3. Cao, C. J., & Liu, Q. J. (2011). Study on color space conversion based on RBF neural network. *Advanced Materials Research, 174*, 28–31.
4. FOGRA Research Institute for Media Technologies. (n.d.). *FOGRA characterization data and ICC profiles*. https://www.fogra.org/en/fogra-standardization/fogra-characterizationdata/a-icc-en.html
5. International Organization for Standardization. (2013). *ISO 12647-2:2013 Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes*. ISO.

УДК 004.8:004.032.26

DEVELOPMENT OF A HYBRID NEURAL NETWORK MODEL FOR SENSOR SIGNAL FORECASTING

Ph.D., O. Laktionov[1][0000-0002-5230-524X], Ph.D., A. Yanko[2][0000-0003-2876-9316], Ph.D., S. Liubarskyi[3][0000-0001-8068-1106]
[1,2]National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine,
[3]Military Institute of Telecommunications and Informatization Technologies named after Heroes of Kruty, Ukraine
EMAIL:[1]itm.olaktionov@nupp.edu.ua, [2]al9_yanko@ukr.net, [3]sergii.liubarskyi@viti.edu.ua

РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ

Ph.D., О. Лактіонов[1], Ph.D., А. Янко[2], Ph.D., С. Любарський[3]
[1,2]Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна,
[3]Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Україна

Анотація. *Розглянуто процес створення гібридної нейронної мережі для прогнозування стану сигналів сенсорів промислових механізмів. Особливістю запропонованої мережі є ефективне врахування нелінійних процесів завдяки використанню принципу синхронізації, що реалізований на основі ядра хі-квадрат. Отримані результати підтверджують високу точність моделювання. Дослідження має практичну цінність для IT-компаній, які розробляють власні штучні інтелектуальні системи, моделі або навчають мережі на специфічних промислових датасетах.*

Ключові слова: *гібридна нейронна мережа, прогнозування сигналів сенсорів, принцип синхронізації, ядро хі-квадрат, цифрові двійники, штучний інтелект.*

Abstract. *This study outlines the creation of a hybrid neural network for forecasting sensor signals in industrial machinery. The distinctive feature of the proposed network is its accounting for nonlinear processes using a synchronization principle implemented via a chi-square kernel. The obtained results confirm high modeling accuracy. This research provides practical value for IT companies developing proprietary artificial intelligence models, systems, or training neural networks on custom industrial datasets.*

Keywords: *hybrid neural network, sensor signal forecasting, synchronization principle, chi-square kernel, digital twins, artificial intelligence.*

Виробники технологій в Україні орієнтовані на швидку виведення продуктів на ринок, інтегруючи готові рішення у власні розробки. Паралельно трансформуються цифрові продукти, зокрема інструменти штучного інтелекту (ШІ) [1]. Для створення власних рішень ІТ-компанії часто адаптують відомі концепції та прикладні напрацювання в галузі інтелектуальних систем [2], більшість з яких мають гібридну архітектуру. Це пояснюється простотою їх створення, оскільки не потребується поглиблених знань математики. Не виключенням є і запропонована гібридна модель нейронної мережі, яка працює за синхронним принципом:

$$K_{l,j}(x_{in}) = \frac{1}{D}\sum_{d=1}^{D}\exp\left(\underbrace{\left(\frac{k_{l,j}}{2}-1\right)\ln(\Delta_d^2)-\frac{\Delta_d^2}{2}}_{\log_\text{numerator}}-\underbrace{\left(\frac{k_{l,j}}{2}\ln(2)+\ln\Gamma\left(\frac{k_{l,j}}{2}\right)\right)}_{\log_\text{denomirator}}\right),$$

де $\Delta_d^2 = \left(x_{in,d} - c_{l,j,d}\right)^2 + 10^{-8}$ – квадрат відстані до центру; d – індекс розмірності; $k_{l,j} = \left|df_{l,j}\right| + 0{,}5$ – скориговані ступені свободи; Γ – Гамма-функція.

Далі здійснюється оновлення входу:

$$x_{in}^{(l+1)} = W_{proj} \cdot \left[x \square \operatorname{avg}\left(K_l(x_{in}^{(l)})\right)\right] + b_{proj},$$

де x_{in} – це завжди «чистий» вхід моделі; $\text{avg}(K_l)$ середнє значення ядер поточного блоку; W_{proj} – проєкційна матриця; b_{proj} – параметр зсуву.

На початкових етапах дослідження було проведено аналіз різноманітних архітектурних рішень. Зокрема, механізм синхронізації початково реалізовувався шляхом обчислення середнього арифметичного значень двох незалежних моделей. На подальших етапах апробовано варіації функцій активації та експериментально визначено оптимальну кількість ядер хі-квадрат. Детальну карту проведених досліджень та їх етапи висвітлено у праці [3]. Порівняльний аналіз ефективності запропонованої моделі здійснювався на основі тестового датасету [4]. Результати експериментів підтвердили вищу точність розробленого підходу порівняно з класичними лінійними моделями (включаючи лінійну регресію та її модифікації). Перспективи подальших досліджень полягають у модернізації мережі шляхом інтеграції принципів градієнтного бустингу, які потенційно дозволять підвищити точність прогнозування. Попри це, поточна версія моделі демонструє високу адаптивність і рекомендується до застосування в задачах прогнозування часових рядів, зокрема для моніторингу та діагностики станів сенсорів робототехнічних систем.

Література

1. Янко, А. С., & Мизюра, М. С. (2026). Модель персоналізації навчального процесу через інтеграцію LLM у вебзастосунок із динамічною генерацією пояснень. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, *16*(1), 255–263. https://doi.org/10.32782/2220-8674-2026-16-1-29
2. Янко, А. С., & Мизюра, М. С. (2026). Метод адаптивного керування траєкторією навчання в інтелектуальних системах на основі семантичного аналізу помилок. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, *1*(2), 457–465. https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2026.2.1.45
3. Laktionov, A. (2024). *KAN 1*. Kaggle. https://www.kaggle.com/code/alexanderlaktionov/kan-1