

УДК 629.113.075.001

В.В. Біліченко, професор, канд. техн. наук,**О.Л. Добровольський, асистент,****Ю.Ю. Кукурудзяк, доцент, канд. техн. наук***Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна***ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ СИЛИ ТЕРТЯ В КОНТАКТІ ШИНИ З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**

Запропоновано методику визначення роботи сили тертя в контактї автомобільної шини з опорною поверхнею. В основу методики покладено принцип побудови моделей на базі теорії нечітких множин.

Ключові слова: нечітка логіка, кути установки керованих коліс, шина, сила тертя, робота, протектор.

Постановка проблеми. Під час руху автомобільної шини по твердї поверхні частина механічної енергії витрачається на її деформацію, виконання роботи при переміщенні елементів рисунка протектора по опорній поверхні, руйнування матеріалу шини, або його зношування.

У якості параметра, що характеризує процеси, які відбуваються в контактї шини з опорною поверхнею будемо вважати роботу сили тертя, що чисельно рівна добутку цієї сили на переміщення елементів протектора шини [1].

Відомо, що на роботу в контактї автомобільної шини з опорною поверхнею мають вплив безліч параметрів, врахувати їх всіх використовуючи класичні методи планування та проведення багатофакторних експериментальних досліджень не можливо через складність і громіздкість розрахунків [2]. Тому при дослідженнях найзручніше скористатися методом моделювання багатомірних залежностей [3].

Основна частина. Цей метод використовується для опису процесів нечіткими базами знань призначеними для формалізації причинно-наслідкових зв'язків між змінними «вхід-вихід», які характеризують ту або іншу конкретну залежність.

Відповідно до даного методу, побудова моделі нелінійного об'єкта здійснюється у два етапи, які аналогічні етапам структурної й параметричної ідентифікації, характерним для класичних методів [4]. На першому етапі здійснюється формування і грубе настроювання моделі об'єкта шляхом побудови бази знань по доступній експертній інформації, що є традиційним для технології нечітких експертних систем. Грубе настроювання ваг правил і форм функцій приналежності можна здійснювати за допомогою модифікованого методу парних порівнянь Саатї [5]. На другому етапі здійснюється тонке настроювання нечіткої моделі шляхом її навчання за допомогою експериментальних даних. Суть тонкого настроювання полягає в доборі таких вагових коефіцієнтів правил ЯКЩО-ТО і таких параметрів функцій приналежності, при яких мінімізувалося б відмінність між експериментальними і змодельованими параметрами об'єкта. На етапі структурної ідентифікації використаємо узагальнений елемент логічного виводу. Цей елемент описує залежність

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

яка показує зв'язок між причинами (факторами) x_i ($i = \overline{1, n}$) і наслідком y в вигляді системи нечітких логічних висловлювань (бази знань).

Згідно з залежністю (1) модель можна подати у вигляді залежності

$$A = f(K, H, P, N, V), \quad (2)$$

або у вигляді дерева вершинами якого є фактори впливу (рисунок 1). Фактори впливу у рівнянні 2 будемо розглядати як лінгвістичні змінні, що задані на відповідних універсальних множинах і оцінюються нечіткими термами. Так, наприклад, фактор впливу N – навантаження на колесо, визначається відсотком використання вантажопідйомності автомобіля. Якщо автомобіль у спорядженому стані (без вантажу), то приймаємо, що $N=0\%$, що відповідає 515 кг для автомобіля ВА3–2105, а при повному завантаженні автомобіля – $N=100\%$ що відповідає 615 кг. Таким чином фактор « N – навантаження на колесо» характеризується інтервалом (515–615).

Сумарний показник K , що характеризує опір коченню залежить від таких факторів: C – кут сходження, R – кут розвалу, T – тип шин, Y – увод.

Висота протектора шини H визначається з технічних характеристик шини та вимог правил дорожнього руху, пункту 31.4.5. «Колеса і шини» [6].

Для тиску повітря в шині P максимальне значення вибрано дещо вище рекомендованого (0,26 МПа) у зв'язку з тим, що часто водії перекачують шини, а мінімальне вибрано по рекомендаціях заводу виробника для автомобіля ВА3–2105.

Швидкість автомобіля V вибирається згідно з максимальною швидкістю, дозволеною правилами дорожнього руху, пункт 12.6 «Швидкість руху» [6].

Коефіцієнт зчеплення колеса з опорною поверхнею F вибирається згідно рекомендацій [7]. Для сухого асфальтобетонного покриття він буде $0,7 \dots 0,8$. З цими вхідними факторами робота тертя A буде змінюватися у межах $(55 \dots 80)$ мДж/см² згідно з даними результатів експерименту.

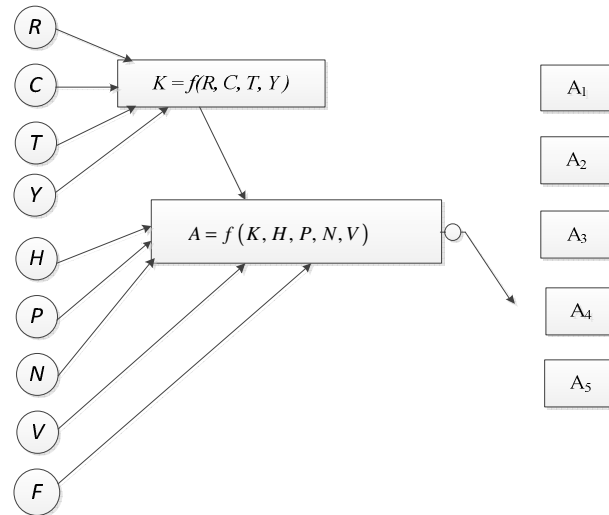


Рисунок 1 – Структура моделі визначення роботи тертя в контактї шини

Для зручності представлення та розрахунків розіб'ємо A на 5 підінтервалів та переведемо всі вхідні величини у відсоткове співвідношення до реальних значень.

Кількість правил – 3 на діапазон (більша кількість правил в свою чергу може призвести до розмиття найбільш характерних взаємозв'язків між вхідними параметрами і рішеннями), тоді $k_1 = k_2 = \dots = k_6 = 3$, а загальна кількість правил буде 15.

Задача визначення роботи тертя в контактї шини полягає в тому, щоб для кожної комбінації значень параметрів (факторів) поставити у відповідність одне з рішень $A_j, j = \overline{1,5}$, а потім дефазифікувати його. Для цього необхідно побудувати експертну базу знань, яка пов'язує фактори впливу з об'єктом ідентифікації, тобто роботою тертя.

Представимо отриману модель у вигляді системи нечітких логічних висловлювань (бази знань) [3].

Наприклад, для 1-го правила:

$$\begin{aligned} \text{ЯКЩО } & [(x_1 = K_1) I (x_2 = H_1) I (x_3 = P_2) I (x_4 = N_1) I (x_5 = V_1) I (x_6 = F_2)] \quad (\text{з вагою } 1,0) \\ \text{АБО } & [(x_1 = K_2) I (x_2 = H_1) I (x_3 = P_1) I (x_4 = N_2) I (x_5 = V_1) I (x_6 = F_1)] \quad (\text{з вагою } 0,96) \dots \\ \text{АБО } & [(x_1 = K_1) I (x_2 = H_2) I (x_3 = P_1) I (x_4 = N_2) I (x_5 = V_2) I (x_6 = F_2)] \quad (\text{з вагою } 0,95), \\ \text{ТО } & y = A_1. \end{aligned}$$

де A_{1-j} – нечіткий терм для оцінки j -го рівня вихідної змінної y ; X_{i-p} – нечіткий терм для оцінки вхідної змінної x_i в p -му ряду матриці знань, що відповідає терму A_{1-j} ;

Аналогічно визначаються правила для інших значень. Отримана експертна база знань, подана у вигляді матриці і є узагальненням взаємозв'язку факторів впливу і роботи тертя.

Налаштування моделі на прийняття адекватного рішення полягає в підборі таких значень параметрів настройки b і c , які б давали мінімальне розходження прийнятих рішень з експериментальними даними виконано по методиці [8]. В результаті налаштування математичної моделі отримані функції належності нечітких термів (рисунок 2). Для цього за допомогою узагальненої моделі визначено функції належності змінної x до довільного нечіткого терму T

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}, \quad (3)$$

де b і c – параметри налаштування, які мають наступну інтерпретацію: b – координата максимуму функції, $\mu^T(x)=1$; c – коефіцієнт концентрації функції.

Таким чином, знаючи діапазони зміни усіх факторів впливу, підбираються попередні значення параметрів настройки функцій належності b і c наступним чином: на основі обраних вхідних даних діапазони зміни кожного фактору ділимо на відповідну кількість термів, середини отриманих відрізків будуть значеннями параметру b ; параметр c вибираємо з урахуванням розмірності факторів та з урахуванням ваги кожного правила заданого в системі. Параметри функцій належності для величини N представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри функцій належності

Терм	b	c
N_1	14,865	48,322
N_2	63,626	31,641
N_3	98,234	11,250

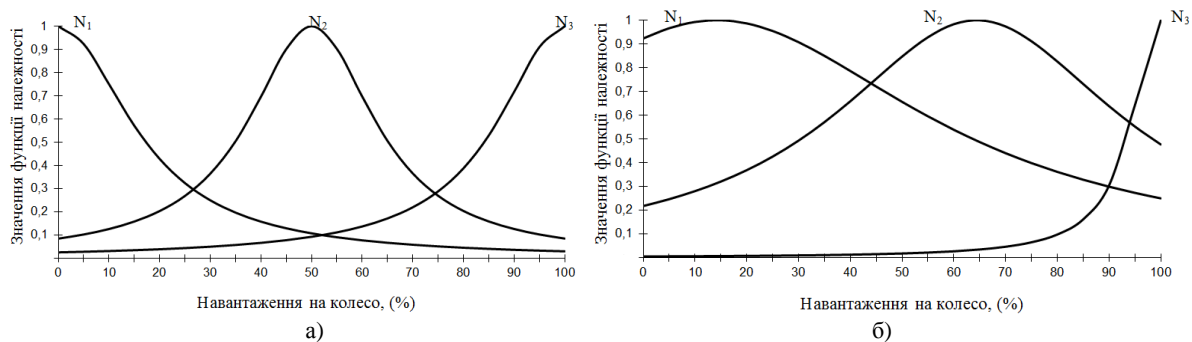


Рисунок 2 – Функції належності нечіткого терму „навантаження на колесо” до (а) та після налаштування (б)

Фрагмент бази знань з вагами нечітких правил, отриманими після налаштування, приведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Фрагмент бази знань

K	H	P	N	V	F	A	Вага правила
K_1	H_1	P_2	N_1	V_1	F_2	A_1	1.00
K_2	H_1	P_3	N_2	V_1	F_1		0.96
K_1	H_2	P_3	N_2	V_2	F_2		0.95

Перетворення нечіткого рішення у чітку форму відбувається за принципом «центру ваги» [8]

$$y = \frac{\sum_{j=1}^m \left[\underline{y} + (j-1) \cdot \frac{\bar{y} - \underline{y}}{m-1} \right] \cdot \mu^{Y_j}(y)}{\sum_{j=1}^m \mu^{Y_j}(y)}, \tag{4}$$

де \underline{y} (\bar{y}) – нижнє (верхнє) кількісне значення змінної y .

Фрагмент навчаючої вибірки, яка отримана при проведенні експериментальних досліджень і на основі якої проводилось налаштування математичної моделі, представлена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Фрагмент навчаючої вибірки

K	H	P	N	V	F	Вага правила	A	
							експ.	модель
0,016	1,41	0,19	520	5	0,75	1,00	60,5	56,1
0,020	3,80	0,23	550	10	0,71	0,96	58,6	55,3
0,015	2,64	0,26	562	50	0,74	0,95	54,8	59,2

Виконана перевірка адекватності моделі показала похибку прогнозу, яка не перевищує 11,5 % і є задовільною для практичних розрахунків роботи тертя в контактї шини з опорною поверхнею.

Висновки. Запропонована математична модель визначення роботи тертя вперше враховує комплексно кількісний та якісний характер впливу параметрів установки керованих коліс, типу і стану шин, розподілу навантаження між осями та швидкості руху автомобіля.

На відміну від існуючих методів, він дозволяє врахувати всі фактори впливу і звужити діапазон можливих оцінок до конкретного числового значення, що може підвищити об'єктивність визначення роботи тертя в плямі контакту шини з опорною поверхнею.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Добровольський О.Л. Визначення роботи сили тертя в контактї шини з опорною поверхнею / О.Л. Добровольський // Автошляховик України. — 2010. — № 13. — С. 67–69.
2. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. — М.: Металлургия, 1969. — 157 с.
3. Ротштейн А.П. Идентификация нелинейных объектов нечеткими базами знаний / А.П. Ротштейн, Д. И. Кательников // Кибернетика и сист. анализ. — 1998. — № 5. — С. 53–61.
4. Методы и системы принятия решений. Системы, основанные на знаниях / Под ред. А.Н. Борисова. — Рига: РПИ, 1989. — 175 с.
5. Ротштейн О.П. Метод побудови функцій належності нечітких множин / О.П. Ротштейн, Г.О. Черноволик, Є.П. Ларюшкін // Вісник ВПП. — 1996. — № 3. — С. 72–75
6. Правила дорожнього руху України. — Харків: НВП "Світлофор", 2001. — 88 с.
7. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля / Б.С. Фалькевич. — М.: Машгиз, 1963. — 239 с.
8. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике / А.П. Ротштейн. — Винница: Континент-ПРИМ, 1996. — 132 с.

Надійшла до редакції 20.09.2011 г.

Биличенко В.В., Добровольский А.Л., Кукурудзяк Ю.Ю. Определение работы силы трения в контакте шины с опорной поверхностью с применением нечетких множеств

Предложена методика определения работы силы трения в контакте автомобильной шины с опорной поверхностью. В основу методики положен принцип построения моделей на базе теории нечетких множеств.

Ключевые слова: нечеткая логика, углы установки управляемых колес, шина, сила трения, работа, протектор.

Bilichenko V.V., Dobrovolsky O.L., Kukurudzyak Y.Y. The friction force in tires contact determination using fuzzy logic

The method of friction determination in the automobile tire contact is suggested. The basis of the principle methods of building models is based on the fuzzy logic theory.

Keywords: fuzzy logic, steering wheels angles, tire friction, friction work, protector.