukhom i mokrom asfal'tobetonnom pokrytii* [Analysis of the friction coefficient at lateral sliding of a two-wheeled automotive vehicle on dry and wet asphalt-concrete pavement]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 2 (73), pp. 136–141.

14. Brylev I.S., Evtyukov S. S., Vorozheykin I. V. *Otsenka vremeni reaktsii voditelya dvukhkolesnogo mekhanicheskogo transportnogo sredstva pri primenenii im tormozheniya* [Estimation of the reaction time of a driver of a two-wheeled motor vehicle when applying braking]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 6 (77), pp. 277–283

15. Trofimenko Yu. V., Shelmakova S. V., Zege S. O., Shashina E. V. *Velosipedniy transport v gorodakh* [Bicycle transport in cities]. Moscow, MADI Publ., 2020, pp. 13–35.