

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕРМОМЕТРІЇ ЕЛЕВАТОРІВ ТА СУЧАСНИХ РІШЕНЬ НА БАЗІ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У роботі розглянуто порівняльний аналіз традиційних систем термометрії елеваторів, що базуються на підвісних кабелях з датчиками температури та локальних SCADA-рішеннях, і сучасних комплексів моніторингу на основі промислового інтернету речей (IIoT). Показано відмінності в архітектурі, номенклатурі контрольованих параметрів, можливостях аналітики та дистанційного керування, а також визначено переваги й обмеження IIoT-підходу для сучасних зерноскладів.

**Ключові слова:** термометрія елеваторів; силос; зернові культури; промисловий інтернет речей; IIoT; моніторинг температури.

## Abstract

This paper presents a comparative analysis of traditional grain elevator thermometry systems based on hanging temperature cables and local SCADA platforms, and modern monitoring solutions built on the Industrial Internet of Things (IIoT). The study highlights differences in system architecture, the range of controlled parameters, analytical capabilities and remote control, and identifies the main advantages and limitations of IIoT for grain storage facilities.

**Keywords:** grain elevator thermometry; silo; cereals; industrial internet of things; IIoT; temperature monitoring.

## Вступ

Надійне зберігання зернових культур є критичною складовою продовольчої безпеки, оскільки навіть після правильного збирання зерно може втрачати якість через самозігрівання, розвиток мікрофлори та шкідників. Сучасні дослідження показують, що контроль температури та мікроклімату у силосах є однією з ключових умов мінімізації післязбиральних втрат.

Традиційні системи термометрії елеваторів базуються на підвісних кабелях з термопарами або термісторами, встановленими з фіксованим кроком по висоті силосу, які під'єднуються до локальних шаф збору даних та станцій оператора. Такі системи забезпечують дискретний контроль температури зернової маси та широко застосовуються у промислових сховищах.

Розвиток концепції «Індустрія 4.0» та промислового інтернету речей (IIoT) зумовив появу рішень, де поряд з температурою вимірюються вологість, вміст CO<sub>2</sub>, рівень заповнення силосів, а дані збираються та аналізуються у хмарних або гібридних платформах з доступом через веб-інтерфейси та мобільні застосунки. Перехід до connected-систем для моніторингу температури в зерноскладах означає зміну парадигми від періодичних вимірювань до безперервного дистанційного контролю та оптимізації режимів аерації.

## Основна частина

### 1. Характеристика традиційних систем термометрії елеваторів

Аналіз публікацій із технології зберігання зерна показує, що базовою архітектурою традиційних систем термометрії є сукупність механічно навантажуваних підвісних кабелів з датчиками температури, які встановлюються у шаховому порядку по перерізу силосу. Сигнали з кабелів надходять до комутаційних коробок, далі – до мультиплексорів і локальних контролерів або SCADA-систем, розміщених на території елеватора [1].

У більшості випадків такі системи вимірюють лише температуру зернової маси; контроль відносної вологості та вмісту CO<sub>2</sub> здійснюється окремими датчиками в повітроводах або в надсилосному

просторі й не інтегрується повною мірою в єдину інформаційну модель. Це обмежує можливості комплексної діагностики процесів самозігрівання та оцінки біологічної активності.

Додатковою проблемою є необхідність значних обсягів кабельної інфраструктури, складність модернізації при збільшенні кількості силосів та обмежена масштабованість. Навіть за оптимального розташування кабелів усереднені значення температури за даними датчиків можуть істотно відрізнятися від реальної температури зернової маси, що ускладнює прийняття рішень щодо режимів аерації. Це підтверджує, що класичні кабельні системи мають як фізичні, так і інформаційні обмеження.

Разом з тим, такі системи характеризуються відносною простотою, високою механічною надійністю, відпрацьованою методикою монтажу й експлуатації, а також відповідністю чинним нормативам промислової безпеки для вибухонебезпечних пилових середовищ.

## 2. Системи на базі промислового інтернету речей (IIoT)

Сучасні IIoT-рішення для моніторингу елеваторів розвивають ідеологію класичної термометрії, доповнюючи її багатоканальними сенсорними вузлами, бездротовими або промисловими дротовими комунікаціями та хмарними сервісами обробки даних. Структурну схему типової автоматизованої системи моніторингу температури та вологості елеватора з використанням контролерів підвісок, промислового каналу зв'язку, АРМ оператора (SCADA-клієнта) та АРМ віддаленого доступу подано на рис. 1.

Такі системи забезпечують збір інформації від контролерів термопарних, резистивних і цифрових підвісок, а також від датчиків температури і вологості, з передаванням даних до центрального сервера або хмарної платформи. Оператор отримує інтерактивні мнемосхеми, дашборди, карти температурних полів та журнали тривог. Віддалені клієнти через веб-інтерфейс можуть здійснювати моніторинг стану силосів та аналізувати історичні дані [2].

IIoT-рішення, такі як інтегровані платформи моніторингу елеваторів, поєднують контроль температури, відносної вологості, концентрації CO<sub>2</sub> та рівня заповнення силосів із можливістю автоматизованого керування вентиляторами й іншими виконавчими механізмами. Часто підтримуються промислові протоколи Modbus, OPC-UA, MQTT, що полегшує інтеграцію з існуючими SCADA- та ERP-системами.

Окремий напрям становлять комплексні IIoT-платформи для «розумних» елеваторів, де моніторинг умов зберігання поєднується з контролем логістики, енергоспоживання та технічного стану обладнання. Для таких систем характерні функції аналітики, прогнозного обслуговування й централізованого дистанційного керування.

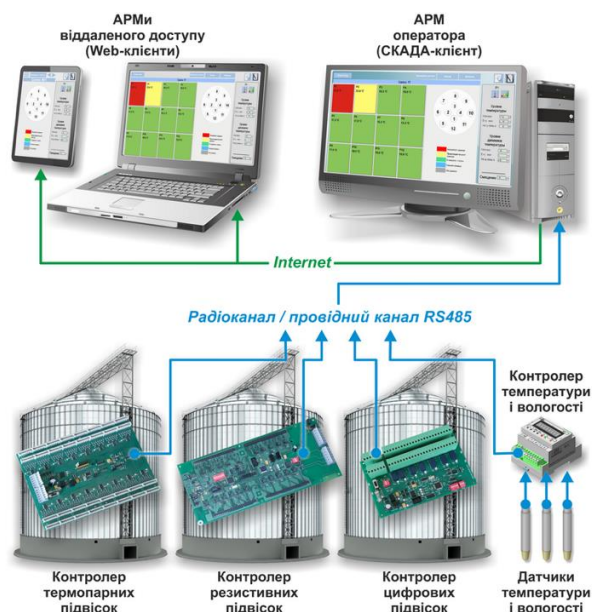


Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи моніторингу температури та вологості зерна в силосах елеватора з використанням контролерів підвісок

### 3. Порівняльний аналіз та інтерпретація результатів

Порівняння традиційних систем термометрії та ПоТ-рішень доцільно виконувати за такими критеріями: архітектура збору даних, номенклатура вимірюваних параметрів, аналітичні можливості, інтеграція з іншими підсистемами, вимоги до експлуатації та кібербезпеки.

З погляду архітектури, класичні системи реалізують переважно централізований підхід: жорстко закріплені кабелі, локальні шафи збору даних і стаціонарні робочі місця оператора. ПоТ-рішення впроваджують розподілену модель з «інтелектуальними» сенсорними вузлами, периферійними обчисленнями (edge-контролери) та можливістю гнучко масштабувати систему за рахунок підключення нових вузлів без суттєвої реконструкції кабельного господарства [3].

Щодо контрольованих параметрів, традиційні системи зосереджені переважно на температурі; розширення до вимірювання вологості та CO<sub>2</sub> потребує окремих датчиків та додаткової інтеграції. ПоТ-рішення з самого початку проектується як мультисенсорні, що дозволяє одночасно відслідковувати температуру, відносну вологість, CO<sub>2</sub> та інші параметри, а також будувати коректніші моделі ризику самозігрівання й псування зерна.

В аналітичному аспекті традиційні системи обмежуються візуалізацією трендів та простими пороговими сигналами тривоги. ПоТ-платформи інтегрують інструменти аналітики, машинного навчання та прогнозного обслуговування, що дозволяє автоматично виявляти аномалії, оптимізувати режими роботи вентиляторів та знижувати енергоспоживання.

З огляду на експлуатаційні фактори, класичні кабельні системи мають порівняно низькі вимоги до мережевої інфраструктури, але потребують ретельного механічного обслуговування підвісів та кабелів. ПоТ-рішення, навпаки, зменшують залежність від масивної кабельної мережі, проте висувають підвищені вимоги до якості зв'язку, кібербезпеки, резервування та захисту від несанкціонованого доступу.

Для умов українських елеваторів перспективним виглядає поетапний підхід, за якого існуючі кабельні системи термометрії інтегруються з периферійними контролерами та ПоТ-шлюзами, поступово доповнюються додатковими сенсорними каналами та аналітичними сервісами без необхідності повної заміни обладнання.

### Висновки

Традиційні системи термометрії елеваторів на базі підвісних кабелів із термопарами або термісторами є технічно зрілими й надійними рішеннями, які забезпечують базовий рівень контролю температури зернової маси. Водночас їхні функціональні можливості обмежені невеликою кількістю контрольованих параметрів, складністю масштабування та відсутністю розвиненої аналітики.

Сучасні ПоТ-рішення для моніторингу елеваторів забезпечують якісно вищий рівень інформованості оператора завдяки мультисенсорним вузлам, безперервному збору даних, можливостям дистанційного доступу та інтегрованим засобам аналізу й прогнозування. Використання таких систем дозволяє знизити ризики псування зерна, оптимізувати режими аерації, підвищити енергоефективність і прозорість технологічних процесів.

Впровадження ПоТ-платформ пов'язане з додатковими викликами: необхідністю інвестицій у мережеву інфраструктуру, забезпеченням кібербезпеки, інтеграцією з існуючими SCADA та обліковими системами, а також підготовкою персоналу до роботи з новими інструментами. Це обумовлює доцільність поетапної модернізації – від підключення наявних кабельних систем до ПоТ-шлюзів і хмарних сервісів до повноцінного розгортання розподіленої сенсорної мережі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Grain operations: Temperature sensors and cables [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.world-grain.com/articles/16287-grain-operations-temperature-sensors-and-cables> (дата звернення: 22.11.2025).
2. Effect of Temperature Sensor Numbers and Placement on Aeration Cooling of a Stored Grain Mass Using a 3D Finite Element Model / Plumier B., Maier D.E. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/3/231> (дата звернення: 22.11.2025).
3. How IoT Is Beneficial to the Modern Farming Industry [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rtinsights.com/how-iot-is-beneficial-to-the-modern-farming-industry> (дата звернення: 22.11.2025).

**Фоучек Володимир Олексійович** – студент групи ІАКІТР-24м, кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: [vinvova555333@gmail.com](mailto:vinvova555333@gmail.com).

**Богач Ілона Віталіївна** – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: [ilona.bogach@gmail.com](mailto:ilona.bogach@gmail.com).

**Fouchek Volodymyr Oleksiiovych** – student of ІАCІTR-24M group, Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [vinvova555333@gmail.com](mailto:vinvova555333@gmail.com).

**Bogach Ilona Vitaliivna** – Associate Professor of Automation and Intelligent Information Technologies Department, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [ilona.bogach@gmail.com](mailto:ilona.bogach@gmail.com).