

22...24 ГПа, теплопровідність 30...35 Вт/м. З проведених досліджень випливає, що добавки алкоксиду кремнію та нанопорошків монокарбиду вольфраму до тугоплавких оксидів і карбідів призводять до підвищення механічних властивостей, що, очевидно, пояснюється підвищенням міцності на міжфазних межах та дрібнозернистою структурою отриманих зразків. Ймовірно, що їхній спільний вплив може призвести до ще більшого збільшення механічних характеристик композиційних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Bernardo E., Fiocco L., Parcianello G., Storti E., Colombo P. Advanced ceramics from preceramic polymers modified at the nano-scale: A review. *Materials*. 2014. Vol. 7, Iss. 3. P. 1927–1956. DOI: 10.3390/ma7031927.
2. Parveez B., Kittur M. I., Badruddin I. A., Kamangar S., Hussien M., Umarfarooq M. A. Scientific advancements in composite materials for aircraft applications: A review. *Polymers*. 2022. Vol. 14. 5007. DOI: 10.3390/polym14225007.
3. Barbaros I., Yang Y., Safaei B., Yang Z., Qin Z., Asmael M. State-of-the-art review of fabrication, application, and mechanical properties of functionally graded porous nanocomposite materials. *Nanotechnology Reviews*. 2022. Vol. 11. P. 321–371. DOI: 10.1515/ntrev-2022-0017.
4. Kołodzyńska D., Budnyak T. M., Hubicki Z., Tertykh V. A. Sol–gel derived organic–inorganic hybrid ceramic materials for heavy metal removal. *Sol-Gel Based Nanoceramic Materials: Preparation, Properties and Applications*. 2016. P. 253–274. DOI: 10.1007/978-3-319-49512-5_9.
5. Hevorkian E. S., Nerubatskyi V. P., Rucki M., Kilikevicius A., Mamalis A. G., Samociuk W., Morozow D. Electroconsolidation method for fabrication of fine-dispersed high-density ceramics. *Nanotechnology Perceptions*. 2024. Vol. 20, No. 1. P. 100–113. DOI: 10.56801/nano-ntp.v20i1.363.
6. Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Gevorkyan E. S., Hordiienko D. A., Nazyrov Z. F., Komarova H. L. Investigation of phase and structural states in nanocrystalline powders based on zirconium dioxide. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 11. P. 1277–1282. DOI: 10.1063/10.0021374.
7. Nerubatskyi V. P., Gevorkyan E. S., Vovk R. V., Krzysiak Z., Nazyrov Z. F., Morozova O. M., Hordiienko D. A. Peculiarities of obtaining nanocomposites with organic additives and consolidated nanomaterials with given properties. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 11. P. 1283–1288. DOI: 10.1063/10.0021375.

УДК 656.2.022

канд. техн. наук Л.О. Пархоменко¹, канд. техн. наук В.М. Прохоров¹,
канд. техн. наук Т.Ю. Калашикова¹
¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

НЕЧІТКА ЛОГІКА ДРУГОГО ТИПУ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ РОБОТОЮ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ І РИЗИКІВ

Нечітка логіка другого типу є ефективним інструментом для вирішення завдань управління експлуатаційною роботою залізничного транспорту в умовах невизначеності. Вона надає більш гнучкий та адаптивний підхід порівняно з традиційними методами, оскільки дозволяє моделювати невизначеність не лише щодо значень змінних, але й щодо самих нечітких множин, які ці змінні описують. Це особливо актуально для задач, де ступінь невизначеності є високою або дані мінливі, що часто зустрічається у процесах планування ресурсів, таких як управління вагонопотоками, технологічне нормування, прогнозування показників чи управління обмеженими ресурсами.

У нечіткій логіці першого типу кожне правило використовує нечіткі множини, які задаються функціями приналежності, наприклад, "низький", "середній", "високий". Ці множини мають чітко визначені межі. Однак нечітка логіка другого типу додає ще один рівень невизначеності: самі функції належності можуть бути нечіткими, тобто їх межі не є зафіксованими, що дозволяє враховувати додаткову невизначеність щодо можливих змін значень [1]. Це особливо корисно, коли неможливо отримати точні прогнози, а припущення містять значну похибку.

Наприклад, у задачі управління подачею вагонів для клієнта ми можемо бути не впевнені не лише у точному попиту, але й у самих прогнозах цього попиту. Якщо очікується, що попит буде "високим", але межі поняття "високий попит" не є точними, нечітка логіка другого типу дозволяє варіювати ці межі, зберігаючи гнучкість у прийнятті рішень. Уявімо, що "середній" попит зазвичай становить від 50 до 70 вагонів, але з використанням нечіткої логіки другого типу ці межі можуть коливатись, скажімо, від 45 до 75 вагонів. Це дає можливість врахувати невизначеність не тільки в конкретних даних, але й у самих прогнозах.

Модель нечіткої логіки другого типу дозволяє встановлювати правила, які адаптуються до невизначеності. Наприклад, якщо прогнозується приблизно високий попит, але точність прогнозу

середня, можна резервувати більше вагонів. Якщо прогноз менш точний або попит виявляється середнім, резервування здійснюється більш обережно. Цей механізм дає змогу приймати рішення, що враховують розмитість як самих даних, так і оцінок прогнозів.

Ключова перевага нечіткої логіки другого типу полягає в тому, що вона дозволяє враховувати невизначеність двох рівнів: як у змінних, так і у функціях належності. Це робить її надзвичайно корисною для задач з високою мінливістю даних, таких як прогнозування попиту на залізничні ресурси чи управління запасами вагонів. У порівнянні з класичними методами, які прагнуть до отримання точних значень, нечітка логіка другого типу надає широкий діапазон можливих рішень, що зменшує ризик неправильних дій у непередбачуваних ситуаціях.

Математично нечітку логіку другого типу можна описати через функції приналежності другого типу, які задаються діапазоном можливих значень для кожної змінної. Кожна функція приналежності нечіткого множини другого типу має верхню і нижню границі, що дозволяє моделювати невизначеність у самих границях функцій. Це розширює можливості прийняття рішень у задачах управління експлуатаційною роботою, де зміни можуть відбуватись швидко та непередбачувано.

Застосування нечіткої логіки другого типу в управлінні залізничними ресурсами дозволяє створювати більш гнучкі та надійні стратегії планування, які враховують всі можливі варіації даних та зменшують ризики у випадку їх неточності. Такий підхід особливо корисний у ситуаціях, коли дані можуть змінюватись або прогнозовані значення важко точно визначити, що дозволяє забезпечити надійніше та ефективніше управління експлуатаційною роботою в умовах невизначеностей і ризиків.

[1] Mittal K., Jain A., Vaisla K. S., Castillo O., Kacprzyk J. A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2020. 95(1). 103916. DOI: 10.1016/j.engappai.2020.103916.

УДК 656.2; 62-5

*Кандидати техн. наук С.М. Продацюк, Г.С. Бауліна, Г.Є. Богомазова, аспірант М.В. Продацюк
Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків*

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМІНАЛУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Контейнерні термінали є невід'ємною частиною транспортної інфраструктури залізниць та відіграють важливу роль у забезпеченні успішного транспортного процесу. Сьогоднішній рівень переробки контейнерів на терміналах не задовольняє у повній мірі зростання попиту на якісні транспортні послуги та вимоги всіх учасників транспортно-виробничого ланцюга транспортування вантажу. Залізниці та інші суб'єкти транспортного процесу мають збитки через непродуктивні простой контейнерів і навантажувально-розвантажувальних машин (НРМ) на контейнерних терміналах та збільшення експлуатаційних витрат через військові події (блекаут, повітряна тривога, руйнування та ін.).

Для ліквідації незбалансованості операційної завантаженості ресурсів контейнерного терміналу в [1] розглянуто рішення щодо інноваційного режиму планування та оптимізації операції розвантаження. У роботі [2] запропоновано двоетапну модель розподілу площ для зберігання з метою мінімізації її обсягів, яка враховує технологію штабелювання й обсяги надходження та відправлення контейнерів. Наведено алгоритм моделювання відпалу на основі евристики (SAAH) і вдосконалений евристичний алгоритм на основі рухомого горизонту (HARH). Але в моделі враховані обмеження тільки за часом та вагою і не взято до уваги технічне оснащення контейнерного терміналу. Для оптимальної організації контейнерних перевезень у дослідженні [3] сформовано ризик-орієнтовану технологію управління роботою припортової станції та порту. При цьому було враховано ризики виникнення втрат станції та порту через настання ризикових подій, не враховуючи оптимального технічного оснащення контейнерного терміналу.

За таких умов було розроблено стохастичну модель визначення оптимальної технології функціонування контейнерного терміналу з метою мінімізації як експлуатаційних витрат так і фінансових втрат, що безпосередньо пов'язані з переробкою контейнерів. Для формалізації технології роботи терміналу застосовано теорію управління запасами. Цільова функція моделі визначення оптимальної технології функціонування контейнерного терміналу враховує витрати на зберігання контейнерів, ризик фінансових втрат від простою НРМ (річстакерів) та витрати на переробку контейнерів. При формуванні моделі враховано оптимальну переробну спроможність контейнерного терміналу з оптимальним технічним оснащенням і певними параметрами роботи. Визначено час на виконання вантажних операцій з контейнерами i -го