

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕРНА У СИЛОСІ ЗЕРНОВОГО ЕЛЕВАТОРА ЗА ДАНИМИ ІОТ-СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено методи прогнозування температури зерна в силосі елеватора за даними IoT-систем з використанням нейромереж. Розроблені моделі LSTM, GRU та CNN підвищують точність і надійність управління зберіганням зерна.

Ключові слова: системний аналіз, зберігання зерна, моніторинг температури, IoT-технології, прогнозне моделювання, штучний інтелект, розумне сільське господарство, прийняття рішень на основі даних.

Abstract

The study explores methods for forecasting grain temperature in elevator silos using IoT data and neural networks. Developed LSTM, GRU, and CNN models improve the accuracy and reliability of grain storage management.

Keywords: system analysis, grain storage, temperature monitoring, IoT technologies, predictive modeling, artificial intelligence, smart agriculture, data-driven decision making.

Вступ

Забезпечення якості та безпеки зберігання зерна в умовах змінного температурного середовища є одним із ключових завдань сучасної агропромисловості. Надмірне підвищення температури всередині силосу може спричинити псування зерна, аварійне вимкнення обладнання або навіть пожежу [1–5]. Застосування IoT-систем відкриває нові можливості для моніторингу параметрів зерна, однак їхня практична реалізація часто обмежується мінімальним набором доступних даних — передусім температурних.

Метою дослідження є підвищення точності прогнозування температури зерна у силосі зернового елеватора за даними IoT-системи з використанням технологій штучного інтелекту.

Актуальність дослідження

Системи зберігання зерна на елеваторах стикаються з рядом викликів, зокрема із загрозою самозігрівання зерна та нерівномірного розподілу температури в об'ємі силосу [1–5]. Традиційні методи контролю (наприклад, візуальний огляд або лінійна інтерполяція) не забезпечують достатньої точності в умовах зашумлених і неповних даних.

Обмеження класичних підходів посилюються:

- варіативністю розміщення датчиків;
- зміною обсягу зерна в силосі;
- відсутністю комплексної моделі взаємодії між температурними зонами.

Таким чином, застосування інтелектуальних підходів для аналізу та прогнозування стає не лише доцільним, а й необхідним кроком до побудови енергоефективних та надійних систем зберігання.

Результати дослідження

У межах дослідження було здійснено системний аналіз системи дистанційного контролю температури (СДКТ) зерна в силосі. Ідентифіковано ключові типи невизначеності — ситуаційну, інформаційну, цільову, структурну та параметричну — й запропоновано методи їх подолання на

основі інтелектуальних технологій [6–9].

На основі даних з 21 IoT-датчика, розміщених у силосі, було сформовано три окремі вибірки:

- MinDeer — для прогнозування повільного (оптимістичного) підвищення температури;
- MaxDeer — для сценаріїв стрімкого (песимістичного) нагріву;
- Middle — для умовно нормального температурного профілю.

У дослідженні було розроблено й випробувано три типи інтелектуальних моделей:

- LSTM (довготривала короткочасна пам'ять) — рекурентна нейромережа, що дозволяє враховувати довготривалі залежності в часових рядах, ідеально підходить для повільних змін температури;
- GRU (уніфікований рекурентний блок) — спрощена рекурентна нейромережа, ефективна для короткострокових прогнозів і роботи з обмеженими вибірками;
- CNN (згортова нейромережа) — модель, що дозволяє ефективно аналізувати просторові закономірності, зокрема температурні аномалії між датчиками.

Усі моделі були протестовані на реальних даних. Їхня точність порівнювалась із традиційним підходом лінійної інтерполяції. Результати показали значну перевагу нейромережових моделей, особливо в умовах складної, нелінійної динаміки температурного зростання.

На рисунку 1 показано приклад сценарного прогнозування з побудовою зони невизначеності між оптимістичним і песимістичним сценаріями:

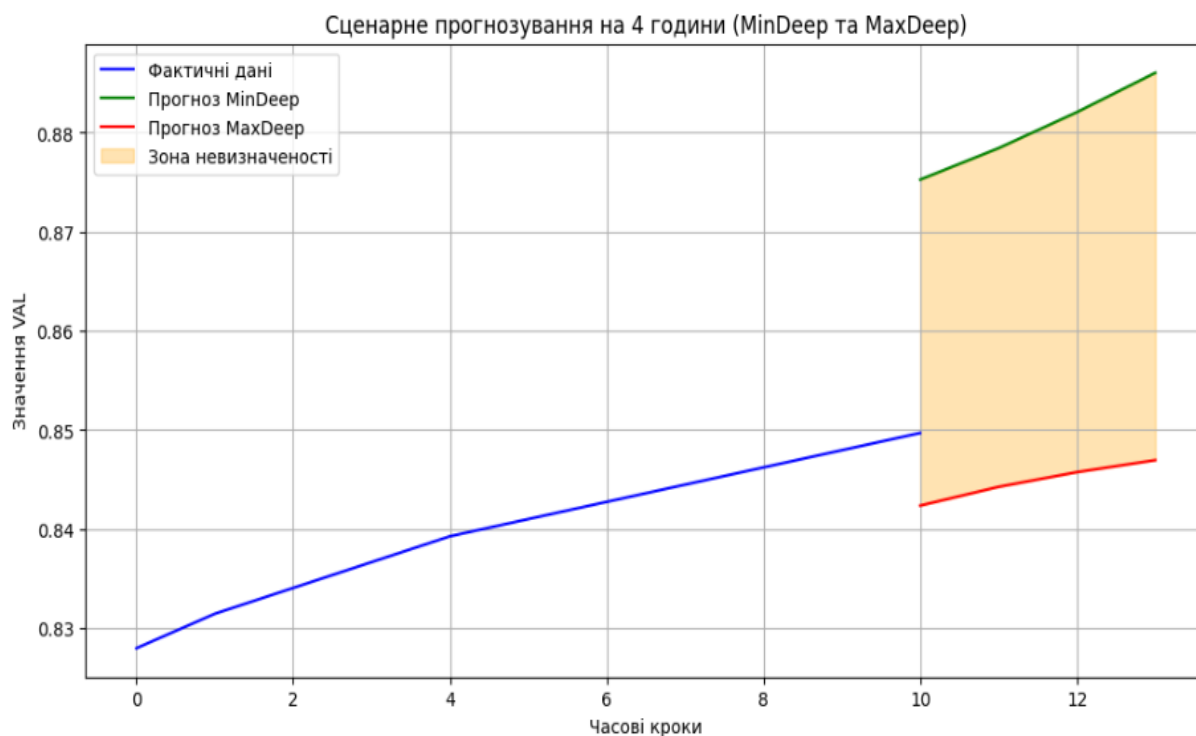


Рис. 1. Результат сценарного прогнозування температури з оптимістичним і песимістичним прогнозом та зоною невизначеності між ними

Сценарний підхід дозволяє оператору системи бачити не лише поточну ситуацію, а й потенційний розвиток подій у часі — це підвищує точність рішень щодо охолодження чи переміщення зерна в інші силоси.

Висновки

Проведене дослідження продемонструвало, що застосування методів системного аналізу у поєднанні з нейромережовими моделями — довготривалою короткочасною пам'яттю (LSTM), уніфікованими рекурентними блоками (GRU) та згортковими нейромережами (CNN) — забезпечує суттєве підвищення точності прогнозування температури зерна в умовах обмежених IoT-даних.

Розроблені моделі продемонстрували високу адекватність на реальних даних та є універсальними — вони можуть бути застосовані до будь-якого силосу, що перебуває під контролем СДКТ, з можливістю адаптації за потреби. У порівнянні з традиційними підходами прогнозування, зокрема лі-

нійною інтерполяцією, нейромережеві моделі виявились значно точнішими та надійнішими, особливо за умов нелінійного розвитку температурних процесів.

Програмна реалізація моделей у вигляді модулів Python забезпечує зручну інтеграцію з діючими IoT-системами. Отримані результати мають високу прикладну цінність для підвищення надійності, безпеки та енергоефективності експлуатації зернових елеваторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Оксана Попович. Як запобігти самозігріванню та злежуванню зерна / Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. Режим доступу [Отримано 01.02.2025] – Режим доступу: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/hromadianam/upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/novyny-upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/3485-yak-zapobihyty-samozihrivanniu-ta-zlezhuvanniu-zerna>
2. Озвучено заходи щодо запобігання розвитку самозігрівання і злежування зерна у сховищах / Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. – 2022 – Режим доступу – <https://superagronom.com/news/14877-ozvucheno-zahodi-schodo-zapobigannya-rozvitku-samozigrivannya-i-zlezhuvannya-zerna-u-shovischah>
3. Самозігрівання зерна і шляхи його упередження на елеваторі / LUBNYMASH. – 2024. – Режим доступу – <https://lubnymash.com/novosti/samozigrivannya-zerna-i-shlyahy-jogo-uperedzhennya-na-elevatori>
4. Зберігання і переробка продукції рослинництва / Г. І. Подпрятков, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. — К.: Мета, 2002. — 495 с. - Режим доступу: <https://buklib.net/books/21971/>
5. Владислав Галяпа. Як сушити, щоб не горіти, або Тонкощі безпечної сушки зерна. – 2024. – Режим доступу: <https://elevatorist.com/blog/read/912-yak-sushiti-schob-ne-goriti-abo-tonkoschi-bezpechnoyi-sushki-zerna>
6. Системний аналіз стану природних середовищ з урахуванням аномалій / Шмундяк Д. О., Мокін В. Б. // Наукові праці ВНТУ, вип. 4, Груд. 2024. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2024-4-63-73>
7. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. К. : Видавнича група BVH, 2007. 546 с.
8. Методологія та організація наукових досліджень: підручник – вид. 3-є, змін. та доп. [Електронний ресурс] / Б.І.Мокін, О.Б.Мокін, В.Б. Мокін. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – (PDF, 230 с.)
9. Наука про дані: машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережевого) використання [Електронний ресурс] / В. Б. Мокін, М. В. Дратований – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 258 с.

Бондарчук Олексій Валерійович — аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації Вінницького національного технічного університету, e-mail: alexey.bondarchuk@aleax.me;

Мазурук Олег Володимирович — аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації Вінницького національного технічного університету, e-mail: omazuruk3@gmail.com;

Мокін Віталій Борисович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації Вінницького національного технічного університету, e-mail: vbmokin@vntu.edu.ua.

Bondarchuk Oleksii V. — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation of Vinnytsia National Technical University, e-mail: alexey.bondarchuk@aleax.me;

Mazuruk Oleh V. — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: omazuruk3@gmail.com;

Mokin Vitalii B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of System Analysis and Information Technology, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation of Vinnytsia National Technical University, e-mail: vbmokin@vntu.edu.ua.