

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АНАЛІТИКИ ДАНИХ У СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЛИТЕЙНИХ УСТАНОВОК

Шаталюк Р.Р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ruslan.shataliuk@nure.ua

Анотація: У статті розглядаються сучасні підходи до використання інтелектуальної аналітики даних у системах моніторингу вентиляційних процесів литейних установок. Проаналізовано переваги застосування технологій Інтернету речей для збору та обробки параметрів середовища, а також можливості прогнозування відхилень та оптимізації роботи вентиляційного обладнання.

Ключові слова: інтелектуальна аналітика, моніторинг вентиляційних процесів, Інтернет речей, прогнозування, обробка даних, промислові системи, автоматизація.

APPLICATION OF INTELLIGENT DATA ANALYTICS IN MONITORING SYSTEMS OF VENTILATION PROCESSES OF FOUNDRY INSTALLATIONS

Shataliuk R.R.

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky ave., 14

E-mail: ruslan.shataliuk@nure.ua

Annotation: The article examines modern approaches to using intelligent data analytics in monitoring ventilation processes of foundry installations. The advantages of applying Internet of Things technologies for collecting and processing environmental parameters are analyzed, as well as the possibilities for predicting deviations and optimizing the operation of ventilation equipment.

Key words: intelligent analytics, monitoring of ventilation processes, Internet of Things, forecasting, data processing, industrial systems, automation.

Сучасне литейне виробництво є складною технічною системою, у якій якість готової продукції та безпека праці значною мірою залежать від ефективності роботи вентиляційних систем. У процесі лиття металів виділяються шкідливі гази, пил, тепло та волога, що створює несприятливі умови для персоналу й технологічного обладнання. Тому моніторинг параметрів повітряного середовища є важливою складовою системи екологічного та технологічного контролю литейних установок.

Традиційні методи спостереження за станом вентиляційних шахт базуються переважно на періодичних вимірюваннях і не забезпечують оперативного реагування на відхилення параметрів від норми. Такий підхід не дозволяє вчасно виявляти порушення у роботі вентиляційних установок, що може призводити до перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин, зниження продуктивності праці та зростання ризику аварійних ситуацій [1].

Впровадження технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT) створює можливість організувати безперервний збір, передавання та аналіз даних від великої кількості сенсорів у режимі реального часу. Однак сам лише збір даних не забезпечує глибокого розуміння процесів, що відбуваються у вентиляційних системах. Тому актуальним стає застосування інтелектуальної аналітики даних, а саме методів статистичного аналізу, машинного навчання

та штучного інтелекту, які дозволяють виявляти закономірності, прогнозувати зміни параметрів і оптимізувати роботу систем вентиляції.

Застосування інтелектуальної аналітики у поєднанні з IoT-рішеннями відкриває нові можливості для створення «розумних» вентиляційних систем, що самостійно аналізують стан повітряного середовища, прогнозують потенційні відхилення та ініціюють відповідні керувальні дії. Це забезпечує підвищення енергоефективності, зменшення ризиків для здоров'я персоналу та покращення загальної екологічної ситуації у виробничих приміщеннях.

Сучасні промислові підприємства дедалі частіше стикаються з необхідністю постійного контролю параметрів мікроклімату в робочих зонах, особливо у литейних цехах, де вентиляційні процеси мають вирішальне значення для підтримання стабільності технологічного режиму. Традиційні системи моніторингу зазвичай побудовані на принципі централізованого збору даних від обмеженої кількості датчиків, а обробка інформації здійснюється вручну або з використанням простих контролерів. Такий підхід забезпечує лише загальну оцінку стану вентиляційної системи, не дозволяючи виявляти локальні відхилення чи аналізувати динаміку змін параметрів у реальному часі. Крім того, відсутність можливостей довготривалого зберігання даних значно ускладнює подальший аналіз та прогнозування.

З розвитком технологій Інтернету речей почали з'являтися децентралізовані системи контролю, у яких окремі сенсорні вузли можуть не лише збирати, а й попередньо обробляти інформацію безпосередньо на місці встановлення. Такі системи базуються на використанні мікроконтролерів, підключених до мережі за допомогою бездротових протоколів, зокрема Wi-Fi, ZigBee або LoRa. Зібрані дані надсилаються до хмарних платформ чи локальних серверів, де здійснюється їхня аналітика та візуалізація. Це дозволяє створювати інтерактивні панелі моніторингу, що відображають стан системи вентиляції в реальному часі та попереджають про критичні зміни параметрів [2].

Серед найпоширеніших інструментів, що використовуються для організації таких систем, можна відзначити платформи Node-RED, Grafana, ThingsBoard та Blynk. Вони забезпечують можливість побудови графічних інтерфейсів без глибоких знань програмування, що особливо важливо для промислових підприємств, де основна увага зосереджується на технологічному процесі, а не на складних IT-рішеннях. Node-RED (рис. 1), зокрема, дозволяє швидко реалізувати логіку збору, передачі й обробки даних у вигляді блок-схем, що спрощує розгортання системи моніторингу навіть у тестовому або навчальному середовищі.

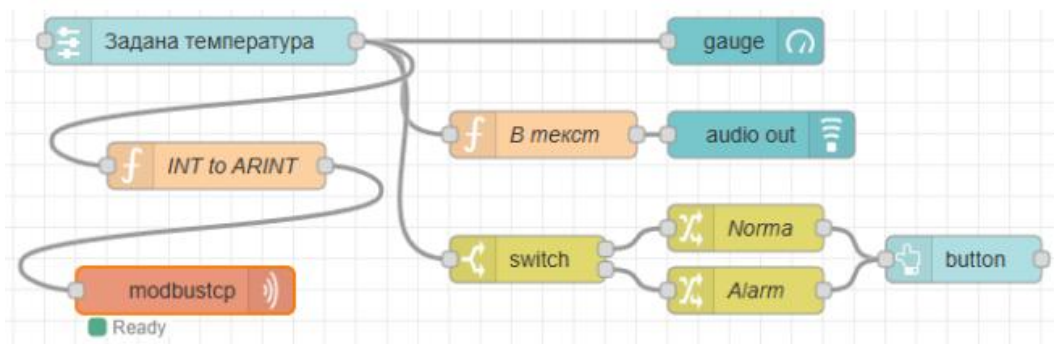


Рисунок 1 – Приклад програми для аналізу даних у середовищі Node-RED

Попри це, більшість наявних рішень зосереджені лише на зборі й візуалізації даних без глибокої аналітики. Аналіз значень проводиться у вигляді простих порівнянь із допустимими межами, без урахування трендів, кореляцій чи впливу суміжних факторів. У результаті такі системи не дозволяють передбачати розвиток небезпечних ситуацій, а лише фіксують факт

відхилення параметра після його настання. Саме тому в останні роки активно розвивається напрям впровадження інтелектуальних методів обробки даних, які здатні навчатися на історичних записах, виявляти закономірності та робити прогнози щодо подальшої поведінки вентиляційної системи.

Загалом сучасні тенденції розвитку моніторингових систем у промисловості орієнтовані на комплексну інтеграцію апаратних сенсорних мереж, хмарних технологій та інструментів аналітики даних. Це створює передумови для переходу від реактивного підходу, коли система реагує на вже наявні відхилення, до проактивного керування вентиляційними процесами, що базується на передбаченні можливих змін параметрів і запобіганні їх виходу за допустимі межі.

Інтелектуальна аналітика даних у промислових системах моніторингу відіграє ключову роль у переході від звичайного збору інформації до її глибокого осмислення. Вона дозволяє не лише відображати поточні показники роботи вентиляційної системи, а й аналізувати тенденції, визначати приховані залежності між параметрами та прогнозувати майбутні зміни. Основою таких підходів є методи машинного навчання, статистичного аналізу й обробки часових рядів, які здатні виявляти аномалії у великих потоках даних. Наприклад, система може заздалегідь розпізнати поступове зниження ефективності повітрообміну або збільшення концентрації пилу за допомогою датчиків (рис. 2) ще до досягнення критичних рівнів [3].

```
1 let raw = msg.payload;
2
3 // нормалізація
4 let percent = (raw / 1023) * 100;
5
6 // визначення рівня небезпеки
7 let alarm = false;
8 if (percent > 70) alarm = true;
9
10 msg.payload = {
11   raw: raw,
12   gas_percent: Number(percent.toFixed(1)),
13   alarm: alarm
14 };
15
16 return msg;
17
```

Рисунок 2 – Програмна реалізація перетворювання сигналу з датчика для візуалізації

Використання інтелектуальної аналітики дає можливість формувати рекомендації для оптимізації роботи вентиляційних установок, а також зменшувати енергоспоживання завдяки автоматичному регулюванню режимів роботи. Такий підхід перетворює звичайну систему моніторингу на адаптивну, здатну самостійно реагувати на зміни виробничого середовища. Це є важливим кроком до створення «розумних» литейних цехів, де процеси вентиляції керуються не лише за показниками датчиків, а й на основі прогнозних моделей.

Методика побудови системи інтелектуальної аналітики для моніторингу вентиляційних процесів базується на поєднанні сенсорів, мережевих засобів і програмної аналітики. Спочатку формується сенсорна мережа, що містить датчики температури, вологості, тиску, швидкості повітря і запиленості (рис. 3). Вони підключаються до мікроконтролерів типу ESP32 або Arduino, які здійснюють збір і передачу даних за допомогою бездротових протоколів,

найчастіше Wi-Fi. Важливо правильно визначити інтервал опитування сенсорів, щоб отримати достатню точність без перевантаження мережі.

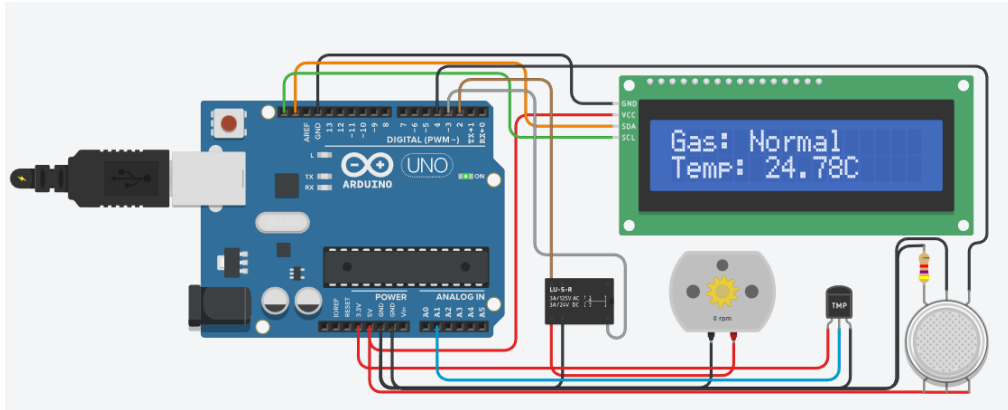


Рисунок 3 – Приклад схеми для збору даних

Для передачі даних застосовується MQTT-протокол, який забезпечує легкий та надійний обмін між пристроями. Кожен датчик виступає видавцем, що надсилає дані на сервер, де відбувається їхня обробка. Така структура легко масштабується, дозволяючи додавати нові пристрої без складних змін у системі.

Обробку та аналіз даних доцільно виконувати у середовищі Node-RED. У ньому створюються потоки даних, які послідовно здійснюють прийом, фільтрацію, усереднення та виявлення відхилень. Node-RED також дає змогу підключати модулі машинного навчання або Python-скрипти для складнішої аналітики. Це дозволяє реалізувати алгоритми прогнозування або виявлення аномалій у поведінці системи [4].

Результати обробки візуалізуються у вигляді графіків та показників на панелях керування, створених у Node-RED або Grafana. Оператор може бачити поточні значення температури, вологості та швидкості повітря, а також отримувати сповіщення про перевищення норм. У разі потреби система може автоматично надсилати повідомлення або змінювати режим роботи вентиляційного обладнання.

У висновку слід зазначити, що використання інтелектуальної аналітики даних у системах моніторингу вентиляційних процесів литейних установок є перспективним напрямом розвитку промислової автоматизації. Поєднання технологій Інтернету речей, аналітичних платформ та сучасних методів обробки даних дає можливість підвищити ефективність контролю, зменшити енергоспоживання та забезпечити стабільність роботи вентиляційного обладнання [5].

Інтелектуальні алгоритми дозволяють своєчасно виявляти відхилення у роботі системи, прогнозувати зміни параметрів та автоматизувати прийняття рішень. Використання програмних засобів на кшталт Node-RED і MQTT-протоколу забезпечує зручну інтеграцію сенсорів, надійний обмін даними та наочну візуалізацію показників у режимі реального часу.

Отже, впровадження таких підходів у литейне виробництво сприяє створенню адаптивних систем керування, покращенню умов праці та підвищенню загальної ефективності технологічних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Невлюдов, І. Ш., Новоселов, С. П., Андрусевич, В. А., Резніченко, О. Г. Технології Інтернету речей в управлінні пристроями на мікроконтролерах [Текст] / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, В. А. Андрусевич, О. Г. Резніченко. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – 214 с.

2. Плахтеєв, А. П., Бабешко, Є. В., Ткаченко, В. А., Здоровець, Ю. В. Архітектури та розроблення систем Інтернету / Вебу речей на основі вбудованих платформ : лаб. роботи [Текст] / А. П. Плахтеєв [та ін.] ; ред. В. С. Харченко. – Київ : ТОВ «Юстон», 2019. – 147 с.
3. Marques, G., Saini, J., Dutta, M. *Internet of Things for Indoor Air Quality Monitoring* [Текст] / G. Marques, J. Saini, M. Dutta. – Cham : Springer, 2022. – 82 с.
4. Вербицький, Є. В., Кирюша, Б. А., Гюргізова-Гай, В. Ш. Інтернет речей та вбудовані системи. Лабораторний практикум [Текст] / Є. В. Вербицький, Б. А. Кирюша, В. Ш. Гюргізова-Гай. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 123 с.
5. Pandey, A. C., Verma, A., Rathor, V. S., Singh, M., Singh, A. K. *Intelligent Analytics for Industry 4.0 Applications* [Текст] / A. C. Pandey, A. Verma, V. S. Rathor et al. – Abingdon : Routledge, 2023. – 312 с.
6. H. Attar, A. T. Abu-Jassar, V. Yevsieiev, V. Lyashenko, I. Nevliudov and A. K. Luhach, "Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar", *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2022, pp. 3046116, 2022.
7. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
8. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156, 2022.
9. Mustafa, S.K., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Lyashenko, V.. (2022). HMI Development Automation with GUI Elements for Object-Oriented Programming Languages Implementation. *SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(1), 139-145.
10. Lyashenko, V., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2023). Automated Monitoring and Visualization System in Production. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 5(6), 9-18.
11. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43
12. Al-Sharo, Y., Abu-Jassar, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2023). A Robo-hand prototype design gripping device within the framework of sustainable development. *Indian Journal of Engineering*, 20, e37ije1673.
13. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Filippenko, I. (2020). Development of an architecturallogical model to automate the management of the process of creating complex cyberphysical industrial systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 4(3-106), 44-52.
14. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and investigation of vision system for a small-sized mobile humanoid robot in a smart environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43. <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>
15. Igor Nevliudov, Vladyslav Yevsieiev, Svitlana Maksymova, Nataliia Demska, Nikolaj Starodubcev, Oleksandr Klymenko, "Monitoring System Development for Equipment Upgrade for IIoT", 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), pp.1-5, 2023.

Науковий керівник: Бронніков Артем Ігорович, доц., к.т.н., доцент кафедри КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки.