

УДК 629.02
УДК 629.02

DOI:10.33744/0365-8171-2024-116.1-206-217

ВИЗНАЧЕННЯ РАДІАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ ТА РОЗМІРІВ ЇЇ ПЛЯМИ КОНТАКТУ З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ ШЛЯХОМ

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RADIAL STIFFNESS OF A PNEUMATIC TIRE AND THE SIZE OF ITS CONTACT PATCH WITH THE BEARING SURFACE



Іванушко Олександр Миколайович, доктор філософії, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: oleksandr.ivanushko@gmail.com, тел.: +380969298556,

<https://orcid.org/0000-0003-3759-5856>



Разбойніков Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: razboyn1k@ukr.net, тел.: +380972214790,

<https://orcid.org/0000-0003-3024-0999>



Клочан Арсен Євгенійович, доктор філософії, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: varsenchuk@gmail.com, тел. +380683528126,

<https://orcid.org/0000-0002-4225-9382>



Давиденко Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, тел. +380504713399,

<http://orcid.org/0000-0003-0176-3256>

Анотація. Параметри автомобільного колеса та його пневматичної шини зокрема, суттєво впливають як на динаміку руху транспортного засобу, так і на характер його взаємодії з дорожнім покритвом. Це пояснюється тим, що саме пневматична шина автомобільного колеса є кінцевим елементом конструкції автомобіля, яка безпосередньо взаємодіє з дорожнім покритвом і передає всі сили та моменти (що діють в плямі контакту з опорною поверхнею) на його підвіску та рульове керування. Тож, з одного боку, параметри взаємодії автомобільного колеса з опорною поверхнею в значній мірі визначають керованість та стійкість автомобіля, прохідність та плавність ходу, паливну економічність та ефективність використання автомобільного транспортного засобу в цілому, тощо; з іншого – рівень негативного впливу транспортного засобу на дорожній покритв. Відповідно параметри автомобільного колеса та його взаємодії з опорною поверхнею необхідні, як при дослідженні руху автомобільних транспортних засобів, так і при розрахунках дорожнього одягу. В даній статті наведено результати експериментальних досліджень щодо визначення радіальної жорсткості пневматичної шини 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) та розмірів її плями контакту з опорною поверхнею при різних значеннях вертикального навантаження на автомобільне колесо. Представлені дослідження виконані в рамках реалізації проєкту «Розробка моделі навантаження за фактичними параметрами великовагового рухомого складу для визначення вантажно-пропускної здатності автодорожніх мостів при їх відновленні та експлуатації у воєнний і повоєнний періоди» за конкурсом «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди» за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

Ключові слова: автомобільне колесо, пневматична шина, радіальна жорсткість шини, пляма контакту між шиною та опорною поверхнею, дорожній покритв, мостовий перехід.

Вступ. На динаміку руху автомобіля впливає велика кількість параметрів та робочих процесів його систем та механізмів [1]. Разом з тим, суттєвої уваги заслуговують параметри автомобільного колеса та його взаємодії з опорною поверхнею дороги. До основних параметрів автомобільного колеса та його взаємодії з опорною поверхнею слід віднести радіальну та бічну жорсткості пневматичної шини, повздовжній та поперечний коефіцієнти зчеплення з дорогою, коефіцієнт опору бічному відведенню та розміри плями контакту з опорною поверхнею тощо. Останнє впливає не тільки на динаміку руху автомобіля а й на напружено-деформований стан плити прогонової будови мосту.

Параметри пневматичних шин, а точніше відбиток шини, як схема розподілення навантаження використовуються для розрахунку за двома групами граничних станів плити прогонової будови автодорожніх мостів: залізобетонної, металевої ортотропної, дощатого настилу дерев'яних або тимчасових мостів.

На рисунку 1 зображено схематичне розміщення транспортного засобу. Згідно основних принципів конструювання та забезпечення надійності об'єктів будівництва, транспортні засоби необхідно розташовувати керуючись чинними нормативними документами таким чином щоб ці моделі створювали найнебезпечніші умови роботи елементів конструкції, тобто викликали найбільші внутрішні зусилля та деформації. В такому випадку необхідно розробити розрахункову схему плити прогонової будови та завантажити її. Для рисунку 1 це буде нерозрізна балка.

З рисунку 2 випливає, що розмір відбитка колеса значною мірою буде впливати на створення розрахункової схеми, так як від ширини колеса та типу, а також кількості транспортних засобів їх розміщення буде різним, тому відповідно перед інженером буде стояти задача розрахунку конструкції при найневигодніших умовах роботи.

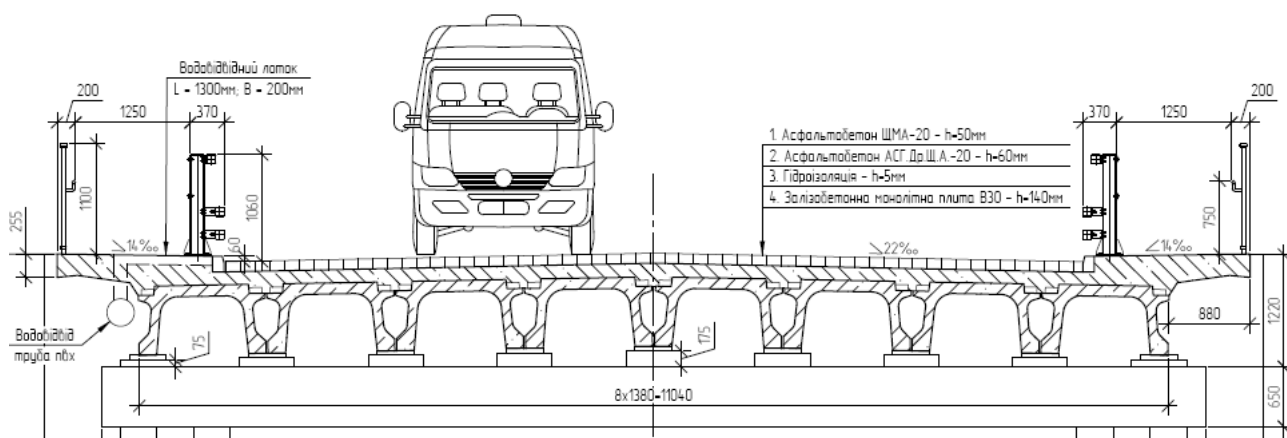


Рисунок 1 – Поперечний переріз автодорожнього мосту із схемою завантаження залізобетонної плити прогонової будови

Figure 1 – Cross-section of a road bridge with a loading scheme of the concrete girder slab

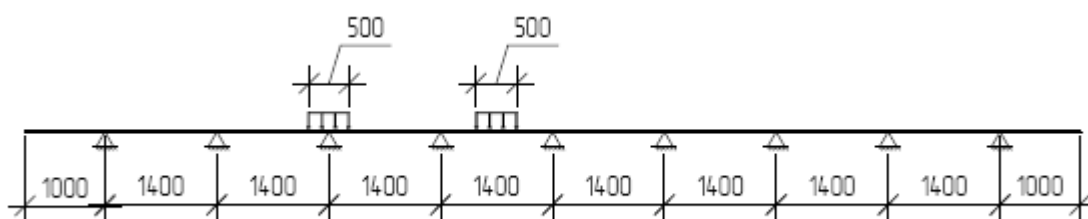


Рисунок 2 – Розрахункова схема (нерозрізна балка) залізобетонної плити прогонової будови

Figure 2 – Design scheme (continuous beam) of a reinforced concrete slab of a span structure

На рисунку 2 показано схему для аналітичного класичного розрахунку, проте сьогодні все частіше розрахунки будівельних конструкцій проводять в програмному забезпеченні за методом скінченних елементах. В такому випадку створюється просторова розрахункова модель де відбиток колеса транспортного засобу задається через ширину і довжину. Підкреслимо, що більшість таких комплексів можуть задавати рівномірне навантаження лише у вигляді прямокутника, тому незважаючи на те, що відбиток колеса може бути овальної форми він в розрахунках приводиться до прямокутної, що спрощує роботу інженера.

Зазначимо, що це справедливо для розрахунку фактичної вантажопідйомності, або у випадку розрахунку пропуску великовагового навантаження, так як проєктні чинні моделі тимчасового рухомого навантаження АК та НК чітко регламентовані.

Для визначення параметрів автомобільного колеса та його взаємодії з опорною поверхнею дороги проводяться відповідні експериментальні дослідження. Так, для визначення радіальної жорсткості шини c_T необхідно визначити її пружну характеристику, тобто залежність деформації шини s_T від вертикального навантаження F на неї (рис. 3).

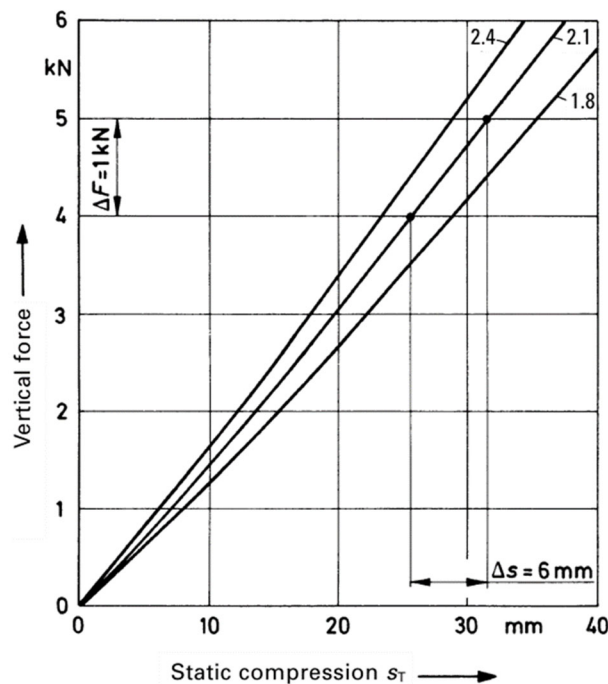


Рисунок 3 – Залежність деформації s_T шини 175/70 R 13 80 S від вертикального навантаження F на неї при різних (1,8 бар; 2,1 бар; 2,4 бар) значеннях внутрішнього тиску [1]

Figure 3 – Dependence of deformation s_T of the tire 175/70 R 13 80 S on the vertical load F at different (1.8 bar; 2.1 bar; 2.4 bar) values of internal pressure [1]

Отримані параметри шин та їх взаємодії з дорогою можуть бути використанні при математичному моделюванні руху автомобіля. Крім того, такі дані можуть бути використанні з метою побудови універсальних розрахунково-експериментальних залежностей, наприклад, для визначення радіальної c_T (табл. 1) жорсткості шин різних моделей, розмірів і типів шин в залежності від допустимого навантаження P_z [2].

Апроксимуючі залежності (табл. 1) дають можливість теоретичним шляхом визначити радіальну жорсткість шин різних моделей, розмірів і типів. Крім того теоретичним шляхом можливо визначити і розміри плями контакту між шиною та опорною поверхнею. Зокрема, площа контакту A між шиною та твердою опорною поверхнею може бути записана [3]

$$A = c \cdot l \cdot b \quad (1)$$

де c – параметр форми контакту, один;

l – довжина плями контакту, м;

b – ширина плями контакту, м.

Таблиця 1 – Апроксимуючі залежності результатів досліджень радіальної жорсткості шин [2]
Table 1 – Approximating dependencies of the results of studies of tire radial stiffness [2]

Тип шин	Залежність	Середня відносна похибка, %
Легкові радіальні шини	$c_T \left(\frac{H}{\text{мм}} \right) = 1,6221 \cdot P_z^{0,54438} (H)$	7
Легкові діагональні шини	$c_T \left(\frac{H}{\text{мм}} \right) = 0,3311 \cdot P_z^{0,7531} (H)$	14,2
Вантажні радіальні шини	$c_T \left(\frac{H}{\text{мм}} \right) = 0,3240 \cdot P_z^{0,7731} (H)$	6,4
Вантажні діагональні шини	$c_T \left(\frac{H}{\text{мм}} \right) = 52,06 \cdot P_z (\kappa H) - 0,84 \cdot P_z^2 (\kappa H)$	4,9
Всі шини	$c_T \left(\frac{H}{\text{мм}} \right) = 0,1244 \cdot P_z^{0,8616} (H)$	12,1

Параметр форми контакту c для круга або еліпса становить рівним 0,785; для квадрата $c = 1$. Форма плями контакту між шиною та опорною поверхнею залежить від багатьох факторів: конструкції шини, внутрішнього тиску повітря в ній, навантаження на автомобільне колесо, властивостей опорної поверхні тощо. При цьому, параметр форми контакту c зазвичай між кругом та квадратом і знаходиться в інтервалі 0,8...0,9 [3].

В роботі [4], посилаючись на чисельні експериментальні дослідження визначено, що ширина b плями контакту між шиною та дорожнім одягом майже не залежить ні від навантаження на автомобільне колесо, ні від швидкості руху автомобільного транспортного засобу. При цьому вона рівна ширині бігової доріжки шини і може бути визначеною за залежністю [4]

$$b = k_b \cdot B \tag{2}$$

де k_b – коефіцієнт корекції ширини плями контакту (0,65..0,75) [4];

B – ширина профілю шини, м.

Відповідно, в роботі [4] припускається, що площа плями контакту в залежності від навантаження на колесо, змінюється тільки за рахунок зміни її довжини. Разом з тим, довжина плями контакту може бути визначеною за залежністю [5]

$$l = 2 \cdot k_l \sqrt{s_T \cdot (2 \cdot r - s_T)} \tag{3}$$

де k_l – коефіцієнт корекції довжини плями контакту;

s_T – радіальна деформація шини, м;

r – вільний радіус колеса, м.

В роботі [5] зазначено, що коефіцієнт корекції довжини плями контакту k_l наближено рівний 0,7, а формула (3) справедлива за умови, що тиск в шині відповідає паспортним даним або відхиляється від нього не більш ніж на 20%.

Тож за рівняннями (1)-(3) теоретичним шляхом можна визначити розміри та площу контакту між шиною та твердою опорною поверхнею. При цьому, за даними [4] у режимах рівномірного руху, розгін, а також при стоянці автомобіля можна вважати, що в плямі контакту тиск розподіляється рівномірно.

Разом з тим, найбільш точний підхід до визначення параметрів автомобільного колеса та його взаємодії з опорною поверхнею є стендові випробування для конкретної шини з конкретним внутрішнім тиском в ній.

Мета роботи полягає в проведенні експериментальних досліджень, щодо визначення радіальної жорсткості пневматичної шини 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) та розмірів її плями контакту з опорною поверхнею. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- забезпечити на Стенді зміну вертикального навантаження на колесо автомобіля з шиною 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) для визначення її радіальної жорсткості;
- визначити зміну вертикальної деформації шини 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) в залежності від вертикального навантаження;
- забезпечити на Стенді можливість вертикального переміщення колеса автомобіля до його відриву від опорної поверхні з подальшим поновленням його контакту;
- забезпечити можливість збереження результату експериментальних досліджень щодо визначення геометричних параметрів плями контакту між шиною та опорною поверхнею;
- провести порівняльний аналіз експериментальних і теоретичних досліджень щодо визначення радіальної жорсткості шини та геометричних параметрів її плями контакту.

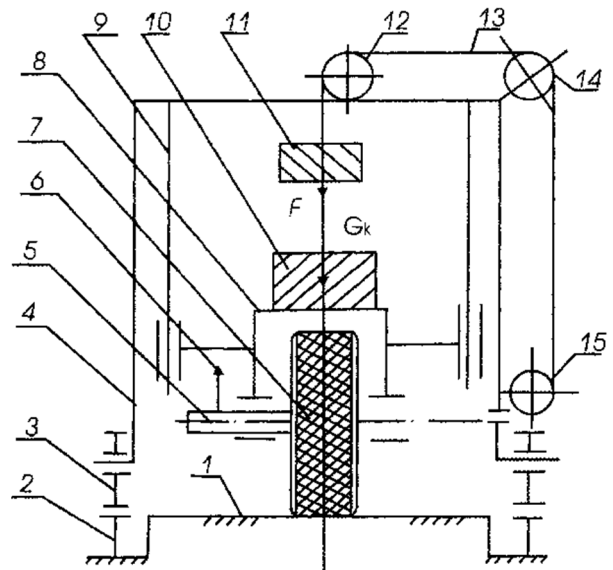
Основна частина дослідження. В лабораторії кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету є стенд для дослідження кочення коліс з бічним відведенням (далі за текстом –«Стенд») (рис. 4, а). Стенд складається з рами 4 (рис. 4,б), вантажної платформи 8, колеса 7, рухомої осі колеса 5, яка має можливість переміщуватися в поперечному напрямку, сталевих канатів 13, блоків 12, 14, 15, вантажу 11, що створюють бічну силу на колесо, і вантажу 10, що створюють вертикальне навантаження. Варто зазначити, що Стенд має можливість вертикального переміщення вантажної платформи 8 по вертикальним напрямним 9, а також переміщення вздовж опорної поверхні 1 на роликах 3 по швелерах 2. Рухома вісь 5 колеса 7 має можливість переміщення разом із колесом в поперечному напрямку по рухомих напрямних Стенду [6].

На Стенді (рис. 4) проведено експериментальні дослідження щодо визначення радіальної жорсткості c_T шини 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) та розмірів плями її контакту з опорною поверхнею.

Вертикальне навантаження F забезпечувалось масою самої платформи (110 кг) і вісьма зйомними вантажами по 30 кг кожний (рис. 4, а) (вертикальне навантаження F змінювалось з кроком в 588,6 Н від 1079,1 Н до 3433,5 Н). За результатами отриманих експериментальних даних було нанесено точки на поле графіка щодо залежності деформації шини s_T від вертикального навантаження F на неї, побудовано апроксимуючу зазначеної графічної залежності (суцільна пряма) (рис. 5).



(a)



(б)

Рисунок 4 – Загальний вигляд Стенду (a) та його кінематична схема (б)

Figure 4 – General view of the Stand (a) and its kinematic scheme (b)

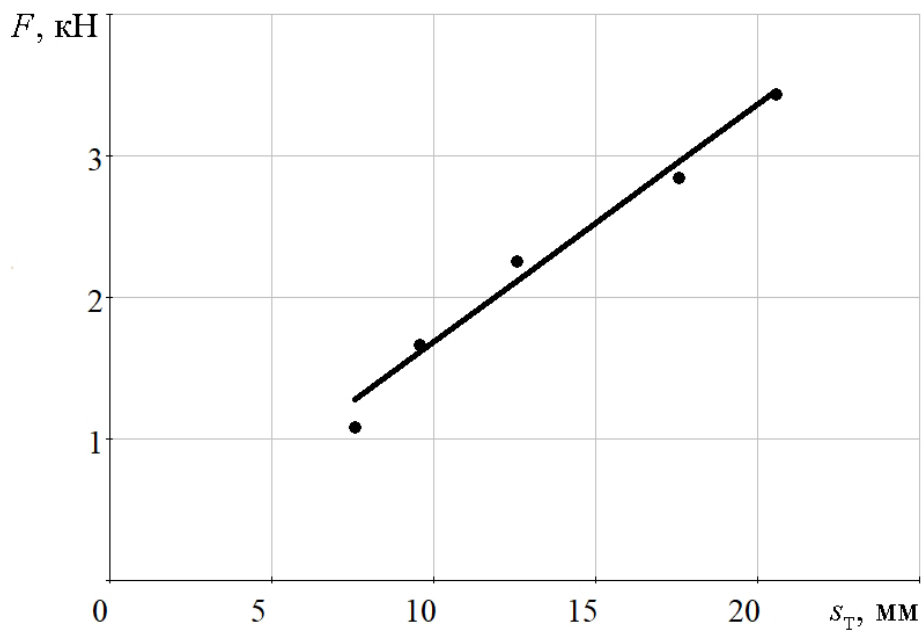


Рисунок 5 – Залежність деформації s_T шини 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) від вертикального навантаження F

Figure 5 – Dependence of deformation s_T of the tire 175/70 R 13 82 T (internal pressure 0.2 MPa) on the vertical load F

Відрив автомобільного колеса від опорної поверхні та поновлення його контакту (передбачено програмою випробувань) забезпечувалось із залученням тельферу (рис. 6, а). Для визначення розмірів плями контакту між шиною та опорною поверхнею розміщено чорний копіювальний папір, а на шину нанесено крейду (рис. 6, б). Зміна деформації шини визначалась за допомогою кутника (рис. 6, в).



Рисунок 6 – До забезпечення відриву колеса від опорної поверхні (а), визначення розмірів плями контакту (б) та вертикальної деформації шини (в)

Figure 6 – To ensure the separation of the wheel from the bearing surface (a), determining the dimensions of the contact patch (b) and the vertical deformation of the tire (c)

Випробування щодо визначення розмірів плями контакту проводилось при вертикальному навантаженні 2256 Н, що забезпечувалось масою самої платформи (110 кг) і чотирма вантажами по 30 кг (разом з вантажною платформою 230 кг). Результати випробування відображено на рисунку 7.

За результатами експериментальних випробувань визначено, що радіальна жорсткість c_T шини 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) становить 168 Н/мм (рис. 5), довжина плями контакту l становить 128 мм, її ширина b – 112 мм (рис. 6), площа контакту A – 12683 мм² (вертикальне навантаження 2256 Н). Результати порівняння експериментальних даних (рис. 5), (рис. 7) з теоретичними, що визначені за залежностями (табл. 1) та (1)-(3), зведено до таблиці 2.

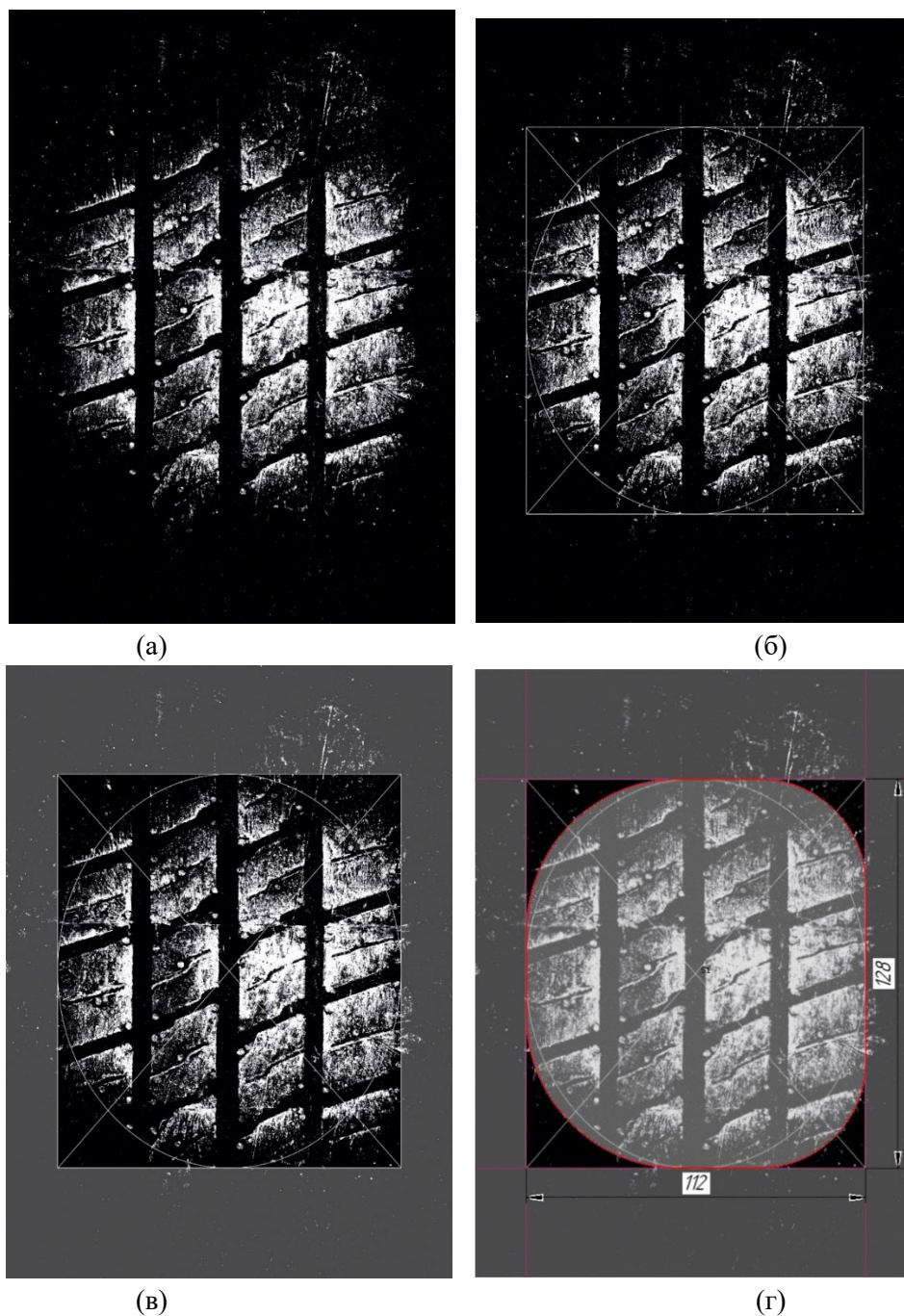


Рисунок 7 – Пляма контакту між шиною 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) та опорною поверхнею (вертикальне навантаження 2256 Н) (а) з нанесеними прямокутними та овальними контурами (б), з виділеною зоною контакту (в) та контуром плями контакту (г)

Figure 7 – Contact patch between the 175/70 R 13 82 T tire (internal pressure 0.2 MPa) and the bearing surface (vertical load 2256 N) (a) with applied rectangular and oval contours (b), with a highlighted contact zone (c) and contour of the contact spot (d)

Таблиця 2 – Порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень
Table 2 – Comparison of the experimental and theoretical research results

Позначення, найменування параметру, одиниці вимірювання	Значення		Розбіжність	
	експерименталь не	теоретичне	абсолютна	відносна, %
c_T , радіальна жорсткість, Н/мм	168	161*	7	4
A , площа плями контакту, мм ²	12683	12443**	240	2
b , ширина плями контакту, мм	112	114***	2	2
l , довжина плями контакту, мм	128	122****	6	5

* – розрахунок по апроксимуючій залежності з таблиці 1 для легкових радіальних шин;

** – параметр форми контакту c прийнятий рівним 0,90;

*** – коефіцієнт корекції ширини плями контакту k_b прийнятий рівним 0,65;

**** – коефіцієнт корекції довжини плями контакту k_l прийнятий рівним 0,70.

За даними з роботи [1] (рис. 3) радіальна жорсткість c_T шини 175/70 R 13 80 S з внутрішнім тиском 0,21 МПа становить 167 Н/мм. Абсолютна розбіжність між цими даними [1] і отриманими на Стенді (рис. 3) становить 1 Н/мм, відносна розбіжність – менше 1%.

Висновки. Проведені стендові експериментальні дослідження, щодо визначення радіальної жорсткості пневматичної шини 175/70 R 13 82 T (внутрішній тиск 0,2 МПа) та розмірів її плями контакту (вертикальне навантаження 2256 Н) з опорною поверхнею. Вертикальне навантаження на колесо забезпечувалось масою самої платформи Стенда (110 кг) і вісьма зйомними вантажами по 30 кг кожний (вертикальне навантаження F змінювалось з кроком в 588,6 Н від 1079,1 Н до 3433,5 Н). Відрив автомобільного колеса від опорної поверхні та поновлення його контакту (передбачено програмою випробувань) забезпечувалось із залученням тельферу. Для визначення розмірів плями контакту між шиною та опорною поверхнею розміщено чорний копіювальний папір, а на шину нанесено крейду. Зміна вертикальної деформації шини визначалась за допомогою кутника. За результатами експериментальних випробувань на стенді визначено, що радіальна жорсткість шини 175/70 R 13 82 T становить 168 Н/мм, довжина плями контакту становить 128 мм, її ширина b – 112 мм, площа контакту A – 12683 мм². За результатами порівняльного аналізу експериментальних і теоретичних досліджень щодо визначення радіальної жорсткості шини та геометричних параметрів її плями контакту, встановлено, що відносна розбіжність не перевищує 5%.

Перелік посилань

1. Jörnson R., Helmut S., Jürgen W. B. The Automotive Chassis: Engineering Principles. – Oxford: Butterworth-Heinemann Elsevier Science, 2001. 460 p.

2. Розробка та реалізація методу визначення розрахункових залежностей для радіальної та бічної жорсткостей автомобільних шин / Балакіна К. В. та ін. *Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування*: Наук. пр. міжнар. науково-практ. конф. присвяч. 90-

річчю Харків. автомоб.-дорож. ун-ту та 90-річчю автомоб. ф-ту, м. Харків, 16 – 18 верес. 2020 р. Харків, 2020. С. 229–231.

3. Saarihahti M. Survey on Tyre Contact Area and Ground Pressure Models for Studying the Mobility of Forest Tractors: Project Deliverable D2 (Work Package No.1) on Soil Interaction Model. University of Helsinki, 2002. 40 p.

4. Богомолов В.О. Розрахунковий розподіл тисків у плямі контакту шини з поверхнею дорожнього одягу // *Вісник ХНАДУ*. Харків, 2016. № 72. С. 143–150.

5. The Calculation Method of the Length of Contact of Car Tires with the Road Surface / E. V. Balakina et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 632. P. 012022.

6. Костенко А. В. Прогнозування показників курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням розкиду жорсткісних характеристик шин : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02. Київ, 2007. 168 с.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RADIAL STIFFNESS OF A PNEUMATIC TIRE AND THE SIZE OF ITS CONTACT PATCH WITH THE BEARING SURFACE

Ivanushko Oleksandr M., Ph.D, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of motor vehicle maintenance and service, e-mail: oleksandr.ivanushko@gmail.com tel.: +380969298556, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, <https://orcid.org/0000-0003-3759-5856>

Razboinikov Oleksandr O., Ph.D (Candidate of Technical Sciences), National Transport University, Associate Professor of Department of Automobiles, e-mail: razboyn1k@ukr.net, tel.: +380972214790, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, <https://orcid.org/0000-0003-3024-0999>

Klochanskyi Arsen Ye., Ph.D, Associate Professor of the Department of Information Analysis and Information Security, National Transport University, e-mail: varsenchuk@gmail.com, tel.: +380683528126, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, <https://orcid.org/0000-0002-4225-9382>

Davydenko Oleksandr O., Ph.D (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydrotechnical Structures, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, tel.: +380504713399, <http://orcid.org/0000-0003-0176-3256>

Abstract. The parameters of a car wheel and its pneumatic tire, in particular, significantly affect both the dynamics of the vehicle and the nature of its interaction with the road surface. This is explained by the fact that the pneumatic tire of a car wheel is the final element of the car structure which directly interacts with the road surface and transfers all forces and moments (acting in the contact patch with the bearing surface) to its suspension and steering. So, on the one hand, the parameters of the interaction of the car wheel with the bearing surface largely determine the controllability and stability of the car, the passability and smoothness of the ride, the fuel economy and the efficiency of the vehicle use in general, etc.; on the other hand, the level of negative impact of the vehicle on the road surface. Accordingly, the parameters of the car wheel and its interaction with the bearing surface are necessary both in the study of the movement of motor vehicles and in the calculation of road wear. This article presents the results of experimental studies on the determination of the radial stiffness of the pneumatic tire 175/70 R 13 82 T (internal pressure 0.2 MPa) and the size of its contact spot with the support surface at different values of the vertical load on the car wheel. The presented research was carried out within the framework of the project "Development of a load model based on the actual parameters of heavy-

duty rolling stock to determine the load-carrying capacity of road bridges during their restoration and operation in the war and post-war periods" under the competition "Science for the reconstruction of Ukraine in the war and post-war periods" the grant support account of the National Research Fund of Ukraine.

Keywords: car wheel, pneumatic tire, tire radial stiffness, contact patch between the tire and the supporting surface, road surface, bridge crossing.

References

1. Jörnsen R., Helmut S., Jürgen W. B. The Automotive Chassis: Engineering Principles. – Oxford: Butterworth-Heinemann Elsevier Science, 2001. 460 p.

2. Development and Implementation of a Method for Determining the Design Dependencies for the Radial and Lateral Stiffness of Automobile Tires / Balakina K. V. et al. *Modern Trends in the Development of Road Transport and Branch Engineering*: Proc. of the International Scientific-Practical Conf. Devoted to the 90th anniversary of Kharkiv Automobile Industry. 90th anniversary of Kharkiv Automobile and Highway University and 90th anniversary of the Faculty of Automobile, Kharkiv, September 16-18. 2020 Kharkiv, 2020. C. 229-231. [in Ukrainian]

3. Saarilahti M. Survey on Tyre Contact Area and Ground Pressure Models for Studying the Mobility of Forest Tractors: Project Deliverable D2 (Work Package No.1) on Soil Interaction Model. University of Helsinki, 2002. 40 p.

4. Bogomolov V.O. Calculated Distribution of Pressures in the Tire Contact Patch with the Pavement Surface // *KhNADU Bulletin*. Kharkiv, 2016. № 72. C. 143-150. [in Ukrainian]

5. The Calculation Method of the Length of Contact of Car Tires with the Road Surface / E. V. Balakina et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 632. P. 012022.

6. Kostenko A. V. Prediction of Indicators of Directional Stability of a Passenger Car Taking into account the Scatter of tire Stiffness Characteristics: Candidate of Technical Sciences (PhD): 05.22.02. Kyiv, 2007. 168 p. [in Ukrainian]