

Для підвищення ефективності керування локомотивом необхідно використовувати прогнозне значення швидкості поїзду через визначений інтервал часу. Так як на цю величину впливає низка випадкових факторів, пропонується представити її у вигляді нечіткого числа. Обґрунтовано вибір класу функції приналежності на підставі експериментальних даних та критерію Пірсона. Це дозволить використати методи теорії штучного інтелекту при моделюванні роботи локомотивної системи підтримки прийняття рішень

Ключові слова: керування поїздом, нечітке число, локомотивна бригада, функція приналежності

Для повышения эффективности управления локомотивом необходимо использовать прогнозируемое значение скорости поезда через определенный интервал времени. Так как на эту величину влияет ряд случайных факторов, предлагается представить ее в виде нечеткого числа. Обоснован выбор класса функции принадлежности на основе экспериментальных данных и критерия Пирсона. Это позволит использовать методы теории искусственного интеллекта при моделировании работы локомотивной системы поддержки принятия решений

Ключевые слова: управление поездам, нечеткое число, локомотивная бригада, функция принадлежности

1. Вступ

Одним зі шляхів підвищення ефективності експлуатації локомотивів є розробка і впровадження інтелектуальних систем керування. Локомотив являє собою складний об'єкт керування. Машиністу під час ведення поїзду доводиться одночасно вирішувати декілька складних завдань: контроль технічного стану поїзду та локомотива, оцінка поїзної ситуації, раціональне керування. Вирішення цих завдань передбачає обробку великої кількості інформації, наявність необхідних знань та досвіду, вміння швидко перемикає увагу. Формування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) повинно допомогти локомотивним бригадам визначити найбільш раціональний та безпечний алгоритм керування поїздом та знизити залежність якості цього керування від людського фактору [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Розробка засобів і методів інтелектуального керування на залізничному транспорті є актуальним

УДК 629.4.072
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.35996

ОБґРУНТУВАННЯ ВИДУ ФУНКЦІЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ НЕЧІТКИХ ПАРАМЕТРІВ ЛОКОМОТИВНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Т. В. Бутько

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: uermp@ukr.net

О. Б. Бабанін

Доктор технічних наук, професор**

E-mail: babanin_a_b@mail.ru

О. М. Горобченко

Кандидат технічних наук, доцент**

E-mail: superteacher@yandex.ru

*Кафедра управління експлуатаційною роботою***

**Кафедра Експлуатація і

ремонт рухомого складу***

***Український державний

університет залізничного транспорту

майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

завданням як для закордонних [2], так і вітчизняних науковців [3, 4]. В [5, 6] окреслені основні шляхи інтелектуалізації залізниць, але не достатньо приділено уваги впровадженню локомотивних керуючих систем.

Теоретичні основи інтелектуальних СППР розроблені в тому числі і вітчизняними дослідниками [7]. Ефективність роботи таких систем залежить від того, яким чином в них представлені знання та як описані нечіткі величини, що використовуються. Основною характеристикою нечіткого числа є функція приналежності [8, 9]. Методики визначення вигляду функцій приналежності розроблені та успішно використовуються для автоматизації технологічних процесів [10, 11], що дає підстави для розповсюдження їх з деякою адаптацією на процеси керування локомотивом. Ступені приналежності часто ототожнюють з імовірностями. Імовірнісні та нечіткі методи призначені для вирішення однієї і тієї ж задачі класифікації. Тому можливо сумісне їх використання [12] для задачі оцінки характеристик нечітких параметрів роботи СППР для локомотивних бригад. В роботі [13] виділено такі класи функцій приналежності:

– функція приналежності класу s

$$s(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq a, \\ 2((x-a)/(c-a))^2 & \text{при } a \leq x \leq b, \\ 1-2((x-c)/(c-a))^2 & \text{при } b \leq x \leq c, \\ 1 & \text{при } x > c; \end{cases} \quad (1)$$

– функція приналежності класу π визначається через функцію класу s

$$\pi(x, a, b, c) = \begin{cases} s(x, c-b, c-b/2, c+c) & \text{при } x \leq c, \\ 1-s(x, c, c+b/2, c+b) & \text{при } x > c; \end{cases} \quad (2)$$

– функція приналежності класу L

$$L(x, a, b) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq a, \\ (b-x)/(b-a) & \text{при } a \leq x \leq b, \\ 0 & \text{при } x > b; \end{cases} \quad (3)$$

– функція приналежності класу γ

$$\gamma(x, a, b) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq a, \\ (x-a)/(b-a) & \text{при } a \leq x \leq b, \\ 1 & \text{при } x > b; \end{cases} \quad (4)$$

– функція приналежності класу t

$$t(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq a, \\ (x-a)/(b-a) & \text{при } a < x \leq b, \\ (c-x)/(c-b) & \text{при } b < x \leq c, \\ 1 & \text{при } x > c. \end{cases} \quad (5)$$

Вибір однієї з наведених функцій обумовлений тим, що математичний апарат обробки та використання цих класів достатньо розроблений і ефективність його доведена практично, на відміну від не стандартних унікальних варіантів опису приналежності.

3. Ціль та задачі дослідження

Ціллю дослідження є обґрунтування вибору із існуючих класів функцій приналежності такої, що найбільше підійде для опису конкретної нечіткої величини на прикладі швидкості руху поїзду при її використанні локомотивною СППР.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виявити причини відхилення швидкості від розрахункової величини;
- дослідити наявні відхилення швидкостей в експлуатації;
- перевірити відповідність обраного класу функції приналежності експериментальним даним.

4. Представлення швидкості руху поїзда у вигляді нечіткого числа

Для визначеності в подальшому всі розрахунки будемо проводити на прикладі нечіткої величини «про-

гнозована швидкість руху поїзда». Вона є ключовою в роботі локомотивної СППР. Прогноз швидкості необхідний інтелектуальній системі для оцінки величин тягового зусилля локомотива, відхилення від графіку руху та складності нештатної ситуації [14], що у сукупності визначають корисність керуючого рішення, що виробляється СППР. Методи, що застосовуються в даному випадку, можна використати відносно інших нечітких параметрів.

Із теорії тяги поїздів відомо, що зміна швидкості поїзду залежить від взаємного співвідношення сил тяги та опору руху. В залежності від цього поїзд може прискорюватись, уповільнюватись та їхати рівномірно. Після перетворень відомих залежностей [15] отримано вираз для середньої дотичної сили тяги на ділянці:

$$f_{кр} = \frac{4,17(v_k^2 - v_n^2)}{s} + w_{cp}, \quad (6)$$

де 4,17 – коефіцієнт для урахування розмірностей величин; v_k, v_n – кінцева та початкова швидкості на ділянці, км/год; $f_{кр\ cp}$ – середня дотична сила тяги локомотива, кН; w_{cp} – середній опір руху поїзда, кН, s – довжина ділянки, м.

Вираз для визначення кінцевої швидкості на ділянці s :

$$v_k = \sqrt{\frac{(f_{кр} - w_{cp})s}{4,17} + v_n^2}. \quad (7)$$

При використанні цього виразу на практиці виявляється, що неможливо отримати достовірне значення кінцевої швидкості з великою точністю. Це не має принципового значення при загальних розрахунках, проте якщо на підставі цієї формули прогнозувати швидкість поїзду під час руху для передачі цього значення інтелектуальній системі керування, то можливі похибки значно знизять її ефективність.

Проаналізуємо причини виникнення помилки в розрахунках швидкості. Значення v_n та s під час руху визначаються точно та не впливають на похибку. Величина w_{cp} це показник, що залежить від багатьох факторів, що мають випадковий характер:

- сила опору кочення в буксових підшипниках рухомого складу (впливає якість змащування, ступінь зношування та пора року);
- сила опору кочення в точці колесо–рейка (впливає стан рейок та ступінь зношування бандажів);
- уклон ділянки (може відрізнятись від розрахункового);
- наявність кривих на ділянці (впливає стан та зношеність рейок в кривих та гребенів колісних пар, відхилення величини підвищення наружньої рейки, наявність лубрикаторів);
- маса складу (можливі відхилення при розрахунках маси за документами до 35–40 т);
- стан навколишнього середовища (напрямок вітру, опади, температура).

Величина $f_{кр}$ також має в своєму складі низку випадкових чинників, що впливають на точність розрахунку:

- стан та діаметри бандажів колісних пар локомотива;
- характеристики тягових електродвигунів;
- характеристики дизель-генераторних установок, стан паливної апаратури, системи керування передачею потужності, якість дизельного палива (для тепловозів);
- відхилення напруги контактної мережі, стан силової електричної апаратури (для електровозів).

Всі перелічені фактори впливають на точність визначення прогнозованої швидкості та за попередніми розрахунками можуть давати похибку до 9 %. Для визначення реальної помилки, що виникає в процесі експлуатації, було зібрано статистичні дані за наступною методикою. За даними реальних поїздок електровозів постійного струму ДЕ1 обрані 90 випадків прослідкування поїздом ділянки не менше 800 м без зміни режиму керування (при постійному положенні рукояток) керування поїздом. Дані поділені на три групи за інтервалами швидкостей, що аналізувались, км/год: 20÷30, 30÷40, 40÷50. Для кожного випадку розрахована величина відхилення реальної швидкості поїзду від розрахункової. Результати наведено на рис. 1.

Аналіз розподілення відхилень швидкостей доводить, що форма функції приналежності величини «прогнозована швидкість руху» відповідає двом класам: t та π. Проведемо оцінку відповідності функцій за допомогою критерію Пірсона. Для визначеності запишемо вирази для функцій:

– класу π

$$\mu_v(x) = \begin{cases} L\left(\frac{1}{1+(x/\alpha)^2}\right), & \text{при } x \leq 0, \\ R\left(\frac{1}{1+(x/\beta)^2}\right), & \text{при } x > 0; \end{cases} \quad (8)$$

– класу t

$$\mu_v(x) = \begin{cases} (x/\alpha - a)/(b - a) & \text{при } a < x \leq b, \\ (c - x/\beta)/(c - b) & \text{при } b < x \leq c, \end{cases} \quad (9)$$

де α>0, β>0 – лівий та правий коефіцієнти нечіткості; c=5, b=0, a=-5 для нашого випадку з відхиленням швидкості (рис. 1).

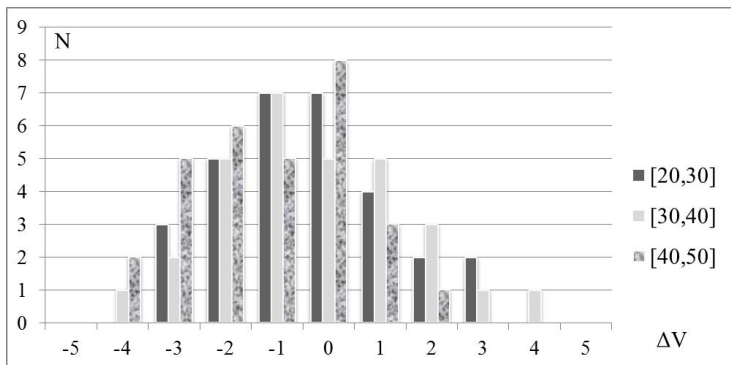


Рис. 1. Розподілення відхилення реальної та розрахункової швидкостей для різних швидкісних інтервалів

Для порівняння розподілення відхилень швидкостей та функцій приналежності вказаних класів представлено у вигляді масивів (табл. 1).

Таблиця 1

Значення критерію Пірсона для t- та π-функції для різних інтервалів швидкостей руху поїзду

Інтервал швидкостей, км/год	[20;30]	[30;40]	[40;50]
Критерій Пірсона для t-функції	0,914601	0,909252	0,76505
Критерій Пірсона для π-функції	0,829623	0,745736	0,743749

5. Обґрунтування виду функції приналежності нечіткого параметру «прогнозована швидкість руху»

Результати розрахунків в табл. 1 показують, що у всіх діапазонах швидкостей відхилення краще описується функцією t-типу, тобто трикутною формою. Але якщо провести розрахунки із збільшенням коефіцієнтів нечіткості α та β, то різниця критеріїв Пірсона для t- та π-класів функції приналежності нівелюється при α>2 та β>2. (рис. 2).

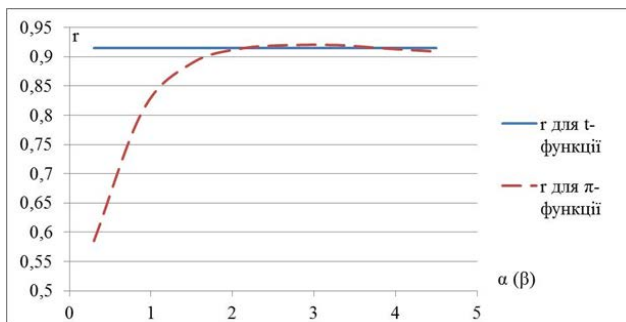


Рис. 2. Змінення критерію Пірсона в залежності від коефіцієнтів нечіткості

В залежності від типу нечіткого параметру, що буде використовуватись в локомотивній СППР (крім прогнозного значення швидкості, це може бути прогноз тягового зусилля локомотива, ефективності гальм поїзду, відстані до перешкоди або сигналу і т. і.) завдаються коефіцієнти нечіткості. Якщо після цього немає визначеності, то далі остаточний вибір класу функції проводиться виходячи з умов спрощення розрахунків з ціллю економії обчислювальних ресурсів бортової ЕОМ.

6. Обговорення результатів дослідження типу функції приналежності

Представлення вхідних даних для локомотивних СППР у вигляді нечітких чисел дозволяє реалізувати методи та математичний апарат теорії штучного інтелекту при виробленні рішень під час ведення поїзду. На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що найбільш прийнятною функцією приналежності є функція t-типу, що має три параметри:

розрахункова величина, ліва та права межа відхилень реальних даних від розрахункової величини. Використання нечітких параметрів тим самим вводить нечіткість у результати розрахунків. Так наприклад при завданні кінцевої швидкості за допомогою нечіткого числа вираз (6) буде мати наступний вигляд

$$f_{\text{ср}} = \frac{4,17((v'_k, \alpha, \beta)^2 - v_n^2)}{s} + w_{\text{ср}}. \quad (10)$$

В результаті перетворень отримаємо вираз для визначення тягового зусилля локомотива у вигляді нечіткого числа (L-R)-типу:

$$(f_{\text{ср}}, \alpha', \beta') = \frac{4,17((v_k'^2 - v_n^2), \alpha^2, \beta^2)}{s} + w_{\text{ср}}. \quad (11)$$

Розглядаючи рис. 3, можна стверджувати, що при знаходженні коефіцієнтів нечіткості в інтервалі від 0 до 2 для представлення величини швидкості руху поїзда у вигляді нечіткого числа доцільно використовувати трикутну функцію приналежності. При збільшенні коефіцієнтів нечіткості правомірно використовувати як t - так і π -функцію приналежності.

Наведені результати дослідження мають деякі обмеження у використанні. Експериментальні дані отримані для режиму тяги локомотива. В подальшому необхідно провести уточнюючі дослідження для режимів вибігу та гальмування. Попередньо можна передбачити, що вигляд функцій приналежності нечіткої

величини «прогнозована швидкість руху поїзда» буде співпадати з отриманим в тяговому режимі, але значення відхилень може значно відрізнятись на різних діапазонах швидкостей за рахунок значних коливань характеристик гальмівної системи поїзду.

7. Висновки

Впровадження локомотивних СППР потребує розробки широкого кола теоретичних питань, одним з яких є формалізація представлення параметрів, що використовуються, але не можуть бути отримані шляхом безпосереднього вимірювання. Машиніст в даному випадку використовує свій досвід та знання. Для моделювання цього процесу пропонується використання нечітких чисел. В роботі теоретично обґрунтовано вигляд функції приналежності нечіткого параметру «прогнозована швидкість руху поїзда». Окреслено низку факторів, що випадковим чином впливають на відхилення реальної швидкості від розрахункової. Для декількох діапазонів швидкостей отримані статистичні дані, на підставі яких можна стверджувати, що в експлуатації інтервал відхилень складає $-5...+5$ км/год. Відповідність характеру розподілення швидкостей t - та π -класам функцій приналежності підтверджено за допомогою критерію Пірсона. Пропонується такий підхід використовувати для визначення інших випадкових величин. Це дозволить інтелектуальній системі значно розширити коло факторів, що враховуються, та підвищить якість вироблених керуючих рішень.

Література

1. Горобченко, О. М. Методологічні основи побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад [Текст] / О. М. Горобченко // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ». – 2014. – № 8. – С. 12–13.
2. Jiang, C. Overview of Intelligent Railway Transportation Systems in China [Текст] / C. Jiang, J. Yang, J. Yuan, F. Xu // Intelligent Automation & Soft Computing. – 2012. – Vol. 18, Issue 6. – P. 627–634. doi: 10.1080/10798587.2012.10643272
3. Бутько, Т. В., Удосконалення системи оперативного управління пасажирськими перевезеннями на основі використання інтелектуальних технологій [Текст]: тези Міжн. наук.-прак. конф. / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. – Дніпропетровськ:ДНУЗТ, 2007. – С. 55.
4. Гапанович, В. А. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта [Текст] / В. А. Гапанович, И. Н. Розенберг // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 4. – С. 5–11.
5. Розенберг, Е. Н. Современные технологии для перехода к интеллектуальному железнодорожному транспорту [Електронний ресурс] / Е.Н. Розенберг // Всемирный электротехнический конгрессе (ВЭЛК–2011), г. Москва, 2011. – Режим доступу: http://www.ruscable.ru/print.html?p=/article/Sovremennyye_tehnologii_dlya_perexoda_k/
6. Intelligent Transport Systems (ITS) for sustainable mobility. UN, Economic Commission for Europe, UNECE [Text] / Geneva, February, 2012. – 120 p.
7. Тарасов, В. А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Теория, синтез, эффективность [Текст] / В. А. Тарасов, Б. М. Герасимов, И. А. Левин, В. А. Корнейчук. – К.:МАКНС, 2007. – 336 с.
8. Mitaim, S. The Shape of Fuzzy Sets in Adaptive Function Approximation [Text] / S. Mitaim, B. Kosko // IEEE Transactions on fuzzy systems. – 2001. – Vol. 9, Issue 4. – P. 637-656. doi: 10.1109/91.940974
9. Раскин, Л. Г. Нечеткая математика [Текст]: моногр. / Л. Г. Раскин, О. В. Серая. – Харьков: Парус, 2008. – 352 с.
10. Дёмин, Д. А. Нечеткая кластеризация в задаче построение моделей «состав – свойство» по данным пассивного эксперимента в условиях неопределённости / Д. А. Дёмин // Проблемы машиностроения. – 2013. – № 6. – С. 15–23.
11. Данилова, Н. В. Применение метода нечетких средних для построения функций принадлежности параметров технологического процесса [Текст]: Сб. научн. тр. семинара / Н. В. Данилова // Инновационные технологии, моделирование и автоматизация в металлургии. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 11–12.

12. Джарратано, Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование [Текст] / Дж. Джарратано, Г. Райли. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2007. – 1152 с.
13. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
14. Горобченко, О. М. Моделювання виникнення нештатної ситуації в ергатичній системі «локомотивна бригада – поїзд» [Текст] / О. М. Горобченко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2014. – Вип. 38. – С. 144–147.
15. Осипов, С. И. Основы локомотивной тяги [Текст] / С. И. Осипов, К. А. Миронов, В. И. Ревич. – М.: Транспорт, 1972. – 336 с.

У роботі розроблено автоматизовану систему управління роботою виробничо-перевантажувального комплексу порту, яку реалізовано у вигляді програмного комп'ютерного комплексу із застосуванням середовища візуального проектування Embarcadero C++Builder XE5. Програмний комплекс дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів перевантажувального комплексу за критеріями оптимальності

Ключові слова: автоматизована система, транспортна логістика, перевантажувальний комплекс, оптимізація, програмний комплекс

В работе разработана автоматизированная система управления работой производственно-перегрузочного комплекса порта, которая реализована в виде программного компьютерного комплекса с применением среды визуального проектирования Embarcadero C++Builder XE5. Программный комплекс позволяет оптимизировать распределение ресурсов перегрузочного комплекса по критериям оптимальности

Ключевые слова: автоматизированная система, транспортная логистика, перегрузочный комплекс, оптимизация, программный комплекс

УДК 004.94(045)

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36256

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ПЕРЕВАНТА- ЖУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

С. С. Забара

Доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри*
E-mail: staszabara37@gmail.com

М. Т. Дехтярук

Кандидат фізико-математичних наук, професор*
E-mail: dekh@ukr.net

*Кафедра інформаційних
технологій та програмування

Відкритий міжнародний
університет розвитку людини „Україна”
вул. Львівська, 23, м. Київ, Україна, 03115

1. Вступ

Розвитку транспортних логістичних систем за роки незалежності України приділяється велика увага, що знайшло свій прояв у прийнятті низки нормативних документів, зокрема в Законах України “Про транспорт”, “Про транзит вантажів” та ін., на підставі яких було розроблено й прийнято Програму розвитку мережі міжнародних транспортних коридорів в країні, Програму утвердження України як транзитної держави, Концепцію програми формування мережі логістичних центрів у системі міжнародних транспортних коридорів України та ін. [1, 2].

У цих документах значна увага приділяється розвитку і вдосконаленню логістичної складової транспортного комплексу України та його інтеграції в європейську та світову транспортно-логістичні системи. Основні резерви вдосконалення транспортно-логі-

стичного процесу знаходяться в раціональній організації взаємодії учасників ланцюга доставки, у погодженні їх інтересів та пошуку взаємовигідних та придатних рішень. Прогрес інформаційних технологій та інформаційних систем дає змогу значно підвищити ефективність транспортної логістики, а інформаційно-комп'ютерна підтримка посідає належне місце серед ключових логістичних функцій [2].

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Проблемам оптимізації транспортних логістичних систем приділяється значна увага. Так, в статті [3] використовується метод оптимізації маршрутизації за критерієм мінімуму часу доставки вантажів, в роботі [4] розглядається розв'язок транспортної задачі методом гілок і меж. Економіко-математична модель