

УДК 004.89

Остапець Я.Д., аспірант

Український державний університет науки і технологій

ОГЛЯД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ

Ефективність функціонування залізничного транспорту значною мірою визначається якістю управління технологічними процесами на залізничних станціях. Традиційні детерміновані алгоритми не враховують стохастичний характер даних і змінність умов експлуатації, що знижує ефективність прийняття рішень [1]. В умовах обмеженого часу на прийняття рішень та високих вимог до надійності виникає потреба у впровадженні інтелектуальних методів управління.

На думку автора, до основних груп таких інтелектуальних методів доцільно віднести:

- Методи машинного навчання;
- Еволюційні методи;
- Методи колективного інтелекту;
- Нечіткі та гібридні методи.

Одним із ключових напрямів є використання машинного навчання для прогнозування параметрів роботи станції. ML-моделі здатні виявляти закономірності у великих масивах даних, що дозволяє прогнозувати затримки поїздів, оптимізувати маневрову роботу та планувати технічне обслуговування. Особливо актуальною є задача прогнозування часу прибуття вантажних поїздів, яка ускладнюється впливом випадкових факторів. Дослідження показують, що ансамблеві методи, зокрема градієнтний бустинг, забезпечують високу точність прогнозування [2]. Аналіз часових рядів дає змогу передбачати завантаженість колій і конфліктні ситуації, що сприяє прийняттю превентивних рішень.

Для задач оперативного управління ефективними є методи навчання з підкріпленням, які формують оптимальні стратегії в умовах невизначеності. Використання графових нейронних мереж дозволяє враховувати топологію станції як складної мережевої структури. Зокрема, алгоритми типу DQN (Deep Q-Network) демонструють кращі результати у задачах формування та розформування поїздів порівняно з класичними методами, оскільки враховують динаміку системи та можливі майбутні події [3, 4].

Важливими є задачі оптимізації маневрової роботи, формування поїздів і розподілу вагонопотоків. У цих випадках ефективними є

еволюційні методи, зокрема генетичні алгоритми, які дозволяють знаходити рішення у задачах великої розмірності та з багатьма критеріями. Вони успішно застосовуються для складання графіків руху та оптимізації експлуатаційних витрат [5]. Особливістю таких алгоритмів є можливість роботи з багатокритеріальними функціями придатності, де одночасно враховуються експлуатаційні витрати, час доставки вантажу та надійність графіка. Поєднання таких методів із машинним навчанням формує гібридні підходи, здатні враховувати як історичні дані, так і поточний стан системи.

У складних транспортних вузлах перспективним є застосування мультиагентних систем, де елементи інфраструктури моделюються як автономні агенти. Це забезпечує децентралізоване управління, підвищує гнучкість і стійкість системи. Методи ройового інтелекту ефективні для задач маршрутизації та логістики; зокрема, сучасні алгоритми, такі як «Pigeon-Inspired Optimization», демонструють швидку збіжність при високій ефективності [6].

Окрему роль відіграють методи, орієнтовані на роботу в умовах невизначеності та неповноти інформації. Зокрема, використання нечіткої логіки та інтерпретованих моделей дозволяє формалізувати експертні знання та забезпечити прозорість процесу прийняття рішень. Наприклад, у задачах управління гальмівними позиціями сортувальних гірок нечіткі регулятори дозволяють враховувати невизначеність ходових характеристик відцепів та відхилення натискної сили самих уповільнювачів.

Гібридні інтелектуальні системи, що поєднують кілька методів, демонструють кращі результати порівняно з однорідними підходами. Наприклад, нейро-нечіткі системи типу ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) поєднують адаптивність нейронних мереж з інтерпретованістю нечіткої логіки. Математична структура ANFIS дозволяє системі самостійно коригувати параметри функцій належності на основі вхідних даних, що забезпечує мінімальну похибку управління.

Таким чином, проведений огляд підтверджує, що гібридні інтелектуальні системи є найбільш перспективним напрямом для управління технологічними процесами на залізничних станціях, оскільки поєднують адаптивність, точність і здатність працювати в умовах невизначеності.

У рамках подальшого розвитку дослідження пропонується розробка системи керування швидкістю скочування вагонів на сортувальних гірках на основі нейро-нечіткої мережі ANFIS з інтегрованим цифровим двійником об'єкта керування. Така архітектура забезпечить самоадаптацію системи при зміні ключових параметрів (зокрема, кута нахилу гірки) та своєчасне коригування управляючих впливів. Це

дозволить підвищити надійність і точність управління в умовах реальної експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Жуковицький І. В. Цифрові системи управління швидкістю скочування відчепів на сортувальних гірках : монографія. Дніпропетровськ : Маковецький Ю. В., 2012. 203 с.

2. Minbashi N., Zhao J., Dick C. T., Bohlin M. Enhancing freight train delay prediction with simulation-assisted machine learning. IET Intelligent Transport Systems. 2024. URL: <https://doi.org/10.1049/itr2.12573> (дата звернення: 20.03.2026).

3. Peer E., Menkovski V., Zhang Y., Lee W.-J. Shunting Trains with Deep Reinforcement Learning. 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) : conference proceedings, Miyazaki, Japan, 07-10 Oct. 2018. IEEE, 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00520> (дата звернення: 20.03.2026).

4. Optimization of shunting operation plan in large freight train depot based on DQN algorithm / J. Qiu et al. PLoS One. 2025. Vol. 20, no. 4. e0320762. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320762> (дата звернення: 20.03.2026).

5. A Genetic Algorithm for Railway Scheduling Problems / P. Tormos et al. Metaheuristics for Scheduling in Industrial and Manufacturing Applications. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2008. (Studies in Computational Intelligence ; vol. 128). P. 255–276. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-540-78985-7_10 (дата звернення: 20.03.2026).

6. Zhang X., Wei Y., Hashim Z. Improvement of Swarm Intelligence Algorithm and Its Application in Logistics Network Routing. Journal of Network Intelligence. 2023. Vol. 8, no. 4. P. 1077–1094. URL: <https://bit.nkust.edu.tw/~jni/2023/vol8/s4/02.JNI-S-2023-04-014.pdf> (дата звернення: 20.03.2026).