

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Луцький
національний
технічний
університет**

НАУКОВІ НОТАТКИ

Випуск 45

ЛУЦЬК - 2014

НАУКОВІ НОТАТКИ

**Міжвузівський збірник
(за галузями знань «Машинобудування та
металообробка», «Інженерна механіка»,
«Металургія та матеріалознавство»)**

**Випуск 45
(травень-червень)
2014**

Луцьк 2014

РЕДАКЦІЙНА РАДА

Божидарнік В.В., ректор, Луцький НТУ, д.т.н., професор; Заболотний О.В., декан ТФ, Луцький НТУ, к.т.н., доцент; Пустюльга С.І., декан МБФ, Луцький НТУ, д.т.н., професор; Рудь В.Д., зав. кафедри, Луцький НТУ, д.т.н., професор; Шваб'юк В.І., керівник відділу, Луцький НТУ, д.т.н., професор.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Рудь В.Д., зав. кафедри, професор, д.т.н., Луцький НТУ (відповідальний редактор); Пустюльга С.І., професор, д.т.н., Луцький НТУ (заступник відповідального редактора); Заболотний О.В., доц., к.т.н., Луцький НТУ (заступник відповідального редактора); Гулієва Н.М., асистент, Луцький НТУ (відповідальний секретар); Бобир С.І., директор інституту, професор, д.т.н., НТУ України "КП"; Божидарнік В.В., ректор, проф., д.т.н., Луцький НТУ; Гавриш А.П., професор, д.т.н., НТУ України "КП"; Гевко Б.М., зав. кафедри, професор, д.т.н., Тернопільський НТУ; Лотиш В.В., доц., к.т.н., Луцький НТУ; Майстренко А.Л., зав. відділом, член-кореспондент НАН України, д.т.н., Інститут надтвердких матеріалів; Максимович В.М., зав. кафедри, професор, д.ф.-м.н., Луцький НТУ; Пальчевський Б.О., зав. кафедри, професор д.т.н., Луцький НТУ; Петраков Ю.В., зав. кафедри, професор, д.т.н., НТУ України "КП"; Петрівський В.Я., зав. відділом, проф., д.т.н., Інститут проблем матеріалознавства НАН України; Повстяной О.Ю., доц. к.т.н., Луцький НТУ; Струтинський В.Б., зав. кафедри, професор, д.т.н., НТУ України "КП"; Шваб'юк В.І., зав. відділом, професор, д.т.н., Луцький НТУ; Штерн М.Б., зав. відділом, член-кореспондент НАН України, с.н.с., д.т.н., Інститут проблем матеріалознавства НАН України; Ярошевич М.П., зав. кафедри, професор, д.т.н., Луцький НТУ.

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 10 від 27.05.2014 р.

Свідоцтво Міністерства юстиції України про державну реєстрацію:
Серія КВ №15901-4373ПР від 13.11.2009 р.

ISSN: 978-617-672-039-3

ШАНОВНІ ДОПISУВАЧІ, КОЛЕГИ!

Постановою президії ВАК України від 10.02.2010р №1-05/1 затверджено Міжвузівський збірник наукових праць «НАУКОВІ НОТАТКИ», що видається Луцьким національним технічним університетом як наукове фахове видання України.

Тематична спрямованість збірника – висвітлення досягнень співробітників вищої школи та наукових установ України в розробках теоретичного та експериментального спрямування за галузями знань «Машинобудування та металообробка» і «Інженерне матеріалознавство».

Із зазначених галузей знань друкуються статті закордонних авторів англійською або російською мовою.

Довідки за тел. (0332) 26-25-19 e-mail: notatki@meta.ua

Наша адреса:

43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56

Луцький національний технічний університет,
редакція міжвузівського збірника “Наукові нотатки”

З повагою,

*Голова редакційної ради,
ректор Луцький НТУ, професор*

В. В. Божидарнік

*Відповідальний редактор,
професор Луцький НТУ*

В.Д.Рудь

УДК 620.179.118:625.8(045)

А.О.Белятинський, К.В.Краюшкіна, О.В.Скрипченко
Національний авіаційний університет
ПРОБЛЕМИ ВІДОМИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАЄМОДІЇ
КОЛЕСА З ПОВЕРХНЕЮ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

Більшість методів оцінки зчепних якостей покриття розраховано з умови прямолінійного руху автомобілів, а також сухого чистого покриття автомобільної дороги. За таких умов сила зчеплення забезпечується молекулярною та деформаційною складовими, але вони не враховують порушення молекулярного зв'язку при зволоженні дорожньої поверхні, тому існує необхідність розробки моделі, що враховує зволоження дорожнього покриття.

Ключові слова. Шорсткість, цементобетон, коефіцієнт зчеплення, проїзна частина, молекулярна складова, механічна взаємодія, занесення.

Форм 12. Літ.11.

А.О.Белятинский, К.В.Краюшкіна, О.В.Скрипченко
ПРОБЛЕМЫ ИЗВЕСТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ВЗАЕМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Большинство методов оценки сцепных качеств дорожного покрытия рассчитано из условий прямолинейного движения автомобилей, а также сухого чистого покрытия автомобильной дороги. При таких условиях сила сцепления обеспечивается молекулярной и деформационной составляющими, но они не учитывают нарушения молекулярной связи при увлажнении дорожной поверхности, поэтому существует необходимость разработки модели, учитывающей различные состояния дорожного покрытия.

Ключевые слова: Шероховатость, цементобетон, коэффициент сцепления, проезжая часть, молекулярная составляющая, механическое взаимодействие, занос.

A. Byelyatynskiy, K. Krayushkina, A. Skrypchenko
KNOWN PROBLEMS OF MATHEMATICAL MODELS INTERACTION OF WHEELS
WITH THE PAVEMENT SURFACE

Most methods for assessing adherence pavement with the wheel is designed under the condition of rectilinear motion of cars and clean dry pavement. Under such conditions the cohesive force provides deformation and molecular components, but they do not include violation of a molecular bond when the road surface is moistened, so there is need to develop a model that takes into account the various road conditions. During operation of highways uneven wear occurs of the road surface along its entire length. This contributes to many factors: a significant number of trucks as part of the traffic flow, modes and their operation, construction technology and operational maintenance of roads, used materials and other. Inhomogeneity qualities of coupling across the width of the road is the cause of one of the most dangerous situations in traffic - car skids. In general, the interaction of the wheel with the road surface explained by presence of two independent components - the strength of the molecular interactions between the surfaces of the mechanical strength and resistance, are associated with deformation of their surface layers. Molecular interaction processes cover the surface layers of the tread rubber and the road surface by hundredths of a micrometer, and mechanical interaction processes occur in the body protector and thickness of layers of a few tenths of a micrometer, because pressing roughness peaks in body of rubber takes place. Most of the mathematical models developed for dry pavement, but the most dangerous is wet, dirty pavement, so the actual is the development of a mathematical model, taking into account the different states of the pavement.

Keywords: Roughness, cement concrete, friction coefficient, the roadway, the molecular component, mechanical interaction, skid

Актуальність теми.

В процесі експлуатації автомобільних доріг відбувається нерівномірний знос поверхні покриття по всій його довжині, чому сприяє багато факторів: значна кількість великовагових автомобілів у складі транспортного потоку, режими та умови їх руху, технологія будівництва і експлуатаційного утримання автомобільної дороги, використані матеріали та інше. Також слід враховувати, що більшість автомобільних доріг в Україні побудована ще за старими нормативними документами і розрахунковими характеристиками.

©А.О.Белятинський, К.В.Краюшкіна, О.В.Скрипченко

де A – площа фактичного контакту;

φ^* – стала величина.

$$\varphi^* = \eta_p \left(161060 - 2 \left(273 + t_c - 5\sqrt{v} \lg \frac{10^{10-t_c}}{v} \right) \right), \quad (2)$$

де t_c – температура навколишнього середовища;

v – швидкість ковзання;

η_p – емпіричний коефіцієнт, який залежить від складу гуми і визначається в лабораторних умовах шляхом вимірювання сили тертя зразка гуми з шорсткою поверхнею і послідовних розрахунків з урахуванням t_c, v, A .

Недоліком цього способу є те, що введення емпіричних поправок не дає можливості перевірити теоретичні викладки, до того ж обмежене практичне використання.

Пізніше Петровим І.П. було отримано формулу для визначення коефіцієнта зчеплення колеса з сухим твердим покриттям, φ :

$$\varphi = 2,14(r_n l_n)^{2/3} \xi \frac{E_a - R_k(T_0 + c\sqrt{q_{cp}}) \lg \frac{E_a}{E_a - R_k(T_0 + c\sqrt{q_{cp}})}}{E^{2/3} q_{cp}^{2/3}}, \quad (3)$$

де r_n – радіус заокруглення вершин нерівностей;

l_n – щільність нерівностей;

E_a – енергія активації молекул резини;

q_{cp} – середній тиск в зоні контакту на виступах;

R_k – стала Клапейрона;

T_0 – температура навколишнього середовища;

c, γ_0 – сталі Шалламаха;

ξ – емпіричний коефіцієнт.

Галузь застосування даної формули обмежена необхідністю визначення емпіричних коефіцієнтів. Властивості поверхні дорожнього покриття не вичерпуються лише геометричними параметрами. Вплив цих властивостей на молекулярну складову сили зчеплення формули не враховують.

Але з часом Петровим було представлено залежність для визначення площі контакту колеса із дорожнім покриттям, з використанням молекулярно-механічної теорії тертя [6, 7], в якій враховуються характеристики автомобільного колеса:

$$A_c = k' B_{\Pi} l, \quad (4)$$

де k' – коефіцієнт насиченості малюнку протектора;

B_{Π} – ширина протектора;

l – довжина зони контакту.

Величина l знаходиться із геометричних міркувань при умові, що проекція бігової доріжки шини за межами зони контакту на поздовжню площину колеса не відрізняється від кола:

$$l = 2\sqrt{2r_0 h}, \quad (5)$$

де r_0 – радіус не навантаженого колеса;

h – прогин шин, який визначається із квадратного рівняння:

$$h^2 - \alpha_2 \frac{hG_k}{p_{in} + p_0} - \alpha_1 G_k = 0 \quad (6)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{r_0 r_n}} \quad (7)$$

- r_n – радіус бігової доріжки протектора;
- F – навантаження на колесо;
- p_{in} – внутрішній тиск повітря в шині;
- A_c – характеристика жорсткості покриття;
- β – стала величина, що визначається з нерівності:

$$(\pi\sqrt{2r_0 r_n})^{-1} \leq \alpha_2 \leq 1,4(\pi\sqrt{2r_0 r_n})^{-1} \quad (8)$$

Чини α_1 , α_2 і p_0 для різних типів шин визначають за дослідними даними. При силі зчеплення T [6, 7] контакт вважається насиченим, за Крагельським І. В. вивається вираз:

$$T = \frac{0,125\alpha_3\phi A_c b \varepsilon_{кр}^{-1} E h_{max}}{\pi R v (1 - \mu^2)} [v\varepsilon - (v-1)\varepsilon_{кр}]^2 + \left\{ \tau_0 + \frac{0,42\beta E h_{max}}{R^2(1-\mu^2)} [v\varepsilon - (v-1)\varepsilon_{кр}] \right\}^{\frac{1}{2}} \times \frac{A_c}{2v} [v\varepsilon - (v-1)\varepsilon_{кр}] \quad (9)$$

Загальному випадку процес взаємодії колеса з дорожнім покриттям обумовлюється двома незалежними складовими – сили молекулярної взаємодії між поверхнями та сили опору, яка пов'язана з деформацією їх поверхневих шарів. Процеси молекулярної охоплюють поверхневі шари гуми протектора та поверхні дороги на соті долі мікрометра, а процеси механічної взаємодії виникають в самому тілі протектора та в шарах гуми в десяті долі мікрометра, внаслідок вдавлювання виступів шорсткості в тіло гуми. Дослідження показують [8], що молекулярна взаємодія та деформування верхніх шарів гуми є двома основними напрямками втрати енергії під час руху колеса по поверхні шорсткого покриття. Це знаходить своє відображення в структурі формул для визначення сили зчеплення [9].

Для визначення коефіцієнту зчеплення Крагельським І. В. [8] було запропоновано формулу, вивається молекулярну та деформаційну складові:

$$\varphi = \frac{2,1\tau\theta^{4/3}}{p_c^{2/3}\Delta^{2/3}} + \beta + 0,23a_r p_c^{1/3} \Delta^{2/3} \theta^{4/3} \quad (10)$$

- τ – сила опору зсуву;
- β – пружна стала матеріалу;
- a_r – параметр шорсткості;
- θ – п'єзоефіцієнт молекулярної складової тертя;
- Δ – коефіцієнт гістерезисних витрат.

Формули (3) та (10) мають дві складових: ліва частина виражає деформаційну складову ст зчеплення, права – молекулярну.

Розглядаючи процес занурення у воду елемента протектора шини Левін Ю С [9] ви формулу для визначення коефіцієнта зчеплення для мокрого покриття:

$$\varphi_{\text{м}} = \left[1 - \frac{V \sin \mu}{l \sigma (1 - \sigma)} \left(\frac{1}{h_0^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) \right], \quad ($$

де V – швидкість руху колеса;

l – довжина зони контакту;

σ – коефіцієнт овальності контакту, що враховує відхилення його форми від прямокутника;

Як видно з формули Левін Ю. С. використав параметр h – різницю між середньою висот виступів шорсткості дорожнього покриття та глибиною деформації ними гуми протектора, залежить від висоти їх виступів, форми та інших факторів. Область використання виразу (обмежується тим, що при виведенні $\varphi_{\text{м}}$ використовуються експериментальні значення коефіціє зчеплення колеса з сухим покриттям.

Ларін О. Н. на основі молекулярно-механічної теорії одержав вираз для визначен коефіцієнта зчеплення шини з покриттям:

$$\varphi = \frac{3.9 B C_{\sigma} K_H}{E \sigma z \sigma C} \int_b^a (\tau_c q_x^{0.866} + \left[\beta + \alpha \frac{h^{1/2}}{R_H} q_x^{1.866} \right]) \alpha d\xi, \quad ($$

де B – ширина зони контакту;

C_{σ} – коефіцієнт, що враховує відхилення форми контакту від прямокутника;

G – навантаження на колесо;

E – модуль пружності гуми протектора;

τ_c – опір зсуву адгезійного зв'язку;

β – п'єзокоефіцієнт молекулярного тертя;

α – коефіцієнт гістерезисних витрат;

h – заглиблення шини;

R_H – радіус заокруглень виступів шорсткості;

ξ – змінна інтегрування.

При виведенні формули (12) вважалось, що під час руху вода витісняється перед колесом між ним та покриттям відбувається сухий контакт. Таке твердження можна прийняти лише малих швидкостей руху, коли гідро підйомна сила води майже не впливає на режим руху. В як вихідного параметру, який характеризує структуру поверхні покриття Ларін О. Н. використо радіус заокруглень виступів шорсткості R_H [10].

Причина погіршення зчіпних якостей покриття в разі його зволоження полягає у характеру взаємодії між колесом та поверхнею дороги. Якщо на сухому покритті основна час сили зчеплення обумовлена адгезією, то на вологому покритті вона різко знижується. У цей час поверхні дороги утворюється плівка води, що перемішана з брудом та рештками мастила, т контакт між колесом та поверхнею дороги відбувається за рахунок механічної взаємодії.

Співвідношення між молекулярною (адгезійною) та деформаційною (механічно складовими в загальному випадку залежить від ряду факторів, а саме виду контак фізико-механічних властивостей матеріалів, структури їх поверхні. При контакті гуми з гладкі поверхнями молекулярна складова коефіцієнта зчеплення перевищує деформаційну майже в рази, у разі контакту з шорсткими поверхнями – співвідношення буде зворотнім, величина як буде залежати саме від структури нерівностей поверхні покриття [11].

Висновки.

1. Галузь використання розглянутих в статті формул обмежена необхідністю визначен емпіричних коефіцієнтів, що робить їх складними і незручними при проведенні розрахунків також знижує точність результатів.

2. Дані формули математично описують взаємодію колеса із сухим дорожнім покриттям, сила зчеплення забезпечується молекулярною та деформаційною складовими, але вони не уявляють порушення молекулярного зв'язку при зволоженні дорожньої поверхні.
1. Більшість вищезгаданих математичних моделей розроблено за умов сухого дорожнього покриття, в той час, як найбільш небезпечним є саме мокре, брудне дорожнє покриття, тому метою є розробка математичної моделі з врахуванням різних станів дорожнього покриття.

Гончаренко Ф. П. керування безпекою руху засобами дорожньої служби: Монографія. / Ф. П. Гончаренко – К., 1999. – 280 с.

Порожняков В.С. Оценка сцепления шин автомобиля с дорожным покрытием / под. ред. В. Ф. Бабкова – К.: Высшая шк., 1967. – 100 с.

Лабезников М.Г. Эксплуатация автомобилей в тяжелых дорожных условиях. / М.Г. Лабезников. Ю.Л. Бкуревич – М.: Транспорт., 1976. – 224 с.

Петров М. А., Шинкаренко А. А., Ягодкин Л. Г. Определение силы трения резины по твердой поверхности при малых скоростях движения // Каучук и резина. Выпуск №12 – Москва, 1972. – С. 41-42

Петров М. А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме / М. А. Петров – Омск: Западно-Сибирское книжное издательство, 1973. – 224 с.

Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка. Кн. 2 / И. В. Крагельский, В. В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

Крагельский И. В. Узлы трения машин / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.

Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Дробычин, В. С. Комбалов – М.: Машиностроение, 1997. – 526 с.

Бидерман В. Л. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин / В. Л. Бидерман, Д. С. Левин, Л. Д. Слоудиков, Л. А. Упорина. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 97 с.

Ларин А. Н. Сцепление автомобильной шины с дорогой покрытой слоем воды: автореф. дис. на здобуття наук. ступіня канд. тех. наук: спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / А. Н. Ларин. – Х., 1989. – 18 с.

Ильченко В.В. Оцінка зчепних якостей дорожнього покриття за параметрами шорсткості його поверхні // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Випуск 68. – Київ, 2003. – С. 45-47.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2014

**ДО УВАГИ КОРЕСПОНДЕНТІВ!
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАННЯ СТАТЕЙ**

1. **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:** постановка проблеми у зрозумілому вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.
2. **Статтю можна подавати українською, російською, або англійською мовою.** Стаття повинна бути надана в текстовому редакторі не нижче MS WORD 97/03 і надрукована тільки на лазерному або струйному принтері на листах формату А4 (297×210 мм). Нумерацію сторінок не виконувати. Обсяг статті від 5-9 сторінок.
3. **Параметри сторінки:** верхнє, нижнє та лівє поле – 2 см, правє поле 2,5 см. Від краю до колонтитула верхнє поле, нижнього – 1,25 см.
4. **Шапка статті:** індекс УДК, ініціали та прізвища авторів розміщується на один абзац нижче шрифтом 11 організації – набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по центру. Назва статті розміщується на один абзац нижче назви організації, на шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з напівжирним виділенням і вирівнюється по центру.
5. **Анотації** українською, російською мовами набираються з абзацного відступу 9 шрифтом Time New Roman Cyr розміром, курсив, напівжирний 9 пт 300-500 друкованих знаків з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині; англійською мовами розширена анотація 700-1000 друкованих знаків.
6. **Ключові слова** анотації обов'язково вказуються шрифтом Time New Roman Cyr, курсив, напівжирний 9 пт.
7. **Основний текст** розміщується на 1 см нижче анотації, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюється по ширині.
8. **Для набирання формул** застосовувати редактор формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Times New Roman Cyr; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
9. **Якщо в статті присутні ілюстрації,** необхідно розташовувати їх по тексту, вирівнюючи підписи (Рис. 1. Схематична діаграма) з абзацного відступу 1 см. Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
10. **Таблиці** розташовувати по тексту, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицями ставити їм порядковий номер (Таблиця 1) вирівнюючи по правому краю, під яким розмістити назву таблиці вирівнюючи по центру.
11. **Література** подається загальним списком в кінці рукопису згідно з вимогами державного стандарту чернетки останнього рядка.
12. **Обов'язково** подати статтю на лазерному диску. Статті можна також пересилати електронною поштою адресами: notatki@meta.ua.
13. До статті **обов'язково** додається дві рецензії: зовнішня і внутрішня. Редакція залишає за собою право на статті на додаткову рецензію.
14. В кінці статті **обов'язково** вказуються ПІБ, посаду, науковий ступінь, вчене звання рецензентів статті.
15. Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.

До статті обов'язково додаються відомості про авторів:

Прізвище, Ім'я, По-батькові

Місце роботи, посада, науковий ступінь, вчене звання

Наукові інтереси

Адреса для листування, телефон

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ» можна отримувати у відповідального секретаря – Гулієвої Наталії Михайлівни за тел. (0332) 0332262519.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, к. 25 (34)

Автор статті отримує 1 примірник збірника. Вартість друку однієї сторінки становить 30 грн. Кошти треба перерахувати на рахунок:

Код ЄДРПОУ 05477296, МФО одержувача 803014, в ГУДКУ Волинської області р/р 31254202117820

Обов'язково вказати: «За ІФЗ* видання збірника «Н.Н.» ім'я, ПІБ авторів, (При поданні статті додається квитанція про сплату).

До уваги авторів. Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ» (за галузями знань «Машинобудування», «Металургія», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство») затверджено постановою президиуму України від 10.02.2010р №1-05/1 і видається Луцьким національним технічним університетом як науковий журнал України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів кандидата наук. **Збірник входить у науково-метричну базу РИНЦ.**

Редколегія повідомляє, що планова періодичність друку збірника чотири випусків на рік.