

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, BRIDGES AND TUNNELS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 3. С. 277–289.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28 (3): 277–289.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.7/.8

<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-277-289>



EDN: XXQBFO

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ШИНЕ И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ПАРАМЕТРЫ ПЯТНА КОНТАКТА

Алексей Евгеньевич Симчук¹, Евгений Николаевич Симчук²

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Научно-исследовательский институт
транспортно-строительного комплекса, г. Москва, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* В действующих нормативных методах расчета нежестких дорожных одежд пятно контакта колеса принимается круглым, а давление на покрытие – равномерно распределенным по его площади. Однако фактические параметры контакта современной грузовой шины могут существенно отличаться от принятых расчетных допущений.

Цель работы – экспериментально определить влияние внутреннего давления воздуха в шине и вертикальной нагрузки на площадь и геометрические параметры пятна контакта, а также сопоставить полученные результаты с нормативной моделью.

Результаты. Проведены стендовые испытания пяти типоразмеров грузовых шин, широко применяемых на ведущих осях грузовых автомобилей, автобусах и прицепах. Измерения выполнялись с использованием матричной системы регистрации давления XSENSOR. Испытания проводились при четырех уровнях внутреннего давления воздуха в шине и при нагрузках от 40 до 120 % от максимальной допустимой нагрузки на колесо. Установлено, что площадь пятна контакта увеличивается с ростом вертикальной нагрузки

и уменьшается с повышением внутреннего давления воздуха в шине. Во всех исследованных режимах фактическая площадь контакта превышала расчетные значения, определенные по нормативной модели. Также выявлено изменение формы пятна контакта: с ростом нагрузки оно становится более вытянутым в продольном направлении. Нормативная расчетная схема нагружения систематически недооценивает реальные параметры пятна контакта грузовых шин. Полученные результаты подтверждают необходимость уточнения расчетных подходов к моделированию нагрузки от колеса на дорожную одежду с учетом фактических характеристик контакта.

Ключевые слова: пятно контакта шины, площадь пятна контакта, пневматическая шина, давление в шине, нагрузка на колесо, дорожная одежда, расчетная схема нагружения, эквивалентный отпечаток колеса

Для цитирования: Симчук, А.Е., Симчук, Е.Н. Экспериментальная оценка влияния давления воздуха в шине и осевой нагрузки на параметры пятна контакта // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 3. С. 277–289. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-277-289>. EDN: XXQBFO

ORIGINAL ARTICLE

INFLUENCE OF TIRE INFLATION PRESSURE AND CENTRAL LOAD ON CONTACT SPOT PARAMETERS

Aleksei E. Simchuk¹, Evgenii N. Simchuk²

¹Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University,
Saint-Petersburg, Russia

²Research Institute of Transport and Construction Complex, Moscow, Russia

Abstract. In standard methods of flexible pavement design, wheel contact spot is assumed to be circular, and the pressure transmitted to the pavement surface uniformly distributes over its area. However, actual contact parameters of a modern heavy-duty tire may differ significantly from the accepted design assumptions.

Purpose: Experimental determination of the influence of the tire inflation pressure and vertical wheel load on the area and geometric parameters of the contact spot and comparison of the obtained results with the standard model.

Methodology/ approach: Experiments are carried out for five heavy-duty tire sizes widely used on drive axles of trucks, buses, and trailers. Measurements are performed in the XSENSOR matrix-based pressure sensing system. Tests are conducted at four levels of the tire inflation pressure and wheel loads ranging from 40 to 120% of the maximum permissible wheel load.

Research findings: It is found that the contact spot area grows with increasing vertical load and reduces with increasing inflation pressure. Under all investigated conditions, the actual contact area exceeds values calculated with the standard model. Changes in the contact spot shape are identified. With increasing load, the spot becomes more elongated in the longitudinal direction. The standard loading model systematically underestimates actual contact parameters of heavy-duty tires.

Value: The obtained results confirm the need to refine calculation approaches to modeling the wheel load effect on pavement structures, taking into account actual contact characteristics.

Keywords: contact spot; contact area; pneumatic tire; tire inflation pressure; wheel load; pavement; design load model; equivalent wheel footprint

For citation: Simchuk, A.E., Simchuk, E.N. Influence of Tire Inflation Pressure and Central Load on Contact Spot Parameters. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.

2026; 28(3): 277–289. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-277-289>.
EDN: XXQBFO

Введение

При расчете нежестких дорожных одежд одним из исходных параметров является способ задания нагрузки от транспортных средств на конструкцию дорожной одежды. Передача нагрузки от колеса автомобиля на покрытие осуществляется через пятно контакта шины с поверхностью проезжей части. Пятно контакта шины представляет собой участок поверхности покрытия, на который передается вертикальная нагрузка от колеса, а также сопутствующие касательные усилия, возникающие при движении, торможении и маневрировании транспортных средств. В расчетах нежестких дорожных одежд пятно контакта является одним из исходных элементов для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных слоев [1]. Физически пятно контакта формируется в результате упругой деформации шины и дорожного покрытия под действием вертикальной нагрузки колеса.

В реальных условиях форма и размер пятна контакта зависят от конструкции и размеров шины, внутреннего давления воздуха, величины нагрузки на колесо и свойств дорожного покрытия. Как правило, реальное пятно имеет сложную форму, приближенно эллиптическую или прямоугольную, и неравномерное распределение давления по площади. Однако в инженерных расчетах пятно контакта традиционно принимают условно круглым по следующим причинам:

- упрощение математической модели и расчетной схемы нагружения;
- возможность применения классических решений теории упругости (задачи Буссинеска, Бурмистера и др.);
- осевая симметрия контактной области;
- достаточная точность для инженерных практических расчетов.

Круглая модель пятна контакта позволяет заменить фактическое неравномерное распределение давления эквивалентным равномерным давлением по площади круга одинаковой площади. Такой подход считается обоснованным и обеспечивает приемлемую точность при вычислении напряжений и деформаций в дорожной конструкции, позволяя корректно оценивать ее прочность и долговечность под воздействием транспортных нагрузок.

В ранее действовавших и современных нормативных документах по расчету нежестких дорожных одежд – ВСН 46-72¹, ВСН 46-83², ГОСТ 32960–2014³ и ГОСТ Р 71404–2024⁴ – пятно контакта рассчитывается по единому алгоритму.

¹ ВСН 46-72. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа: утверждена Министерством транспортного строительства СССР 10 июля 1972 г. Москва: Транспорт, 1973. 112 с.

² ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа: утверждена Минтрансстроем СССР 29 апреля 1983 г. № ЛН-550: взамен ВСН 46-72. Москва: Транспорт, 1985. 157 с.

³ ГОСТ 32960–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения: межгосударственный стандарт: дата введения 2015-07-01. Москва: Стандартинформ, 2016. 8 с.

⁴ ГОСТ Р 71404-2024. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2024-09-01. Москва: Российский институт стандартизации, 2024. 147 с.

Так, в ГОСТ 32960–2014 площадь пятна контакта для проектирования определяется исходя из равномерного давления, принятого равным внутреннему давлению шины. Расчетная зависимость имеет вид

$$A_{\text{теор}} = \frac{Q_{\text{ст}}}{p}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – нормативная статическая нагрузка на колесо наиболее нагруженной оси, кН; p – расчетное контактное давление на покрытие (МПа), принимаемое равным давлению воздуха внутри шины.

При учете динамического воздействия движения вводится коэффициент динамичности $k_{\text{дин}} = 1,3$. Соответственно для движущегося транспорта эквивалентная площадь контакта определяется как

$$A_{\text{дин}} = k_{\text{дин}} \frac{Q_{\text{ст}}}{p}. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) представляют собой запись нормативного допущения «равномерное давление по площади кругового отпечатка»: $Q = p \cdot A$. При учете кратковременного динамического воздействия расчетная нагрузка увеличивается в $k_{\text{дин}}$ раз, поэтому эквивалентная площадь в этой упрощенной модели определяется как (2), также стоит отметить, что формула (2) эквивалентна нормативной зависимости ГОСТ Р 71404–2024, в которой коэффициент динамичности вводится через эквивалентный диаметр пятна контакта. Указанные соотношения используются далее исключительно как базовая нормативная модель для сопоставления с экспериментальными данными. Таким образом, нормативная расчетная схема нагружения предполагает, что пятно контакта – это круг с равномерно распределенным давлением p , равным давлению в шине. Эквивалентный диаметр пятна определяется как

$$D_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{40Q_{\text{ст}}}{\pi p}}. \quad (3)$$

Контактная площадь при этом может быть вычислена через эквивалентный диаметр как

$$A_{\text{конт}} = \pi \left(\frac{D_{\text{экв}}}{2} \right)^2. \quad (4)$$

Действующий ГОСТ Р 71404–2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования» вводит в качестве расчетной нагрузки одиночное колесо с круглым пятном контакта. Давление колеса на покрытие при расчете принимается равномерно распределенным по площади кругового отпечатка. Величина расчетного давления зависит от типа дорожной одежды. Согласно ГОСТ 32960–2014, для капитальных дорожных одежд оно установлено равным 0,8 МПа, а для облегченных и переходных типов – 0,6 МПа. Эти значения были повышены в 2014 г., т. к. ранее в нормах максимум составлял 0,6 МПа в связи с ростом нагрузок современного транспорта.

Важно отметить, что нормативные значения давления и размеров пятна контакта не подкреплены полевыми измерениями. Так, в свободном доступе практически отсутствуют результаты экспериментальных исследований реальных параметров пятна контакта [2], однако в последние годы появились отечественные исследования, уточняющие параметры воздействия расчетной нагрузки на дорожные одежды [3–5]. Параметры отпечатка колеса декларировались априорно, без учета возможных изменений формы и распределения давления при качении нагруженной шины. В последние годы возникла объективная необходимость пересмотра нормативных параметров расчетной нагрузки на дорожные одежды, обусловленная изменением транспортно-эксплуатационных требований, ростом осевых нагрузок, увеличением давления в современных шинах и применением новых материалов дорожных конструкций. Результаты ретроспективного анализа нормативных документов и экспериментальных исследований [6, 7] подтверждают, что принятые ранее значения расчетного контактного давления не в полной мере соответствуют современным условиям эксплуатации.

За последние десятилетия существенно изменились типы транспортных средств и конструктивные характеристики шин, что подтверждается техническими каталогами современных производителей грузовых шин, в которых фиксируются увеличенные типоразмеры, индексы нагрузки и рекомендуемые значения внутреннего давления воздуха [8]. Однако комплексных исследований фактических параметров пятна контакта шины в контексте расчета дорожных одежд практически не проводилось. В связи с этим актуально экспериментально проверить реальные размеры пятна контакта и сравнить их с нормативными подходами.

Цель исследования – определить фактическую площадь пятна контакта шин в статических условиях при различных значениях нагрузки на колесо и внутреннего давления в шине, привести фактическое пятно к эквивалентной круглой форме и сопоставить полученные результаты с расчетными значениями, вычисленными по формуле (1). Также провести анализ характерных особенностей зоны геометрии контакта. Ожидается, что результаты позволят дать рекомендации по уточнению расчетных моделей нагружения дорожных одежд.

Методика стендовых испытаний пятна контакта

Для получения актуальных данных о параметрах пятна контакта были проведены стендовые эксперименты с использованием высокочувствительной системы измерения давления XSENSOR. Данная система представляет собой матрицу датчиков высокого разрешения, позволяющую регистрировать распределение контактного давления по площади пятна контакта шины в статических режимах. В испытаниях применялась напольная платформа с датчиками XSENSOR, на которую опиралось колесо испытательной шины под контролируемой нагрузкой. Одновременно регистрировалась полная картина давления в контакте, т. е. фактически снимался отпечаток пятна контакта в цифровом виде с возможностью определить площадь контакта, форму контура, распределение давления и другие параметры.

В рамках исследования протестировано 5 типоразмеров шин, наиболее распространенных на современных грузовых автомобилях и автобусах, данные получены на основании анализа парка современных транспортных средств [2]:

- 1) 315/80R22.5 – типичная шина рулевых и ведущих осей седельных автопоездов;
- 2) 315/70R22.5 – аналогично широко применяемая шина сниженного профиля;
- 3) 295/80R22.5 – используется на междугородних автобусах, самосвалах;
- 4) 275/70R22.5 – используется на городских и междугородних автобусах;
- 5) 385/65R22.5 – широкая шина прицепов и передних осей грузовиков.

Каждая шина испытывалась в широком диапазоне вертикальных нагрузок и внутренних давлений. Номинальная нагрузка на колесо для каждого типоразмера принималась равной максимальной допустимой нагрузке согласно спецификации шины. В испытаниях нагрузки варьировались от 40 до 120 % от этого максимума. Например, для шины 315/80R22.5 нагрузка последовательно принимала значения 1650, 2475, 3300, 4125 и 4950 кг, т. е. от 40 до 120 %. Для остальных типоразмеров были выбраны аналогичные относительные уровни нагрузки. Внутреннее давление воздуха в шине при испытаниях задавалось на четырех уровнях: 0,6; 0,8; 0,9 и 1,04 МПа [3]. Диапазон давлений охватывал как пониженное, так и повышенное относительно рекомендуемого номинала, что позволяет оценить влияние этого фактора. Пример получаемого отпечатка пятна контакта в системе XSENSOR продемонстрирован на рис. 1.

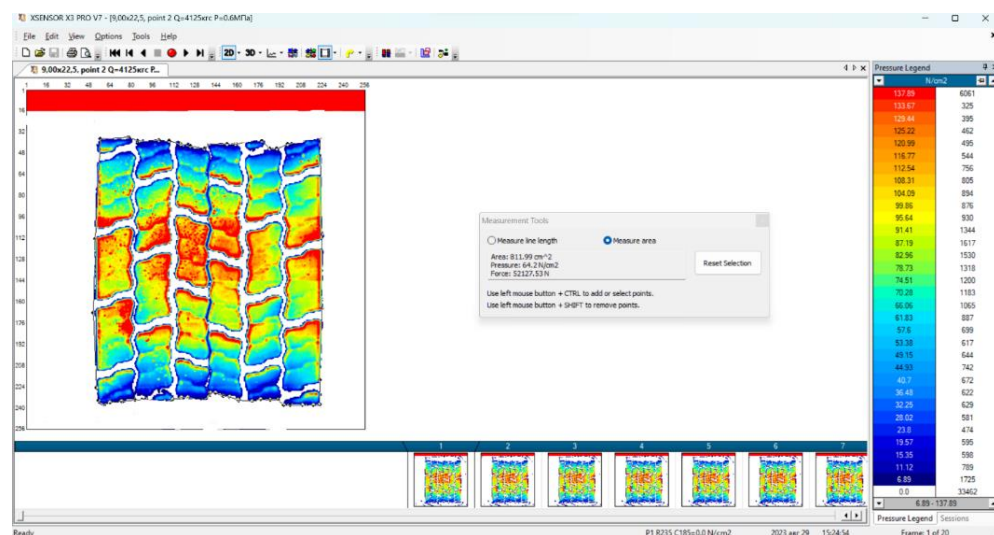


Рис. 1. Исходный экраный отпечаток давления и обработанный контур пятна контакта для шины 315/80R22.5

Fig. 1. Initial pressure map and processed contact spot contour for the 315/80R22.5 tire

Результаты и анализ

Эксперимент подтвердил ожидаемую закономерность: площадь пятна контакта существенно возрастает с увеличением вертикальной нагрузки и, наоборот, уменьшается при росте внутреннего давления в шине при прочих равных условиях. На рис. 2 представлены характерные зависимости площади контакта от нагрузки на колесо при различных значениях давления для шины 315/80R22.5.

Видно, что во всем диапазоне нагрузок площадь контакта растет почти линейно. При увеличении нагрузки в 3 раза площадь пятна возросла примерно в 1,8–2,0 раза. При этом рост происходит не строго пропорционально. При переходе от средних нагрузок к максимальным прибавка площади несколько меньше, чем при переходе от малых к средним нагрузкам, можно сказать, что кривая становится более пологой при нагрузках, близких к эксплуатационным. Это связано с упругой жесткостью шины: по мере увеличения нагрузки сопротивление деформации колеса возрастает, и дополнительная площадь контакта добавляется менее эффективно. В предельном случае при очень больших нагрузках площадь контакта стремится к некоторому максимуму, ограниченному шириной протектора и конструкцией шины.

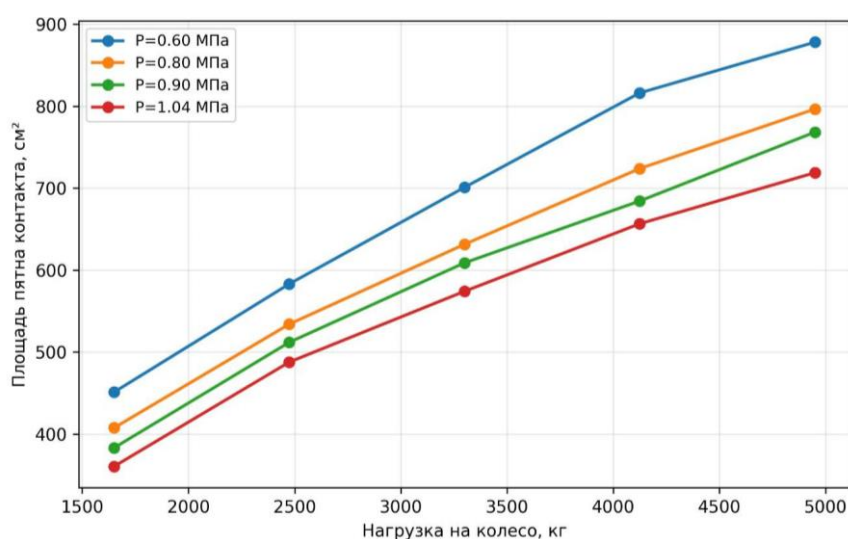


Рис. 2. График зависимости площади пятна контакта (см^2) от нагрузки на колесо при разных давлениях воздуха в шине (пример для шины 315/80R22.5)

Fig. 2. Dependence between contact area and wheel load at different tire inflation pressures for 315/80R22.5 tire

Все пять протестированных типоразмеров шин продемонстрировали аналогичный характер изменения площади контакта с ростом нагрузки, что подтверждается и в ряде других экспериментальных исследований [4]. На рис. 3 обобщены результаты измерений, показана зависимость площади пятна контакта от вертикальной нагрузки для всех моделей шин при одинаковом внутреннем давлении воздуха 0,8 МПа.

Зависимость площади контакта от давления в шине обратна по характеру, снижение давления приводит к значительному увеличению площади пятна контакта. Так, при одной и той же нагрузке 4125 кг площадь контакта шины 315/80R22.5 возросла с 656 см^2 при $p = 1,04 \text{ МПа}$ до 816 см^2 при $p = 0,6 \text{ МПа}$, что соответствует увеличению примерно на 25 %. При меньшей нагрузке 1650 кг эффект еще более выражен. Площадь при 0,6 МПа, равная 451 см^2 , превышает площадь при 1,04 МПа, равную 360 см^2 , примерно на 30 %. При повы-

шении давления воздуха, наоборот, площадь контакта сокращается, например, при увеличении внутреннего давления с 0,8 до 1,04 МПа площадь уменьшается на 15 %. В целом пониженное давление в шине приводит к существенно большей площади пятна контакта, что потенциально снижает среднее удельное давление на дорогу. При высоком же давлении в шине пятно получается меньше, и передаваемое давление концентрируется на меньшей площади.

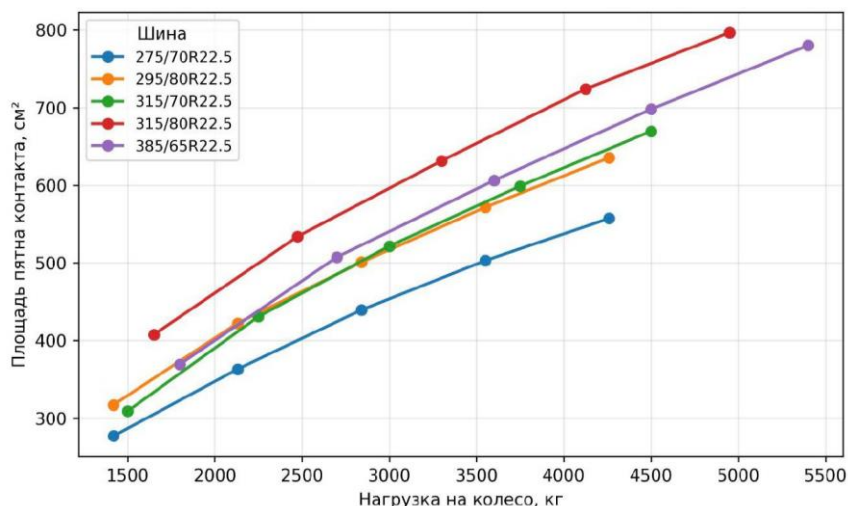


Рис. 3. Зависимость площади пятна контакта шин от вертикальной нагрузки при давлении воздуха в шинах 0,8 МПа

Fig. 3. Dependence between the contact area on vertical wheel load at 0.8 MPa inflation pressure

Все полученные экспериментальные площади пятна контакта были сопоставлены с расчетными значениями нормативной модели по формуле (1). Для каждого режима нагрузки и давления вычислялась теоретическая площадь $A_{\text{теор}}$ и соответствующий теоретический эквивалентный диаметр $D_{\text{экв(теор)}}$ по формуле (3). В табл. 1 приведены результаты измерений для шины 315/80R22.5 при всех испытанных сочетаниях Q и p , а также вычисленные значения $A_{\text{теор}}$ и $D_{\text{экв(теор)}}$ для каждого режима. Здесь $A1$ и $A2$ – площади, полученные при двух повторных сканированиях, сделанных для оценки воспроизводимости, $A_{\text{изм}}$ – среднее из них. Видно, что при всех режимах реальная измеренная площадь $A_{\text{изм}}$ значительно превышает расчетную площадь $A_{\text{теор}}$ по нормативной модели. Аналогичная проблематика расхождения нормативных допущений и фактических параметров воздействия расчетной нагрузки на дорожные одежды рассмотрена также в работе [3]. Разница особенно велика на нижних уровнях нагрузки. При $Q = 1650$ кг площадь контакта при номинальном давлении 0,8 МПа составила 408 см² против расчетных 202 см², т. е. фактически в 2,0 раза больше. При меньшем давлении 0,6 МПа та же нагрузка дала 451 см² против расчетных 270 см², что в 1,7 раза больше.

Таблица 1

Результаты измерения площади пятна контакта шины 315/80R22.5 при различных нагрузках Q и давлениях p (XSENSOR) и сравнение с расчетной площадью

Table 1

Measurement results of contact area for 315/80R22.5 tire at various load and pressure (XSENSOR), and a comparison with the calculated area

Нагрузка Q , кг	Давление воздуха в ко- лесе p , МПа	A_1 , см ²	A_2 , см ²	$A_{изм}$, см ²	$D_{экр}$, см	$A_{теор}$, см ²	$D_{экр(теор)}$, см
1650	0,60	461,0	441,2	451,1	24,0	269,8	18,5
1650	0,80	413,8	401,4	407,6	22,8	202,3	16,0
1650	0,90	390,4	375,9	383,2	22,1	179,8	15,1
1650	1,04	364,0	357,0	360,5	21,4	155,6	14,1
2475	0,60	577,7	588,7	583,2	27,2	404,7	22,7
2475	0,80	534,8	533,4	534,1	26,1	303,5	19,7
2475	0,90	519,7	504,2	512,0	25,5	269,8	18,5
2475	1,04	492,0	483,6	487,8	24,9	233,5	17,2
3300	0,60	705,7	696,4	701,0	29,9	539,6	26,2
3300	0,80	631,8	631,2	631,5	28,4	404,7	22,7
3300	0,90	612,0	605,8	608,9	27,8	359,7	21,4
3300	1,04	577,0	571,4	574,2	27,0	311,3	19,9
4125	0,60	820,6	812,0	816,3	32,2	674,4	29,3
4125	0,80	724,6	723,4	724,0	30,4	505,8	25,4
4125	0,90	688,2	680,6	684,4	29,5	449,6	23,9
4125	1,04	657,8	655,5	656,7	28,9	389,1	22,3
4950	0,60	881,4	875,1	878,2	33,4	809,3	32,1
4950	0,80	803,8	789,5	796,7	31,8	607,0	27,8
4950	0,90	773,1	763,8	768,4	31,3	539,6	26,2
4950	1,04	724,3	713,6	719,0	30,3	466,9	24,4

С увеличением нагрузки расхождение несколько сокращается. Так, при $Q = 3300$ кг и $p = 0,8$ МПа измерено 632 см² против 405 см² по формуле (1), что в 1,5 раза больше, а при максимальной нагрузке $Q = 4950$ кг – 797 см² против 607 см², что в 1,3 раза больше. Даже в режиме перегрузки реальная площадь контакта остается больше расчетной примерно на 30 %. В процентном отношении наибольшие отклонения наблюдаются при малых нагрузках и пониженном давлении, а наибольшее сближение – при максимальных нагрузках и повышенном давлении, однако даже в последнем случае нормативная модель заметно недооценивает площадь пятна контакта. Теоретические значения в таблице рассчитаны по нормативной модели $A_{теор} = Q / p$, $D_{экр(теор)} = \sqrt{40Q / (\pi p)}$. Эквивалентный диаметр по измеренной площади определялся как $D_{экр} = \sqrt{4A_{изм} / \pi}$.

Следует отметить, что нормативное значение $D_{\text{экв(теор)}} = 30,3$ см по ГОСТ Р 71404–2024 относится к расчетной группе нагрузки А11,5 при $Q = 57,5$ кН и $p = 0,8$ МПа. В настоящих испытаниях максимальная нагрузка на колесо для рассматриваемой шины составляла 4950 кг (48,5 кН), т. к. нагрузка 57,5 кН превышает паспортную грузоподъемность рассматриваемой шины, в связи с чем экспериментальные испытания проводились до нагрузки 48,5 кН, а параметры пятна контакта для 57,5 кН определялись расчетным путем методом экстраполяции. Следует подчеркнуть, что полученные значения носят оценочный характер, т. к. $Q = 57,5$ кН на 18 % превышает максимальную испытанную нагрузку. Результаты экстраполяции представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оценочные значения площади и эквивалентного диаметра пятна контакта при $Q = 57,5$ кН, полученные экстраполяцией по экспериментальным данным

Table 2

Estimated values for contact area and equivalent diameter at 57.5 kN obtained by extrapolation from experimental data

Нагрузка Q , кг	Давление воздуха в колесе p , МПа	$A_{\text{экстр}}$, см ²	$D_{\text{экв(экстр)}}$, см	$A_{\text{теор}}$, см ²	$D_{\text{экв(теор)}}$, см
5860	0,60	942,4	34,6	958,3	34,9
5860	0,80	847,0	32,8	718,8	30,3
5860	0,90	813,8	32,2	638,9	28,5
5860	1,04	769,4	31,3	552,9	26,5

Эксперименты также позволили проанализировать форму пятна контакта. На рис. 4 приведены примеры отпечатков давления для двух шин разного типа (315/80R22.5 и 385/65R22.5) при схожих условиях нагрузки и давления.

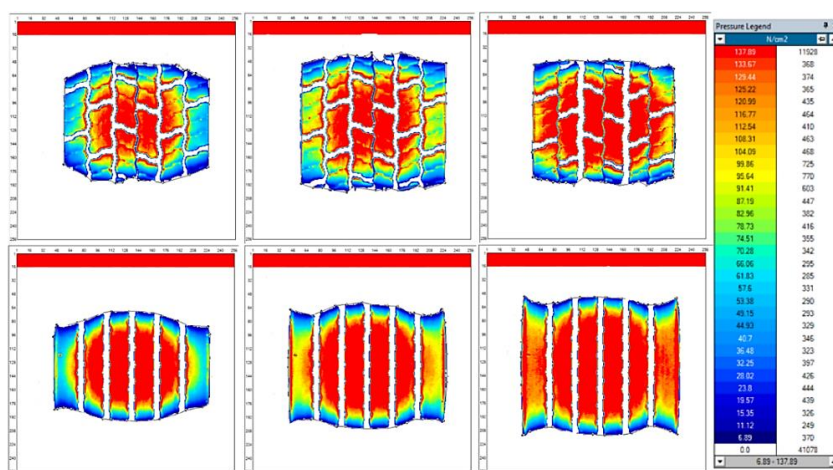


Рис. 4. Отпечатки пятна контакта для шин 315/80R22.5 и 385/65R22.5

Fig. 4. Contact spot maps for 315/80R22.5 and 385/65R22.5 tires

Видно, что форма контактной зоны зависит от типа шины, например, у более широкой шины 385/65R22.5 пятно контакта шире и ближе к прямоугольной форме, тогда как у шины 315/80R22.5 отпечаток более округлый. В целом при небольших нагрузках очертания пятна близки к круглым или слегка эллиптическим. С увеличением нагрузки пятно вытягивается в продольном направлении, приобретая более эллиптическую форму. При этом ширина пятна примерно соответствует ширине протектора шины и меняется слабо, тогда как длина заметно увеличивается. Например, у шины 315/80R22.5 при нагрузке 1650 кг длина зоны контакта составляла около 16 см, а при 4125 кг – около 27 см. Ширина же оставалась порядка 24–25 см.

Таким образом, отношение длины к ширине растет с повышением нагрузки, т. е. форма отпечатка уплощается. Пониженное давление в шине усиливает этот эффект. Более мягкая шина деформируется сильнее, и пятно контакта выходит более растянутым и близким к прямоугольнику по контуру. Условная круглая модель не отражает данных изменений формы – эквивалентный диаметр по нормативу не показывает различий между длиной и шириной пятна и не учитывает неравномерность контактных напряжений по площади покрытия [2]. Изучение влияния реального отпечатка и распределения напряжений внутри него на НДС является перспективным направлением исследований.

Заключение

Традиционная расчетная схема нагружения (круговое пятно контакта с равномерным давлением, равным давлению внутри шины) значительно упрощает действительность. Проведенные стендовые измерения подтвердили, что реальная площадь пятна контакта значительно больше расчетной по нормативной модели во всем диапазоне исследованных режимов. Даже при максимальных расчетных нагрузках на колесо измеренная площадь превышает теоретическую. Например, для шины 315/80R22.5 при нагрузке 4125 кг расчет по формуле (1) дает около 500 см², тогда как экспериментально получено 725 см². При средних и малых нагрузках расхождение еще выше, например, при 2475 кг реальное пятно составило 535 см² против расчетных 304 см², а при 1650 кг – около 415 см² против 202 см². Только в режиме перегрузки разница несколько сокращается, но даже при нагрузке 4950 кг площадь контакта остается больше расчетной на 30 %. Таким образом, упрощенная нормативная модель систематически недооценивает площадь пятна контакта. Указанные выводы подтверждаются также результатами других отечественных исследований [5].

В свете полученных результатов представляется целесообразным определить возникающие контактные давления в шине, в зависимости от внутреннего давления и нагрузки, а также предложить скорректировать расчетные подходы к нагрузке от колеса на покрытие с учетом реальных характеристик пятна контакта. Рекомендуется пересмотреть нормативные допущения, например, ввести поправочный коэффициент к расчетному контактному давлению либо непосредственно использовать в проектировании измеренные параметры пятна контакта для различных типов шин. Реализация таких изменений позволит повысить точность расчета НДС дорожных одежд и предотвратить недооценку напряжений, способную привести к преждевременному разрушению покрытий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афиногенов, О.П., Ефименко, С.В., Ефименко, В.Н. Конструирование и расчет дорожных одежд. 2-е изд., доп. и перераб. Томск : Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2020. 444 с. ISBN 978-5-93057-930-7.
2. Симчук, А.Е., Симчук, Е.Н., Горский, М.Ю. Актуализация подходов к нормированию контактного давления и отпечатка колеса при проектировании дорожных одежд // Техно-технологические проблемы сервиса. 2024. № 2 (68). С. 29–35.
3. Симчук, А.Е. Экспериментальные исследования параметров воздействия расчетной нагрузки на дорожные одежды // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 4. С. 247–268. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2025-27-4-247-268>
4. Овчарук, Б.В., Криволап, В.В. Способы определения площади пятна контакта шин в зависимости от давления и нагрузки // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2015. № 2. С. 473–478. DOI: 10.12737/19352. EDN: XRKDRJ
5. Черепанов, Л.А., Олейник, А.А. Стенд для исследования влияния вертикальной нагрузки на площадь пятна контакта шины с опорной поверхностью // Транспортные системы. 2017. № 3 (6). С. 27–31. DOI: 10.46960/62045_2017_3_27. EDN: ZWOUAX
6. Мерзлякин, А.Е. Шины на дороге // 3-я Каспийская Международная Выставка «Дорожная инфраструктура и общественный транспорт». 2013. С. 64–66.
7. Арус, Н.Н., Горячев, М.Г., Каленова, Е.В. Обоснование расчетного колесного контактного давления для проектирования дорожных одежд по критериям прочности // Наука и техника в дорожной отрасли. 2022. № 2. С. 20–23. EDN: WFWQVB
8. Goodyear Truck Tires // Goodyear : [сайт]. URL: www.goodyeartrucktires.com (дата обращения: 15.01.2026).

REFERENCES

1. Afinogenov, O.P., Efimenko, S.V. (Ed.), Efimenko, V.N. Design and Calculation of Pavement Structures. 2nd edn. Tomsk: TSUAB, 2020. 444 p. (In Russian)
2. Simchuk, A.E., Simchuk, E.N., Gorskiy, M.Yu. Updating Approaches to Standardization of Contact Pressure and Wheel Footprint in Pavement Design. *Tekhniko-Tekhnologicheskie Problemy Servisa*. 2024; 2(68): 29–35. (In Russian)
3. Simchuk, A.E. Impact of Design Load Parameters on Road Pavements. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturo-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2025; 27(4): 247–268. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-247-268 (In Russian)
4. Ovcharuk, B.V., Krivolap, V.V. Determination of Tire Contact Area Depending on Pressure and Load. *Alternativnye Istochniki Energii v Transportno-Tekhnologicheskom Komplekse: Problemy i Perspektivy Ratsionalnogo Ispolzovaniya*. 2015; (2): 473–478. DOI: 10.12737/19352. EDN: XRKDRJ (In Russian)
5. Cherepanov, L.A., Oleinik, A.A. Test Bench for Studying Vertical Load Effect on Contact Area with Bearing Surface. *Transportnye Sistemy*. 2017; 3(6): 27–31. DOI: 10.46960/62045_2017_3_27. EDN: ZWOUAX (In Russian)
6. Merzlikin, A.E. Tires on the Road. In: *Proc. 3rd Caspian Int. Workshop 'Road Infrastructure and Public Transport'*, 2013. Pp. 64–66. (In Russian)
7. Arus, N.N., Goryachev, M.G., Kalenova, E.V. Substantiation of Wheel Contact Pressure for Pavement Design According to Strength Criteria. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*. 2022; (2): 20–23. EDN: WFWQVB (In Russian)
8. Goodyear Truck Tires. Available at: www.goodyeartrucktires.com (accessed 15 January 2026).

Сведения об авторах

Алексей Евгеньевич Симчук, аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, alexsimchuk@bk.ru

Евгений Николаевич Симчук, канд. экон. наук, генеральный директор, Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 73А, стр. 16, niitsk@niitsk.ru

Authors Details

Aleksei E. Simchuk, Research Assistant, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnikeskaya Str., 195251, Saint-Petersburg, Russia. alexsimchuk@bk.ru

Evgenii N. Simchuk, PhD, Director General, Research Institute of the Transport and Construction Complex, 73A, Aviamotornaya Str., Bld. 16, Moscow, 111024, Russia. niitsk@niitsk.ru

Вклад авторов

Симчук А.Е. – постановка цели и задач исследования, проведение экспериментальных испытаний, обработка и анализ данных, подготовка текста статьи, визуализация результатов.

Симчук Е.Н. – научное руководство, разработка методики исследования, интерпретация результатов, редактирование текста статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Simchuk A.E. – formulation of research objective and tasks, experiments, data processing and analysis, writing-original draft preparation, visualization.

Simchuk E.N. – supervision, methodology, interpretation of the results, writing-review and editing.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.04.2026
Одобрена после рецензирования 12.05.2026
Принята к публикации 13.05.2026

Submitted for publication 22.04.2026
Approved after review 12.05.2026
Accepted for publication 13.05.2026