

НАУКОВІ НОТАТКИ

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

**Випуск 45
(травень-червень)
2014**

Луцьк 2014

ЗМІСТ

Зміст.....	4
Андрійчук О.В., Ясюк І.М. Виготовлення придорожніх лотків водовідводу із сталевібробетону	7
Афанасьєва І.А. Щодо зміни функціонального стану водія під час отримання інформації з додаткових джерел.....	15
Бабич Т.О., Стельмацук В.В. Покращення показників маневреності властивостей автопоїзда компонуваної схеми "B-DOUBLE" шляхом застосування керуючого впливу на осі, першого напівпричепа.....	21
Бандура І.О. Модель оптимального керування несиметрією напруги в електричних мережах.....	27
Бечиченко Е.А., Толмачев С.Н. Исследование физико-химических свойств дисперсных материалов.....	31
Белятинський А.О., Краюшкіна К.В., Скрипченко О.В. Проблеми відомих математичних моделей взаємодії колеса з поверхнею дорожнього покриття.....	36
Біліченко В.В. Проблеми та перспективи розвитку маршрутної мережі пасажирських перевезень у м. Вінниця.....	42
Бодак В.І. Впровадження системи GPS моніторинга при здійсненні пасажирських перевезень у м. Луцьк.....	48
Божидарнік В.В., Садівський В.М. Про визначення граничних навантажень, що викликають локальне руйнування поблизу вершин гострокінцевих вирізів в анізотропних пластинах.....	51
Бондаренко А.І., Холодов М.П., Пелипенко Є.С., Кучков В.В. Експериментальне дослідження процесу гальмування колісних тракторів з механічною трансмісією.....	56
Вербовський В.С., Грицук І.В., Адров Д.С. Математична модель розрахунку показників роботи двигуна внутрішнього згорання з системою передпускового прогріву при здійсненні передпускового і післяпускового прискореного прогріву.....	64
Веснін А.В., Монастирський Ю.А. Обґрунтування передаточних чисел редуктора властивостей колеса кар'єрного самоскида у відповідності до складності трас руху.....	72
Вікович І.А., Дівеєв Б.М., Коваль Т.Б., Мартин В.Є. Застосування різного типу маятникових динамічних гасників коливань.....	79
Вітрух П.І., Вітрух І.П., Спічак В.С. Обґрунтування вантажності та місткості кузовів транспортно – технологічних машин.....	85
Вольченко Д.А., Вольченко Н.А., Скрипник В.С. Нанотрибологія при фрикційном взаємодії в барабанно-колодочних тормозах транспортних средств.....	94
Воробьев Ю.А., Нечипорук Н.В., Воробьев А.Ю., Трифонов О.В., Скальга Н.Н. Моделирование газодинамики пневмоимпульсного ручного инструмента в системе ANSYS CFX и LS-DYNA.....	100
Гавриш В.С. Аналіз методів оцінки транспортної вібрації в межах зон впливу автомобільних доріг.....	108
Галавська Л.Є. Розробка двошарового трикотажу технічного призначення.....	112
Гамеляк І.П., Петрович В.В., Скрипник В.Ю. Вплив термовологоперенесення на водно-тепловий режим дорожньої конструкції.....	119
Гандзюк М.О. Розробка та впровадження інтелектуальних систем оплати проїзду та обліку пасажирів міського пасажирського транспорту.....	131
Гречихин Л.И., Кузь Н.Г. Открытые энергосистемы на транспорте.....	140
Григорова Т.М. Вдосконалення системи перевезення пасажирів у приміському сполученні громадським транспортом з урахуванням транспортної стомлюваності пасажирів.....	147
Гудз Г.С., Глобчак М.В., Коцюмбас О.И., Клипко О.Р. Вимірвальний комплекс для системного дослідження теплового стану середовища "Гільза-охолодник" ДВЗ.....	153
Дембіцький В.М., Сітовський О.П., Булік Ю.В., Демидюк М.А. Математична модель процесу електродинамічного гальмування з рекуперацією енергії транспортного засобу, обладнаного електроприводом.....	159
Дячук М.В. Розробка імітаційної моделі гальмівного крану EBS електронно-пневматичної гальмівної системи вантажних автомобілів.....	167
Єресов В.І., Григор'єва О.В. Аналіз перехідних процесів в транспортному потоці.....	176
Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Дослідження властивостей щебенєво-мастикових асфальтобетонів з модифікуючою добавкою.....	183
Жданюк В.К., Шурупова А.А. Порівняльні дослідження впливу поверхнево-активних речовин на показник зчеплення бітумів з мінеральною поверхнею.....	188
Жук М.М., Афонін М.О. Вплив часу перебування за кермом та умов руху на функціональний стан водія.....	193
Журавлев Д.Ю., Курьяляк Я.В., Стадник А.Б. Энергонагруженность фрикционного взаимодействия пар трения барабанно-колодочных тормозов.....	198

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
ВЗАМОДЕЙСТВИЯ 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 великогазових 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

Все це негативно впливає на зчпні якості покриттів, а з часом утворюються, так звані, зони з різноманітними зчпними якістьми.

За результатами статистичних спостережень, водії, частіше всього, рухаються з приблизно однаковою швидкістю, без маневрів і частіше за все не можуть оцінити стан покриття по всій ширині, або оцінюють його невірно. Це призводить до того, що під час виконання маневру може виникнути небезпечна ситуація, пов'язана із обранням водієм режиму руху, що не відповідає реальній ситуації.

За останні десятиріччя інтенсивного розвитку дорожньо-будівельної галузі питання зменшення шорсткості покриттів, зокрема цементобетонних, є одним із переважачих напрямків діяльності як вітчизняних, так і зарубіжних вчених.

Для обрання раціонального способу ремонту покриттів необхідно раціонально оцінити методи, що впливають на процес зменшення зчпних якостей покриття автомобільної дороги. Це стосується ефективності роботи та безпека руху автомобільного транспорту в значній мірі залежить від експлуатаційних якостей автомобільних доріг. У значній мірі це стосується стану покриття, яке повинно забезпечувати надійний контакт з шинами автомобілів.

Аналіз причин дорожньо-транспортних подій показує, що значна частка аварій та нещасних випадків на автомобільних дорогах виникає внаслідок незадовільних дорожніх умов [1]. У середньому від пори року, умов руху, категорії дороги, стану проїзної частини та ряду інших факторів від 14 до 80 % аварій відбувається з причин низьких зчпних якостей дорожнього покриття. Особливо небезпечним вважається рух автомобілів по поверхні зволоженого покриття. Зокрема, що аварійність на мокрих шорстких покриттях в 1,5 – 2 рази менша ніж на покриттях з гладкою поверхнею, так саме нижча тяжкість наслідків ДТП [1].

Огляд літературних джерел та нормативної літератури показує [2], що більшість методів і способів оцінки зчпних якостей покриття розраховано на споживчі властивості автомобільної дороги виходячи з умов прямолінійного руху автомобілів. Такий підхід склався історично, коли швидкість автомобілів була меншою та їхні технічні можливості були обмеженими. Тому, на сьогоднішній день існує необхідність безпечного виконання маневрів з оптимальною швидкістю виконання, виходячи з реальних умов.

Постановка питання.

Ще у 60-х роках минулого сторіччя Порожняков В. С. прийшов до висновку, що знос покриття автомобільної дороги відбувається нерівномірно по площі проїзної частини [2]. Зокрема, зношення покриття, поліровка зерен кам'яного матеріалу, зниження шорсткості і як наслідок, зниження коефіцієнту зчплення, відбувається по смугах накату, а простір між ними поступово забруднюється та замаслюється.

Неоднорідність зчпних якостей по ширині дороги є причиною однієї з найнебезпечніших ситуацій у дорожньому русі – занесення автомобіля. На шорстких покриттях втрата бокової швидкості спостерігається при швидкості 90 км/год [2]. Особливо часто заноси трапляються на шорстких, забруднених покриттях, коли опір дії бокових сил знижується та вплив пориву вітру, наявності нерівностей на дорозі) може викликати занесення. Тому вважається, що в аварійній ситуації водії повинні виконувати гальмування з меншими інтервалами, з певним використанням гальмівних можливостей, щоб уникнути занесення. Умови руху по смугах із різними зчпними якістьми можна порівняти із гальмуванням автомобіля при нерівномірній роботі гальм [3].

Дослідження процесу взаємодії колеса з дорожнім покриттям проводиться достатньо давно, для характеристики якого застосовувались класичні теорії з різноманітних областей механіки. З огляду на їх значну кількість має сенс розглянути лише математичні моделі взаємодії колеса з поверхнею дорожнього покриття, в яких для визначення функціональних показників використано структурні показники.

Відомі математичні моделі.

Для оцінки сили зчплення колеса із сухим покриттям, існує формула (1) розроблена Петровим І.П. [4, 5], яка є найбільш відомою і вважається основною чи базовою при визначенні зчпних якостей. В цій формулі величина зчплення визначається в залежності від площі контакту колеса з поверхнею покриття:

$$T = \varphi \cdot A, \quad (1)$$

де A – площа фактичного контакту;

φ^* – стала величина.

$$\varphi^* = \eta_p \left(161060 - 2 \left(273 + t_c - 5\sqrt{1.1g \frac{10^{12}}{v}} \right) \right) \quad (2)$$

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 :

$$\varphi = 2,14 (\rho_n l_n)^{2/3} \xi \frac{E_n - R_k (T_c + c_n \sqrt{v}) l_n \frac{10^6}{v}}{E^{2/3} \sigma \frac{10^6}{v}} \quad (3)$$

де ρ_n – радіус заокруглення вершин нерівностей;

l_n – щільність нерівностей;

E_n – енергія активації молекул резини;

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

R_k – стала Клапейрона;

T_c – температура навколишнього середовища;

c_n, σ – 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:

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

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

де r_n – радіус бігової доріжки протектора;

G_k – навантаження на колесо;

p_{int} – внутрішній тиск повітря в шині;

p_0 – характеристика жорсткості покриття;

α_1 – стала величина, що визначається з нерівності:

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

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

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

У загальному випадку процес взаємодії колеса з дорожнім покриттям обумовлюється взаємодією двох незалежних складових – сили молекулярної взаємодії між поверхнями та сили механічного опору, яка пов'язана з деформацією їх поверхневих шарів. Процеси молекулярної взаємодії 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 товщиною в десять долі мікрометра, внаслідок вдавлювання виступів шорсткості в тіло гуми. Експерименти показують [8], що молекулярна взаємодія та деформування верхніх шарів контактуючих тіл є двома основними напрямками втрати енергії під час руху колеса по поверхні дорожнього покриття. Це знаходить своє відображення в структурі формул для визначення коефіцієнту зчеплення [9].

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

$$\varphi = \frac{2,1\tau\theta^{4,3}}{p_c^{1,5}\Delta^{2,3}} + \beta + 0,23\alpha_4 p_c^{1,3} \Delta^{2,3} \theta^{4,3} \quad (10)$$

де τ – сила опору зсуву;

θ – пружна стала матеріалу;

Δ – параметр шорсткості;

β – п'єзоефіцієнт молекулярної складової тертя;

α_4 – коефіцієнт гістерезисних витрат.

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

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

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

$$\varphi_{\text{м}} = \left[1 - \frac{V \sin \sigma_{\text{м}}}{c(1-\varepsilon)} \left(\frac{1}{h_0^2} - \frac{1}{h^2} \right) \right], \quad (11)$$

де V – швидкість руху колеса;

l – довжина зони контакту;

ε – коефіцієнт овальності контакту, що враховує відхилення його форми від прямокутника.

Як видно з формули Левін Ю. С. використав параметр h – різницю між середньою висотою виступів шорсткості дорожнього покриття та глибиною деформації ними гуми протектора, яка залежить від висоти їх виступів, форми та інших факторів. Область використання виразу (11) обмежується тим, що при виведенні $\varphi_{\text{м}}$ використовуються експериментальні значення коефіцієнта зчеплення колеса з сухим покриттям.

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

$$\varphi = \frac{3 \cdot 9BC_0 K_H}{E \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot G} \int_b^c (\tau_c q_z^{0,66} + \left[\beta + \alpha \frac{h^{1,2}}{R_H} q_z^{1,66} \right]) \alpha \xi, \quad (12)$$

де B – ширина зони контакту;

C_0 – 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 і між ним та покриттям відбувається сухий контакт. Таке твердження можна прийняти лише для малих швидкостей руху, коли гідро підйомна сила води майже не впливає на режим руху. В якості вихідного параметру, який характеризує структуру поверхні покриття Ларін О. Н. використовує радіус заокруглень виступів шорсткості R_H [10].

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

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

Висновки.

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

или
звів

2. Дані формули математично описують взаємодію колеса із сухим дорожнім покриттям, коли сила зчеплення забезпечується молекулярною та деформаційною складовими, але вони не враховують порушення молекулярного зв'язку при зволоженні дорожньої поверхні.

11)

3. Більшість вищезгаданих математичних моделей розроблено за умов сухого дорожнього покриття, в той час, як найбільш небезпечним є саме мокре, брудне дорожнє покриття, тому актуальною є розробка математичної моделі з врахуванням різних станів дорожнього покриття.

ю
ка
1)
та

ня

2)

1. Гончаренко Ф. П. керування безпекою руху засобами дорожньої служби: Монографія. / Ф. П. Гончаренко – К., 1999. – 280 с.
2. Порожняков В.С. Оценка сцепления шин автомобиля с дорожным покрытием / под. ред. В. Ф. Бабкова – К.: Высшая шк., 1967. – 100 с.
3. Лабезников М.Г. Эксплуатация автомобилей в тяжелых дорожных условиях. / М.Г. Лабезников. Ю.Л. Бкуревич – М.: Транспорт., 1976. – 224 с.
4. 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
5. Петров М. А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме / М. А. Петров – Омск: Западно-Сибирское книжное издательство, 1973. – 224 с.
6. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка. Кн. 2 / И. В. Крагельский, В. В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.
7. Крагельский И. В. Узлы трения машин / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
8. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Дробычин, В. С. Комбалов – М.: Машиностроение, 1997. – 526 с.
9. Бидерман В. Л. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин / В. Л. Бидерман, Д. С. Левин, Л. Д. Слюдинов, Л. А. Упорина. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 97 с.
10. 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.
11. Ільченко 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