

ІМОВІРНІСНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ДИНАМІЧНОГО РАДІУСА КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ

Подригало М.А., Гацько В.І., Абдулгасіс А.У., Назарько О.О., Забелишинський З.Е.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У статті запропоновано імовірнісний метод оцінки динамічного радіуса колеса автомобіля, що використовує правило «трьох сізм». Наведені розрахунки динамічного радіуса для десяти моделей автомобільних шин.

Ключові слова: динамічний радіус, статичний радіус, кінематичний радіус, кочення колеса, імовірнісна модель.

Актуальність проблеми

Динамічний радіус є важливим параметром шини, що визначає тягово-швидкісні та гальмівні властивості автомобіля. Вказаний радіус дорівнює відношенню крутного моменту на колесі до тягової сили на осі. Визначення динамічного радіуса колеса як теоретичним, так і експериментальним шляхом достатньо складне та потребує використання складних математичних моделей та експериментального обладнання.

Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

В теорії кочення колеса автомобіля, що була запропонована Є.А. Чудаковим [1], використовуються чотири категорії радіусів: вільний радіус колеса r_g , що відповідає повністю розвантаженій від всіх навантажень шині; статичний радіус колеса $r_{ст}$, кінематичний радіус r_k і динамічний радіус колеса r_d . Вказані радіуси можуть бути визначені як:

$$r_g = D_0/2; \quad (1)$$

$$r_{ст} = r_g - P_z/C_z; \quad (2)$$

$$r_k = V_0/W_k; \quad (3)$$

$$r_d = M_k/P_k, \quad (4)$$

де D_0 - зовнішній діаметр шини; P_z - нормальне навантаження на колесо; C_z - радіальна жорсткість шини; V_0 - лінійна швидкість осі колеса, що дорівнює лінійній швидкості автомобіля; W_k - кутова швидкість колеса; M_k - крутний момент на колесі; P_k - тягова сила на колесі.

Кінематичний радіус r_k відрізняється від статичного, оскільки при коченні колеса в плямі його контакту з дорогою проявляється пружне ковзання (явище крипа). Тому кінематичний радіус завжди менше, ніж статичний радіус і ця відмінність тим більша, чим вище буксування колеса. Визначенню кінематичного радіуса присвячене дослідження [2]. В роботі [3] зазначено, що динамічний радіус колеса r_d , що рухається по твердій опорній

поверхні є плечем прикладання штовхаючої сили. Його величина може бути визначена або безпосереднім вимірюванням відстані від осі рухомого колеса до дороги, або розрахунком. При цьому автор роботи [3] помилково пропонує розрахункову формулу

$$r_{\partial} = \frac{M_{\kappa} - P_z \Psi}{P_{\kappa}}, \quad (5)$$

де a - коефіцієнт тертя кочення.

З формули (5) бачимо, що зі збільшенням a зменшується r_{∂} . Протиріччя заключається в тому, що в роботі [3] та формулі (5) під P_{κ} розуміють штовхаючу силу (дотичну реакцію на колесах), а не тягову силу. Тому динамічний радіус колеса більш коректно визначати за формулою (4).

Динамічний радіус r_{∂} менше, ніж вільний r_{∂} , але більше, ніж статичний r_{cm} . Збільшення динамічного радіуса пов'язують з дією відцентрових сил, що викликають зменшення деформації шини у плямі контакту. Проблеми вибору між радіусом кочення та динамічним радіусом присвячена робота С.П. Пожидаєва [4]. Однак чи є у цьому сенс? Якщо при певному зближенні значень можна прийняти ці величини рівними, то це зовсім не означає, що вказані фізичні величини є ідентичними. Тим не менш проблема оцінки динамічного радіуса колеса, особливо на етапі попереднього проектування автомобіля, існує і її необхідно вирішувати.

Мета роботи

Метою дослідження є розробка методу імовірнісної оцінки динамічного радіуса колеса. Для досягнення поставленої мети необхідно побудувати імовірнісну (стохастичну) модель динамічного радіуса колеса.

Викладення основного матеріалу

При нерухомому колесі динамічний радіус r_{∂} дорівнює статичному r_{cm} радіусу колеса. При коченні колеса зі збільшенням швидкості його осі v_o виникає збільшення динамічного радіуса, зумовлене дією відцентрових сил. Збільшення динамічного радіуса колеса може виникати до тих пір, доки нормальна деформація шини не стане рівною нулю, тобто r_{∂} стає рівним r_{∂} . Тому в процесі експлуатації динамічний радіус колеса може знаходитися в межах

$$r_{cm} \leq r_{\partial} \leq r_{\partial}. \quad (6)$$

Для вирішення поставленої задачі застосуємо правило «трьох сігм», припускаючи, що випадкова величина r_{∂} підкорюється нормальному закону (розподіл Гауса). В цьому випадку математичне очікування та середнє квадратичне відхилення динамічного радіуса r_{∂} можуть бути визначені за наступними формулами:

$$\bar{r}_{\partial} = 0,5(r_{\partial} + r_{cm}); \quad (7)$$

$$s_{r_{\partial}} = \frac{r_{\partial} - r_{cm}}{6}. \quad (8)$$

Якщо припустити можливість відхилення випадкової величини r_{δ} в межах одного квадратичного відхилення, то вираз для визначення r_{δ} може бути визначений як

$$r_{\delta} = \bar{r}_{\delta} \pm s_{r_{\delta}} = \frac{r_{\delta} + r_{cm}}{2} \pm \frac{r_{\delta} - r_{cm}}{6}. \quad (9)$$

Статичний радіус колеса може бути визначений за допомогою співвідношень (1) та (2)

$$r_{cm} = D_0/2 - P_z/C_z. \quad (10)$$

Рівняння (9) з врахуванням (10) матиме вигляд

$$r_{\delta} = \frac{D_o}{2} - \frac{P_z}{2C_z} \pm \frac{P_z}{6C_z} = \frac{D_o}{2} - \frac{P_z}{2C_z} \left(1 \pm \frac{1}{3}\right). \quad (11)$$

Середнє, максимальне і мінімальне значення динамічного радіуса колеса можуть бути визначені за наступними залежностями:

$$\bar{r}_{\delta} = \frac{D_o}{2} - \frac{P_z}{2C_z} = \frac{1}{2} \left(D_o - \frac{P_z}{C_z} \right); \quad (12)$$

$$r_{\delta_{\max}} = \frac{D_o}{2} - \frac{P_z}{3C_z}; \quad (13)$$

$$r_{\delta_{\min}} = \frac{D_o}{2} - \frac{2P_z}{3C_z}. \quad (14)$$

В таблиці 1 наведено параметри 10 моделей шин, які були обрані для прикладу з посилання [3]. Розрахунок статичного та динамічного радіусів коліс виконувався за формулами (2) та (9) відповідно.

Таблиця 1

Розрахунок динамічного радіуса автомобільних шин

Шини	Зовнішній діаметр, $D_o, \text{мм}$	Вільний радіус, $r_{\delta}, \text{мм}$	Максимальне нормальне навантаження $P_z, \text{Н}$	Радіальна жорсткість $C_z, \text{Н/мм}$	Статичний радіус $r_{cm}, \text{мм}$	Динамічний радіус $r_{\delta} = \bar{r}_{\delta} \pm s_{r_{\delta}}, \text{мм}$
Шини легкових автомобілів						
5,60-15	665 ± 6,0	332,5 ± 3,0	3237	234,459	318,7	325,6 ± 2,3
6,00-13	615 ± 6,0	307,5 ± 3,0	3237	194,238	290,8	299,1 ± 2,8
6,40-13	645 ± 6,0	322,5 ± 3,0	4660	256,041	304,3	313,4 ± 3,0
6,45-13	610 ± 6,0	305,0 ± 3,0	3630	193,257	286,2	295,6 ± 3,1

Звичайні шини вантажних автомобілів						
7,50-20	928 ± 9,0	464,0 ± 4,0	12262	526,797	440,7	452,3 ± 3,9
8,25-20	976 ± 10,0	488,0 ± 5,0	14715	728,883	467,8	477,9 ± 3,4
8,25-20P	970 ± 10,0	511,5 ± 5,0	13734	598,410	462,0	473,5 ± 3,8
	1023 ± 10,0	510,0 ± 5,0				
9,00-20	1020 ± 10,0	530,0 ± 5,5	18247	731,826	486,6	499,0 ± 4,1
9,00-20P	1060 ± 11,0	537,5 ± 5,5	18247	632,745	481,2	495,6 ± 4,8
	1075 ± 11,0	562,5 ± 5,5				
10,00-20	1125 ± 11,0		20405	740,655	502,4	516,2 ± 4,6
11,00-20			23053	952,551	513,3	525,4 ± 4,0
12,00-20			26780	821,097	529,9	546,2 ± 5,4
Шини з регульованим тиском						
12,00-20	1142 ± 8,0	571,0 ± 4,0	21582	600,372	535,0	553,0 ± 6,0
14,00-20	1260 ± 10,0	630,0 ± 5,0	24525	605,277	589,5	609,7 ± 6,7

Аналіз результатів розрахунку, наведений в таблиці 1, показує, що середньоквадратичне відхилення σ_{r_0} динамічного радіуса знаходиться в межах від 2,3 мм до 6,7 мм, що сумірне з граничними відхиленнями вільного радіуса r_0^* , яке знаходиться в межах від 3 мм до 5,5 мм. Це означає, що з прийнятною для практичних розрахунків точністю, можна приймати $r_0 = \bar{r}_0$.

Таким чином, запропонований метод імовірнісного розрахунку дозволяє з достатньою точністю здійснювати оцінку динамічного радіуса колеса. У розрахунках можна приймати величину динамічного радіуса як середньоарифметичне значення вільного та статичного радіусів колеса.

Висновки

1. Проведений аналіз літературних джерел показав відсутність будь-яких простих розрахункових методів оцінки динамічного радіуса колеса автомобіля.
2. Запропонований метод імовірнісної оцінки динамічного радіуса колеса, що базується на використанні правила «трьох сігм», дозволив визначити вказаний радіус як середнє арифметичне значення величин вільного та статичного радіусів коліс.
3. Середні квадратичні відхилення значень динамічного радіуса для 10 моделей шин, використаних в якості прикладу знаходяться в межах від 3 мм до 5,5 мм, що не є суттєво.

Список використаних джерел

1. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков – М.: Машгиз, 1950. -343с.
2. Динамика колеса и устойчивость движения автомобиля / [У.А.Абдулгазис, А.У. Абдулгазис, Д.М. Клец, М.А. Подригало] /; под ред. У.А. Абдулгазиса. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2010. – 208 с.
3. Работа автомобильной шины / Под ред. В.И. Кнороза. – М.: транспорт, 1976. – 238 с.
4. Пожидаев С. П. О теории качения эластичного колеса с позиций механики / С.П. Пожидаев // Автомобильная промышленность, 2014. - №11. – с.16 – 17.

Аннотация

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИУСА КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ

**Подригало М.А, Гацько В.И., Абдулгазис А.У., Назарько О.А.,
Забельшинский З.Э.**

В статье предложен вероятностный метод оценки динамического радиуса колеса автомобиля с использованием правила «трех сигм». Приведены расчеты динамического радиуса для десяти моделей автомобильных шин.

***Ключевые слова:** динамический радиус, статический радиус, кинематический радиус, качение колеса, вероятностная модель*

Abstract

PROBABILISTIC METHOD OF ESTIMATING A CAR WHEEL DYNAMIC RADIUS

M. Podrigalo, V. Gatsko, A. Abdulgazis, O. Nazarko, Z. Zabelyshinsky

The article proposes a probabilistic method of estimating the dynamic radius of a car wheel using the three-sigma rule. Dynamic radius calculations for ten car tires are given.

***Keywords:** dynamic radius, static radius, kinematic radius, wheel rolling, probabilistic model*