

УДК 681.5.015+62-83:629.33

О. Б. Мокін, канд. техн. наук, доц.; О. Д. Фолюшняк, асп.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ В ПРОСТОРІ ЛІНГВІСТИЧНИХ ЗМІННИХ УМОВ НЕПЕРЕВЕРТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ НА ПОВОРОТІ ДОРОГИ

Запропоновано математичну модель в просторі лінгвістичних змінних умов неперевертання електромобіля на повороті дороги, яка дає змогу визначити безпечну швидкість проходження електромобілем поворотів дороги.

Вступ

Враховуючи темпи розвитку транспортної індустрії, а також стрімке збільшення потужностей, швидкостей і вантажопідйомності транспортних засобів суттєво підвищились вимоги до їх надійності, економічності і безпеки. Тому актуальними залишаються завдання вдосконалення існуючих транспортних засобів, створення нових моделей та систем, які б дозволяли полегшити їх експлуатацію та обслуговування, а також забезпечували безпеку життя людини.

Особливо гостро стоять питання підвищення стійкості колісних транспортних засобів, в тому числі і електромобілів, на поворотах дороги, що диктується вимогами підвищення безпеки дорожнього руху та збереження життя людей.

Проходження поворотів дороги електромобілем має здійснюватись таким чином, щоб у достатній мірі забезпечувати безпеку водія та пасажирів. Це стає можливим, зокрема, завдяки проходженню повороту із максимально допустимою, для даних дорожніх умов, швидкістю.

Постановка задачі дослідження

Розробити математичну модель в просторі лінгвістичних змінних умов неперевертання електромобіля на повороті дороги, яка дає змогу визначити безпечну швидкість проходження повороту електромобілем.

Матеріали і результати дослідження

Швидкість проходження повороту електромобілем (V) визначається такими основними показниками: кутом повороту коліс (x_1), який є обернено пропорційним радіусу повороту, станом дорожнього покриття (x_2), який визначається коефіцієнтом зчеплення, та зношеністю шин (x_3), що визначається їх пробігом. Очевидно, що конкретне значення цих показників не є чітко визначеним, тому виникає необхідність оперувати такими категоріями як більше, менше, що дає можливість використовувати математичний апарат нечітких множин.

Структуру моделі (рис. 1) побудовано таким чином, що на початковому етапі визначається ймовірність неперевертання електромобіля на поворотах дороги (d). Зауважимо, що визначаючи параметр d , важливо знати поточну швидкість руху електромобіля (x_4) перед входженням в поворот дороги, тому цей показник також слід ввести в структуру моделі.

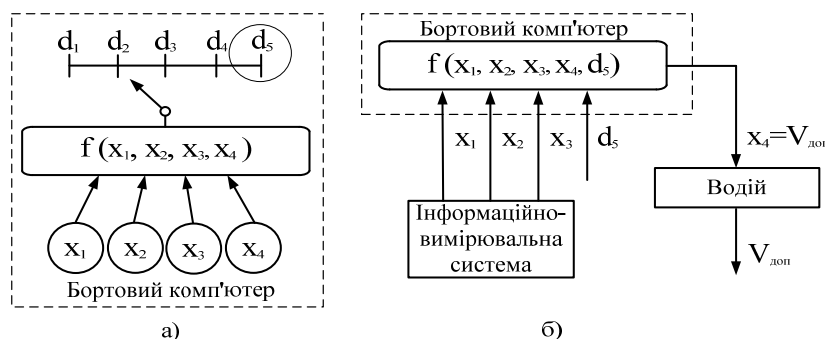


Рис. 1. Дерево логічного висновку: а – для визначення ймовірності неперевертання електромобіля; б – для визначення допустимої швидкості проходження повороту електромобілем

Для визначення допустимої швидкості проходження повороту електромобілем ($V_{\text{доп}}$) використовується не весь діапазон значень параметра d , а лише той, що відповідає складовій d_5 , яка, в свою чергу, характеризує найвищу ймовірність неперевертання. Таким чином, допустима швидкість проходження повороту електромобілем ($V_{\text{доп}}$) визначатиметься за умови, що електромобіль не перевернеться.

Для опису вхідних та вихідних змінних будемо використовувати лінгвістичну оцінку відповідно до термів, що зведені в таблицю.

Лінгвістична оцінка змінних

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
x_1	Кут повороту	$10^\circ \dots 50^\circ$	мінімальний (Мн), малий (М) великий (В), максимальний (Мк)
x_2	Стан дорожнього покриття	0,1...0,8	обледенілий асфальт (О), засніжений асфальт (З), мокрий асфальт (М), сухий асфальт (С)
x_3	Пробіг шин	(0...40) тис. км	мінімальний (Мн), малий (М) великий (В), максимальний (Мк)
x_4	Поточна швидкість	(0...90) км/год	мінімальна (Мн), мала (М) велика (В), максимальна (Мк)
d	Ймовірність неперевертання	0...1	низька (d_1), нижче середньої (d_2), середня (d_3), вище середньої (d_4), висока (d_5)
$V_{\text{доп}}$	Допустима швидкість	(0...90) км/год	мінімальна (Мн), мала (М) велика (В), максимальна (Мк)

Для опису нечітких термів використовується функція належності [1]

$$\mu^T(x) = e^{-\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2}, \quad (1)$$

де m_x — координата максимуму функції належності; σ_x — коефіцієнт концентрації-розтягування функції належності.

Користуючись деревами логічного висновку та введеними термами лінгвістичних змінних, розробимо експертну базу знань, яка є нечітким носієм інформації про причинно-наслідкові зв'язки між вихідними змінними.

Фрагмент нечітких логічних правил для визначення ймовірності неперевертання та допустимої швидкості проходження повороту електромобілем має вигляд

$$\begin{aligned} \mu^{d_5}(d) = & \left[\mu^{\text{Мн}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_4) \right] \vee \left[\mu^{\text{М}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_4) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{В}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_4) \right] \vee \left[\mu^{\text{Мк}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_4) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{Мн}}(x_1) \cdot \mu^{\text{З}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_4) \right] \vee \left[\mu^{\text{М}}(x_1) \cdot \mu^{\text{З}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_4) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{В}}(x_1) \cdot \mu^{\text{З}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_4) \right] \vee \dots \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu^{\text{Мн}}(V_{\text{доп}}) = & \left[\mu^{\text{М}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^{\text{М}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{В}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^{\text{Мк}}(x_1) \cdot \mu^{\text{О}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{М}}(x_1) \cdot \mu^{\text{З}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^{\text{В}}(x_1) \cdot \mu^{\text{З}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{Мк}}(x_1) \cdot \mu^{\text{З}}(x_2) \cdot \mu^{\text{Мн}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \dots \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mu^M(V_{\text{доп}}) = & \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^3(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^M(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^{\text{МК}}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^3(x_2) \cdot \mu^M(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^M(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^M(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^M(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \dots \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu^B(V_{\text{доп}}) = & \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^M(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^M(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^M(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^M(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^M(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^3(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_4}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^M(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_4}(d) \right] \vee \dots \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu^{\text{МК}}(V_{\text{доп}}) = & \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^M(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{\text{МК}}(x_3) \cdot \mu^{d_5}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_4}(d) \right] \vee \left[\mu^M(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{\text{МН}}(x_3) \cdot \mu^{d_4}(d) \right] \vee \\ & \vee \left[\mu^{\text{МН}}(x_1) \cdot \mu^M(x_2) \cdot \mu^M(x_3) \cdot \mu^{d_4}(d) \right] \vee \dots \end{aligned} \quad (6)$$

Дослідження запропонованої моделі здійснено в середовищі Matlab 6.5 Fuzzy Logic Toolbox [2, 3, 4, 5]. Результати моделювання фрагментарно показані на рис. 2 та рис. 3.

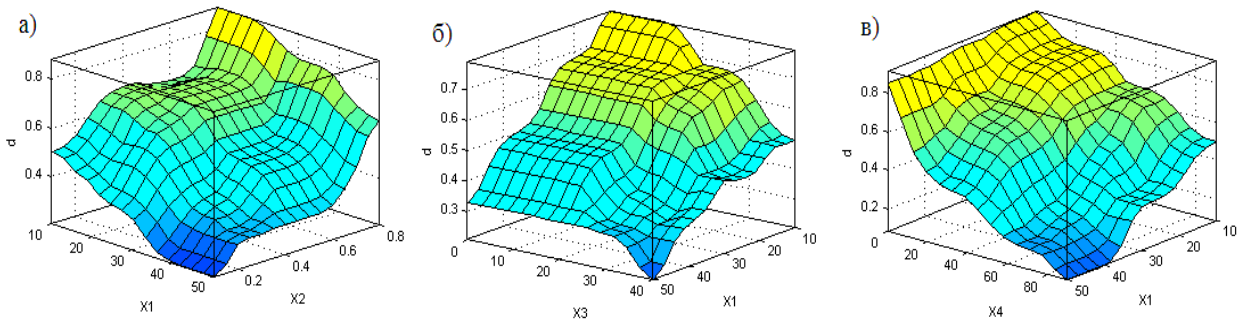


Рис. 2. Результати моделювання: а – залежність параметра d від x_1 та x_2 ; б – залежність параметра d від x_1 та x_3 ; в – залежність параметра d від x_1 та x_4

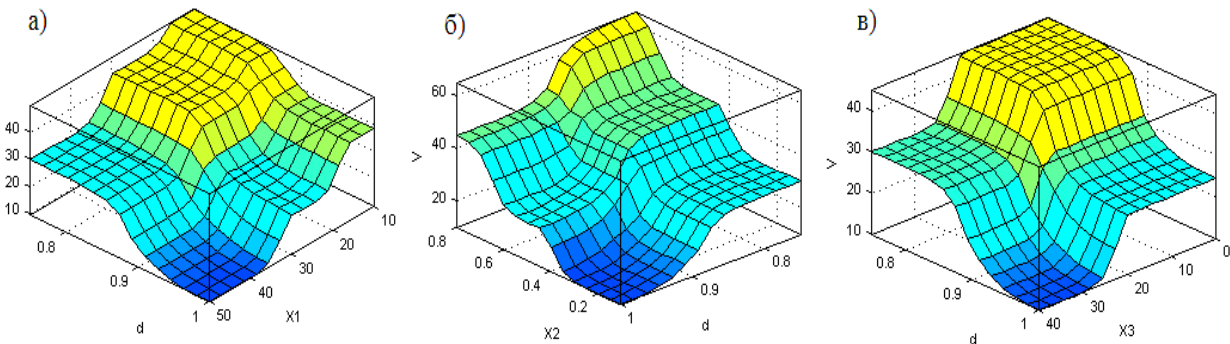


Рис. 3. Результати моделювання: а – залежність параметра V від x_1 та d ; б – залежність параметра V від x_2 та d ; в – залежність параметра V від x_3 та d

Розроблена модель, яка дозволяє визначити допустиму швидкість проходження повороту електромобілем ($V_{\text{доп}}$) за умови його неперевертання, була промодельована в Matlab 6.5 Simulink. Структура моделі в зображена на рис. 4.

За допомогою цієї моделі можна знайти, наприклад, що для кута повороту $x_1 = 15$, стану дорожнього покриття $x_2 = 0,6$ та пробігу шин $x_3 = 10\,000$ км, значення допустимої швидкості $V = 53,19$ км/год за ймовірності неперевертання $d = 0,99$.

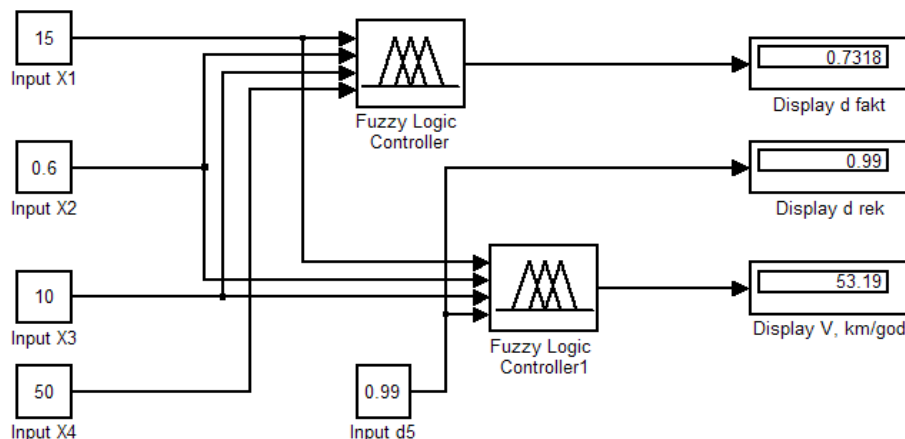


Рис. 4. Структура розробленої моделі в Matlab 6.5 Simulink

Висновки

1. Розроблено математичну модель в просторі лінгвістичних змінних умов неперевертання електромобіля на повороті дороги.
2. Розроблена модель реалізована в Matlab 6.5 Fuzzy Logic Toolbox та Simulink.
3. Здійснено розрахунок допустимої швидкості проходження повороту електромобілем за конкретних дорожніх умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Buyalskaya T. B., Mokin B. I. Formalization of art products expertise in fuzzy sets // Proc. XVI IMEKO World Cong. Vol. IX. Topic 23 — Expert System in Decision Making. — Vienna (Austria). — 2000. — P. 193—197. 33.
2. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. — М. : Мир, 1976. — 167 с.
3. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
4. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 320 с.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — М. : Горячая линия-Телеком, 2006. — 452 с.

Рекомендована кафедрою відновлюваної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів

Стаття надійшла до редакції 14.10.11
Рекомендована до друку 25.11.11

Мокін Олександр Борисович — завідувач кафедри, **Фолушняк Олена Дмитрівна** — аспірант.
Кафедра відновлюваної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця