

Оцінка критичної швидкості руху в системі підтримки прийняття рішень

Заковоротний О.Ю., Харченко А.О.

НТУ «Харківський політехнічний інститут»

м. Харків, Україна

zakovorotniy@kpi.kharkov.ua, kharchenko.artem.ua@gmail.com

Анотація—У даній роботі розглядаються методи оцінки стійкості та критичної швидкості руху залізничного рухомого складу в системах підтримки прийняття рішень. Всі математичні моделі розроблені для задачі керування в умовах невизначеності. За допомогою методів теорії ймовірностей та теорії стійкості розглянуто залежності між випадковими значеннями коефіцієнтів рівняння руху та значеннями швидкості. Наведено приклад використання ієрархічної нечіткої системи для оцінки критичної швидкості руху.

Ключові слова—критична швидкість, теорія стійкості, система підтримки прийняття рішень, ієрархічна нечітка система, нечітке керування.

ВСТУП

Сучасні бортові комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень машиністом на залізничному транспорті мають багатокомпонентну структуру. Для кожної складової вченими створюються математичні моделі, для забезпечення цілісності та безпеки функціонування системи. Математичні моделі кожної компоненти можуть бути як самостійними, так і взаємопов'язаними одиницями – в залежності від задачі, яка розв'язується. Розробка математичних моделей має враховувати наступні обмеження: кількість інформації та частота її обробки, режими керування системою в умовах невизначеності, оцінка критичних значень стійкості та швидкості системи для забезпечення безпеки руху, синтез оптимальних законів керування. У роботі [1] розв'язується задача керування тяговим асинхронним приводом за допомогою геометричної теорії керування, з розробкою нейронних мереж, для створення бази знань. У працях [2,3] використовуються методи нечіткої логіки для задач керування рухомими складними об'єктами. Інші дослідники використовують нейронні або нейро-нечіткі моделі для прогнозування оптимальних параметрів руху та визначення режимів керування рухомим складом [4,5]. Однак, здебільшого, математичні моделі створених компонент використовують сталі величини, що ускладнює процес керування в умовах невизначеності та обчислення критичних значень швидкості на певній ділянці шляху.

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТЕЙ БАГАТОВИМІРНИХ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ РУХУ

Основними методами, які використовуються в задачах дослідження стійкості складних систем є: метод функцій Ляпунова, методи дослідження абсолютної стійкості, методи математичного моделювання та інші [6]. Оцінка стійкості руху вагону, з урахуванням дестабілізуючих факторів, може бути виконана шляхом оцінки коефіцієнтів рівняння характеристичного руху першої колісної пари та перевірки його коренів.

Рівняння бокового відхилення та вилання колісної пари є диференціальними рівняннями другого порядку. Таким чином, характеристичним рівнянням є поліном 4-ого ступеню:

$$a_1 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + a_2 = 0, \quad (1)$$

де a_1, a_2 – вектори сталих величин, які залежать від технічних параметрів рухомого складу (маса колісної пари, конусність та радіус колеса, ширина колії); b_1, b_2, b_3 – багатовимірні випадкові величини. Залежності між технічними параметрами руху, які є складовими вектору сталих величин та значеннями бокових коливань, розглядаються у роботі [7].

Нехай b_1 – коефіцієнт, який є добутком дискретних випадкових величин, значення яких залежить від швидкості руху поїзда та нерівностей поверхонь колеса та рейки. Визначимо систему дискретних величин таким чином:

$$b_1 = (v_t, y_v, z_v), \quad (2)$$

де v_t – значення швидкості руху в певний момент часу t , y_v – бокове відхилення колісної пари, z_v – вилання колісної пари. Для оцінки стійкості в системі підтримки прийняття рішень виконаємо перевірку значень бокового відхилення та вилання. Необхідно зменшити кількість обчислень в системі (2), тому визначимо систему двовимірних випадкових величин:

$$\begin{cases} b_1^y = (v_t, y_v) \\ b_1^z = (v_t, z_v) \end{cases}, \quad (3)$$

де b_1^y, b_1^z – двовимірні випадкові величини, з функціями розподілу:

$$\begin{cases} F(v_t^*, y_v^*) = P(v_t < v_t^*; y_v < y_v^*) \\ F(v_t^*, z_v^*) = P(v_t < v_t^*; z_v < z_v^*) \end{cases}, \forall v_t^*, y_v^*, z_v^* \in R. \quad (4)$$

В результаті розв'язання характеристичного рівняння руху, ми отримаємо 4 корені: p_r^1, p_r^2 –

дійсні числа, p^1, p^2 – комплексні числа. За теорією стійкості О.М. Ляпунова перевіримо дійсні частини коренів характеристичного рівняння. Визначимо значення $[b_i^{\min}, b_i^{\max}]$, які відповідають мінімальному та максимальному значенню багатовимірної випадкової величини. Дійсні частини коренів характеристичного рівняння мають бути від'ємними. У табл. 1 виконується перевірка умови стійкості. Для проектування системи підтримки прийняття рішень використовується значення різниці реальних коренів характеристичного рівняння руху, дійсні частини комплексних коренів, або значення коефіцієнтів, які є випадковими величинами.

Табл. 1
ЗНАЧЕННЯ КОРЕНІВ ХАРАКТЕРИСТИЧНОГО РІВНЯННЯ РУХУ

| Швидкість (м/с) | Корені характеристичного рівняння | | | |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | p_r^1 | p_r^2 | p_c^1 | p_c^2 |
| v_1 | $p_r^1(v_1)$ | $p_r^2(v_1)$ | $p_c^1(v_1)$ | $p_c^2(v_1)$ |
| v_2 | $p_r^1(v_2)$ | $p_r^2(v_2)$ | $p_c^1(v_2)$ | $p_c^2(v_2)$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| v_{\max} | $p_r^1(v_{\max})$ | $p_r^2(v_{\max})$ | $p_c^1(v_{\max})$ | $p_c^2(v_{\max})$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| v_c | $p_r^1(v_c)$ | $p_r^2(v_c)$ | $p_c^1(v_c)$ | $p_c^2(v_c)$ |

Також виконується перевірка наступної умови:

$$v_{\max} < v_c, \quad (5)$$

де v_{\max}, v_c – критична та конструкційна швидкість руху відповідно.

ЗАСТОСУВАННЯ ІЕРАРХІЧНИХ СИСТЕМ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВОДУ

Для визначення оптимальних законів керування у бортових системах підтримки прийняття рішень використовують ієрархічні нечіткі системи. Переваги та особливості проектування таких систем розглянуто в роботах [8, 9]. Зокрема відзначається можливість використання більшої кількості залежностей та меншої кількості входів. Основною проблемою використання ієрархічних систем нечіткого виводу – є швидкість виконання обчислень в інформаційно-вимірювальних системах, особливо коли задача полягає в контролі критичної швидкості руху складного технічного об'єкту. У роботі [10] авторами розроблено моделі паралельного нечіткого логічного виведення, які розв'язують вищезгадану проблему для ієрархічних нечітких систем, враховуючи розмірність блоку нечітких правил. Так як критичною є швидкість за якої система втрачає стійкість, розглянемо останню як лінгвістичну змінну. Базою правил є декартовий добуток значення швидкості руху в певний момент часу та значення бокового відхилення колісної пари:

$$M = Rules(v_t) \times Rules(y_t). \quad (6)$$

Для практичної реалізації задачі визначення критичної швидкості та регулювання режимів ведення поїзда необхідно враховувати значення швидкості у попередні моменти часу, тому пропонується створення ієрархічної системи нечі-

ткого виводу з розширеними значеннями швидкості (6). Отримаємо такі залежності:

$$\begin{aligned} v_{t+1} &= S1(y_t, v_t); \\ X &= f(v_{t+1}); \\ v_f &= S2(X, v_{t+1}), \end{aligned} \quad (7)$$

де S_i – значення входів нечіткої системи, X – вектор значень бокового відхилення колісної пари, з урахуванням нерівностей в точці контакту колеса та рейки.

ВИСНОВКИ

Методи теорії ймовірностей та нечіткої логіки дають можливість не лише визначити закони розподілу критичної швидкості та виконати оцінку стійкості руху залізничного рухомого складу, з урахуванням нерівностей в системі «колесорейка», а й визначити оптимальні режими ведення поїзда на певній ділянці шляху. За допомогою ієрархічної системи нечіткого виводу є можливість оцінити запас стійкості та запас швидкості руху, визначити функції розподілу значення швидкості з урахуванням факторів зовнішнього середовища. Для оцінки впливу випадкових параметрів на критичну швидкість руху можливе використання α -рівнів – для коефіцієнтів випадкових величин (1). Для подальших досліджень, можливе використання ієрархічної системи нечіткого виводу для збільшення розмірності вектору випадкових величин, ідентифікації нормальних та дотичних сил у точці контакту колеса та рейки, визначення вертикальних коливань та перевірки граничних значень коефіцієнтів характеристичного рівняння руху.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. Х.: Изд. центр «НТМТ», 2013.
- [2] Zhang D. High-speed Train Control System Big Data Analysis Based on Fuzzy RDF Model and Uncertain Reasoning // International journal of computers communications & Control. – 2017. – №12 (4).
- [3] Hou T. Research on speed control of high-speed train based on multi-point model / T. Hou, Y. Guo, H. Niu. // Archives of transport. – 2019. – №50 (2). – P. 35–46.
- [4] Lazar M. A neural predictive controller for nonlinear systems / M. Lazar, O. Pastravanu. // Mathematics and Computers in Simulation. – 2002. – №60 (3).
- [5] Sathishkumar H. A novel neural network intelligent controller for vector controlled induction motor drive // 2017 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies 2017 AEDCEE, 25-26 May 2017, Bangkok, Thailand.
- [6] Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Изд. 2.– М.: Физматлит, 2007.
- [7] Complex driver movement mathematical model of the tractive rolling stock / V. Dmitrienko [et al.] // Teka. Commission of motorization and power industry in agriculture. – 2018. – Vol. 18, No. 4. – P. 21-30.
- [8] Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия, 2007.
- [9] Razak T. R. An Improved Complexity Measure in Hierarchical Fuzzy Systems // 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). – Glasgow, 2020. – №1. – P. 1–8.
- [10] Ершов С.В. Ярусно-паралельна модель обчислень для логічного виведення у нечітких багаторівневих системах / Комп'ютерна математика.— 2016. — № 1.