



УДК 629.3.017

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).68–77

Л. И. Соустова, И. Ю. Чуйко

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

Дата поступления: 28 марта 2019 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА С ДОРОГОЙ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУТЕМ

**Аннотация.** Рост количества транспортных средств, а также увеличение скоростей и интенсивности движения приводят к тому, что становится более актуальной проблема обеспечения безопасности движения. В связи с этим для решения проблемы недостаточно проводить лишь конструктивные улучшения транспортного средства. Этого может быть недостаточно, если не обеспечивается необходимое сцепление колес с дорогой. Основным показателем хорошего сцепления колеса с дорожным покрытием является коэффициент сцепления, он влияет на устойчивость и управляемость автомобиля. В статье исследуются условия и состояния, воздействующие на величину коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием. Методика проведения измерений основывалась на установлении значений в соответствии с ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки». Исследования проводились для различных транспортных средств, как с антиблокировочной системой, так и без нее, а также для летних и зимних шин в условиях сухого и влажного асфальтобетонного и бетонного дорожного покрытия. Измерения осуществлялись с помощью прибора для оценки эффективности тормозных систем «Эффект-02». Экспериментальным путем были определены значения замедления при экстренном торможении всеми колесами. На основании полученных данных рассчитывались значения коэффициента сцепления, определялся характер зависимости коэффициента сцепления от категории шин и характера состояния дорожного покрытия.

**Ключевые слова:** транспортное средство, замедление, коэффициент сцепления, дорожное покрытие, дорожные испытания, пневматическая шина, климатические условия.

L. I. Soustova, I. Yu. Chuyko

Sevastopol State University, Sevastopol, the Russian Federation

Received: March 28, 2019

## DETERMINING THE RATIO OF THE WHEEL GRIP WITH THE ROAD BY MEANS OF A CALCULATION AND EXPERIMENTS

**Abstract.** The increase in the number of vehicles, as well as an increase in speeds and traffic intensity, leads to the fact that the problem of traffic safety becomes more urgent. In this regard, carrying out only constructive improvements in the vehicle is not enough to solve the problem. Making changes in the design of vehicles may not be enough if the necessary road grip is not provided, and the main indicator of good road grip is the grip ratio. And this, in turn, will affect the stability and controllability of the car. This paper investigated the influence of the type and condition of tires on the value of the grip ratio of tires with the road surface. The method of measurement was based on the measurement of values in accordance with GOST R 51709-2001. Researches have been conducted for various vehicles with both anti-lock braking system and non-ABS brake system. Also, researches were conducted for summer and winter tires on dry and wet asphalt and concrete pavements. The measurements were carried out using an instrument for evaluating the effectiveness of brake systems "Effect-02". The values of deceleration during emergency braking by all wheels were determined experimentally. Based on the data obtained, the values of the grip ratio were calculated. The nature of the dependence of the friction coefficient on the tire type and the road surface type / condition was determined.

**Keywords:** vehicle, slowdown, the grip ratio, road surface, road surface type, road tests, pneumatic tire, weather conditions.

### Введение

Сила тяги на ведущих колесах реализуется через соответствующую силу сцепления, создаваемую при взаимодействии колес с дорогой. Движение автомобиля обеспечивается лишь тогда, когда сила сцепления по величине равна силе тяги или больше ее. Когда это условие не выдерживается и сила тяги превышает силу сцепления, ведущие колеса начинают буксовать. Коэффициент сцепления является исходным показателем для

оценки предельно возможных сил взаимодействия колес с дорогой. Хорошее сцепление повышает управляемость, устойчивость и тормозные свойства автомобиля, т. е. безопасность движения. Недостаточное сцепление, как показывает статистика, является причиной 5–10 % дорожно-транспортных происшествий при движении по сухим дорогам и до 25–40 % по мокрым [1].

На величину коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием влияют такие основные



факторы как характер и состояние дорожного покрытия, тип шины и рисунок ее протектора, характеристики резины, износ протектора и т. д. [2–4].

Все рулевые, тормозные и ускоряющие силы между автомобилем и дорогой проходят через шины. Шины – самое активное средство безопасности в автомобиле: четыре контактные зоны площадью с ладонь удерживают автомобиль на дороге и помогают управлять им.

Роль шин в обеспечении безопасности особенно важна в суровых и быстро меняющихся погодных условиях: на снегу или на льду, на мокрой дороге или в неожиданных ситуациях.

Различные климатические условия требуют от шин высокой надежности и производительности. Они должны сохранять сцепление с дорогой даже в самых сложных погодных условиях. Величина коэффициента сцепления в различное время колеблется между 0,1 (тающий лед) и 0,8–0,9 (сухое шоссе). В дополнение к абсолютному сцеплению большое значение имеет правильное соотношение между поперечным и продольным сцеплением – вместе они обеспечивают хорошие предупреждающие качества и чуткость к поворотам руля даже в условиях снежной бури или слякоти [5].

В зависимости от метеорологических условий дорожное покрытие может находиться в различном состоянии, что значительно влияет на величину коэффициента сцепления шин с дорогой [6]. Из таблицы 2.4 приведенной в [6] видно, что на влажном покрытии значение коэффициента сцепления существенно ниже. Это связано с тем,

что находящиеся на поверхности дорожного полотна пыль, частицы резины и крошечные капли автомобильных масел, смешиваясь с небольшим количеством воды образуют тончайшую пленку смазки, которая заметно сглаживает шероховатости дороги, поэтому в период выпадения первых капель дождя увеличивается вероятность возникновения потери устойчивости.

С целью исследования сцепных свойств шин с дорожной поверхностью разработаны различные методы их (т. е. свойств) определения [7–10]. Анализ показал, что на сегодняшний день не существует универсального метода, а предлагаемые требуют применения дополнительного оборудования, что усложняет и удорожает проведение исследований.

Рассматриваемый в данной работе расчетно-экспериментальный метод прост в применении и не требует больших трудозатрат.

#### Методика проведения экспериментальных исследований

Данные экспериментальные исследования проводились на учебном полигоне кафедры автомобильного транспорта (АТ) Севастопольского государственного университета. Цель исследования заключалась в определении влияния материала и состояния покрышек, а также характера дорожного покрытия на величину коэффициента сцепления колес с дорогой (рис. 1).

Объекты экспериментального исследования: 1. ЗАЗ-1102 «Таврия» (далее – ЗАЗ) 2004 г. выпуска. Автомобиль не оснащен автоблокиро-

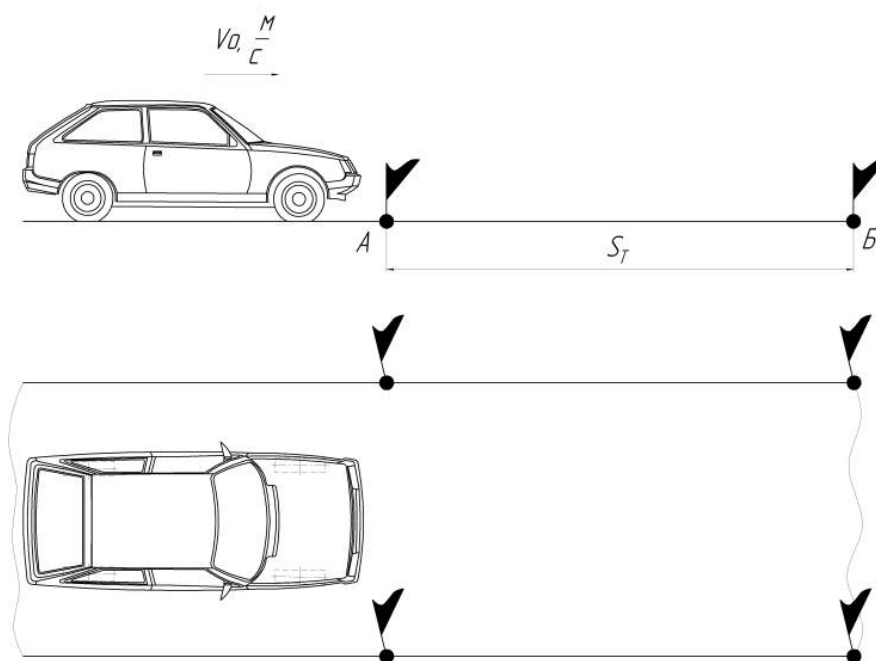


Рис. 1. Схема проведения эксперимента



вочной системой (АБС), с шинами летними «Yokohama BlueEarth AE01» размером 155/70R13, шинами зимними «Yokohama IceGuard IG50» размером 155/70R13.

2. «Renault Sandero Stepway» (далее – Рено) 2012 г. выпуска. Оснащенная АБС, с шинами летними «Amtel Planet DC» размером 185/65R15.

3. «Mazda 3» (далее – Мазда) 2008 г. выпуска, оснащенная АБС, с шинами летними «Matador MP 44 Elite 3» размером 205/55R16, зимними шинами «Dunlop Graspic DS-3» размером 195/65 R15.

Пробег всех шин составлял на момент проведения экспериментальных исследований менее 1 тыс. км. Эксперимент проводился с имитацией изменения дорожных условий – на сухом и влажном дорожных покрытиях.

Экспериментальные данные получены с помощью прибора «Эффект-02», который определяет установившееся замедление  $J_{уст}$ , пиковое значение усилия нажатия на педаль РПМ, длину тормозного пути  $S_T$ , время срабатывания тормозной системы  $t_{сп}$ , начальную скорость торможения  $V_0$  [11]. Прибор также производит пересчет нормы тормозного пути к реальной начальной скорости торможения.

Конструктивно прибор состоит из электронного блока обработки и отображения информации с органами управления и датчика усилия.

#### Условия и характеристика проведения экспериментальных исследований

Порядок проведения дорожных испытаний автомобиля представлен в ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки» [12] и в техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 018-201 «О безопасности колесных транспортных средств (с изменениями на 16 февраля 2018 года)» [13].

Средство измерения работоспособно и метрологически поверено. Погрешность измерения не превышает при определении тормозного пути  $\pm 5,0\%$ ; начальной скорости торможения  $\pm 1,0$  км/ч; усилия на органе управления  $\pm 7,0\%$ ; времени срабатывания тормозной системы  $\pm 0,03$  с; установившегося замедления  $\pm 4,0\%$ ; продольного уклона площадки для выполнения торможений  $\pm 1,0\%$ ; массы транспортного средства (ТС)  $\pm 3,0\%$ .

Автомобили подвергали проверке при «холодных» тормозных механизмах.

Шины проверяемых ТС были чистыми, сухими, давление в них соответствовало нормативному, установленному изготовителем ТС в эксплуатационной документации.

Эксперимент проводился при работающем и отсоединенном от трансмиссии двигателе, на прямом (продольный и поперечный уклоны не превышали 3 %) сухом и влажном (0,5 л воды на 1 м<sup>2</sup>) дорожном «грязном» полотне с бетонным и асфальтобетонным покрытием. Температура окружающей среды во время эксперимента составляла  $30 \pm 2$  °С.

Торможение рабочей тормозной системой осуществлялось в режиме экстренного полного торможения путем однократного воздействия на орган управления. Корректировка траектории движения ТС в процессе торможения не проводилась, АБС (при ее наличии) была в работоспособном состоянии.

Общая масса технических средств диагностирования не превышала 25 кг.

При проведении эксперимента ТС находились в снаряженном состоянии с водителем и средствами измерений (с оператором-испытателем).

Во время проведения эксперимента соблюдались следующие требования безопасности:

– перед проведением контрольного торможения проводились предварительные торможения с начальных скоростей – 20 км/ч, 30 км/ч;

– участок дороги, на котором испытывались ТС, были перекрыты для движения в установленном порядке.

#### Результаты эксперимента

Результаты эксперимента по определению зависимости величины тормозного пути и замедления автомобилей от типа покрышек и состояния дорожного полотна классифицированы и структурированы (табл. 1–2).

#### Обработка экспериментальных данных

При оценке эффективности торможения предусмотрена, наряду с измерением тормозного пути, возможность измерения величины замедления (с учетом времени срабатывания тормозной системы).

Значения замедления при экстренном торможении всеми колесами в общем случае определяется по формуле

$$j = 9,8 \cdot \left( \frac{\varphi}{K_{\Sigma}} \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha \right) \quad (1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления на участке торможения;  $K_{\Sigma}$  – коэффициент эффективности торможения транспортного средства;  $\alpha$  – угол уклона на участке торможения (если  $\alpha \leq 6-8^{\circ}$ , то  $\cos \alpha$  можно принимать равным 1) [14]. Знак «+» в формуле принимается при движении транспортного средства на подъем, знак «-» – при движении на спуске.



Таблица 1

**Результаты эксперимента (тип дорожного покрытия – асфальтобетон)**

Автомобиль	№	$S_T$ , м	$J_{уст}$ , м/с <sup>2</sup>	$V_0$ , м/с
сухой асфальтобетон - летние покрытия				
ЗАЗ-1102 «Таврия»	1	8,1	7,11	33,8
	2	8,5	6,38	33,9
	3	10,2	6,47	42,2
Мазда	1	8,3	7,05	37,3
	2	8,5	7,3	38,4
	3	10,7	7,69	39,2
Рено	1	7,5	6,41	35,5
	2	8,9	5,7	36,3
	3	8,2	7,62	37
сухой асфальтобетон - зимние покрытия				
ЗАЗ	1	8,5	6,66	35
	2	9,9	6,92	38,8
	3	10,2	7,4	39,2
Мазда	1	10,4	6,92	39,7
	2	9,7	6,92	40
	3	9,7	7,17	40,6
влажный асфальтобетон - летние покрытия				
ЗАЗ	1	8,6	6,73	37,2
	2	9,4	6,6	38,0
	3	11,2	6,85	39,5
Мазда	1	9,1	6,28	37
	2	11,7	6,73	43,6
	3	11,8	6,73	43,7
Рено	1	10	6,47	39,4
	2	9,5	7,17	39,9
	3	10,6	7,17	40,8
влажный асфальтобетон - зимние покрытия				
ЗАЗ	1	8,7	6,53	35,1
	2	9,8	6,34	35,4
	3	10,6	6,92	41,8
Мазда	1	11,5	5,7	39,9
	2	12,3	5,51	40,8
	3	11,6	6,21	41,7

Таблица 2

**Результаты эксперимента (тип дорожного покрытия – бетон)**

Автомобиль	№	$S_T$ , м	$J_{уст}$ , м/с <sup>2</sup>	$V_0$ , м/с
сухой бетон - летние покрытия				
ЗАЗ	1	8,3	6,02	36,2
	2	9,5	5,76	38,2
	3	9,2	6,73	38,4
Мазда	1	10,1	6,21	34,3
	2	9,6	6,34	36,6
	3	10,9	0,53	41,4
Рено	1	8,3	6,28	35,1
	2	8,3	6,47	37,4
	3	10,3	7,3	42,4



Окончание таблицы 2

сухой бетон - зимние покрышки				
ЗАЗ	1	7,3	6,02	35,4
	2	8,6	5,70	37,2
	3	8,4	6,73	38,2
Мазда	1	9,3	6,08	36,9
	2	10,3	6,02	37,5
	3	10,0	6,34	39,0
влажный бетон - летние покрышки				
ЗАЗ	1	9,3	5,25	33,0
	2	9,0	6,34	33,8
	3	10,9	6,92	40,5
Мазда	1	10,5	6,02	34,6
	2	10,9	5,76	39,0
	3	10,6	6,41	40,0
Рено	1	9,9	6,02	36,3
	2	11,6	6,66	36,7
	3	12,2	6,15	38,5
влажный бетон - зимние покрышки				
ЗАЗ	1	9,1	5,25	34,0
	2	9,6	6,34	34,8
	3	11,1	6,92	40,4
Мазда	1	12,1	6,53	35,9
	2	11,3	5,44	36,3
	3	11,5	5,32	38,5

Величина коэффициента эффективности торможения прежде всего зависит от характера торможения (табл. 2). При торможении исправного ТС с блокировкой колес (когда на проезжей части остаются следы юза) теоретически  $K_{\text{Э}} = 1$ . Однако при одновременной блокировке коэффициент эффективности торможения может превышать единицу.

Отсюда следует, что коэффициент сцепления при торможении будет равен

$$\varphi = \frac{J + \sin \alpha}{g \cdot K_{\text{Э}}} \quad (2)$$

Определим коэффициент сцепления отдельно для сухого и влажного покрытия (табл. 4–5).

Таблица 3

**Коэффициент эффективности торможения транспортного средства в снаряженном состоянии при определенных коэффициентах сцепления**

Вид транспортного средства	$K_{\text{Э}}$ в случае торможения ТС в снаряженном состоянии при следующих коэффициентах сцепления			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Легковые автомобили и другие транспортные средства на их базе	1,2	1,1	1,1	1,0

Продолжение таблицы 3

Вид транспортного средства	Коэффициенты	
	Сцепления	Эффективности торможения
Легковые автомобили и другие транспортные средства на их базе	0,7	1,2
	0,6	1,1
	0,5	1,1
	0,4	1,0



Т а б л и ц а 4

**Значение коэффициента сцепления (тип дорожного покрытия – асфальтобетон)**

Автомобиль	№	$J_{уст}, м/с^2$	$\varphi$	$\varphi_{ср}$
сухой асфальт - летние покрышки				
ЗАЗ	1	7,11	0,73	0,68
	2	6,38	0,66	
	3	6,47	0,67	
Мазда	1	7,05	0,63	0,66
	2	7,3	0,65	
	3	7,69	0,69	
Рено	1	6,41	0,57	0,59
	2	5,7	0,51	
	3	7,62	0,68	
сухой асфальт - зимние покрышки				
ЗАЗ	1	6,66	0,68	0,72
	2	6,92	0,71	
	3	7,4	0,76	
Мазда	1	6,92	0,62	0,63
	2	6,92	0,62	
	3	7,17	0,64	
влажный асфальт - летние покрышки				
ЗАЗ	1	6,73	0,69	0,67
	2	6,6	0,68	
	3	6,85	0,64	
Мазда 3	1	6,28	0,56	0,61
	2	6,73	0,63	
	3	6,73	0,63	
Рено	1	6,47	0,60	0,65
	2	7,17	0,67	
	3	7,17	0,67	
влажный асфальт - зимние покрышки				
ЗАЗ	1	6,53	0,67	0,68
	2	6,34	0,65	
	3	6,92	0,71	
Мазда	1	5,7	0,53	0,54
	2	5,51	0,52	
	3	6,21	0,58	

Т а б л и ц а 5

**Значение коэффициента сцепления (тип дорожного покрытия – бетон)**

Автомобиль	№	$J_{уст}, м/с^2$	$\varphi$	$\varphi_{ср}$
сухой бетон - летние покрышки				
ЗАЗ	1	6,02	0,62	0,63
	2	5,76	0,59	
	3	6,73	0,69	
Мазда	1	6,21	0,56	0,57
	2	6,34	0,57	
	3	6,53	0,58	
Рено	1	6,28	0,56	0,60
	2	6,47	0,58	



Окончание таблицы 5

	3	7,3	0,65	
сухой бетон - зимние покрышки				
ЗАЗ	1	6,02	0,62	0,63
	2	5,70	0,59	
	3	6,73	0,69	
Мазда	1	6,08	0,54	0,55
	2	6,02	0,54	
	3	6,34	0,57	
влажный бетон - летние покрышки				
ЗАЗ	1	5,25	0,54	0,63
	2	6,34	0,65	
	3	6,92	0,71	
Мазда	1	6,02	0,56	0,57
	2	5,76	0,54	
	3	6,41	0,60	
Рено	1	6,02	0,56	0,59
	2	6,66	0,62	
	3	6,15	0,58	
влажный бетон - зимние покрышки				
ЗАЗ	1	5,25	0,54	0,63
	2	6,34	0,65	
	3	6,92	0,71	
Мазда	1	6,53	0,61	0,54
	2	5,44	0,51	
	3	5,32	0,50	

По результатам расчетов построены графики зависимости коэффициента сцепления от типа шин и и состояния дорожного покрытия (рис. 2–5).

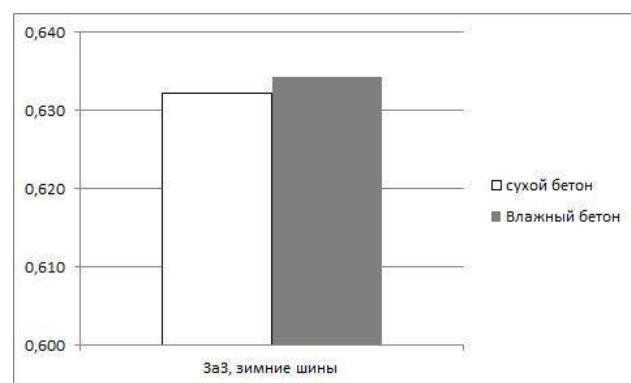
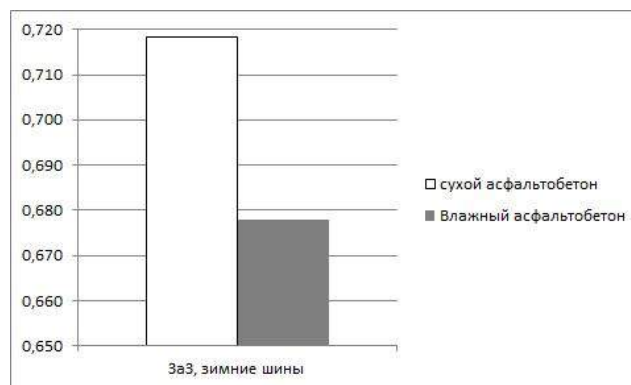
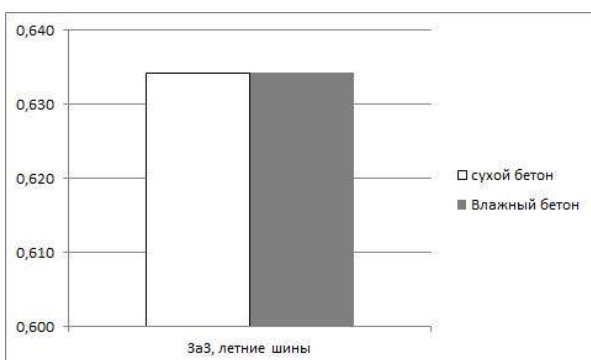
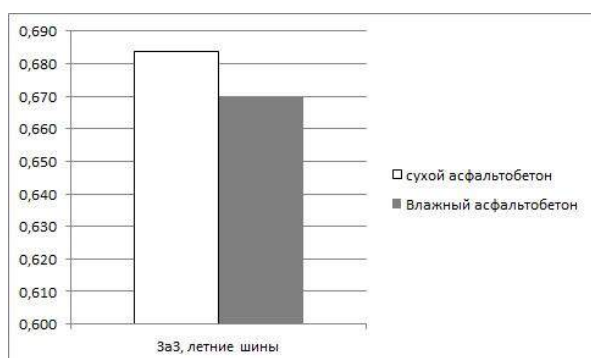


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента сцепления от типа шин и состояния дорожного покрытия (ЗАЗ)

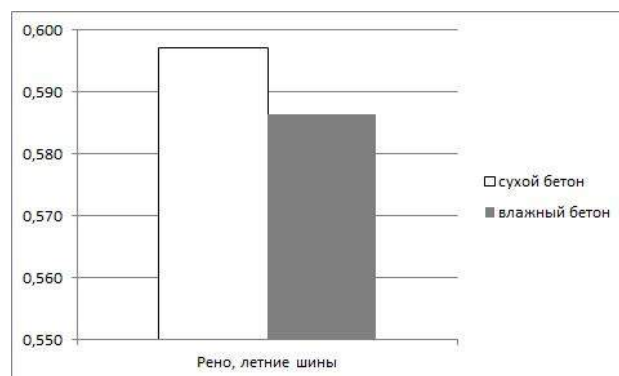
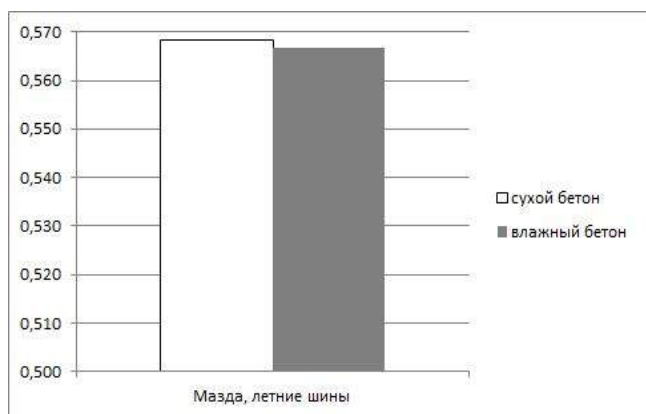
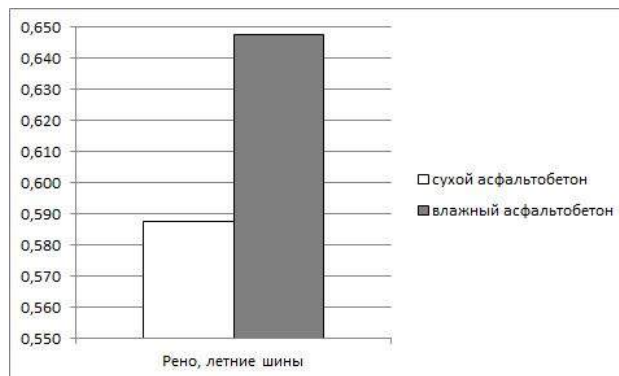
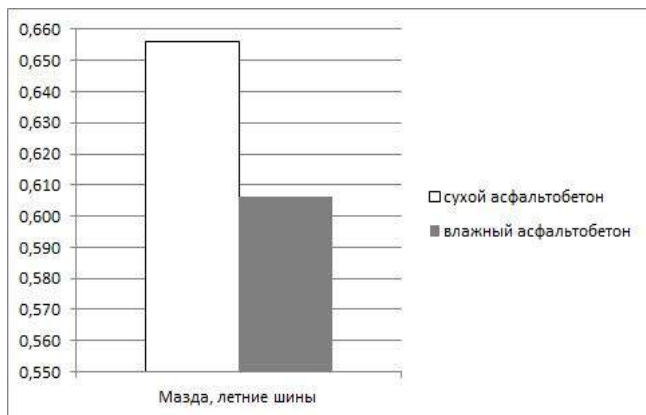


Рис. 5. Графики зависимости коэффициента сцепления от типа шин и состояния дорожного покрытия (Рено)

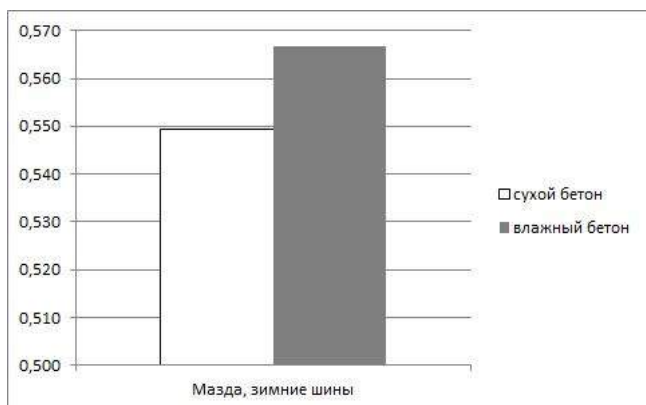
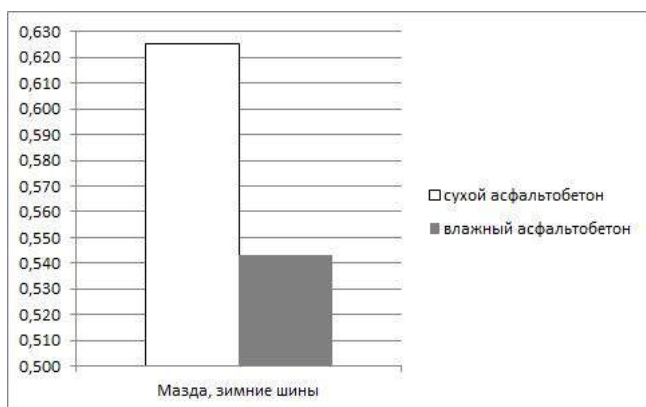


Рис. 3. Графики зависимости коэффициента сцепления от типа шин и состояния дорожного покрытия (Мазда)

Полученные результаты наглядно показывают значения коэффициента сцепления в зависимости от типа и размера шин и состояния твердого дорожного покрытия.

#### Заключение

Результаты эксперимента подтвердили необходимость и актуальность выбранной тематики исследований.

Определена зависимость типа автомобильных шин и дорожного покрытия и коэффициента сцепления с дорогой для различных дорожно-климатических условий.

Методика определения коэффициента сцепления может быть использована в дальнейших исследованиях, связанных с данным направлением, а также применяться при изучении и объяснении причин дорожно-транспортных происшествий.

Доказано, что предложенный метод можно использовать для определения значений коэффициента сцепления. Они близки со справочными значениями для сухого и влажного твердого покрытия.

По сравнению с методом определения коэффициента сцепления с помощью специализированных измерительных устройств и механизмов (например, специальной тележки ПКРС-2) [15–17], описанный метод имеет преимущества: мобильность, определение коэффициента для различных типоразмеров шин и конструктивных особенностей.





## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (Дата обращения: 12.02.2019).
2. Влияние износа рисунка протектора беговой дорожки шины на характеристики ее сцепления с опорной поверхностью / А.И. Федотов, А.С. Марков и др. // Вестник ИргТУ. 2017. Т. 21. № 11. С. 216–225.
3. Пилюшина Г.А., Звонников П.В. Влияние условий эксплуатации автомобильных шин на коэффициент сцепления // Новые материалы и технологии в машиностроении : сб. науч. тр. Вып. 21. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. Брянск : Изд-во БГИТА, 2015. 122 с.
4. Игошин Д. Н., Ильин М. М. Зависимость коэффициента сцепления от шероховатости дорожного покрытия / А.А. Васильев, Л.Н. Горин и др. // Вестник НГИЭИ. 2014. № 10. С. 3–37.
5. Роль шин в обеспечении безопасности. URL: <https://www.nokiantyres.ru/innovatsii/bezopasnost/rol-shin-v-obespechenii-bezopasnosti/> (Дата обращения: 13.02.2019).
6. Стуканов В.А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля. М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2004. 368 с.
7. Measurement on friction coefficients of tire grounding surface in arbitrary directions under high-load / T. Ise, M. Higuchi et.al. // Society for Experimental Mechanics. 2017.
8. Ying Xu, Biyun Chen, Cheng Chi. Estimation of road friction coefficient and vehicle states by 3-DOF dynamic model and HSRI model based on information fusion // Asian Journal of Control. 2017. Vol. 19, № 4. P. 1–10.
9. J.-H. Yoon, S. Eben Li, C. Ahn. Estimation of vehicle sideslip angle and tire-road friction coefficient based on magnetometer with GPS // International Journal of Automotive Technology. 2016. Vol. 17, № 3. P. 427–435.
10. Tyre-road friction  $\mu$ -estimation based on braking force distribution / P. Deepak, V. Efstathios et.al. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D // Journal of Automobile Engineering. 2018. P. 1–18.
11. Измерители эффективности тормозных систем автомобилей. Модификации: «Эффект-02.01», «Эффект-02». Руководство по эксплуатации. Методика поверки. Жигулевск : НПФ Мета, 2010. 45 с.
12. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки (с Изменением № 1). Введ. 2002–01–01. М. : Стандартинформ, 2008.
13. О безопасности колесных транспортных средств : техн. регламент Таможенного союза ТР ТС 018-2011. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320557> (дата обращения: 12.02.2019).
14. Кристи Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы. М. : ЦНИИСЭ, 1971. 242 с.
15. ГОСТ 33078-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием. Введ. 2015–12–01 с правом досрочного применения. М. : Стандартинформ, 2016.
16. Пат. 56858 Рос. Федерация. Устройство для управления состоянием объекта защиты патент на полезную модель / А.П. Хоменко и др. № 2006113670/22 ; заявл. 21.04.2006. опубл. 27.09.2006, Бюл. № 27.
17. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажира и грузопотоков / В.Е. Гозбенко, и др. Иркутск, 2008. Деп. ВИНТИ 17.04.2008, № 330-В2008.

## REFERENCES

1. Svedeniya o pokazatelyakh sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Information on the terms of the road safety]. [Electronic resource]. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (access date: 12.02.2019).
2. Fedotov A.I., Markov A.S., Yan'kov O.S., Ovchinnikova N.I. Vliyanie iznosa risunka protektora begovoi dorozhki shiny na kharakteristiki ee stsepleniya s opornoj poverkhnost'yu [The effect of tread pattern wear on a treadmill tire on the characteristics of its adhesion to the road surface]. *Vestnik IrGTU [Bulletin of Irkutsk State Technical University]*, 2017. Vol. 21. No. 11. Pp. 216-225. DOI: 10.21285 / 1814-3520-2017-11-216-225.
3. Pilyushina G.A., Zvonnikov P.V. Vliyanie uslovii ekspluatatsii avtomobil'nykh shin na koeffitsient stsepleniya [The influence of the conditions of operation of automobile tires on the adhesion coefficient]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii : sb. nauch. tr. [New materials and technologies in mechanical engineering: Collection of scientific papers. Issue 21]*. In Pamfilov E.A. (gen. ed.). Bryansk : BGITA Publ., 2015. 122 p.
4. Igoshin D. N., Il'in M. M., Vasil'ev A.A., Gorin L.N. et al. Zavisimost' koeffitsienta stsepleniya ot sherokhovatosti dorozhnogo pokrytiya [Dependence of the adhesion coefficient on the roughness of the road surface]. *Vestnik NGIEI [Herald NGIEI]*, 2014. No. 10. Pp. 3–37.
5. Rol' shin v obespechenii bezopasnosti [The role of tires in safety]. URL: <https://www.nokiantyres.ru/innovatsii/bezopasnost/rol-shin-v-obespechenii-bezopasnosti/> (Access date: 13.02.2019).
6. Stukanov V.A. Osnovy teorii avtomobil'nykh dvigatelei i avtomobilya [Fundamentals of the theory of automobile engines and automobiles]. Moscow: FORUM ; INFRA-M Publ., 2004. 368 p.
7. Ise T., Higuchi M. et.al. Measurement on friction coefficients of tire grounding surface in arbitrary directions under high-load. *Society for Experimental Mechanics*, 2017.
8. Xu Ying, Chen Biyun, Chi Cheng. Estimation of road friction coefficient and vehicle states by 3-DOF dynamic model and HSRI model based on information fusion. *Asian Journal of Control*, 2017. Vol. 19, No. 4. Pp. 1–10.
9. Yoon J.-H., Eben Li S., Ahn C. Estimation of vehicle sideslip angle and tire-road friction coefficient based on magnetometer with GPS. *International Journal of Automotive Technology*, 2016. Vol. 17, No. 3. Pp. 427–435.
10. Deepak P., Efstathios V. et al. Tyre-road friction  $\mu$ -estimation based on braking force distribution. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D. *Journal of Automobile Engineering*. 2018. Pp. 1–18.
11. Izmeriteli effektivnosti tormoznykh sistem avtomobilei. Modifikatsii: «Effekt-02.01», «Effekt-02». Rukovodstvo po ekspluatatsii. Metodika poverki [Measuring the effectiveness of the brake systems of cars. Modifications: «Effect-02.01», «Effect-02». An instruction manual. Method of verification]. Zhigulevsk : NPF Meta Publ., 2010. 45 p.



12. GOST R 51709-2001. Avtotransportnye sredstva. Trebovaniya bezopasnosti k tekhnicheskomu sostoyaniyu i metody proverki (s Izmeneniyami No. 1). Vved. 2002–01–01 [GOST R 51709-2001. Motor vehicles and their trailers. Safety requirements for technical conditions and methods of inspection (with Amendment N 1). Introduction date: 2002-01-01]. Moscow: Standartinform Publ., 2008.

13. O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv : tekhn. reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 018-2011 [On the safety of wheeled vehicles: technical regulations of the Customs Union TR TS 018-2011]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320557> (Access date: 12.02.2019).

14. Kristi N.M. Metodicheskie rekomendatsii po proizvodstvu avtotekhnicheskoi ekspertizy [Guidelines for the production of autotechnical expertise]. Moscow: TsNIISE Publ., 1971. 242 p.

15. GOST 33078-2014 Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Metody izmereniya stsepleniya kolesa avtomobilya s pokrytiem. Vved. 2015–12–01 s pravom dosrochnogo primeneniya [GOST 33078-2014 Automobile roads of general use. Methods of measuring friction of vehicle wheel with the road surface. Introduction date 2015-12-01 with the right of early application]. Moscow: Standartinform Publ., 2016.

16. Khomenko A.P. et al. *Ustroystvo dlya upravleniya sostoyaniem ob"ekta zashchity patent na poleznuyu model'* [Device to control the state of the object of protection of the patent for useful model]. Pat. RF 56858 No. 2006113670/22 ; applied 21.04.2006, publ. 27.09.2006, Bull. No. 27.

17. Gozbenko V.E. et al. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchedom moshchnosti passazhiro i gruzopotokov [Methods of forecasting and optimization of the transport network taking into account the capacity of passenger and cargo flows]. Irkutsk, 2008. A manuscript deposited in VINII 17.04.2008, No. 330-V2008.

### Информация об авторах

### Authors

Соустова Лада Игоревна – старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: LISoustova@sevsu.ru

Lada Igorevna Soustova – senior lecturer at the Subdepartment of Automobile Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: LISoustova@sevsu.ru

Чуйко Иван Юрьевич – старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, e-mail: IUChui-ko@sevsu.ru

Ivan Yur'evich Chuiko – senior lecturer at the Subdepartment of Automobile Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: IUChuiko@sevsu.ru

### Для цитирования

### For citation

Соустова Л. И. Определение коэффициента сцепления колеса с дорогой расчетно-экспериментальным путем / Л. И. Соустова, И. Ю. Чуйко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 68–77. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).68–77

Soustova L. I., Chuiko I. Yu. Opredelenie koeffitsienta stsepleniya kolesa s dorogoi raschetno-eksperimental'nym putem [Determining the ratio of the wheel grip with the road by means of a calculation and experiments]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 68–77. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).68–77

УДК 621.316.925

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).77–85

А. А. Лундалин<sup>1</sup>, Е. Ю. Пузина<sup>1, 2</sup>, И. А. Худоногов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 11 марта 2019 г.

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В РОССИЙСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

**Аннотация.** В статье для разработки основных направлений развития устройств релейной защиты и автоматики применен структурно-функциональный метод. С этой целью использованы результаты статистического анализа данных о сроках эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики по различным типам элементной базы. Отмечена тенденция к увеличению доли устаревших электромеханических и микроэлектронных релейных защит, при этом процент случаев неправильного срабатывания по причине старения достигает четверти от общего числа неправильных срабатываний, а основной причиной является вина персонала подразделений, обслуживающих устройства релейной защиты и автоматики. Выявлена недостаточная оснащенность нормативно-технической литературой подразделений релейной защиты и автоматики и тенденция к отставанию во внедрении наиболее современных микропроцессорных защит. Анализ имеющихся данных указывает на острую необходимость как модернизации устройств релейной защиты и автоматики, так и определения актуальных направлений их развития, а также повышения качества подготовки обслуживающего персонала соответствующих подразделений и