

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2025, Том 12, № 1 / 2025, Vol. 12, Iss. 1 <https://t-s.today/issue-1-2025.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/08SATS125.pdf>

DOI: 10.15862/08SATS125 (<https://doi.org/10.15862/08SATS125>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

УДК 625.76

Влияние конструкции автомобильных шин на нормирование воздействия расчетной нагрузки на дорожные одежды. Эволюция норм в России

Ермошин Н.А., Симчук А.Е.

ФГУОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Симчук Алексей Евгеньевич, e-mail: alexsimchuk@bk.ru

Аннотация. Современные грузовые автомобили, эксплуатируемые на дорогах общего пользования, оснащаются радиальными или комбинированными шинами, конструкция которых предполагает применение металлокорда и более высокие параметры внутреннего давления воздуха. Эти изменения приводят к значительному уменьшению площади пятна контакта и изменению его формы, что требует совершенствования методик расчета нежестких дорожных конструкций.

В данной статье проведен анализ отечественных нормативных документов, использовавшихся в разные периоды для проектирования дорожных одежд. Особое внимание авторами уделено вопросам определения и учета расчетных параметров статического и динамического нагружения автомобильного транспорта. Рассмотрены изменения в нормативной базе, их влияние на проектные решения и практическое применение. Проанализированы требования к нагрузкам

на дорожные конструкции, их эволюция и соответствие современным условиям эксплуатации. Отмечены различия в подходах к расчетам в разные периоды, выявлены тенденции развития нормативных требований, а также выявлены их недостатки. Полученные выводы указывают на целесообразность выполнения цикла натурных испытаний шин под реальными осевыми нагрузками в полевых условиях и определению реальных параметров воздействия на дорожную одежду с целью дальнейшего моделирования параметров напряженно-деформируемого состояния конструкций и расчета конструкций дорожных одежд.

Ключевые слова: асфальтобетон; расчетная нагрузка; давление в шинах; проектирование дорожных одежд; автомобильные шины; нормативные документы; статическое и динамическое нагружение

Influence of automobile tire design on the standardization of the effect of design loads on road pavements. The evolution of standards in Russia

Nikolai A. Ermoshin, Aleksei E. Simchuk

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: Aleksei E. Simchuk, e-mail: alexsimchuk@bk.ru

Abstract. Modern trucks operated on public roads are equipped with radial or combined tires, the design of which involves the use of steel cord and higher parameters of internal air pressure. These changes lead to a significant reduction in the contact patch area and a change in its shape, which requires improvement in the methods for calculating flexible road structures.

This article analyzes domestic regulatory documents used in different periods for the design of road pavements. The authors pay special attention to the issues of determining and accounting for the design parameters of static and dynamic loading of vehicle transport. Changes in the regulatory framework, their influence on design solutions and practical application are considered. The requirements for loads on road structures, their evolution

and compliance with modern operating conditions are analyzed. Differences in calculation approaches in different periods are noted, trends in the development of regulatory requirements are identified, and their shortcomings are revealed. The conclusions obtained indicate the advisability of conducting a cycle of field tests of tires under real axle loads in field conditions and determining the real parameters of impact on the road pavement for further modeling of the parameters of the stress-strain state of structures and the calculation of road pavement structures.

Keywords: asphalt concrete; design load; tire pressure; road pavement design; automobile tires; regulatory documents; static and dynamic loading

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons "Attribution" («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons "Attribution" 4.0 Global License



Введение

Introduction

Эволюция конструктивных особенностей грузовых автомобильных шин оказывает значительное влияние на расчет и проектирование нежестких дорожных одежд. В отечественной практике учета воздействия колес транспортных средств на дорожные конструкции заметно различие между требованиями и методиками, разработанными в разные периоды. Так, в середине 1980-х годов, грузовые автомобили оснащались диагональными шинами с текстильным кордом, отличавшимися значительной жесткостью борта и относительно низким внутренним давлением воздуха (0,6–0,65 МПа). Эти характеристики определяли контактное давление на уровне 6,12–6,63 кгс/см², что существенно влияло на размер пятна контакта и контактное давление шин на покрытие дорожной одежды [1].

Современные грузовые автомобили, эксплуатируемые на дорогах общего пользования, оснащаются радиальными или комбинированными шинами, конструкция которых предполагает применение металлокорда и более высокие параметры внутреннего давления воздуха (0,8–1,0 МПа). Эти изменения приводят к значительному уменьшению площади пятна контакта и изменению его формы, что требует совершенствования методик расчета нежестких дорожных конструкций [2–5].

Основная часть

Main part

Анализ отечественной практики в области нормирования воздействия расчетной нагрузки на дорожные одежды

Analysis of domestic practice in the field of regulation the impact of design load on pavements

В отечественной практике проектирования и строительства автомобильных дорог [6–10] первые нормативы расчётной нагрузки были сформулированы в середине 1950-х годов и закреплены в СНиП II-Д.5-62¹ и НИТУ 128-55.²

¹ СНиП II-Д.5-62 «Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги общей сети Союза ССР. Часть III, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, Москва 1964 г.

² НИТУ 128-55 «Нормы и технические условия проектирования автомобильных дорог», утверждены Госстроем СССР 02.08.1955, М, 1955.

Согласно СНиП II-Д.5-62, толщины конструктивных слоёв нежестких дорожных одежд определялись по допускаемым деформациям, принимая во внимание давление и площадь передачи нагрузки колёсами расчётного автомобиля, приведённой к площади эквивалентного круга. В соответствии с НИТУ 128-55, удельное давление колеса расчётного автомобиля составляло 5 кг/см^2 , диаметр эквивалентного круга — 34 см , площадь контакта колеса — 908 см^2 , а нагрузка на колесо — $4,54 \text{ т}$, что эквивалентно нормативной осевой нагрузке в 9 т .

Следует отметить, что в 1950–1960-х годах грузовые шины имели диагональную конструкцию с нормативным внутренним давлением воздуха в камере $0,6 \text{ МПа}$ и были рассчитаны на скорости не более 80 км/ч . Кроме того, согласно стандарту ГОСТ 9314-59³, автомобили, полуприцепы и прицепы с полной массой более $1,5 \text{ т}$ разделялись на две группы. Для группы А (пассажирские и грузовые перевозки по автомагистралям с осевой нагрузкой до 10 т) допускалось среднее удельное давление на дорожное покрытие до $6,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,64 \text{ МПа}$). Для группы Б (эксплуатация на всех автомобильных дорогах общей сети с осевой нагрузкой до 6 т) максимальное давление составляло $5,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,54 \text{ МПа}$).

Позже был разработан ВСН 46-60⁴, в котором приводились характеристики 11 моделей грузовых автомобилей, включая типоразмеры шин, давление воздуха, площадь следа колеса и давление на дорожное покрытие. Удельное давление варьировалось от $3,9$ до 6 кгс/см^2 ($0,38$ – $0,59 \text{ МПа}$), причём расчётное давление на покрытие определялось исходя из нормативного давления в шинах, увеличенного на 10% для учёта их жёсткости, которое было назначено без должных расчётных обоснований.

Спустя 12 лет после утверждения ВСН 46-60 совместными усилиями Ленинградского филиала Союздорнии и МАДИ были разработаны ВСН 46-72⁵.

С разработки данного документа в отечественной практике расчет нежестких дорожных одежд стал выполняться, основываясь на положениях теории упругости для упрощенной модели дорожных одежд (однослойная и двухслойная конструкция). В качестве расчетных характеристик, определяющих несущую способность материалов и конструкций стали использоваться модули упругости, в отличие от ранее применявшихся модулей деформации.

³ ГОСТ 9314-59 «Автомобили и автопоезда: весовые параметры и габариты», п. 5 стр. 2, Московский печатник, М., 1960 г.

⁴ ВСН 46-60 «Инструкция по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа», табл. 2 стр. 12, Научно-техническое издательство Министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог РСФСР, М. 1961.

⁵ ВСН 46-72 «Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа», изд. «Транспорт», М. 1972.

Расчет общего требуемого модуля упругости дорожной одежды, а также напряжений и деформаций в конструкции по критериям прочности как общий прогиб дорожной одежды, изгиб монолитных слоев основания, сдвиг в грунте рабочего слоя земляного полотна и дополнительном слое основания из песка или песчано-гравийной смеси, выполнялся с учетом следующих расчетных параметров нагружения автомобиля:

- удельного давления (принимаемого равным давлению в колесе автомобиля);
- диаметру круга, равновеликого площади контакта сдвоенного колеса расчетного автомобиля.

В следующем нормативном документе ВСН 46-83⁶, отличием от ранее действующих документов стал учет статического и динамического отпечатка колеса на покрытии. Согласно положениям этого документа в качестве параметров, характеризующих размер и повторяемость воздействия нагрузок от автомобилей и других транспортных средств на дорожную одежду, следует при проектировании учитывать воздействие:

- а) неподвижного транспортного средства — для этого пользоваться средним расчётным давлением p (в мегапаскалях) колеса на покрытие, расчетным диаметром D_H (в сантиметрах) круга, равновеликого следу колеса неподвижного автомобиля;
- б) движущегося транспортного средства — для этого пользоваться давлением p (в мегапаскалях), расчетным диаметром D_t (в сантиметрах) следа колеса движущегося автомобиля, а также приведенной расчётной интенсивностью N_p (в единицах в сутки) воздействия нагрузки.

После выхода документа специалистами ГУП «Союздорнии» с участием С.-Петербургского филиала «Союздорнии», Омского филиала «Союздорнии», МАДИ (ТУ), ГП «Росдорнии», были разработаны новые нормы и указания по конструированию и расчёту нежестких одежд автомобильных дорог общей сети — СНиП 2.05.02-85⁷, где за расчётную нагрузку допускалось принимать, соответствующую расчётному автомобилю группы А, представленной в таблице по этому нормативного документа.

Необходимо отметить, что расчётные параметры нагрузки A_1 и A_2 в отношении давления колеса на поверхность (p) и диаметра следа колеса (как в статике, так и в динамике), приведённые в таблице по СНиП 2.05.02-85, полностью соответствуют аналогичным параметрам,

⁶ ВСН 46-83 «Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа», Приложение 1, табл. 1, изд. М.: Транспорт, 1985 год.

⁷ СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги. Строительные нормы и правила. Утверждены постановлением Госстроя СССР 17.12.1985 за № 233.

приведённым в таблице из ВСН 46-83. Исключение составляет лишь вновь введённое значение диаметра следа колеса для увеличенной нормативной нагрузки 130 кН.

Таким образом, следует отметить, что за 25-летний период между разработкой ВСН 46-60⁴ и СНиП 2.05.02-85 существенных изменений в отношении параметров воздействия расчётного колеса с дорожными покрытиями практически не наблюдается. Между тем, как за этот же период времени нормативы осевых нагрузок существенно увеличились, а конструкция, эксплуатационные свойства и рабочие параметры давления воздуха в пневматических автомобильных шинах, применяемых для транспортных перевозок, принципиально изменились.

В 2001 году взамен ВСН 46-83⁶ принимаются ОДН 218.046-01.⁸

Согласно этому документу, дорожные одежды автомобильных дорог и городских улиц необходимо рассчитывать с учетом состава и интенсивности перспективного движения, ожидаемого на последний год службы перед капитальным ремонтом. При этом методика оценки прочности конструкции основывалась на принципах, заложенных в ВСН 46-72⁵ и ВСН 46-83⁶ и включала как оценку прочности конструкции в целом (с использованием эмпирической зависимости допускаемого упругого прогиба от числа приложений нагрузки), так и оценку прочности с учетом напряжений, возникающих в отдельных конструктивных слоях и устанавливаемых с использованием решений теории упругости.

В задачу расчета на прочность входило определение толщин слоев одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или выбор материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев. Причем, как и в ВСН 46-83 дорожные одежды на перегонах дорог следовало рассчитывать на кратковременное многократное действие подвижных нагрузок. Такой расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба и выполнялся на основе зависимости требуемого общего модуля упругости конструкции от суммарного числа приложений нагрузки. При этом, напряжения в конструктивных слоях и в подстилающем грунте от воздействия транспортной нагрузки вычислялись по формулам теории упругости для слоистой среды, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой через гибкий круглый штамп диаметром (D), равный пятну контакта расченного колеса с покрытием и передающий равномерно распределенную нагрузку величиной (p), равной давлению воздуха в шинах. Причем диаметр расчётного отпечатка шины (штампа) D предлагалось определять по зависимости (1):

⁸ ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст]. — Введ. 01.01.2001. — М.: ФГБУ Информавтодор 2001. 148 с.

$$D = \sqrt{\frac{40 \cdot Q_{\text{расч}}}{\pi \cdot p}}, \text{ см,} \quad (1)$$

где:

$Q_{\text{расч}}$ — расчетная величина нагрузки, передаваемой колесом на поверхность покрытия, кН;

p — давление, Мпа.

Как и в более ранних документах при проектировании дорожных одежд в качестве расчетных принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля, что в принципе не отличается от расчетной схемы, сформулированной в 1950-х годах.

Дальнейший учёт нормативных статических нагрузок, предполагалось выполнять с помощью изменений диаметров пятна контакта движущегося колеса (37, 39 и 42 см, соответственно) с корректировкой толщины каждого конструктивного слоя дорожной одежды (h) по соотношению h/D , т. е. чем выше нагрузка, тем больше диаметр пятна контакта расчётного колеса с покрытием, тем более капитальная конструкция необходима по условиям допустимого упругого прогиба. Данный подход логичен и взаимосвязан с расчетными параметрами, за исключением того, что параметры контактного давления и давления воздуха в шине расчётного колеса, а также геометрия пятна его контакта с дорожным покрытием не соответствовали реальным параметрам пневматических шин. Так, например, увеличение площади пятна контакта почти на 30 % под действием расчётной нагрузки 130 кН практически невозможно, так как повлечёт за собой сверхнормативный рост коэффициента сопротивления качению колеса, из учебника проф. А.К. Бируля [1] следует, что сопротивление качению определяют по формуле:

$$f = f_0 \times [1 + 0,01(V - 50)],$$

где:

f_0 табличное значение, параметры которого уже в тот период были чётко регламентированы Правилами ЕЭК ООН и основными нормативно-техническими документами шинной промышленности РФ (табл. 1).

Следствием этих несоответствий в учёте возрастающих транспортных нагрузок, как отмечали ведущие профильные специалисты, стали интенсивный износ и чрезмерные разрушения дорожных покрытий [8–11].

В 2007 году утвержден ГОСТ Р 52748-2007.⁹

⁹ ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения», официальное издание М.: Стандартиформ, 2008.

Параметры нормативной нагрузки от автотранспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования (нагрузка АК) были классифицированы следующим образом:

- для автомобильных дорог категорий IA, IB, IB, II — 11,5 К (115 кН);
- для автомобильных дорог категорий III и IV — 10,0 К (100 кН);
- автомобильных дорог категории V — 6,0 К (кН).

Таблица 1 / Table 1

**Предельные значения коэффициента
сопротивления качению грузовых пневматических шин**

Limit values of rolling resistance coefficient of cargo pneumatic tyres

Тип конструкции и корда шины <i>Type of tyre construction and tyre tire</i>	Допустимое значение коэффициента сопротивления качению, не более <i>Permissible value of rolling resistance coefficient, max</i>
Диагональная <i>Diagonal</i>	0,0160
Радиальная комбинированная <i>Radial combined</i>	0,0130
Радиальная цельнометаллокордная <i>All-metal cord radial</i>	0,0095

n. n. 5.2.9 ГОСТ 5513-97¹⁰ / clause 5.2.9 of GOST 5513-97¹³

При этом, для всех классов нагрузок расчётный диаметр круга, равновелик следу отпечатка колеса в статическом положении, должен быть равен 0,34 м, в движении — 0,39 м (т. е. площадь пятна контакта составляла 1 200 см²), что, вероятно, не отражает реалии физических процессов деформативности пневматических шин при качении под нагрузкой. Принципиальная схема нормативной нагрузки от автотранспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования по ГОСТ Р 52748-2007⁹ представлена на рисунке 1.

Пятно контакта расчётного колеса под нагрузкой 10 кН, представленного на рисунке 1 имеет форму прямоугольника с размерами 0,6×0,2 м. Таким образом площадь контакта каждого расчётного колеса с поверхностью дорожного покрытия составляла 1 200 см², что соответствовало площади круга с вышеуказанным нормативным значение диаметра 39 см. Однако, о нормативах контактного давления расчётного колеса с покрытием автомобильной дороги в этом стандарте не упоминалось.

Необходимо отметить, что в теории упругости контур отпечатка шин на поверхности дорожного покрытия для расчетов при проектировании условно принимается в форме круга. По мнению ведущих специалистов отрасли [19] такой подход значительно упрощает вычисление напряжений и деформаций как функции трёх координат точки приложения нагрузки,

¹⁰ ГОСТ 5513-97 Шины пневматические для грузовых автомобилей, прицепов к ним, автобусов и троллейбусов. Технические условия» (с Изменением N 1).

так как в условиях нормального нагружения (т. е. вертикально, симметрично оси Z) число аргументов функции уменьшается до двух и интегралы выражения напряжений и деформаций становятся однократными. В связи с этим, стремление проектировщиков упростить расчеты достигается простым решением — заменой отпечатков двух скатных колёс (применяемых для реальных перевозок под нагрузками 90–130 кН) на одну круговую площадку.

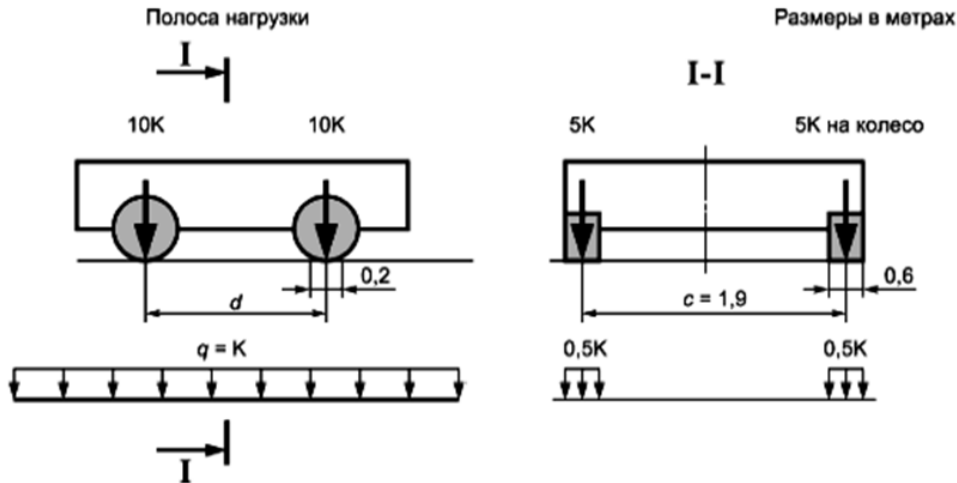


Рисунок 1. Принципиальная расчетная схема нагружения (источник — ГОСТ Р 52748-2007)

Figure 1. Principal design scheme of loading (according to GOST R 52748-2007)

В сентябре 2014 года утвержден ГОСТ 32960-2014.¹¹ Нормативные нагрузки K для нормативной нагрузки АК и величины контактного давления (p) шины на покрытие автомобильной дороги, которые следовало применять при расчётах дорожных одежд, представлены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Класс нагрузки K для нормативной нагрузки АК и величина давления
Load class K for АК regulatory load and pressure value

Тип дорожной одежды <i>Type of pavement</i>	Значение нагрузки АК (тс) <i>Load value of the AC (vehicle)</i>	Величина контактного давления (МПа) <i>Contact pressure value (MPa)</i>
Капитальный <i>Capital</i>	11,5	0,8
Переходный <i>Transitional</i>	10,0	0,6
Облегчённый <i>Lightweight</i>		

Источник — ГОСТ 32960-2014 / According to GOST 32960-2014

Принципиальная схема нормативной нагрузки от автотранспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования по этому нормативному документу представлена на рисунке 2.

¹¹ ГОСТ 32960-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения», официальное издание М.: Стандартиформ, 2016.

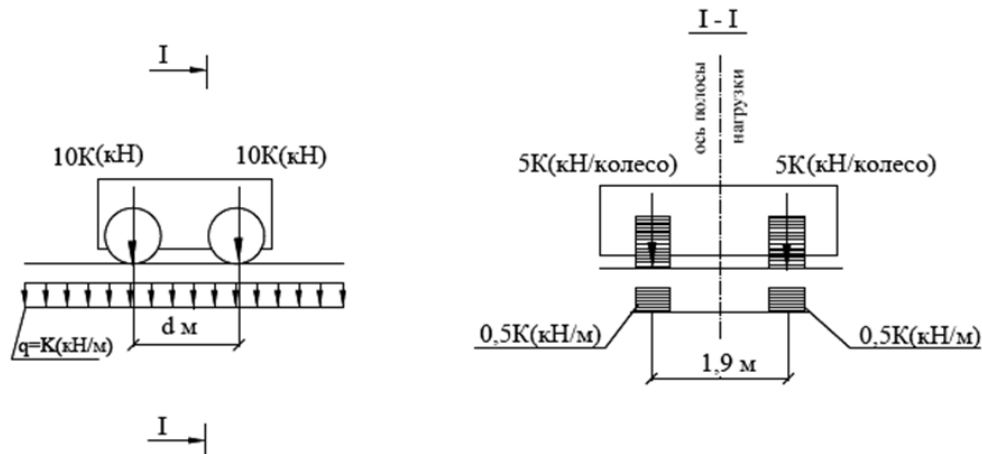


Рисунок 2. Схема нормативных нагрузок для расчёта дорожной одежды, земляного полотна, подпорных стен и мостовых сооружений (источник — ГОСТ 32960)

Figure 2. Scheme of regulatory loads for calculation of pavement, earth bed, retaining walls and bridge structures (according to GOST 32960)

При сравнении требований ГОСТ 32960¹¹ и ОДМ 218.2.065-2015¹² выявилось, что при разработке первого исключены все требования по геометрическим параметрам зоны контакта расчётного колеса с дорожным покрытием, но впервые в практике отечественного проектирования введены два норматива контактного давления в зависимости от капитальности дорожной одежды:

- 0,6 МПа (аналогично нагрузке для автомобилей и автобусов группа А по ВСН 46-83⁶, ОД 218.046⁸ и более ранних документов);
- 0,8 МПа для капитальных дорожных покрытий (впервые в отечественной практике).

Требования по ГОСТ 32960¹¹, регламентирующие автомобильную колёсную нагрузку АК с величиной давления на колесо 0,8 МПа для автомобильных дорог с капитальными дорожными одеждами, стали использоваться при проектировании, строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог общего пользования и применяются по настоящее время.

В 2016 году утвержден ОДМ 218.2.065-2015¹², в котором диаметр отпечатка колеса расчётной оси учитывался в зависимости от длительности действия транспортной нагрузки, т. е. вариативность этого параметра предлагалось связать со скоростью движения расчётного автомобиля.

Предлагаемые в ОДМ параметры диаметра отпечатка колеса представлены в таблице 3.

¹² ОДМ 218.2.065-2015 «Методические рекомендации по увеличению межремонтных сроков службы нежёстких дорожных одежд».

Таблица 3 / Table 3

Значения расчётного диаметра отпечатка колеса
Values of calculated wheel print diameter

Нормативная статическая осевая нагрузка, кН <i>Regulatory static axial load, kN</i>	Расчётный диаметр отпечатка колеса, см, при длительности действия нагрузки, с <i>Design diameter of wheel impression, cm, at duration of load action, s</i>			
	0,1	1	10	600
100	37	35	33	33
115	39	36	34	34

Источник — ОДМ 218.2.065-2015 / According to ODM 218.2.065-2015

Необходимо отметить, что значения расчётного диаметра отпечатка колеса при длительности действия нагрузки 0,1 с (37 см для нагрузки 100 кН, и 39 см для нагрузки 115 кН) соответствуют значению диаметра пятна контакта для движущегося колеса (Дд), а значение расчётного диаметра отпечатка колеса при длительности действия нагрузки 10 и 600 с (33 см — для нагрузки 100 кН, и 34 см — для нагрузки 115 кН) полностью совпадают с аналогичными параметрами для неподвижного колеса. Промежуточные значения приняты для времени действия нагрузки 1 с. Предложений по изменению давления в пятне контакта расчётного колеса с дорожным покрытием, в связи с изменением параметров отпечатка колеса представлено не было.

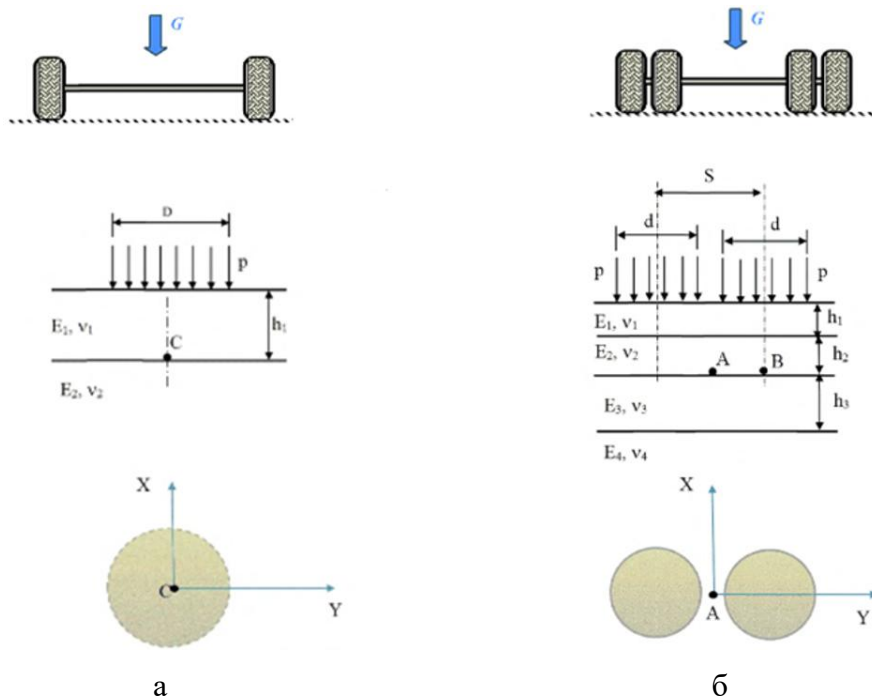
Также в 2016 г. утверждается ОДМ 218.2.062-2015¹³, в котором расчёты дорожных одежд предлагалось проводить по выбору заказчика по двум схемам нагружения, представленным на рисунке 3. При этом расчётное среднее давление на покрытие (р) расчётного колеса предлагалось принимать 0,8 МПа при нагрузке 115 кН для дорожных одежд капитального и облегчённого типов, и 0,6 МПа при нагрузке 100 кН для дорожных одежд переходного типа, что не вполне соответствовало требованиям, вышеуказанным в таблице 3.

Впервые в ОДМ 218.2.062¹³ в отечественных нормативно-технических документах были представлены схемы для учета воздействия двускатного колеса автомобиля, однако представленная методика учета двускатного колеса на данный момент не нашла широкого применения в отечественной системе проектирования.

Важно отметить, что нормативные значения параметров пятна контакта расчётного колеса с дорожным покрытием по варианту Б (двухскатное колесо) равнозначны, как для статических, так и для динамических условий. Такой подход, очевидно, более точно отражает реальные характеристики современных грузовых пневматических целико-металлокордной конструкции (ЦМК) шин. В тоже время,

¹³ ОДМ 218.2.062-2015 «Рекомендации по определению параметров расчетных нагрузок для современных транспортных средств».

приведённые в таблице 4 формулы для расчёта диаметра пятна контакта по обоим вариантам А и Б очевидно имеют опечатку и не соответствуют ранее приведённой зависимости по ОДН 218.046-01.⁸



E — модуль упругости слоя; V — коэффициент поперечной деформации; h — толщина слоя; p — среднее давление на покрытие; A, B, C — точки, в которых определяется напряжение; X — направление движения автомобиля; d — диаметр $S = 1,5d$ — расстояние между центрами круговых площадок

E — modulus of elasticity of the layer; V — coefficient of transverse deformation; h — layer thickness; p — average coating pressure; A, B, C — points at which voltage is determined; X — direction of vehicle movement; d — diameter $S = 1,5d$ — distance between the centers of the circular areas

Рисунок 3. Схемы нагружения для расчетов дорожных одежд:

- a* — упрощённая схема нагружения дорожной одежды, приведённой к двухслойной конструкции для расчётов по построенным для них номограммам вариант;
- б* — схема нагружения реальной многослойной дорожной одежды двухкатным колесом (источник ОДМ 218.2.062-2015)

Figure 3. Loading schemes for pavement calculations: *a* — simplified diagram of loading of road surface reduced to a two-layer structure for calculations according to nomograms constructed for them option; *b* — diagram of loading of a real multi-layer road surface with a dual-wheel (according to ODM 218.2.062-2015)

В 2018 г. в развитие отечественной методики проектирования нежестких дорожных одежд и с учётом основных принципов, заложенных в действовавших ранее нормативных документах, был разработан предварительный национальный стандарт ПНСТ 265-2018.¹⁴

Согласно п. 8.1.1 этого документа расчёт нежестких дорожных одежд следует выполнять на нормативную нагрузку от одного колеса нагрузки АК согласно ГОСТ 32960¹¹, значения которых представлены в таблице 5.

¹⁴ ПНСТ 265-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд.

Таблица 4 / Table 4

Нормативные значения расчётных параметров нагрузки по ОДМ 218.2.062
Regulatory values of design parameters of load according to ODM 218.2.062

Нормативный параметр <i>Regulatory parameter</i>	Усл. обознач. <i>Specific designation</i>	Ед. изм. <i>Unit</i>	Значение параметра для расчета дорожных одежд по вариантам <i>Parameter value for calculation of pavements by variants</i>			
			Вариант А (одна круговая площадка) <i>Option A (one roundabout)</i>		Вариант Б (две круговые площадки) <i>Option B (two roundabouts)</i>	
			для покрытия капитального и облегчённого типов <i>for permanent and light-duty pavements</i>	для покрытия переходного типа <i>for semiprepared pavements</i>	для покрытия капитального и облегчённого типов <i>for permanent and light-duty pavements</i>	для покрытия переходного типа <i>for semiprepared pavements</i>
Расчетная статическая нагрузка на колесо <i>Design static wheel load</i>	$Q_{cm\ p}$	кН	57,5	50,0	57,5	50,0
Расчетное давление в пятне контакта неподвижного колеса <i>Design pressure in the contact patch of the stationary wheel</i>	p	кПа	0,8	0,6	0,8	0,6
Коэффициент динамичности <i>Dynamism coefficient</i>	k_d	-	1,3	1,3	1,3	1,3
Формула расчёта динамического диаметра пятна контакта <i>Formula for calculating the dynamic diameter of the contact patch</i>			$D = \sqrt{\frac{4Q_{cm\ p}k_d}{\pi p}}$		$d = \sqrt{\frac{2Q_{cm\ p}k_d}{\pi p}}$	
Расчётный диаметр круговой площадки нагружения: статический/динамический <i>Calculation diameter of the circular loading area: static/dynamic</i>	D	м	0,300/0,345		0,244	
Расстояние между центрами круговых площадок <i>Distance between the centres of the circular areas</i>	S	м	-		0,360	

Проанализировав таблицу 5 можно сделать вывод, что параметры воздействия колеса автомобиля для нагрузки 100 кН совпадают со значениями для аналогичной нагрузки из ОДН 218.046-01⁸, а для нагрузки 115 кН приведены значения давления из ГОСТ 32960 и параметры колеса, рассчитанные по формуле, аналогичной представленным в ранее действовавших нормативных документах.

В связи завершением срока действия ПНСТ 265 с учетом опыта его применения был разработан ПНСТ 542-2021.¹⁵ Нормативные требования в отношении расчетных нагрузок этого документа представлены в таблице 6.

¹⁵ ПНСТ 542-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования [Текст]. — Введ. 08.05.2021. — М.: Стандартинформ 2021. 151 с.

Таблица 5 / Table 5

Расчетные параметры нагрузок
Calculation parameters of loads

Группа расчётной нагрузки <i>Design load group</i>	Нормативная статическая нагрузка, кН <i>Regulatory static load, kN</i>		Расчетные параметры нагрузки <i>Calculated load parameters</i>	
	на ось <i>per axle</i>	на колесо <i>per wheel</i>	Давление на покрытие p , МПа <i>Coating pressure p, MPa</i>	Диаметр $D_d/D_{ст}$, См <i>Diameter D_d/D_{cm}, cm</i>
A-10	100	50,0	0,6	37/33*
A-11,5	115	57,5	0,8	34/30

В числителе приведён диаметр пятна контакта D_d для движущегося колеса, в знаменателе $D_{ст}$ — для неподвижного колеса. Источник — ПНСТ 265-2018 / In the numerator the diameter of the contact patch D_d is given for a moving wheel, in the denominator D_{cm} — for a stationary wheel. According to PNST 265-2018

При сравнение нормативных значений, указанных в таблицах 5 и 6, можно сделать вывод, что различия затронули лишь параметры расчётных статического и динамического диаметров пятна контакта расчётного колеса с дорожным покрытием. Причем нормативные значения этих параметров по ПНСТ 542 незначительно увеличены по сравнению с требованиями ПНСТ 265.

Таблица 6 / Table 6

Расчётные параметры нагрузок
Estimated load parameters

Группа расчётной нагрузки <i>Design load group</i>	Нормативная статическая нагрузка, кН <i>Regulatory static load, kN</i>		Расчетные параметры нагрузки <i>Calculated load parameters</i>	
	на ось <i>per axle</i>	на колесо <i>per wheel</i>	Давление на покрытие p , МПа <i>Coating pressure p, MPa</i>	Диаметр $D_d/D_{ст}$, См <i>Diameter D_d/D_{cm}, cm</i>
A-10	100	50,0	0,6	37,1/32,6*
A-11,5	115	57,5	0,8	34,5/30,3

В числителе приведён диаметр пятна контакта D_d для движущегося колеса, в знаменателе $D_{ст}$ — для неподвижного колеса. Источник — ПНСТ 542-2021 / The numerator shows the contact patch diameter D_d for a moving wheel, the denominator D_{cm} for a stationary wheel. According to PNST 542-2021

Вероятно, это связано с изменением порядка округления результатов расчёта и некотором увеличении их точности: если в ПНС 265-2018¹⁴ результаты округляли до целого значения, то в ПНСТ 542-2021¹⁵ — до первого десятичного знака. Формально это решение на $0,6 \div 3,0\%$ увеличивает площадь пятна контакта расчётного колеса в движении под нагрузкой при неизменности заданного расчетного давления.

Проф. А.К. Бируля [18] установил, что сопротивление качению в большей степени зависит от скорости и ровности покрытия, так как именно эти параметры напрямую фигурируют в формуле для расчета, однако сам коэффициент сопротивления качению все же зависит от внутреннего давления колеса, но эта зависимость была установлена проф. А.К. Бируля экспериментально, проанализировав полученные им результаты были построены кривые зависимости коэффициента сопротивления качению от давления в шинах для современных значений давления в шинах.

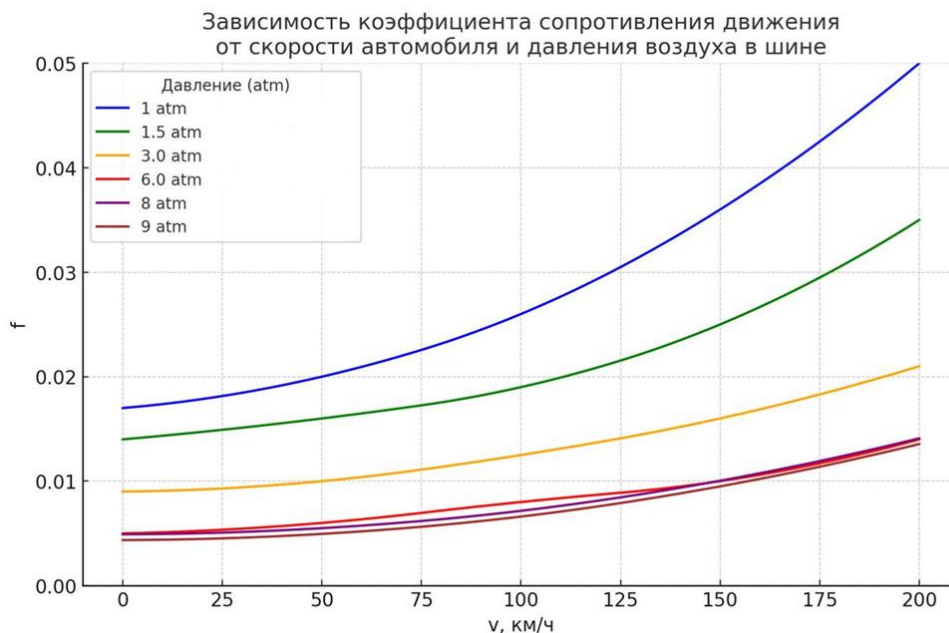


Рисунок 4. Кривые зависимости коэффициента сопротивления качению от давления в шинах для современных значений давления в шинах (разработан авторами)

Figure 4. Rolling resistance coefficient versus tyre pressure curves for modern tyre pressures (developed by the authors)

Профессор А.К. Бируля [1] предложил следующую формулу для оценки влияния состояния дорожного покрытия на коэффициент сопротивления качению:

$$f = f_p + 1.3 \cdot 10^{-7} \cdot \lambda_n S_n V_a^2,$$

где:

f_p — коэффициент сопротивления качению на ровной дороге ($f_p = 0,005-0,01$);

λ_n — коэффициент, зависящий от конструкции ходовой части автомобиля;

S_n — коэффициент ровности покрытия.

Как видно из полученного графика, коэффициент сопротивления качению почти не изменяется для шин с современным давлением, а в большей степени зависит от скорости.

Заключение

Conclusion

В заключении обзора отечественных методик учета параметров воздействия расчетной нагрузки при проектировании нежестких

дорожных одежд важно отметить, что в середине 80-х годов прошлого века (период действия ВСН 46 — 83⁶) грузовые автомобили в СССР комплектовались относительно тяжёлыми камерными шинами диагональной конструкции с текстильным кордом и достаточно жёстким бортом за счёт уложенных 4–8 слоёв корда, что позволяло эксплуатировать их с внутренним давлением воздуха 0,6–0,65 МПа. С учётом постулата, что контактное давление колеса с дорогой принимается равным внутреннему давлению воздуха в шинах, давление 0,6–0,65 МПа соответствует 6,12–6,63 кгс/см².

В настоящее время (период действия ГОСТ Р 71404-2024¹⁶ и спустя 40 лет после эпохи ВСН 46–83) подавляющее большинство грузовых автомобилей, занятых в грузовых автоперевозках по дорогам общего пользования I–III категорий с осевыми нагрузками 10–11,5 тонн, оснащаются относительно лёгкими пневматическими грузовыми шинами радиальной конструкции (или в комбинации текстильного и металлического корда (комбинированные шины), или целиком металлокордной конструкции (ЦМК)).

В этой связи целесообразно выполнение цикла натурных испытаний шин под реальными осевыми нагрузками в полевых условиях и определение реальных параметров воздействия на дорожную одежду с целью дальнейшего моделирования параметров НДС конструкций и расчета конструкций дорожных одежд.

Представляется, что изменение коэффициента сопротивления качению в большей степени зависит от изменения квадрата скорости транспортного средства, жесткости, текстуры и коэффициента дорожного покрытия, суммы радиусов колеса и взаимодействующей с ним неровности, коэффициента динамичности и изменения давления воздуха в шине, количества скатов в колесе (один или два) с учетом анализа работ [12–21].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Радовский, Б.С.** Оценка погрешностей, возникающих при расчете нежестких дорожных одежд / Б.С. Радовский, А.Е. Мерзликин // Дороги и мосты. — 2016. — № 1(35). — С. 6. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29824963>. EDN: [WPKFXQ](https://elibrary.ru/item.asp?id=29824963). (Дата обращения: 27.12.2024).
2. **Горячев, М.Г.** Оценка влияния фактических параметров нагружения на расчет прочности нежестких дорожных одежд / М.Г. Горячев, С.В. Лугов, Е.В. Каленова // Вестник НЦ БЖД. — 2013. — № 4(18). — С. 15–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134419>. EDN: [RUMPIR](https://elibrary.ru/item.asp?id=21134419). (Дата обращения: 27.12.2024).

¹⁶ ГОСТ Р 71404-2024 Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования [Текст]. — Введ. 01.09.2021. — М.: Стандартинформ 2024. 146 с.

3. **Хотько, А.В.** Применение теории сетчатых оболочек при проектировании автомобильных шин / А.В. Хотько, С.В. Шилько // *Механика машин, механизмов и материалов*. — 2020. — № 1(50). — С. 5–11. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42542523>. DOI: [10.46864/1995-0470-2020-4-53-11-18](https://doi.org/10.46864/1995-0470-2020-4-53-11-18). EDN: [XRODNM](https://elibrary.ru/item.asp?id=42542523). (Дата обращения: 27.12.2024).
4. **Бидерман, В.Л.** Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытание, эксплуатация) / В.Л. Бидерман [и др.]. — М.: Гос. научн.-техн. изд-во хим. лит., 1963. — 353 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005934638>. (Дата обращения: 27.12.2024).
5. **Новопольский, В.И.** Измерение потерь на качение / В.И. Новопольский // *Труды НИИ шинной промышленности. Сборник 3*. — М.: Госхимиздат, 1957. — С. 122. URL: <http://rk5-lib.bmstu.ru/cat/d.php?ID=2824>. (Дата обращения: 27.12.2024).
6. **Прядкин, В.И.** Моделирование воздействия широкопрофильных шин грузовых автомобилей на дорожное покрытие / В.И. Прядкин, К.А. Шавырин, А.Ю. Кольцов // *Инновационные технологии на автомобильном транспорте: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова*. — Воронеж, 2021. — С. 34–37. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46566222>. DOI: [10.34220/ITRT2021_34-37](https://doi.org/10.34220/ITRT2021_34-37). EDN: [TMFZPE](https://elibrary.ru/item.asp?id=46566222). (Дата обращения: 27.12.2024).
7. **Хамзаев, А.А.** Влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на коэффициент сопротивления качению / А.А. Хамзаев, Д.О. Хошимова // *Международный научный журнал "Научный Фокус"*. — 2024. — № 15(100), часть 1. — С. 25–29. URL: <https://nauchniyimpuls.ru/index.php/sf/article/view/17150>. (Дата обращения: 27.12.2024).
8. **Иванкина, О.П.** К вопросу об определении коэффициента сопротивления качению / О.П. Иванкина, Б.С. Лебедев // *Novainfo*. — 2015. — № 33. URL: <https://novainfo.ru/article/3523>. EDN: [TPSPOD](https://novainfo.ru/article/3523). (Дата обращения: 02.02.2025).
9. **Черноус, Д.А.** Расчет коэффициента сопротивления свободному качению колеса с деформируемым ободом / Д.А. Черноус, Е.В. Коднянко // *Транспортное машиностроение*. — 2022. — № 9. — С. 30–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49476296>. DOI: [10.30987/2782-5957-2022-9-30-40](https://doi.org/10.30987/2782-5957-2022-9-30-40). EDN: [NQWFOL](https://elibrary.ru/item.asp?id=49476296). (Дата обращения: 27.12.2024).
10. **Arslanovich, E.A.** Ensuring The Safe Movement of Vehicles on Mountain Roads / E.A. Arslanovich, K.A. Akmalxonovich // *Genius Repository*. — 2023. — Т. 26. — С. 65–69. URL: <https://geniusjournals.org/index.php/esh/article/view/5290>. (Дата обращения: 14.01.2025).
11. **Temirov, S.U.** Substantiation the Parameters of Universal Operating Element on Row Crop Cultivator / S.U. Temirov // *Int. J. Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET)*. — 2019. — Т. 6. — № 2. — С. 8154–8156. URL: <https://www.ijarset.com/upload/2019/february/24-IJARSET-TEMIROV.pdf>. (Дата обращения: 14.01.2025).
12. **O'g'li, M.Z.T.** Dvigatel elektron boshqaruv tizimida ko 'p darajali diagnostika tizimini eksperimental o 'rganish usuli / M.Z.T. O'g'li, S. Qoviljonovich, A. Akmalxonovich, A. O'G'Li // *Строительство и образование*. — 2024. — Т. 3. — № 1. — С. 148–151. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvigatel-elektron-boshqaruv-tizimida-ko-p-darajali-diagnostika-tizimini-eksperimental-o-rganish-usuli>. [на узб. яз.]. (Дата обращения: 14.01.2025).
13. **Lupanov, A.P.** Research of the properties of asphalt mixers using soft roofing wastes for the construction and repair of automobile roads and city streets / A.P. Lupanov, V.V. Silkin, I.O. Kozikov, O.N. Ilina // *Izvestiya KGASU*. — 2019. — Т. 49. — № 3. — С. 205–210. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40801197>. EDN: [ZWAJDA](https://elibrary.ru/item.asp?id=40801197). (Дата обращения: 14.01.2025).
14. **Sebaaly, P.** Effect of type parameters on pavement damage and load-equivalency factors / P. Sebaaly, N. Tabatabaee // *Transportation Research Record*. — 1992. — Vol. 118. — № 6(805). URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-947X%281992%29118%3A6%28805%29>. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1992\)118](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1992)118). (Дата обращения: 14.01.2025).
15. **Nikolenko, D.** Consideration of the loading of the traffic lines in the design of automobile roads / D. Nikolenko, M. Nikolenko, A. Filippova // *E3S Web of Conferences*. — 2021. — Vol. 274. — Art. 02009. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/50/e3sconf_stcce2021_02009/e3sconf_stcce2021_02009.html. DOI: [10.1051/e3sconf/202127402009](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127402009). EDN: [NSIZLL](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/50/e3sconf_stcce2021_02009/e3sconf_stcce2021_02009.html). (Дата обращения: 14.01.2025).
16. **Karimova, K.G.** The Impact of Automobile Tires on the Environment from the Period of Raw Materials to the Disposal of Them / K.G. Karimova // *International journal of recent technology and engineering*. — 2019. URL: <https://www.ijrte.org/portfolio-item/C4473098319/>. DOI: [10.35940/ijrte.c4473.098319](https://doi.org/10.35940/ijrte.c4473.098319). (Дата обращения: 14.01.2025).

17. Черноус, Д.А. Оценка применимости модели Винклера основания для анизотропного покрытия / Д.А. Черноус, Е.В. Коднянко // Механика. Исследования и инновации: сб. науч. тр. / Белорусский государственный университет транспорта; ред. А.О. Шимановский. — Гомель, 2020. — Вып. 13. — С. 166–182. URL: <http://elib.bsut.by/handle/123456789/5151?show=full>. (Дата обращения: 14.01.2025).
18. Иванов, А.П. О трении качения / А.П. Иванов // Доклады Академии наук. — 2019. — Т. 485. — № 3. — С. 295–299. URL: <https://journals.eco-vector.com/0869-5652/article/view/12849>. DOI: [10.31857/S0869-56524853295-299](https://doi.org/10.31857/S0869-56524853295-299). EDN: [TXYOMU](https://www.edn.net/txyomu). (Дата обращения: 14.01.2025).
19. Korolev, A.A. Optimization of control points number at coordinate measurements based on the monte-carlo method / A.A. Korolev, O.V. Zakharov, A.V. Kochetkov // Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — С. 012–061. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/944/1/012061>. DOI: [10.1088/1742-6596/944/1/012061](https://doi.org/10.1088/1742-6596/944/1/012061). (Дата обращения: 14.01.2025).
20. Zakharchenko, M.Y. New system of functional parameters for surface texture analysis / M.Y. Zakharchenko, O.V. Zakharov, A.V. Kochetkov, P.M. Salov // Materials Today: Proceedings. — 2021. — С. 1866–1870. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320363707?via%3Dihub>. DOI: [10.1016/j.matpr.2020.08.488](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.488). EDN: [CRJDUQ](https://www.edn.net/crjduq). (Дата обращения: 14.01.2025).

Сведения об авторах:

Ермошин Николай Алексеевич — доктор военных наук, профессор, ФГУОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ermonata@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=735873

Симчук Алексей Евгеньевич — аспирант, ФГУОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ermonata@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=1197060

Статья получена: 04.02.2025. Принята к публикации: 28.04.2025. Опубликовано онлайн: 04.06.2025.

REFERENCES

1. Radovsky B.S., Merzlikin A.E. [Evaluation of errors arising in the calculation of flexible road surfaces]. *Roads and bridges*. 2016;1(35):6. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29824963> (accessed 27th December 2024). (In Russ.).
2. Goryachev M.G., Lugov S.V., Kalenova E.V. Assessing the impact of the actual loading parameters for the calculation of the strength of non-rigid pavements. *Vestnik NTsBZhD*. 2013;4(18):15–20. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134419> (accessed 27th December 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Khotko A.V., Shil'ko S.V. Application of the theory of gridshells in the design of diagonal automobile tires. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2020;1(50):5–11. DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2020-4-53-11-18> (In Russ., abstract in Eng.).
4. Biderman V.L., et al. [Car tires: (Design, calculation, testing, operation)]. Moscow: Gos. nauchn.-tekhn. izd-vo khim. lit.; 1963. 353 p. Available from: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005934638> (accessed 27th December 2024). (In Russ.).
5. Novopolsky V.I. [Measuring rolling losses]. In: [*Proceedings of the Research Institute of the Tire Industry. Collection 3*]. Moscow: Goshkhimizdat; 1957. p. 122. Available from: <http://rk5-lib.bmstu.ru/cat/d.php?ID=2824> (accessed 27th December 2024). (In Russ.).
6. Pryadkin V.I., Shavirin K.A., Koltsov A.Yu. Modeling the impact of wide-profile truck tires on the road surface. *Innovative technologies in road transport: materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, May 18, 2021*. 2021:34–37. DOI: https://doi.org/10.34220/ITRT2021_34-37 (In Russ., abstract in Eng.).
7. Khamzaev A.A., Khoshimova D.O. [Influence of operational and design factors on the rolling resistance coefficient]. *Scientific Focus*. 2024;15(100), part 1:25–29. Available from: <https://nauchniyimpuls.ru/index.php/sf/article/view/17150> (accessed 27th December 2024). (In Russ.).

8. Ivankina O.P., Lebedev B.S. [On the issue of determining the rolling resistance coefficient]. *NovaInfo*. 2015;33. Available from: <https://novainfo.ru/article/3523> (accessed 02nd February 2025). (In Russ.).
9. Chernous D., Codnyanko E. Calculation of the coefficient of free rolling resistance for the wheel with deformable rim. *Transport Engineering*. 2022;9:30–40. DOI: <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2022-9-30-40> (In Russ., abstract in Eng.).
10. Arslanovich E.A., Akmalxonovich K.A. Ensuring The Safe Movement of Vehicles on Mountain Roads. *Genius Repository*. 2023;26:65–69. Available from: <https://geniusjournals.org/index.php/esh/article/view/5290> (accessed 14th January 2025). (In Eng.).
11. Temirov S.U. Substantiation the Parameters of Universal Operating Element on Row Crop Cultivator. *Int. J. Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET)*. 2019;6(2):8154–8156. Available from: <https://www.ijarset.com/upload/2019/february/24-IJARSET-TEMIROV.pdf> (accessed 14th January 2025). (In Eng.).
12. O'g'li M.Z.T., Qoviljonovich S., Akmalxonovich A., O'G'Li A. [Experimental study method of multilevel diagnostic system in engine electronic control system]. *Scientific journal of Construction and Education*. 2024;3(1):148–151. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvigatel-elektron-boshqaruv-tizimida-ko-p-darajali-diagnostika-tizimini-eksperimental-o-rganish-usuli> (accessed 14th January 2025). (in Uzbek, abstract in Eng.).
13. Lupanov A.P., Silkin V.V., Kozikov I.O., Ilina O.N. Research of the properties of asphalt mixers using soft roofing wastes for the construction and repair of automobile roads and city streets. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2019;49(3):205–210. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40801197> (accessed 14th January 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
14. Sebaaly P., Tabatabaee N. Effect of type parameters on pavement damage and load-equivalency factors. *Transportation Research Record*. 1992;118(6):805. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1992\)118](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1992)118) (In Eng.).
15. Nikolenko D., Nikolenko M., Filippova A. Consideration of the loading of the traffic lines in the design of automobile roads. *E3S Web of Conferences*. 2021;274:02009. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127402009> (In Eng.).
16. Karimova K.G. The Impact of Automobile Tires on the Environment from the Period of Raw Materials to the Disposal of Them. *International journal of recent technology and engineering*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijrte.c4473.098319> (In Eng.).
17. Charnavus D.A., Kadnianka A.V. Estimation of the applicability of the Winkler base model for anisotropic coating. *Mechanics. Investigations and Innovations*. 2020;13:166–182. Available from: <http://elib.bsut.by/handle/123456789/5151?show=full> (accessed 14th January 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
18. Ivanov A.P. Rolling Friction. *Doklady Physics*. 2019;64(3):129–133. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1028335819030157> (In Eng.).
19. Korolev A.A., Zakharov O.V., Kochetkov A.V. Optimization of control points number at coordinate measurements based on the monte-carlo method. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018:012–061. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/944/1/012061> (In Eng.).
20. Zakharchenko M.Y., Zakharov O.V., Kochetkov A.V., Salov P.M. New system of functional parameters for surface texture analysis. *Materials Today: Proceedings*. 2021:1866–1870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.488> (In Eng.).

Information about the authors:

Ermoshin Nikolai Alekseevich — Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: ermonata@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=735873

Simchuk Aleksei Evgenievich — Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: aleksimchuk@bk.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=1197060

Submitted: 04th February 2025. Revised: 28th April 2025. Published online: 04th June 2025.