

2. Wooldridge, M. (2021). An Introduction to Multiagent Systems (3rd ed.). John Wiley & Sons.
3. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction (2nd ed.). MIT Press.
4. Weiss, G. (Ed.). (2013). Multiagent Systems (2nd ed.). MIT Press.
5. Khouadjia, M. (2013). Multi-environment Multi-agent Simulation: An Application to Traffic and Transportation Problems. JAIR, 49, 239-269.

УДК 004.89:681.518.5:004.77

А.А. Станько, доктор філософії; А.Г. Микитишин, канд. техн. наук, доц.; С.І. Козак
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ДІАГНОСТИКА І ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ ОБЛАДНАННЯ В ІОТ-МЕРЕЖАХ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Анотація. Тези присвячені аналізу сучасних методів інтелектуальної діагностики та прогнозування відмов обладнання у мережах Інтернету речей (IoT) в системах автоматизації. Розглянуто застосування методів машинного навчання, зокрема рекурентних нейронних мереж, для виявлення аномалій та прогнозування збоїв обладнання. Показано переваги інтеграції IoT із хмарними платформами. Запропоновано напрями подальших досліджень.

Ключові слова: IoT-мережі, інтелектуальна діагностика, прогнозування відмов, машинне навчання, системи автоматизації.

A. Stanko, PhD; A. Mykytyshyn, Ph.D.; S. Kozak
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

INTELLIGENT DIAGNOSTICS AND PREDICTION OF EQUIPMENT FAILURES IN IOT NETWORKS FOR AUTOMATION SYSTEMS

Abstract. This paper devoted to the analysis of modern methods of intelligent diagnostics and prediction of equipment failures in Internet of Things (IoT) networks in automation systems. The application of machine learning methods, in particular recurrent neural networks, to detect anomalies and predict equipment failures is considered. The advantages of integrating IoT with cloud platforms are shown. Directions for further research are proposed.

Keywords: IoT networks, intelligent diagnostics, fault prediction, machine learning, automation systems.

Зростаюча складність сучасних систем автоматизації на базі технологій Інтернету речей (IoT) спричиняє підвищені вимоги до стабільності їх роботи. Однією з ключових проблем при цьому є своєчасна діагностика та прогнозування можливих відмов обладнання, що забезпечує безперервність та ефективність виробничих процесів. В умовах великих промислових об'єктів, які включають тисячі датчиків та виконавчих пристроїв, використання інтелектуальних методів діагностики та прогнозування набуває особливого значення [1].

Одним із перспективних підходів є використання методів машинного навчання (ML) для побудови моделей прогнозування несправностей. Ці моделі базуються на аналізі великих обсягів даних, що генеруються IoT-пристроями в реальному часі. Наприклад, застосування нейронних мереж дозволяє ефективно виявляти аномалії у роботі обладнання ще до того, як вони призведуть до повного виходу з ладу [2]. Водночас важливим завданням є вибір оптимальних алгоритмів, які забезпечать високу точність прогнозування та мінімальну кількість хибних спрацьовувань.

Одним із найбільш ефективних алгоритмів прогнозування є рекурентні нейронні мережі (RNN), зокрема мережі типу LSTM (Long Short-Term Memory), які здатні враховувати

часові залежності між подіями і відповідно передбачати можливі збої у роботі обладнання [3]. Впровадження цих моделей на рівні IoT-мереж дозволяє автоматично формувати сигнали про необхідність профілактичного обслуговування, знижуючи при цьому витрати на ремонт та підвищуючи загальну ефективність виробничих процесів.

Крім того, використання хмарних платформ для централізованого зберігання та обробки даних сприяє підвищенню оперативності та точності прийняття рішень щодо технічного обслуговування [4]. Об'єднання IoT-інфраструктури із хмарними обчисленнями забезпечує можливість масштабування системи діагностики та прогнозування, що особливо актуально для підприємств із розгалуженою інфраструктурою.

Таким чином, ефективне застосування методів інтелектуальної діагностики і прогнозування відмов дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики систем автоматизації на базі IoT, зменшити простой обладнання та оптимізувати витрати на утримання техніки. Подальший розвиток досліджень у цьому напрямку має передбачати удосконалення алгоритмів, що використовуються, та створення інтегрованих платформ для комплексного моніторингу стану обладнання [5].

Джерела та література

1. Susto, G. A., Schirru, A., Pampuri, S., Pagano, D., & McLoone, S. (2015). Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(3), 812-820.
2. Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Proc. CIRP*, 16, 3-8.
3. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780.
4. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
5. Khan, W. Z., Rehman, M. H., Zangoti, H. M., Afzal, M. K., Armi, N., & Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. *Computers & Electrical Engineering*, 81, 106522.

УДК 621.3

Н.Куземко, к.т.н., доц., В. Лазарюк, к.т.н., доц.,

Тернопільський національний технічний університет, Україна.

ВНЕСОК ІВАНА ПУЛЮЯ В СТАНОВЛЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ: ВІД ПРАКТИКИ ДО ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ЗНАНЬ

N. Kuzemko, Ph.D, Assoc. Prof., V. Lazaryuk, Ph.D, Assoc. Prof.,

IVAN PULUJ'S CONTRIBUTION IN ESTABLISHING THEORETICAL ELECTRICAL ENGINEERING: FROM PRACTICE TO FUNDAMENTAL KNOWLEDGE

Розвиток електротехніки у кінці 19-ого століття відбувався шляхом накопичення знань про фізичні процеси виникнення та поширення електричної енергії. Проте, значне поширення нових відкриттів стримувалось вирішенням практичних задач та досліджень для різних електротехнічних пристроїв. Наприклад, телеграф з'явився у 1837 році, а значне поширення отримав лише в ході розвитку залізничного транспорту через 20 років. Перший практичний генератор постійного струму, динамо-машина Іполита Піксії, запрацював у 1832 році, проте динамо-машина Зеноба Грамма з самозбудженням, що була активно використана для забезпечення електроенергією перших промислових джерел світла, була винайдена у 1869 році. Фізики-експериментатори ставали по суті винахідниками нових електропристроїв.