

Научная статья
УДК 629.113
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-434-446>
EDN: WWBXUR



ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ДАВЛЕНИЮ ВОЗДУХА В ШИНАХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РОЛИКОВЫХ СТЕНДАХ

А.И. Федотов¹, О.С. Яньков¹, А.В. Камнев² ✉

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия

²Братский государственный университет,
г. Братск, Россия
dadestone@yandex.ru

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Контроль тягово-мощностных параметров колесных транспортных средств часто выполняют на роликовых стендах. Точность определения силы тяги в пятне контакта эластичной шины автомобильного колеса с цилиндрической поверхностью роликов зависит от множества факторов. При заданных характеристиках стендов наиболее значимо на результаты измерения сил влияет давление рабочего тела в шинах, нагрузка на колеса и остаточная высота протектора шин. Эти параметры оказывают существенное влияние на скоростные и силовые потери мощности в шинах.

Для учета силовой и скоростной составляющих потерь мощности в шинах колес при испытании автомобилей была предложена методика, позволяющая в значительной мере уменьшить их влияние на результаты исследований, а также представлены результаты измерений, полученные при испытании автомобилей на роликовом стенде и в дорожных условиях.

Материалы и методы. Для определения силовой составляющей потерь в шине были проведены экспериментальные исследования с целью определения коэффициента сопротивления качению шин по двум кинематически не связанным роликам силового стенда. Учет скоростной составляющей потерь производился путем определения радиуса качения колеса по беговым барабанам стенда и оценки его влияния на результаты измерений тягово-мощностных параметров автомобиля.

Результаты. Результатом проведенных исследований является разработка новой методики испытания тягово-мощностных параметров автомобилей с полным приводом и приводом на одну ось, позволяющая учитывать влияние давления воздуха и остаточной высоты протектора шины на измеренные значения силы тяги на колесах.

Обсуждение и заключение. С учетом предложенной методики измерения сил тяги на ведущих колесах автомобилей категории М1 в условиях роликовых стендов оптимальными с точки зрения влияния силовых и скоростных потерь на результаты измерения тяговых параметров является давление воздуха в шинах, не менее 150% от значений, установленных заводом-изготовителем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: контроль, тяговые и мощностные параметры КТС, коэффициент сопротивления качению, колесо с эластичной шиной, стенд с беговыми барабанами, силовые и скоростные потери в шинах, износ шин, измерение силовых параметров

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность редактору и рецензентам данной статьи.

Статья поступила в редакцию 03.12.2024; одобрена после рецензирования 2025; принята к публикации 16.06.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Федотов А.И., Яньков О.С., Камнев А.В. Обоснование требований к давлению воздуха в шинах автомобилей при испытаниях на роликовых стендах // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 3. С. 434–446. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-434-446>

© Федотов А.И., Яньков О.С., Камнев А.В., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-434-446>

EDN: WWBXUR

JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR AIR PRESSURE IN CAR TIRES DURING TESTS ON ROLLER STANDS

Alexandr I. Fedotov¹, Oleg S. Yankov¹, Aleksey V. Kamnev² ✉

¹Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia

²Bratsk State University,
Bratsk, Russia

✉ corresponding author
dadestone@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. Traction and power parameter's monitoring of wheeled vehicles are often performed on roller stands. The accuracy of determining the traction force in the contact patch of the elastic tire of an automobile wheel with the cylindrical surface of the rollers depends on many factors. With the specified characteristics of the stands, the working air pressure in the tires, the load applied on the wheels and the residual tread height of the tires most significantly affect the results of measuring forces. These parameters have a considerable impact on the speed and force losses of power in tires.

To take into account the force and speed components of power losses in wheel tires while testing cars, a technique was proposed that allows to reduce their impact on test results considerably, and measurement results obtained by testing cars on the roller stand and in road conditions were presented.

Materials and methods. To determine the force component of losses in a tire, the experimental studies were conducted to define the rolling resistance coefficient of tires on two kinematically unrelated rollers of the power stand. The role of the speed component of losses was specified by determining the rolling radius of the wheel on the running drums of the stand and evaluating its effect on the measurement results of traction and power parameters of the car.

Results and discussion. The result of the conducted research is the development of a new methodology for testing traction and power parameters of vehicles with all-wheel drive and single-axle drive, which allows to take into account the influence of air pressure and the residual height of the tire tread on the measured values of traction force on the wheels.

Conclusion. According to the proposed method for measuring traction forces on the driving wheels of M1 category cars on roller stands, the optimal value in terms of the effect of force and speed losses on the results of measuring traction parameters is the air pressure in tire that is not least then 150% of the values set by the manufacturer.

KEYWORDS: control, traction and force parameters of wheeled vehicles, rolling resistance coefficient, wheel with elastic tire, stand with running drums, force and speed losses in tires, tire wear, measurement of force parameters

ACKNOWLEDGEMENTS: the authors express their gratitude to the editor and reviewers of this article

The article was submitted: December 3, 2024; **approved after reviewing:** April, 2025; **accepted for publication:** June, 16, 2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Fadeev A.I., Yankov O.S., Kamnev A.V. Justification of requirements for air pressure in car tires during tests on roller stands. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (3): 434-446. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-434-446>

© Fadeev A.I., Yankov O.S., Kamnev A.V., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных задач при испытании, экспертизе и контроле технического состояния КТС является измерение их тяговых параметров, выполняемых как дорожным, так и стендовым методами. И если для измерений силовых параметров дорожным методом требуются специализированные полигоны и советующие погодные условия, то стендовые методы не требуют наличия значительных площадей, не зависят от погодных условий и позволяют реализовать уникальный принцип обратимости движения, когда автомобиль стоит, а «дорога» под его колесами движется¹.

На результаты измерения тяговой силы F_k на колесах КТС, колесной мощности, а также мощности двигателя $N_{дв}$ автомобиля, значительно влияют два основных вида потерь: потери мощности в трансмиссии, образующиеся в результате работы сил трения и на взбалтывание масла в агрегатах, а также силовые и кинематические потери мощности, связанные с работой шин ведущих колес.

Влияние потерь мощности в шинах ведущих колес можно оценить коэффициентом полезного действия (КПД) шины $\eta_{ш}$, который определяется из выражения (1):

$$\eta_{ш} = \frac{M_k - M_f}{M_k} \cdot \frac{r_k}{r_{к0}}, \quad (1)$$

где M_k – момент, подведенный к колесу, Н·м;
 M_f – момент сопротивления качению, Н·м;
 r_k – радиус качения колеса (учитывающий скоростные потери), м;
 $r_{к0}$ – радиус колеса в ведомом режиме «силовой радиус», м.

В первом сомножителе уравнения (1) отражаются силовые (гистерезисные) потери мощности – это потери на трение в шине при её качении (между шиной и дорогой, а также внутри элементов шины) [1].

Во втором сомножителе уравнения (1) – потери мощности, связанные с её проскальзыванием и тангенциальной эластичностью, т.е. учитывают, что число сделанных колесом оборотов и пройденный им путь, которые для колеса с эластичной шиной не соответствуют кинематике качения жесткого тела и проявляются в частичном повороте обода колеса относительно его пятна контакта [1].

Многочисленные исследования^{2,3}[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] показывают, что результаты измерения тяговых параметров КТС стендовым методом можно значительно улучшить, если уменьшить влияние силы сопротивления качению F_f шины, величина которой вычитается из измененной на стенде силы тяги F_k на колесе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Факторы, влияющие на результаты измерения тяговых параметров КТС стендовым методом, можно условно разделить на три типа:

- факторы первого типа – это конструктивные параметры стенда. К ним относятся кривизна опорной поверхности беговых барабанов и межосевое расстояние между барабанами;
- факторы второго типа – это факторы технологические, связанные технологией проведения испытаний. К ним относится продольное перемещение КТС по беговым барабанам стенда (вперед – назад);
- факторы третьего типа – это эксплуатационные факторы. К ним относятся давление рабочего тела в шине и высота её протектора (износ шины).

Эксплуатационные факторы в той или иной степени оказывают влияние на силы сопротивления качению эластичных шин автомобильных колес, которая зависит от силовых и скоростных потерь мощности.

¹ Федотов А.И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобилей: учебник для аспирантов вузов по направлению подготовки 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта» / А.И. Федотов; Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2016. 254 с.

² Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров, А.С. Шелухин, Ю.М. Юрьев. М.: Транспорт, 1976. 238 с.

³ Мамаев А.Н., Балабина Т.А., Гаевский В.В. Механика взаимодействия колеса с барабаном // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной научно-технической конференции. 2019. С.333–345.

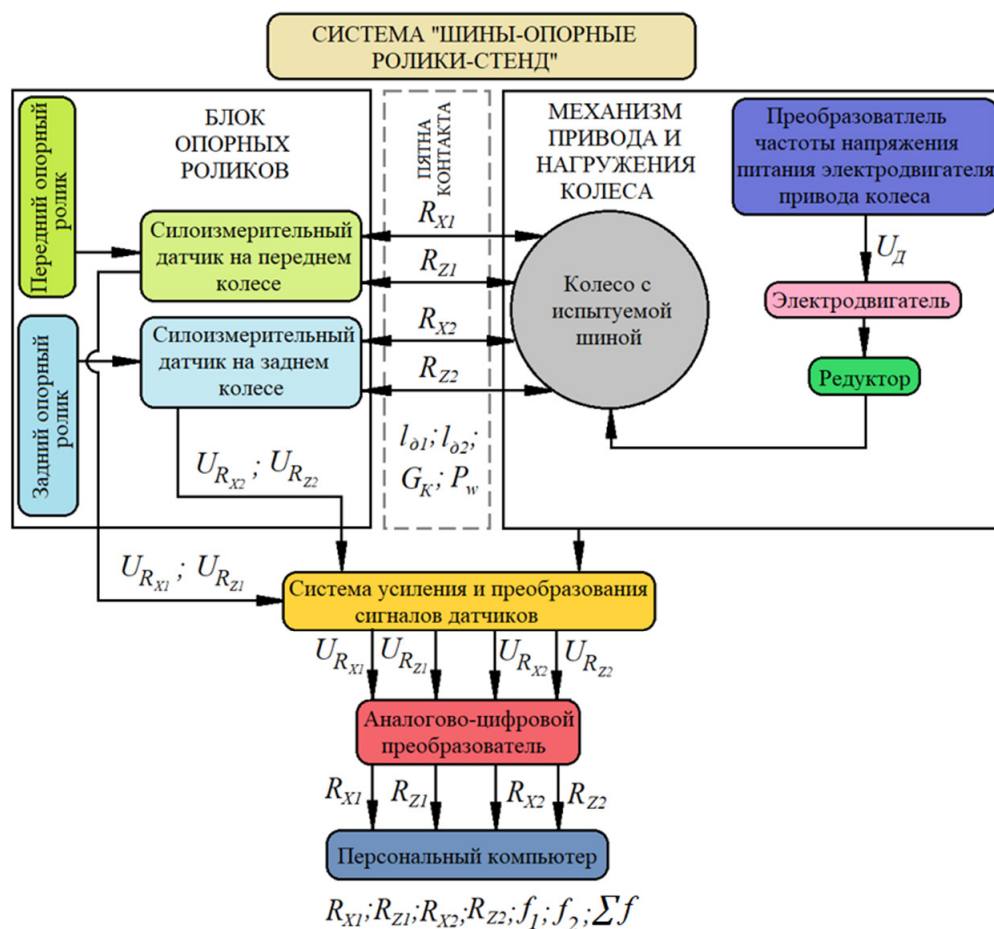


Рисунок 1 – Структурная схема комплекса для экспериментального исследования процесса движения автомобильного колеса с эластичной шиной на двух кинематически несвязанных цилиндрических роликах стенда
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Structural diagram of the complex for experimental study of the movement process of the car wheel with an elastic tire on two kinematically unrelated cylindrical rollers of the stand.
Source: compiled by the authors.

На кафедре автомобильного транспорта ИрННТУ были проведены исследования силовых⁴ [8] и скоростных [2] потерь в мощности в эластичной шине с учетом влияния эксплуатационных факторов.

Для экспериментальных исследований зависимости коэффициента сопротивления качению шин от приложенной к колесу нагрузки с учетом давления воздуха в шине были проведены исследования в ИрННТУ в лаборатории кафедры АТ на стенде, позволяющем измерять силы в пятне контакта шины с беговыми бара-

банами [8]. Стенд представляет собой несущую систему, состоящую из совокупности жестких конструкций крепления механизмов привода колеса, самого колеса, опорных роликов, привода опорных роликов. Структурная схема данного стенда представлена на рисунке 1.

Перед проведением экспериментов была сделана калибровка датчиков стенда согласно методики и предложена программа проводимых экспериментов. Были проведены исследования двух шин Bridgestone 185/65 R14 с различной остаточной высотой протектора 3 и 8 мм.

⁴ Камнев А.В., Федотов А.И., Яньков О.С. Влияние давления рабочего тела в шине на силу сопротивления качению КТС на стендах с беговыми барабанами // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 116-й Международной научно-технической конференции, Улан-Удэ, 12–13 сентября 2023 года. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2023. С. 86–92.

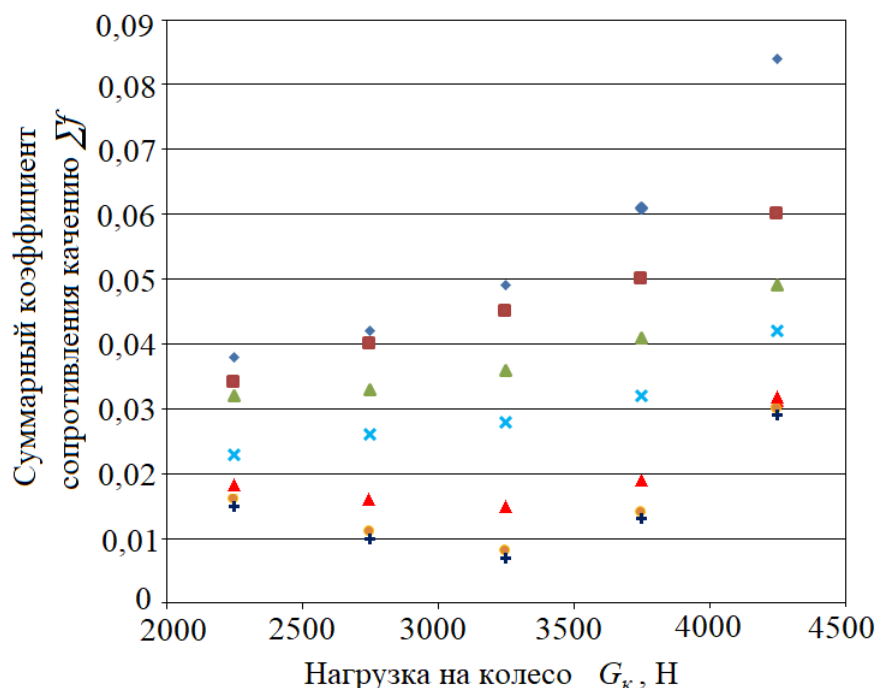


Рисунок 2 – График зависимости коэффициента сопротивления качению шины от нагрузки и давления воздуха в шине: ♦ – 0,05 МПа; ■ – 0,1 МПа; ▲ – 0,15 МПа; × – 0,2 МПа; ▲ – 0,25 МПа; ● – 0,3 МПа; + – 0,35 МПа.
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Graph of the dependence of the tire rolling resistance coefficient on the tire load and air pressure in it. ♦ – 0,05 MPa; ■ – 0,1 MPa; ▲ – 0,15 MPa; × – 0,2 MPa; ▲ – 0,25 MPa; ● – 0,3 MPa; + – 0,35 MPa.
Source: compiled by the authors.

Нормальная нагрузка на колесо создавалась дискретно в интервале от 2250 Н до 4250 Н с шагом 500 Н при помощи специальных грузов, устанавливаемых на раму нагружения. Кроме этого, в каждом цикле испытаний дискретно изменялось давление рабочего тела в шине от 0,05 МПа до 0,35 МПа с интервалом 0,05 МПа. Давление воздуха в шине определялось при помощи образцового манометра.

В результате были получены эпюры распределения нормальной и касательной реакции шины по длине пятна контакта при качении шин по опорным роликам стенда при варьировании нормальной нагрузки на колесо и давления рабочего тела в шине [8].

По результатам исследований была определена зависимость коэффициента сопротивления качению шины от нагрузки для шины модели Bridgestone 185/65 R14, представленная на рисунке 2.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что:

- с ростом нагрузки на колесо и снижении

давления рабочего тела в шине потери в шине растут, при этом измеренные значения сил на колесах уменьшаются [4];

- «силовой» радиус качения колеса в ведомом режиме $r_{ко}$ учитывает скоростные потери в шине, обусловленные угловым смещением обода колеса относительно пятна контакта шины [9];

- наиболее частое рекомендуемое заводом-изготовителем давление рабочего тела в шинах для КТС категории М1 составляет 0,2 МПа при его эксплуатации по плоской опорной поверхности, но при диагностировании автомобиля на роликовых стендах рекомендуемое давление приводит к значительным силовым потерям в шине, а минимальные потери при качении колес по роликам наблюдаются при повышении давления до 0,3 МПа, что установлено и экспериментально подтверждено [8].

В результате проведенных исследований была предложена новая методика, позволяющая минимизировать влияние скоростных и силовых потерь в шинах испытуемых авто-

мобилей на роликовых стендах на результаты измерения тяговых и мощностных параметров автомобиля при испытаниях на стендах с беговыми барабанами.

Методика испытаний КТС на стендах с беговыми барабанами, при качении каждого колеса по двум кинематически не связанным между собой опорным роликам, может быть реализована при следующих требованиях к стендам:

1. Обеспечение синхронного вращения всех опорных роликов стенда под каждым колесом ведущей оси (осей) испытуемого КТС.

2. Наличие у стенда нагружающего устройства, позволяющего подводить тормозной момент к колесам ведущей оси (осей).

3. Возможность подведения крутящего момента для вращения колес ведущей оси (осей) КТС для их качения в ведущем режиме.

4. Возможность изменения колесной базы стенда при испытаниях полноприводных автомобилей.

5. Возможность непрерывного измерения силовых и кинематических параметров на ведущих колесах автомобилей в процессе их контроля на силовых роликовых стендах.

Для реализации методики были обоснованы требования к измерительным системам стендов и их метрологическому обеспечению:

- измерение нагрузки на колеса ведущей оси (осей) автомобиля $G_{ки}$ должно осуществляться с погрешностью не более 0,5 Н;

- измерение давления P_w рабочего тела в эластичных шинах должно проходить с погрешностью не более 0,01 МПа;

- измерение угловой скорости ω_k вращения колес ведущих осей на беговых барабанах должно выполняться с погрешностью не более 1% [1/с];

- измерение угловой скорости ω_e вращения коленчатого вала двигателя КТС должно осуществляться с погрешностью не более 1% [1/с];

- измерение угловой скорости ω_6 вращения опорных роликов должно совершаться с погрешностью не более 1% [1/с];

- определение силы F_k тяги на ведущих колесах автомобиля должно выполняться с погрешностью не более 1%, Н;

- определение силы F_f сопротивления качению шин колес ведущей оси должно осуществляться с погрешностью не более 1%, Н.

Все измерительные системы и оборудование, используемые при измерении силовых и кинематических параметров, характеризующих тяговые качества КТС на стендах с беговыми барабанами, должны быть проверены согласно ГОСТ Р.

Для проверки корректности разработанной методики был выполнен анализ скоростных и силовых потерь в шинах и определено их влияние на результаты измерения тяговых параметров автомобилей на роликовых стендах.

Для учета скоростной составляющей потерь необходимо знать значение радиуса качения $r_{ко}$ с эластичной шиной в ведомом режиме [2, 5, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Его можно определить по известной формуле⁵ [5, 12, 13]:

$$r_{ко} = \frac{\omega_6 \cdot r_6}{\omega_k}, \quad (2)$$

где ω_k – угловая скорость колеса [1/с];

ω_6 – угловая скорость роликов стенда [1/с];

r_6 – радиус опорного ролика стенда, м.

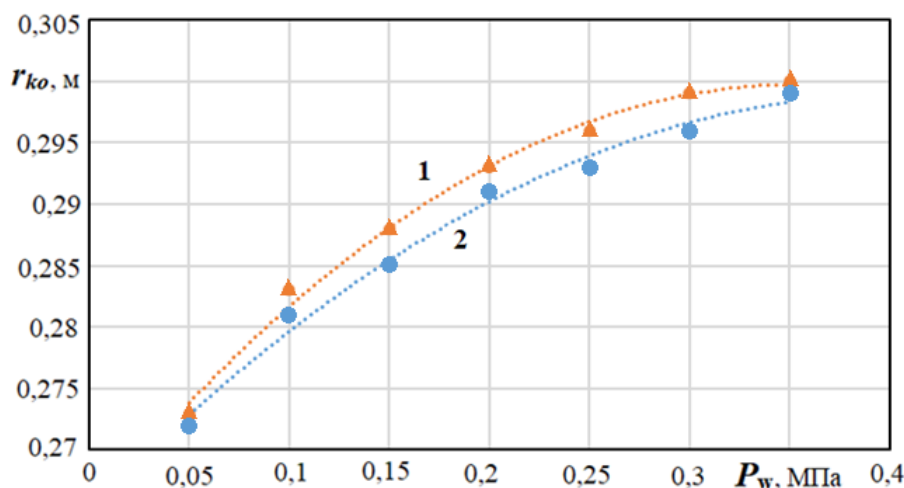
Определение радиусов качения $r_{ко}$ в ведомом режиме производили для двух шин одной модели *Bridgestone 185/65 R14*, но с двумя состояниями остаточной высоты протектора: 8 и 3 мм. Давление P_w рабочего тела в шинах при измерении $r_{ко}$ варьировали в диапазоне от 0,05 МПа до 0,35 МПа с шагом 0,05 МПа. Нормальная нагрузка G_k на колесо в процессе измерений радиуса составляла 3250 Н. Результаты измерений радиусов $r_{ко}$ на стенде при варьировании давления P_w в шинах с разной высотой протектора представлены на графике (рисунок 3).

Для шины *Bridgestone 185/65 R14* с высотой протектора 8 мм устанавливаемые значения давлений P_w воздуха представлены в столбце 1 таблицы 1. Значения радиуса качения $r_{ко}$ в ведомом режиме представлены в столбце 2 таблицы 1.

Для шины *Bridgestone 185/65 R14*, но с высотой протектора 3 мм, результаты аналогичных измерений приведены в таблице 2.

Для учета силовых потерь в шинах было выполнено измерение коэффициента f сопротивления качению. Как уже было отмечено ранее, нормальная нагрузка G_k на колеса в течение данного эксперимента составляла 3250 Н, а давление P_w рабочего тела в шинах при измерении $r_{ко}$ варьировало от 0,05 МПа до 0,35 МПа с шагом 0,05 МПа.

⁵ Работа автомобильной шины / Кнороз В.И., Кленников Е.В., Петров И.П., Шелухин А.С., Юрьев Ю.М. М.: Транспорт, 1976. 238 с.



$$1 - r_{ko} = -0,281 \cdot P_w^2 + 0,1988 \cdot P_w + 0,2646; R^2 = 0,994;$$

$$2 - r_{ko} = -0,2048 \cdot P_w^2 + 0,1669 \cdot P_w + 0,265; R^2 = 0,99.$$

Рисунок 3 – Графики зависимости силового радиуса колеса (радиуса качения в ведомом режиме) с шиной модели Bridgestone 185/65 R14 от давления воздуха в ней, при нормальной нагрузке $G_k = 3250$ Н: для шины с остаточной высотой протектора 3 мм ● – эксперимент; – аппроксимация; для шины с остаточной высотой протектора 8 мм ▲ – эксперимент; – аппроксимация
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Graphs of the dependence of the wheel's force radius (rolling radius in a drive mode) for the Bridgestone 185/65 R14 tire model on the air pressure in it, at normal load $G_k = 3250$ N: for a tire with a residual tread height of 3 mm ● – experiment; – approximation; for a tire with a residual tread height of 8 mm ▲ – experiment; – approximation.
Source: compiled by the authors.

Определенные коэффициенты f сопротивления качению шины с высотой протектора 8 мм представлены в столбце 3 таблицы 1, а для шины с высотой протектора 3 мм – в столбце 3 таблицы 2.

На следующем этапе исследования определили суммарное значение сил ΣF_f сопротивления качению шин автомобиля в режиме их прокручивания. Для шин с высотой протектора шины 8 мм и приводом на одну ось (4×2), силы ΣF_f представлены в столбце 4 таблицы 1,

а для полноприводного автомобиля (4×4) – в столбце 5. Для шин с высотой протектора 3 мм в аналогичных столбцах таблицы 2.

Зная величину подведенного к ведущим колесам КТС крутящего момента M_k , можно определить величину силы тяги $\Sigma F_{k(подв)}$, подведенной к его ведущим колесам, используя известное выражение,⁶

$$\Sigma F_{k(подв)} = \frac{\Sigma M_k}{r_{ko}}, \quad (3)$$

⁶ Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. М.: Машгиз, 1963. 239 с.

Таблица 1

Результаты реализации разработанной методики измерения тяговых параметров автомобиля с шинами Bridgestone 185/65 R14 с высотой протектора 8 мм с учетом потерь в шинах

Источник: составлено авторами.

Table 1

Implementation results of the developed methodology for measuring the traction parameters of the car with the Bridgestone 185/65 R14 tires with a tread height of 8 mm, taking into account losses in tires

Source: compiled by the authors.

Давление воздуха в шине, МПа	Силовой радиус колеса, м	Коэф- фициент сопротив- ления качению	Сила сопротивления качению для КТС, Н		Сила тяги на колесах			Потери силы тяги, □, □ %	
					подве- денная к колесам, Н	измеренная на стенде, Н			
P_w	r_{ko}	f	ΣF_{fj} (4×2)	ΣF_{fj} (4×4)	$\Sigma F_{к(подв)}$	$\Sigma F_{к(изм)}$ (4 ×2)	$\Sigma F_{к(изм)}$ (4 ×4)	(4 × 2)	(4 ×4)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,273	0,049	318	637	1477	1159	839	21,5	43,2
0,1	0,283	0,045	292	585	1435	1142	839	20,4	41,1
0,15	0,288	0,036	234	468	1400	1166	931	16,7	33,4
0,2	0,293	0,028	182	364	1376	1194	1011	13,2	26,5
0,25	0,296	0,019	123	247	1362	1239	1114	9,1	18,1
0,3	0,299	0,008	52	104	1348	1296	1244	3,9	7,7
0,35	0,3	0,007	46	91	1344	1298	1252	3,4	6,8

Таблица 2

Результаты реализации разработанной методики измерения тяговых параметров автомобиля с шинами Bridgestone 185/65 R14 с высотой протектора 3 мм с учетом потерь в шинах

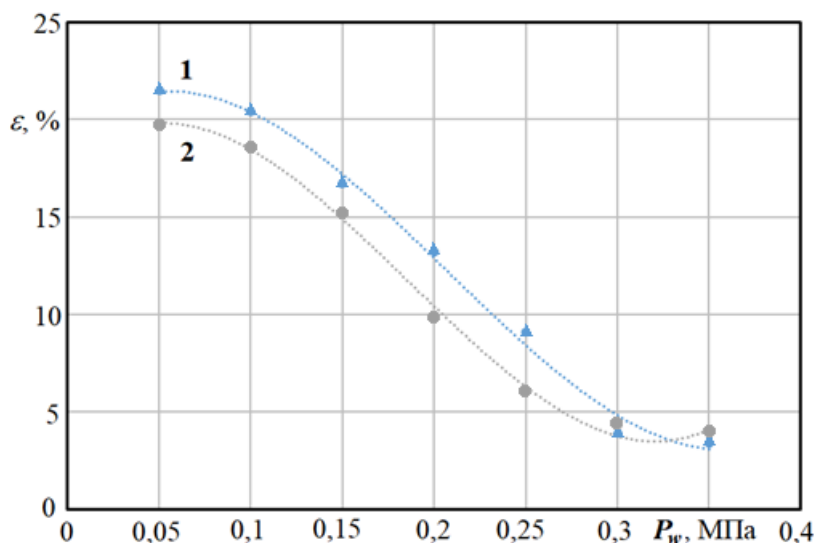
Источник: составлено авторами.

Table 2

The results of the implementation of the developed methodology for measuring the traction parameters of the car with Bridgestone 185/65 R14 tires with a tread height of 3 mm, taking into account losses in tires

Source: compiled by the authors.

Давление воздуха в шине, МПа	Силовой радиус колеса, м	Коэф- фициент сопротив- ления качению	Сила сопротивле - ния качению для КТС, Н Н		Сила тяги на колесах			Потери силы тяги, □, □ %	
					подведенная к колесам, Н	измеренная на стенде, Н			
P_w	$r_{ко}$	f	ΣF_{fj} (4×2)	ΣF_{fj} (4×4)	$\Sigma F_{K(подв)}$	$\Sigma F_{K(изм)}$ (4×2)	$\Sigma F_{K(изм)}$ (4×4)	(4×2)	(4×4)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,272	0,045	293	585	1482	1189	897	19,7	39,5
0,1	0,281	0,041	267	533	1434	1168	901	18,6	37,2
0,15	0,285	0,033	215	429	1414	1200	985	15,2	30,3
0,2	0,291	0,021	137	273	1385	1248	1112	9,9	19,7
0,25	0,293	0,013	85	169	1375	1291	1206	6,1	12,3
0,3	0,296	0,009	59	117	1361	1303	1244	4,3	8,6
0,35	0,299	0,008	52	104	1348	1296	1244	3,9	7,7



$$1 - \epsilon = 1333,3 \cdot P_w^3 - 827,1 \cdot P_w^2 + 79,7 \cdot P_w + 19,3; R^2 = 0,994;$$

$$2 - \epsilon = 1688,9 \cdot P_w^3 - 944,2 \cdot P_w^2 + 84,706 \cdot P_w + 17,7; R^2 = 0,997.$$

Рисунок 4 – График зависимости потерь силы тяги на сопротивление качению шин Bridgestone 185/65 R14 автомобиля с приводом на одну ось (4x2) от давления воздуха в них, при испытаниях на роликовых стендах: для высоты протектора шины 8 мм ▲ – эксперимент; – аппроксимация; для высоты протектора 3 мм ● – эксперимент; – аппроксимация. Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Graph of the dependence of the loss of traction force on the rolling resistance of Bridgestone 185/65 R14 tires of the car with a single-axle drive (4x2) on the air pressure in them, while testing on the roller stands: for a tire tread height of 8 mm ▲ – experiment; – approximation; for tread height of 3 mm ● – experiment; – approximation. Source: compiled by the authors.

При подведении к ведущим колесам момента ΣM_k , равного 403 Н·м, при нормальной нагрузке на колесо $G_k = 3250$ Н и варьировании давления воздуха в шинах, были получены значения силы тяги $\Sigma F_{k(\text{подв})}$, подведенной к ведущим колесам автомобиля, представленные в столбце 6 таблиц 1 и 2.

Если же подведенный к ведущим колесам КТС момент M_k неизвестен, то согласно классической теории автомобиля суммарная сила тяги, подведенная к этим колесам $\Sigma F_{k(\text{подв})}$, может быть определена согласно выражению

$$\Sigma F_{k(\text{подв})} = \Sigma F_{ki(\text{изм})} + \Sigma F_{fj}, \quad (4)$$

где $\Sigma F_{k(\text{подв})}$ – сила тяги, подведенная к ведущим колесам автомобиля, Н;

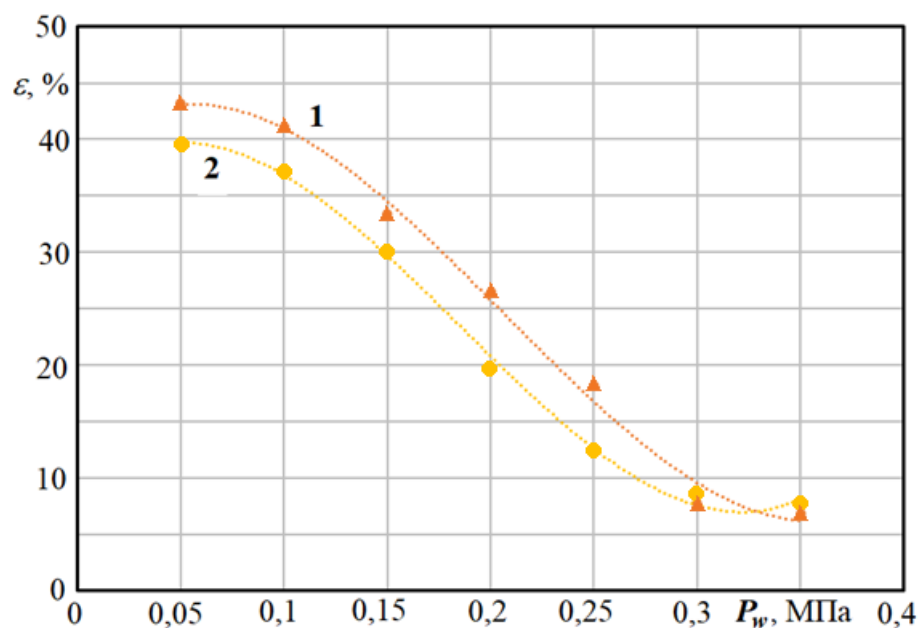
$\Sigma F_{ki(\text{изм})}$ – сила тяги, измеренная на ведущих колесах автомобиля, Н;

ΣF_{fj} – сила сопротивления качению, Н.

Подставив в выражение (4) значения измеренной силы тяги $F_{ki(\text{изм})}$ и сил сопротивления

качению ΣF_{fj} , определяли значения силы тяги $\Sigma F_{k(\text{подв})}$, подведенной к ведущим колесам КТС. Для автомобиля с высотой протектора шин 8 мм и приводом на одну ось (4 × 2) значения этого параметра представлены в столбце 7, а для полноприводного автомобиля (4 × 4) в 8-м столбце таблицы 1. Для автомобилей с шинами, имеющими высоту протектора 3 мм, эти результаты вынесены в аналогичные столбцы таблицы 2.

В столбце 9 таблицы 1 показаны значения измеренных на стенде потерь силы тяги на сопротивление качению колес с эластичными шинами по роликам стенда в % для автомобиля с приводом на одну ось (4 × 2). В столбце 10 – потери силы тяги для полноприводного автомобиля (4 × 4) для шин с остаточной высотой протектора 8 мм. В таблице 2 приведены результаты потерь силы тяги на ведущих колесах автомобиля с шинами, имеющими остаточную высоту протектора 3 мм.



$$1 - \epsilon = 2733,3 \cdot P_w^3 - 1690 \cdot P_w^2 + 163,5 \cdot P_w + 38,7; R^2 = 0,994;$$

$$2 - \epsilon = 3288,9 \cdot P_w^3 - 1833,3 \cdot P_w^2 + 159,2 \cdot P_w + 35,9; R^2 = 0,997.$$

Рисунок 5 – График зависимости потерь силы тяги на сопротивление качению шин Bridgestone 185/65 R14 автомобиля с полным приводом (4 x 4) от давления воздуха в них, при испытаниях на роликовых стендах: для высоты протектора шины 8 мм ▲ – эксперимент; – аппроксимация; для высоты протектора 3 мм ● – эксперимент; – аппроксимация
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Graph of the dependence of the loss of traction on the rolling resistance of Bridgestone 185/65 R14 tires of the car with all-wheel drive (4x4) on the air pressure in them, when tested on roller stands: for a tire tread height of 8 mm ▲ – experiment; – approximation; for tread heights of 3 mm ● – experiment; – approximation.
Source: compiled by the authors.

По результатам расчета был построен график (рисунок 4) зависимости потерь силы тяги на сопротивление качению колес с эластичными шинами по роликам стенда автомобиля с приводом на одну ось, от давления рабочего тела в шине, при испытании на роликовом стенде. Аналогичный график получен для автомобиля с полным приводом (4 × 4). Он представлен на рисунке 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из графиков (см. рисунки 2 и 3) видно, что с увеличением давления воздуха в шине влияние остаточной высоты протектора на потери силы тяги при качении по цилиндрическим роликам стендах значительно снижается. Влияние остаточной высоты протектора на силовые потери в шине минимальны при высоком

давлении воздуха в шине, 0,30 МПа и более.

Анализируя полученные результаты, можно наблюдать следующее: при нормативной величине давления воздуха в шинах КТС, равном 0,2 МПа, потери силы тяги на сопротивление качению шины по роликам стенда, для автомобиля с приводом на одну ось (4x2), снижаются с 13,2% (для остаточной высоты протектора 8 мм) до 9,9% (при высоте протектора 3 мм), что составляет изменение на 3,3%.

При давлении воздуха в шине 0,3 МПа эти потери значительно меньше. Они составляют 3,9% – для автомобилей с шинами, имеющими остаточную высоту протектора 8 мм, а для автомобилей с шинами, имеющими остаточную высоту протектора 3 мм потери на сопротивление качению шин составляют 4,3%. Изменение потерь в данном случае составляет 0,4%.

Наблюдая такие изменения, можно сказать, что при повышении давления до 0,3 МПа на данном типе шин влияние остаточной высоты протектора на потери силы тяги при испытаниях на роликовых стендах КТС можно минимизировать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования показывают, что давление рабочего тела в эластичных шинах значительно влияет на результаты измерений параметров тяговых свойств автомобилей при их испытаниях на роликовых стендах.

В зависимости от износа шин величина потерь силы тяги на сопротивление качению шин автомобилей категории М1 на роликовых стендах, при наиболее распространённом значении давления рабочего тела в шине, равного 0,2 МПа, составляет $9,9 \div 13,2\%$ – у автомобилей с колесной формулой 4×2 , а у автомобилей с колесной формулой 4×4 находится в интервале $19,7 \div 26,5\%$.

В зависимости от износа шин КТС категории М1 повышение давления рабочего тела в шине до 0,3 МПа (что составляет 150% от нормы) только на период диагностики на роликовом стенде позволяет уменьшить величину потерь силы тяги, затрачиваемую на сопротивление качению шин по опорной поверхности роликов на $3,9 \div 4,3\%$ – у автомобилей с колесной формулой 4×2 , а для полноприводного автомобиля с колесной формулой 4×4 на $7,7 \div 8,6\%$.

Увеличение давления рабочего тела в шине свыше 0,3 МПа не приводит к дальнейшему значительному снижению потерь силы тяги на сопротивление качению шин при измерении тяговых параметров КТС на роликовом стенде и, согласно результатам проведенных исследований, оптимальным давлением является давление, равное 150% от значений, установленных заводом-изготовителем.

Следует помнить, что все рекомендации по повышению давления рабочего тела в шине нужно соблюдать только на период диагностирования автомобиля на роликовом стенде, а по окончании диагностики, для дальнейшей эксплуатации КТС на дороге, давление в шине необходимо привести в норму, рекомендованную заводом-изготовителем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федотов А.И., Власов В.Г., Кривцов С.Н. Расчет скоростных потерь в шинах автомобиля в условиях эксплуатации // Автомобильная промышленность. 2012. № 9. С. 16–19.
2. Федотов А.И., Яньков О.С., Камнев А.В. О силовом радиусе колеса с эластичной шиной // Труды НАМИ. 2022. № 1(288). С. 52–60. DOI: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2022-1-52-60>
3. Котиев Г.О., Горелов В.А., Захаров А.Ю. Исследование динамики колесных машин на стенде с беговыми барабанами // Автомобильная промышленность. 2014. № 7. С. 9–12.
4. Балабина Т.А., Карелина М.Ю., Мамаев А.Н. Теоретические основы испытаний шин и трехосных полноприводных автомобилей на барабанных стендах: монография. М.: МАДИ, 2020. 76 с.
5. Дик А.Б. О радиусе эластичного колеса // Автомобильная промышленность. 2010. № 10. С. 21–30.
6. Мамаев А.Н., Арбузов В.И. Качение эластичного колеса по двум жестким барабанам // Автомобильная промышленность. 2012. №10. С. 19.
7. Федотов А.И., Власов В.Г., Яньков О.С., Камнев А.В. Расчет силы сопротивления качению эластичной шины по цилиндрическим поверхностям беговых барабанов стенда // Автомобильная промышленность. 2022. № 11. С. 26–31.
8. Камнев А.В., Федотов А.И., Яньков О.С. Влияние давления воздуха в шинах на силовые потери при качении колес автомобиля по опорным роликам стенда // Автомобильная промышленность. 2022. № 10. С. 28–32.
9. Федотов А.И., Бойко А.В., Яньков О.С., Марков А.С. Экспериментальное исследование радиуса качения колеса в ведомом режиме на роликовом стенде // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 1(108). С. 152–157.
10. Кривошапов С.И. Влияние конструкции стенда с беговыми барабанами на коэффициент сопротивления качению колеса автомобиля // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2014. № 4. С. 36–42.
11. Карабцев В.С. Методика определения коэффициентов аэродинамического сопротивления и сопротивления качению шин автопоезда в режиме выбега // Механика машин, механизмов и материалов. 2024. № 3(68). С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-3-68-21-27>
12. Pacejka H., Besselink I., Schmeitz A.J.C. An improved Magic Formula/Swift tyre model that can handle inflation pressure changes // Vehicle System Dynamics. 2010. 48 (sup1): 337–352. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423111003748088>.
13. Pasterkamp W.R., Pacejka H.B. The Tyre as a Sensor to Estimate Friction // Vehicle System Dynamics. 1997. No. 7, 27 (5). P. 409–422. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423119708969339>.
14. Клименко В.И., Шуклинов С.Н., Леонтьев Д.Н., Губин А.В. Анализ методов определения коэффициента сопротивления качению колёс автомобиля // Автомобильный транспорт (Харьков). 2020. № 46. С. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2020.46.0.33>
15. Мамаев А.Н., Карелина М.Ю., Балабин А.О. Качение эластичного колеса по жесткой поверхности

сти // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2024. № 1(76). С. 67–75.

16. Копотилов В.И. О физическом смысле коэффициента сопротивления качению ведущего колеса автомобиля // Автомобильная промышленность. 2013. № 1. С. 20–23.

17. Balabina T.A., Simonov D.S., Rogov V.R. [et al.] Determination of Power and Kinematic Wheel Parameters when Rolling against a Drum // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019, Cholpon-Ata, Vol. 832. BRISTOL: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012077. DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012077.

REFERENCES

1. Fedotov A.I., Vlasov V.G., Krivtsov S.N. Calculating of high-speed losses of automobile tires in exploitation conditions. *Avtomobilnaya promyshlennost'*. 2012; 9: 16-19. (in Russ.)

2. Fedotov A.I., Yan'kov O.S., Kamnev A.V. On the issue of the wheel power radius with an elastic tire. *Trudy NAMI*. 2022; (1): 52-60. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2022-1-52-60>

3. Kotiev G.O., Gorelov V.A., Zakharov A.Yu. Research of dynamics wheeled vehicles on the stand "roller". *Avtomobilnaya promyshlennost'*. 2014; 7: 9-12. (in Russ.)

4. Balabina T.A., Karelina M.Y., Mamaev A.N. *Theoretical foundations of tire testing and three-axle four-wheel drive vehicles on drum stands: monograph*. Moscow: MADI, 2020: 76. (in Russ.)

5. Dick A.B. On the radius of an elastic wheel. *Avtomobilnaya promyshlennost'*. 2010; 10: 21-30. (in Russ.)

6. Mamaev A.N., Arbuzov V.I. Rolling of elastic wheel on two hard drums. *Avtomobilnaya promyshlennost'*. 2012; 10: 19. (in Russ.)

7. Fedotov A.I., Vlasov V.G., Yankov O.S., Kamnev A.V. Calculation of the rolling resistance force of an elastic tire on the cylindrical surfaces of the running drums of the stand. *Avtomobilnaya promyshlennost'*. 2022; 11: 26-31. (in Russ.)

8. Kamnev A.V., Fedotov A.I., Yankov O.S. The effect of tire air pressure on power losses when the car wheels are rolling on the support rollers of the stand. *Avtomobilnaya promyshlennost'*. 2022; 10: 28-32. (in Russ.)

9. Fedotov A.I., Boyko A.V., Yankov O.S., Markov A.S. Experimental study of the wheel rolling radius in a slave mode on a roller test bench. «Proceedings of Irkutsk State Technical University» (*Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*). 2016; 1(108): 152-157. (in Russ.)

10. Krivoshapov S.I., The influence of the design of a stand with running drums on the coefficient of rolling resistance of a car wheel. *Vestnik Doneckoj akademii avtomobil'nogo transporta*. 2014; 4: 36-42. (in Russ.)

11. Karabtsev V.S. Methodology for determining the coefficients of aerodynamic drag and rolling resistance of road train tires in coasting mode. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2024; 3(68): 21-27. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-3-68-21-27>

12. Pacejka H., Besselink I., Schmeitz A.J.C. An improved Magic Formula/Swift tyre model that can handle inflation pressure changes. *Vehicle System Dynamics*. 2010; 48 (sup1): 337–352. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423111003748088>

13. Pasterkamp W.R., Pacejka H.B. The Tyre as a Sensor to Estimate Friction. *Vehicle System Dynamics*. 1997; 7, 27 (5): 409–422. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423119708969339>.

14. Klimenko V.I., Shuklinov S.N., Leontiev D.N., Gubin A.V. Analysing the methods for determining coefficient of resistance to car wheels rolling. *Automobile transport (Kharkov)*. 2020; 46: 33-39. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2020.46.0.33>

15. Mamaev A.N., Karelina M.Y., Balabin A.O. Rolling of an elastic wheel on a hard surface. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta (gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*. 2024; 1(76): 67-75. (In Russ.)

16. Kopotilov V.I. On the physical meaning of the coefficient of rolling resistance of the driving wheel of a car. *Avtomobilnaya promyshlennost'*. 2013; 1: 20-23. (In Russ.)

17. Balabina T.A., Simonov D.S., Rogov V.R. [et al.] Determination of Power and Kinematic Wheel Parameters when Rolling against a Drum. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019, Cholpon-Ata, November 01, 2019. Vol. 832. BRISTOL: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012077. DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012077.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Федотов А.И. Научный руководитель, консультант, подготовка текста статьи.

Яньков О.С. Общая организация. Разработка методик экспериментальных исследований, обработка и анализ результатов исследования, подготовка текста статьи.

Камнев А.В. Оформление рисунков и описание их, подготовка текста статьи, выполнение экспериментальных и аналитических исследований.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

A.I. Fedotov Scientific supervising, consulting, writing the manuscript.

O.S. Yankov General organization, development of the experimental methods, research data processing and analysis, text writing.

A.V. Kamnev Design of graphs and diagrams and its description, writing the manuscript, experiment performance, data analysis.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федотов Александр Иванович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83).

ORCID: 0009-0002-8329-6785,

SPIN-код: 1342-4073,

Scopus Author ID: 56341065000,

Researcher ID: AAZ-7059-2021,

e-mail: fai.abs@yandex.ru

Яньков Олег Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83).

ORCID: 0000-0001-6709-4820,

SPIN-код: 3127-7106,

Scopus Author ID: 57212165852,

Researcher ID: AAG-5898-2022,

e-mail: yos913005@mail.ru

Камнев Алексей Васильевич – старший преподаватель кафедры «Машиностроения и транспорта» Братского государственного университета (665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40).

ORCID: 0009-0001-6053-9441,

SPIN-код: 5248-2430,

e-mail: dadestone@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander I. Fedotov – Dr. of Sci. (Eng.), Professor, Head of the Automobile Transport Department, Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov Street, Irkutsk, 664074).

ORCID: 0009-0002-8329-6785,

SPIN-code: 1342-4073,

Scopus Author ID: 56341065000,

Researcher ID: AAZ-7059-2021,

e-mail: fai.abs@yandex.ru

Oleg S. Yankov – Cand. of Sci. (Eng.), Associate Professor, Automobile Transport Department, Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov Street, Irkutsk, 664074).

ORCID: 0000-0001-6709-4820,

SPIN-code: 3127-7106,

Scopus Author ID: 57212165852,

Researcher ID: AAG-5898-2022,

e-mail: yos913005@mail.ru

Aleksey V. Kamnev – Senior Lecturer, Machine Building and Transport Department, Bratsk State University (40, Makarenko Street, Bratsk, 665730).

ORCID: 0009-0001-6053-9441,

SPIN-code: 5248-2430,

e-mail: dadestone@yandex.ru