

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту



ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

VI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ



ITT2025

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

**Тези доповідей 6-ої міжнародної
науково-технічної конференції**

«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Харків 2025

6-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 24–26 листопада 2025 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2025. – 300 с.

Збірник містить тези доповідей науковців вищих навчальних закладів України та інших країн, підприємств транспортної та машинобудівної галузей за чотирьма напрямками: розвиток інтелектуальних технологій при управлінні транспортними системами; транспортні системи та логістика; інтелектуальне проектування та сервіс на транспорті; функціональні матеріали та технології при виготовленні та відновленні деталей транспортного призначення.

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2025

**ТЕХНОЛОГІЯ «ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА» ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА
ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ З
ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

**DIGITAL TWIN TECHNOLOGY FOR MODELLING AND DIAGNOSING
ELECTRICAL CENTRALISATION SYSTEMS USING ARTIFICIAL
INTELLIGENCE**

*канд. техн. наук В.О. Сотник, PhD О.В. Щебликіна
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Candidate of Technical Sciences V.O. Sotnyk, PhD O.V. Shcheblykina
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Розглянута в доповіді тема є важливою у контексті сучасних викликів, які пов'язані із надзвичайно високими вимогами до безпеки та надійності залізничного руху. Системи електричної централізації (ЕЦ), будучи основою безпеки, мають традиційні методи діагностики, які вимагають виведення обладнання з роботи та характеризуються високою вартістю, що накладає суттєві обмеження на їх використання. Це спонукає до переходу на предикативне обслуговування, де ключову роль відіграє технологія цифрового двійника (ЦД), що дозволяє прогнозувати потенційні відмови.[1]

Цифровий двійник – це динамічна, віртуальна репліка фізичного об'єкта або системи на відміну від простої симуляції чи 3D-моделі. Його ключова відмінність полягає у забезпеченні двостороннього, майже в реальному часі зв'язку між фізичним світом і віртуальною копією. Фізичним об'єктом ЦД є система ЕЦ та її найкритичніші компоненти для діагностики: стрілочні приводи, рейкові кола, а також релейна або мікропроцесорна централізація (МПЦ). Для синхронізації використовується безперервний потік даних, зібраний із сенсорів, систем технічної діагностики та лог-файлів. [2-4]

Побудова цифрового двійника передбачає розробку віртуальної моделі, яка відображає два основні аспекти системи: фізичну поведінку (математична імітація механічних, електричних, теплових процесів, наприклад, динаміки роботи стрілочного привода з урахуванням сил тертя, або впливу вологості на ізоляцію рейкових кіл) та логічну модель (відтворення схем залежностей та алгоритмів керування ЕЦ, що особливо важливо для МПЦ). Життєздатність моделі залежить від якості даних (струми двигунів, час переведення стрілок, напруга в рейкових колах) та їхньої попередньої фільтрації, нормалізації та очищення. Після інтеграції через IoT-платформи, критичним етапом є калібрування та валідація, де результати симуляції ЦД порівнюються з фактичними показниками фізичної ЕЦ, забезпечуючи достовірність діагностичних прогнозів. [5, 6]

Штучний інтелект перетворює ЦД з симуляційної моделі на інтелектуальну діагностичну платформу, забезпечуючи аналіз величезних обсягів даних та виявлення прихованих закономірностей. Основною функцією ШІ є виявлення аномалій, коли алгоритми машинного навчання, навчені на моделі "нормального" стану, миттєво класифікують відхилення, що дозволяє виявляти нетипові збої. Для класифікації несправностей використовуються згорткові нейронні мережі (CNN), здатні аналізувати часові ряди (наприклад, струмові криві) та автоматично ідентифікувати ознаки початкового зносу редуктора або перекосу рамних рейок за невеликими "зубцями" у формі кривої. Рекурентні нейронні мережі (RNN), зокрема LSTM, ідеально підходять для моделювання деградації критичних параметрів, аналізу трендів та прогнозування залишкового терміну служби з високою точністю. [7]

Практичне застосування ЦД та ШІ реалізується через тестування "що-як" у безпечному середовищі, де можна симулювати сценарії відмов, як-от різке падіння напруги в рейковому колі, для визначення критичних точок та розробки оптимальних алгоритмів відновлення без ризику для реального руху. ШІ постійно порівнює фактичні показники з еталонною поведінкою ЦД, виявляючи дефекти, які ще не призвели до повної відмови, але вже розпочали процес деградації. Економічним результатом цього інтелектуального аналізу є скорочення позапланових ремонтів, підвищення рівня використання інфраструктури та значне зниження загальних операційних витрат. [8]

Таким чином, впровадження ЦД та ШІ у діагностику ЕЦ є стратегічним кроком, що забезпечує найвищий рівень безпеки та ефективності функціонування залізничної інфраструктури.

- [1] L. Ai and P. Ziehl, "Advances in Digital Twin Technology in Industry: A Review of Applications, Challenges, and Standardization," in *Journal of Intelligent Construction*, vol. 3, no. 2, pp. 1-19, June 2025, doi: 10.26599/Jic.2025.9180083.
- [2] Heaton, J. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning. Genet Program Evolvable Mach 19, 305–307 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10710-017-9314-z>
- [3] Yang, Jia, Yongkui Sun, Yuan Cao, and Xiaoxi Hu. 2021. "Predictive Maintenance for Switch Machine Based on Digital Twins" *Information* 12, no. 11: 485. <https://doi.org/10.3390/info12110485>
- [4] De Donato L., et al. Towards AI-assisted digital twins for smart railways: preliminary guideline and reference architecture. – *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 2023. – DOI: 10.1007/s40860-023-00208-6.
- [5] R. Ferdousi, F. Laamarti, C. Yang and A. El Saddik, "RailTwin: A Digital Twin Framework For Railway," 2022 IEEE 18th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Mexico City, Mexico, 2022, pp. 1767-1772, doi: 10.1109/CASE49997.2022.9926529.
- [6] E. Krmac and B. Djordjevic, "Digital Twins for Railway Sector: Current State and Future Directions," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 108597-108615, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3439471.
- [7] Dirnfeld, R., De Donato, L., Flammini, F., Azari, M.S., Vittorini, V. (2022). Railway Digital Twins and Artificial Intelligence: Challenges and Design Guidelines. In: Marrone, S., et al. Dependable Computing – EDCC 2022 Workshops. EDCC 2022. Communications in Computer and Information Science, vol 1656. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16245-9_8
- [8] Ou, Y.; Mihăiță, A.-S.; Ellison, A.; Mao, T.; Lee, S.; Chen, F. Rail Digital Twin and Deep Learning for Passenger Flow Prediction Using Mobile Data. *Electronics* 2025, 14, 2359. <https://doi.org/10.3390/electronics14122359>