

**АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ КІНЕМАТИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ПРИ КОЧЕННІ КОЛЕСА З ПНЕВМАТИЧНОЮ ШИНОЮ ПО ПЛОСКІЙ ОПОРНІЙ ПОВЕРХНІ, ЩО ДЕФОРМУЄТЬСЯ**

*АНОТАЦІЯ. Проведено аналіз існуючих моделей кінематичних співвідношень при коченні колеса з пневматичною шиною по плоскій опорній поверхні, що деформується, в області їхнього контакту. Ключові слова: кочення колеса, кінематика, деформація, опорна поверхня, проковзування.*

*АННОТАЦИЯ. Проведен анализ существующих моделей кинематических соотношений при качении колеса с пневматической шиной по плоской деформирующейся опорной поверхности в области их контакта. Ключевые слова: качение колеса, кинематика, деформация, опорная поверхность, проскальзывание.*

*SUMMARY. The analysis of existing models of the kinematic relationships is carried out at rolling wheel with the pneumatic tyre on a flat deformed basic surface in the field of their contact. Key words: rolling wheel, kinematics, deformation, basic surface, slip.*

**Вступ**

Кочення колеса з пневматичною шиною (еластичного колеса – ЕК) по плоскій опорній поверхні, що деформується – ПДОП (грунту, землі, сніговій циліні тощо), за різних режимів його силового навантаження, обов’язково супроводжується явищем проковзування (ковзання) [1] елементів протектора шини відносно опорної поверхні. Воно, в наслідок тертя ковзання, з одного боку, суттєво впливає на тягово-зчіпні властивості рушія [2], а з іншого – на зношення протектора шини [3] і строк її служби в основному за зазначеної причини [4].

**Аналіз публікацій і стан проблеми**

Явище проковзування (ковзання) ЕК при прямолінійному русі по ПДОП докладно досліджено в [2] і значно уточнено в [5]. Разом з цим, до основних недоліків останньої моделі взаємодії ЕК з ПДОП варто віднести також, як в [2], апіорне прийняття форми поздовжньої лінії контакту як в зоні завантаження, так і в зоні розвантаження дугами радіусів  $R_1$  і  $R_2$ , а також незбіг напрямків деформацій тіл, що одночасно контактують.

В роботі [6] вперше, без обмежень, крім геометричних і кінематичних, теоретично отримано рівняння поздовжньої лінії контакту ЕК з ПДОП у вигляді моделей, що складаються з нескінченного великого числа елементів різної реологічної природи, тобто

паралельно розташованих тіл Гука, Ньютона і Сен-Венана для ЕК та Гука і Ньютона для ПДОП, що одночасно деформуються у радіальному напрямку [7], рис. 1. На цій основі отримано теоретичні залежності швидкості проковзування елементів протектора пневматичної шини відносно опорної поверхні від коефіцієнта буксування рушія [8].

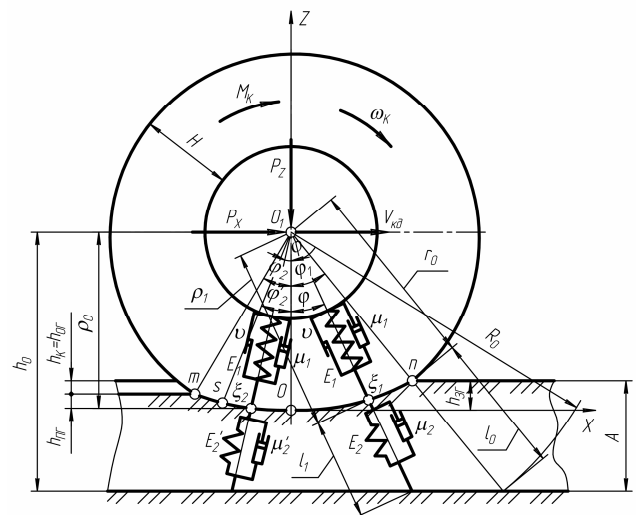


Рис. 1. Схема силової взаємодії ЕК з ПДОП при коченні колеса (при дії на вісь колеса тільки сили  $P_x$  для веденого режиму його силового навантаження, а під час прикладання до колеса тільки крутного моменту  $M_K$  – для вільного режиму):  $A$  – величина шару ґрунту, що знає деформації

**Мета та постановка задачі**

Задача полягає в порівнянні існуючих моделей [5,8] кінематичних співвідношень при коченні ЕК по ПДОП та аналізі їх впливу на тягово-зчіпні властивості рушія і зношення протектора пневматичної шини.

**Виклад основного матеріалу**

Основні припущення, що було застосовано під час теоретичних досліджень кінематики кочення ЕК по ПДОП в роботах [5,8] значною мірою відповідають методологічним положенням, які прийняті авторами цих робіт з [9]. Разом з цим ряд припущень із [5] призводить до різних (за величиною) кінцевих результатів [8] щодо кінематичних співвідношень у зоні контакту ЕК з ПДОП.

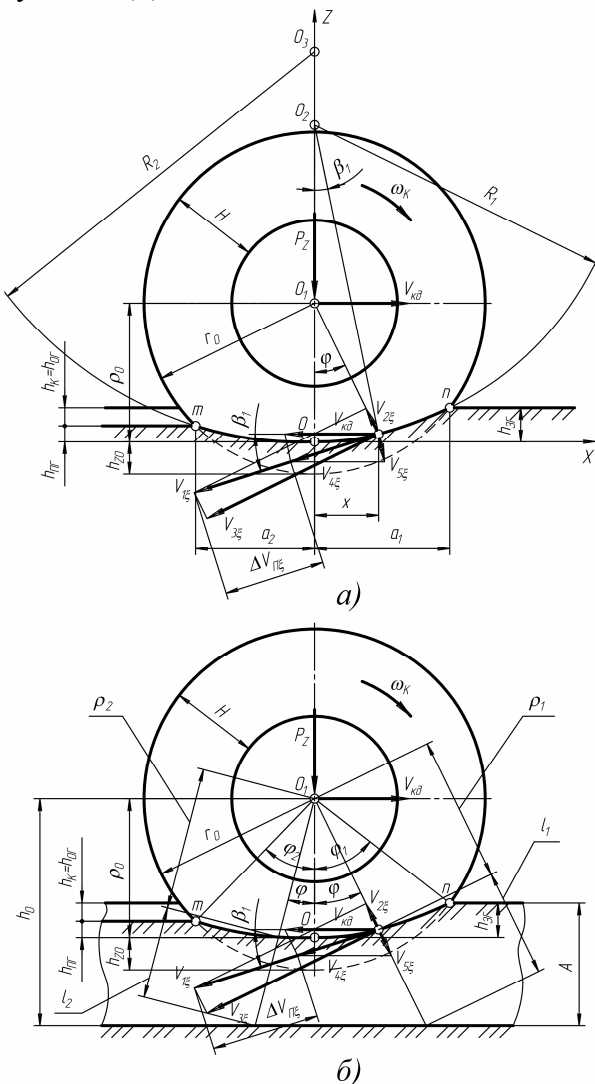


Рис. 2. Схеми для дослідження кінематики кочення ЕК по ПДОП: а – згідно з [5]; б – згідно з [8]

По-перше, як відзначено раніше [6], це апріорне прийняття [5] форми поздовжньої лінії контакту в зонах завантаження ( $nO$ ) і розвантаження ( $Om$ ) дугами радіусів відповідно  $R_1$  і  $R_2$  (рис. 2а). Визначення цих радіусів (у наших позначеннях) здійснюється за наближеними виразами [10]:

$$R_1 = r_0 \left( 1 + \frac{h_{z0}}{h_{3Г}} \right); R_2 = r_0 \left( 1 + \frac{h_{z0}}{h_{ПГ}} \right),$$

де  $r_0$  – радіус недеформованого профілю пневматичної шини, тобто її профілю поза зоною контакту з ПДОП;  $h_{z0}$  – нормальний прогин шини;  $h_{3Г}$ ,  $h_{ПГ}$  – відповідно загальна і пружна деформації опорної поверхні (грунту).

По-друге, в [5] прийнято, що шина деформується в радіальному напрямку, а опорна поверхня (грунт) – в напрямку нормалі до поверхні контакту, тобто в напрямку радіусів  $R_1$  і  $R_2$ . В роботі [8] зазначені деформації відповідно до прийнятих моделей ЕК і ПДОП [7] виникають одночасно у радіальному напрямку (рис. 2б).

Проаналізуємо залежності швидкості проковзування довільного елемента протектора пневматичної шини (ЕК) у зоні її контакту з ПДОП, тобто  $\Delta V_{Pi\xi} = \Delta V_{Pi\xi}(x)$  для моделі [5] і  $\Delta V_{Pi\xi} = \Delta V_{Pi\xi}(\varphi)$  для моделі [8].

Для моделі взаємодії ЕК з ПДОП згідно з [5] маємо

$$\Delta V_{Pi\xi} = \frac{\omega_K \rho_0 \left( 1 + \left( \frac{R_i}{\rho_0} - 1 \right) \frac{x^2}{R_i \rho_0} \right)}{1 + \left( \frac{R_i}{\rho_0} - 1 \right) \frac{x^2}{2R_i^2}} - V_{кд} \left( 1 - \frac{x^2}{2R_i^2} \right), \quad (1)$$

де  $\rho_0 = r_0 - h_{z0}$ ; індекс  $i$  при  $R$  відповідає 1 для зони завантаження ( $nO$ ), а 2 – розвантаження ( $Om$ ).

Представимо вираз для  $V_{кд}$  в (1) у вигляді  $V_{кд} = \omega_K \rho_0 / \theta_0$  або згідно з [2]  $V_{кд} \approx \omega_K \rho_0 (1 - \delta)$ , де  $\theta_0$  і  $\delta$  – відповідно коефіцієнт проковзування центральної опорної точки –  $O$  (рис. 2) ЕК і коефіцієнт буксування рушія (коефіцієнт поздовжнього ковзання колеса при буксуванні [1]).

Тоді з виразу (1) отримаємо

$$\Delta V_{Пi\xi} = \omega_K \rho_0 \left[ \frac{\left(1 + \left(\frac{R_i}{\rho_0} - 1\right) \frac{x^2}{R_i \rho_0}\right)}{1 + \left(\frac{R_i}{\rho_0} - 1\right) \frac{x^2}{2R_i^2}} - (1 - \delta) \left(1 - \frac{x^2}{2R_i^2}\right) \right].$$

Відповідно для моделі взаємодії ЕК з ПДОП згідно з [8] отримаємо:

у зоні завантаження ( $nO$ )

$$\Delta V_{П1\xi} = \omega_K [A_1 - B_1(1 - \delta)]; \quad (2)$$

у зоні розвантаження ( $Om$ )

$$\Delta V_{П2\xi} = \omega_K [A_2 - B_2(1 - \delta)], \quad (3)$$

де  $A_1 = \frac{\sqrt{d_1^2 + c_1 \cdot \cos^3 \varphi (c_1 \cdot \cos \varphi + 2d_1)}}{\cos^2 \varphi};$

$$A_2 = \frac{\sqrt{d_2^2 [1 - \cos^3 \varphi (2 - \cos \varphi)] + \dots}}{\cos^2 \varphi} \dots$$

$$\dots \frac{+ c_2 \cdot \cos^2 \varphi [c_2 \cdot \cos^2 \varphi + 2d_2 (1 - \cos \varphi)]}{\cos^2 \varphi};$$

$$B_1 = \rho_0 \frac{\sin(90^\circ - \varphi)}{\sin(90^\circ + \varphi - \beta_1)};$$

$$B_2 = \rho_0 \frac{\sin(90^\circ - \varphi)}{\sin(90^\circ + \varphi - \beta_2)};$$

$$\beta_1 = \varphi - \arctg \left( \frac{d_1 \operatorname{tg} \varphi}{c_1 \cdot \cos \varphi + d_1} \right);$$

$$\beta_2 = \varphi - \arctg \left( \frac{d_2 \operatorname{tg} \varphi}{c_2 \cdot \cos \varphi + d_2 (1 - \cos \varphi)} \right);$$

$$c_1 = r_0 - \frac{h_0}{(1 + m_1) \cos \varphi};$$

$$c_2 = r_0 - \frac{h_0 (1 - \cos \varphi)}{(1 + m_1) \cos \varphi};$$

$$d_1 = \frac{h_0}{1 + m_1}; \quad d_2 = \frac{h_0}{1 + m_2};$$

$$h_0 = A + r_0 - (h_{Z0} + h_{3r}).$$

Величини  $m_1$  і  $m_2$ , що входять до залежностей (2) і (3), визначаються згідно [6] за виразами:

$$m_1 = dl_1 / d\rho_1; \quad (4)$$

$$m_2 = dl_2 / d\rho_2, \quad (5)$$

де  $dl_1, d\rho_1, dl_2, d\rho_2$  – швидкості деформування ґрунту і шини відповідно у зоні завантаження ( $nO$ ) і розвантаження ( $Om$ ) (рис. 2б).

Знайти чисельні значення  $m_1$  і  $m_2$ , виходячи тільки з геометричних ( $\varphi_1, \varphi_2, \rho_0$ ) і кінематичних ( $\omega_K, \delta$ ) параметрів взаємодії ЕК з ПДОП без розгляду силової взаємодії контактуючих тіл, не уявляється можливим. Дійсно, наприклад, для  $m_1$  з виразу (4) з урахуванням розрахункової схеми на рис. 2б, отримаємо

$$m_1 = \frac{h_0 m_1 \sin \varphi}{(m_1 + 1) \cos^2 \varphi} \Big/ \frac{h_0 \sin \varphi}{(m_1 + 1) \cos^2 \varphi} = m_1.$$

Співвідношення швидкостей деформування  $m_1$  тіл, що взаємодіють, і відновлення їх деформацій, тобто відповідно  $m_2$  для прийнятих в [7] реологічних моделей ЕК і ПДОП отримано в [11] у вигляді:

$$m_1 = \frac{A}{H \cos \varphi_1} \cdot \frac{E_1 \Delta R + \mu_1 \dot{R} + \nu E_1 H}{E_2 \Delta R + \mu_2 \dot{R} - \nu E_1 A / \cos \varphi_1}; \quad (6)$$

$$m_2 = \frac{A}{H \cos \varphi_1} \cdot \frac{E_1 \Delta R - \mu_1 \dot{R} - \nu E_1 H}{E_2' \Delta R - \mu_2' \dot{R} + \nu E_1 A / \cos \varphi_1}, \quad (7)$$

де  $E_1, \mu_1$  – відповідно модуль деформації та коефіцієнт в'язкості шини (ЕК);  $E_2, E_2'$  – відповідно модуль деформації ґрунту (ПДОП) в зонах завантаження ( $nO$ ) і розвантаження ( $Om$ );  $\mu_2, \mu_2'$  – відповідно коефіцієнт в'язкості ґрунту в зонах завантаження ( $nO$ ) і розвантаження ( $Om$ );  $\nu$  – коефіцієнт, що показує, яку частину модуля деформації шини  $E_1$  складають контактні напруження, що обумовлені постійним внутрішнім тертям у шині.

Значення  $E_2'$  і  $\mu_2'$  в (7), що відрізняються від  $E_2$  і  $\mu_2$  в (6), врахують необоротні зміни властивостей ґрунту в результаті його деформування на передній ( $nO$ ) ділянці контакту ЕК з ПДОП.

У виразах (6) і (7)  $\Delta R$  і  $\dot{R}$  згідно з [11] визначаються за формулами:

$$\Delta R = R_0 \left( 1 - \ln \frac{1 + \sin \varphi_1}{1 - \sin \varphi_1} \cdot \frac{\cos \varphi_1}{2\varphi_1} \right);$$

$$\dot{R} = \frac{\omega R_0}{\varphi_1} (1 - \cos \varphi_1).$$

Експериментальні значення параметрів зазначеної реологічної моделі ЕК на прикладі пневматичної шини розміром 37,5-39 мод. Ф-7, а саме  $E_1$ ,  $\nu$  і  $\mu_1$  було одержано за методикою [12] з урахуванням значень параметрів її механічної моделі, отриманих за результатами статичних і динамічних випробувань ЕК на опорній поверхні, що не деформується (ПНОП):

$$E_1 = \frac{(Q - Q_v)H}{B_{II}r_0^2 \lambda_Q};$$

$$\nu = \frac{Q_v}{2B_{II}E_1r_0\varphi_0 \cos \varphi_0};$$

$$\mu_1 = \frac{(Q\dot{h}_{Z0}/g - Q_v)H}{B_{II}r_0\dot{h}_{Z0} \cos \varphi_0 \ln \left[ \frac{(1 + \sin \varphi_0)}{(1 - \sin \varphi_0)} \right]},$$

де  $B_{II}$  – ширина протектора шини;  $\lambda_Q$  – безрозмірний коефіцієнт,  $\lambda_Q \approx 0,551\varphi_0^{2,88}$ ;  $\varphi_0$  – кут контакту ЕК з опорною поверхнею, що відповідає  $h_{Z0}$  при вертикальному навантаженні шини  $Q = P_Z$  (для ПНОП  $\varphi_0 = \varphi_1 = \varphi_2$ );  $Q_v$  – значення частки  $Q$  при  $h_{Z0}$ , що обумовлено постійним внутрішнім тертям у шині, тобто половина величини петлі гістерезису характеристики навантаження шини в координатах  $Q = Q(h_Z)$ ;  $\dot{h}_{Z0}$ ,  $\ddot{h}_{Z0}$  – відповідно швидкість та прискорення в мить відповідний  $h_{Z0}$ , що знайдені шляхом графічного диференціювання осцилограм коливань ЕК при її динамічних випробуваннях;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Експериментальні значення параметрів зазначеної реологічної моделі ПДОП – піщано-глинистого ґрунту типу суглинок [13], а саме  $E_2$ ,  $\mu_2$  і  $k_{II}$  (де  $k_{II}$  – коефіцієнт пружності, тобто  $k_{II} = h_{3Г}/h_{II}$ ), а потім  $E'_2$  і  $\mu'_2$  було одержано за методикою та інформаційно-вимірювальним забезпеченням [14] на стенді для дослідження тягово-зчіпних властивостей одиночних колісних рушіїв з великогабаритними пневматичними шинами при прямолінійному русі [15].

В якості жорсткого колеса (ЖК) для визначення параметрів контакту ЖК з ПДОП –  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ , а також  $P_X$  (де  $P_X$  – опір коченню ЖК на веденому режимі його силового навантаження) було прийнято сталевий валець з розмірами  $r_0$ ,  $B_{II}$  і вертикальним навантаженням  $P_Z$ , відповідними пневматичній шині розміром 27,00-33 (760-838) мод. В-71.

Товщина шару ПДОП, що зазнає деформацію –  $A$  (рис. 1), експериментально визначалась спеціальним пристроєм за технічним рішенням [16]. Швидкість проковзування елементів протектора шини відносно опорної поверхні та радіальна деформація шини вимірювались за допомогою безконтактних приладів – індукційного з аналоговим вихідним сигналом і оптоелектронного відповідно за технічними рішеннями [17,18].

Зазначені експериментальні дослідження параметрів ЕК і ПДОП було проведено авторами за програмою Міждержавної співпраці в галузі виробництва та випробувань пневматичних шин для позашляхових транспортно-технологічних засобів різного призначення в країнах СНД у липні – вересні 2011 року в умовах Полігону будівельно-дорожніх машин Воронежського державного архітектурно-будівельного університету під загальним керівництвом к.т.н. Василенко А.В. (Росія).

На рис. 3 наведено теоретичні залежності  $\Delta V_{II\xi} = \Delta V_{II\xi}(x, \varphi)$  для аналізованих моделей [5,8] кінематичних співвідношень при коченні ЕК по ПДОП. Залежності  $\Delta V_{II\xi} = \Delta V_{II\xi}(x, \varphi)$  отримані з використанням виразів (1) для моделі [5] і (2), (3), (6), (7) для моделі [8] з урахуванням експериментальних значень параметрів контакту та деформованості ЕК (шина розміром 37,5-39 мод. Ф-7) і ПДОП (пухкий суглинок з  $A = 0,35$  м), а саме –  $a_1 = 0,69$  м,  $a_2 = 0,6$  м,  $\varphi_1 = 32^\circ 12'$ ,  $\varphi_2 = 27^\circ 48'$ ,  $h_{Z0} = 0,1$  м,  $h_{3Г} = 0,1$  м,  $h_{II} = 0,05$  м.

Аналіз результатів, наведених на рис. 3, виявляє, що характер теоретичних залежностей 1 (модель [5]) і 2 (модель [8]) однаковий, однак чисельні значення  $\Delta V_{II\xi}$  відрізняються у більший бік приблизно на 9,4%

для моделі кінематичних співвідношень при коченні ЕК по ПДОП [8]. Остання обставина приведе до значного збільшення абсолютної величини шляху проковзування довільного елемента ЕК відносно ПДОП згідно виразу  $S_{\Pi\xi} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \Delta V_{\Pi\xi} d\varphi$  [2] і більш інтенсивному зношенню протектора шини [3].

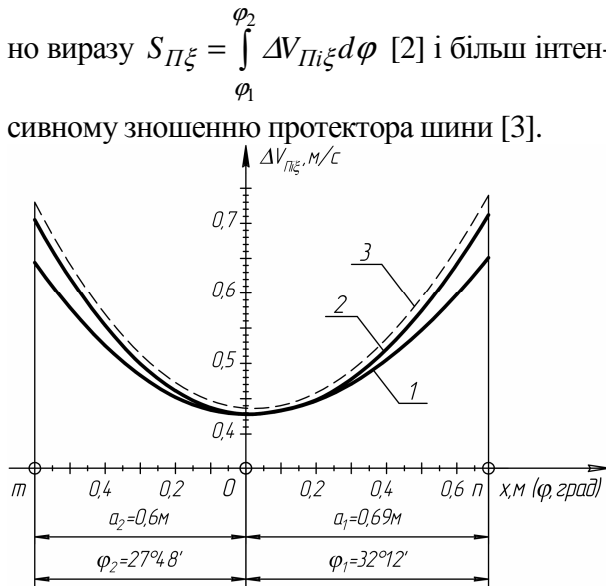


Рис. 3. Теоретичні (1, 2) і експериментальна (3) залежності швидкості проковзування довільного елемента протектора пневматичної шини  $\Delta V_{\Pi\xi}$  від  $x(\varphi)$  у зоні контакту (nm) ЕК з ПДОП: 1 – модель [5]; 2 – модель [8];  $\omega_K = 1,19 \text{ c}^{-1}$ ;  $V_{\text{ко}} = 1 \text{ м/с}$

Незбіг результатів теоретичних (рис. 3, крива 2) і експериментальних (рис. 3, крива 3) досліджень кінематичних співвідношень при коченні ЕК по ПДОП приблизно на (4,5...5,0)% очевидно обумовлений прийнятими авторами в [8] припущеннями, а саме неврахуванням крутильної та поздовжньої жорсткості і тангенціальної еластичності шини [1], що є метою подальших теоретичних досліджень цього явища.

### Висновки

1. **Вперше**, з урахуванням комплексу геометричних, кінематичних і силових факторів взаємодії ЕК з ПДОП, отримано уточненні кінематичні співвідношення у зоні контакту контактуючих тіл різної реологічної природи [7], що дозволило значно (за величиною  $\Delta V_{\Pi\xi}$ ) уточнити явище проковзування протектора шини порівняно з існуючою моделлю [5].

2. Використання отриманих результатів при визначенні зношування протектора

шини і строку її служби за існуючими на цей час методиками [4,19] дозволить обґрунтувати і розрахувати потреби у матеріально-технічних засобах на експлуатацію, у першу чергу, землерийно-транспортних машин підвищеної одиничної потужності й вантажопідйомності, зокрема самохідних скреперів типорозмірів СС-15 і СС-25, обладнаних пневматичними шинами розміром відповідно 27,00-33 і 37,5-39.

3. Експериментальні дослідження параметрів реологічної моделі ПДОП з використанням пристрою для визначення товщини шару ґрунту, що зазнає деформації, дозволило відмовитись від використання поняття “модуль деформації ґрунту”, яке, в наслідок існуючих механічних моделей ґрунту і форми індентора (штампа), не має однозначного експериментального визначення [10]. Застосування індукційного приладу для вимірювання швидкості проковзування елементів протектора пневматичної шини з аналоговим вихідним сигналом дозволило **вперше** експериментально отримати графічну картину цього явища.

4. Отримані результати досліджень кінематичних співвідношень при коченні ЕК по ПДОП показали, що збільшення швидкості проковзування елементів протектора шини відносно опорної поверхні суттєво вплине на тягово-зчіпні властивості рушія, а також приведе до значного збільшення абсолютної величини шляху проковзування довільного елемента ЕК відносно ПДОП і більш інтенсивного зношення протектора шини [11,20].

### Література

- ГОСТ 17697-72. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 26с. (в ред. 25.01.2006).
- Ульянов Н.А. Колесные движители строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1982. – 279с.
- Ульянов Н.А., Никулин П.И., Смирнов А.Г. Исследование скольжения и износа крупногабаритных пневматических шин при криволинейном движении колесного движителя. – В кн.: Надежность строительных машин и оборудования предприятий промышленности строительных материалов. – Ростов-на-Дону, 1979. – С. 65-70.
- Смирнов А.Г. Исследование скольжения пневматической шины колесного движителя

- при криволинейном движении: Автореф. дис. к.т. н. – Харьков, 1981. – 19с.
5. *Никулин П.И., Щербинин М.И., Василенко А.В.* Кинематика качения колеса с пневматической шиной по деформирующейся опорной поверхности // Исследование строительных и дорожных машин: Межвузовский сб. научных трудов. – Воронеж: ВГАСА, 1996. – С. 34-43.
  6. *Пелевин Л.Е., Аржаев Г.А., Балака М.Н.* Определение равновесной формы продольной линии контакта колеса с пневматической шиной при взаимодействии с деформирующейся опорной поверхностью // Гірн., буд., дор. та меліор. машини: Всеукр. зб. наук. пр. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 64. – С. 44-48.
  7. *Пелевин Л.Е., Балака М.Н., Аржаев Г.А.* Силовое взаимодействие эластичного колеса с деформирующейся опорной средой // Материалы международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2007. 11-14 сентября. – Самара: СГАСУ, 2007. – С. 205-209.
  8. *Пелевин Л.Е., Аржаев Г.О., Балака М.М.* Кинематика качения колеса с пневматической шиной по опорной поверхности, что деформируется // Гірн., буд., дор. та меліор. машини: Всеукр. зб. наук. пр. – К.: КНУБА, 2007. – Вип. 70. – С. 10-15.
  9. *Ульянов Н.А.* Основы теории и расчета колесного движителя землеройных машин. – М.: Машгиз, 1962. – 207с.
  10. *Бабков В.Ф., Безрук В.М.* Основы грунтоведения и механики грунтов. – М.: Высш. шк., 1976. – 243с.
  11. *Аржаев Г.О., Пелевин Л.Е., Балака М.М.* Визначення складової сили тяги рушія, що обумовлена зовнішнім тертям виступів рисунка протектора пневматичної шини // Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 5/2008 (52). Частина 2. – С. 75-79.
  12. *Водяник И.И.* Определение параметров реологической модели пневматической шины / Депонированная рукопись №Д634. – М.: НИИАвтопром, 1981. – 7с.
  13. *Аржаев Г.О., Пелевин Л.Е., Балака М.М.* Визначення параметрів реологічних моделей опорних поверхонь руху позашляхових транспортно-технологічних засобів // Машинознавство: Всеукр. щомісячн. наук.-техн. і вироб. журнал. – Львів, 2008. – №10 (136). – С. 22-24.
  14. *Аржаев Г.О., Пелевин Л.Е., Балака М.М.* Методика й інформаційно-вимірювальне забезпечення експериментального визначення параметрів реологічної моделі піщано-глинистих ґрунтів // Машинознавство: Всеукр. щомісячн. наук.-техн. і вироб. журнал. – Львів, 2008. – №12 (138). – С. 40-42.
  15. *Ульянов Н.А., Никулин П.И., Василенко А.В. и др.* Стенды для испытания крупногабаритных пневматических шин // Стр. и дор. машины, 1982. – №6. – С. 21-22.
  16. *Патент* України на корисну модель №50440, G01L 1/00, E02D 1/00. Пристрій для дослідження внутрішніх напружень у ґрунтовому напівпросторі / Аржаев Г.О., Балака М.М., Пелевин Л.Е., Цепляев А.С. (Україна). – u2009 12724; Заявлено 07.12.2009; Опубл. 10.06.2010, Бюл. №11.
  17. *Деклараційний патент* України на корисну модель №12671, G01M 17/02. Індукційний прилад для вимірювання швидкості проковзання елементів протектора пневматичної шини / Аржаев Г.О., Балака М.М., Пелевин Л.Е., Чередник В.М. (Україна). – u2005 08426; Заявлено 30.08.2005; Опубл. 15.02.2006, Бюл. №2.
  18. *Деклараційний патент* України на корисну модель №11944, G01M 17/02. Прилад для вимірювання деформацій пневматичної шини / Аржаев Г.О., Балака М.М., Пелевин Л.Е. (Україна). – u2005 06872; Заявлено 12.07.2005; Опубл. 16.01.2006, Бюл. №1.
  19. *Белов Л.Е.* Определение износа протектора шины по величине фактического скольжения ее в области контакта. – В сб.: Испытания и исследования дорожных машин. – Омск, 1975. – Вып. 5. – С. 183-189.
  20. *Аржаев Г.О., Пелевин Л.Е., Балака М.М.* Аналіз загальних результатів математичного моделювання реологічної системи “пневмоколісний рушій – опорна поверхня, що деформується” // Строительство. Материаловедение. Машиностроение / Сб. науч. тр. – Днск: ПГАСА, 2009. – Вып. 51. – С. 114-123.

*Рецензент:* А.В. Фомін, к.т.н., професор (КНУБА, Київ)

*Отримано:* 10.10.2011р.