УДК 004.8

О. С. Чорний
Л. А. Савицька

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комп'ютерну систему моніторингу та аналізу змін параметрів мікроклімату теплиць, у якій рішення про керувальний вплив приймається за прогнозом динаміки температури й вологості. Апаратний вузол на мікроконтролері ESP32 з давачами BME280, BH1750 і ємнісними давачами вологості ґрунту збирає дані й передає їх за протоколом MQTT. Прогнозування, формування сповіщень і керування розумними розетками виконують мікросервіси на Node.js з базою даних, а оператор працює з вебінтерфейсом. Прогноз будується на основі експоненційного згладжування та лінійної регресії з урахуванням стандартної похибки нахилу.

Ключові слова: мікроклімат теплиці, предиктивний моніторинг, ESP32, MQTT, експоненційне згладжування, лінійна регресія, мікросервісна архітектура, інтернет речей.

Abstract

A computer system has been developed to monitor and analyze changes in greenhouse microclimate parameters, in which control decisions are made based on forecasts of temperature and humidity trends. A hardware module based on an ESP32 microcontroller, equipped with BME280 and BH1750 sensors as well as capacitive soil moisture sensors, collects data and transmits it via the MQTT protocol. Forecasting, alert generation, and control of smart outlets are handled by Node.js microservices connected to a database, while the operator works with a web interface. The forecast is based on exponential smoothing and linear regression, taking into account the standard error of the slope.

Keywords: greenhouse microclimate, predictive monitoring, ESP32, MQTT, exponential smoothing, linear regression, microservice architecture, Internet of Things.

Вступ

Стабільність мікроклімату — температури й відносної вологості повітря, вологості ґрунту та освітленості — визначає врожайність і якість продукції закритого ґрунту. Більшість систем керування мікроклімату на малих і середніх тепличних господарствах України побудовано за релейним принципом або з таймерами: вентиляція, зволожувачі чи обігрів вмикаються лише тоді, коли параметр уже досяг критичного значення. Така схема не враховує інерційності теплообміну в теплиці, тому призводить до перерегулювання, зайвих витрат енергії та ризику пошкодження рослин у проміжку між виявленням відхилення та реальною дією виконавчого механізму.

Недорогі мікроконтролерні платформи з вбудованим Wi-Fi, протоколи інтернету речей і мікросервісна архітектура дозволяють перейти до випереджувального керування, за якого рішення приймається за прогнозованою динамікою параметрів. Промислові SCADA-комплекси для теплиць мають такі можливості, але їхня вартість недоступна для малих господарств, а відкриті платформи на кшталт Home Assistant працюють переважно за пороговими правилами. Тому розроблення доступної системи предиктивного моніторингу мікроклімату є актуальним завданням.

Результати дослідження

Особливість запропонованої системи полягає в тому, що апаратний вузол не зберігає стану і не приймає рішень. Пороги, прогноз і формування сповіщень реалізовано тільки на сервері, тож правила можна змінювати без перепрошивання вузлів, а один сервер обслуговує кілька теплиць. Система складається з таких компонентів:

- апаратний вузол на мікроконтролері ESP32, який кожні 30 с вимірює температуру, вологість і тиск повітря (BME280), освітленість (BH1750) та вологість ґрунту у двох точках і публікує пакет JSON за протоколом MQTT [1, 2];
- брокер повідомлень Eclipse Mosquitto;
- сервіс ingestion, що перевіряє пакети та записує вимірювання в базу даних PostgreSQL [3];
- сервіс predictive-analyzer, який щохвилини прогнозує значення параметрів і формує вердикти;
- сервіс alert-service, що групує сповіщення в епізоди, керує розумними розетками Shelly і Tuya та надає REST API й канал WebSocket;
- вебінтерфейс оператора на бібліотеці React [4].

Серверні сервіси написано на платформі Node.js [5]. Взаємодію компонентів показано на рисунку 1.

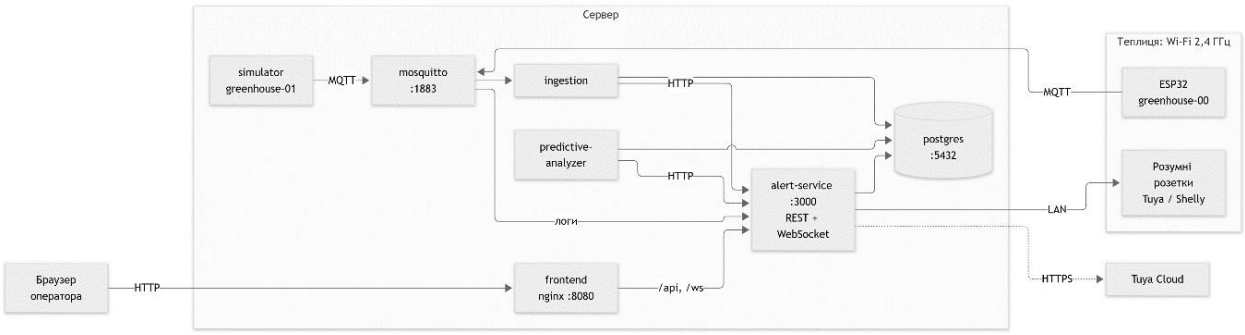


Рисунок 1 – Діаграма розгортання компонентів системи моніторингу мікроклімату

Для прогнозування використано короткострокову модель часового ряду, яку можна обчислювати щохвилини без значних ресурсів. Спочатку вимірювання згладжуються експоненційним методом з коефіцієнтом 0,4 [6]. Кожне нове згладжене значення враховує поточне вимірювання і попередню оцінку, тож випадкові стрибки показів давача не спотворюють рівень параметра.

Далі методом найменших квадратів оцінюється швидкість зміни параметра за сирими вимірюваннями у вікні тривалістю не менше 15 хв і не менше горизонту прогнозування. Щоб шум давача не сприймався як тренд, оцінену швидкість зменшують на дві її стандартні похибки: стійкий тренд при цьому майже не змінюється, а нахил, що міг виникнути випадково, обнуляється. Прогноз на заданий горизонт отримують, додаючи до останнього згладженого значення добуток скоригованої швидкості зміни на тривалість горизонту.

Для кожного параметра задаються правила з граничним значенням, допуском і напрямком небезпеки: перевищення межі, наприклад, перегрів, або зниження, наприклад, заморозки. Сповіщення формується, коли прогноз виходить за межу щонайменше на величину допуску в небезпечному напрямку, а швидкість зміни має той самий напрямок у трьох останніх циклах аналізу.

Сповіщення формується також тоді, коли параметр уже перебуває за межею. Епізод закривається, коли згладжене значення повертається в безпечну зону із запасом, тому допуск працює як гістерезис і не дає системі перемикатися біля межі.

Систему перевірено на макеті вузла з давачами у двох рослинах, а також модульними тестами. Медіанна затримка доставки вимірювання від MQTT до вебінтерфейсу становить 4 мс. Для порівняння з релейним керуванням виконано імітаційне дослідження: температура зростала з 24 °C зі швидкістю 2–6 °C/год із шумом σ = 0,15 °C, кожен сценарій повторено 100 разів. Один із прогонів показано на рисунку 2.

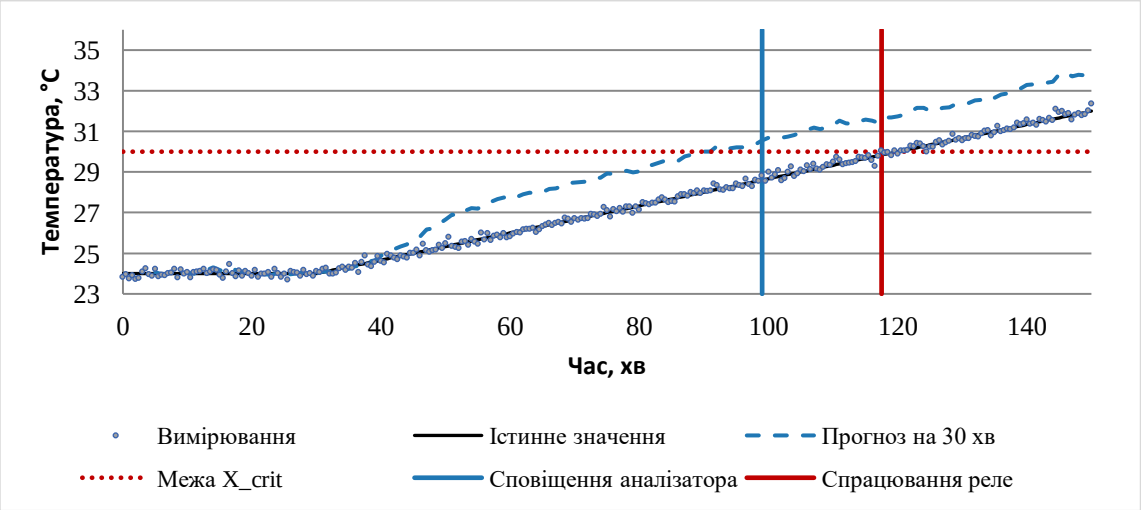


Рисунок 2 – Формування сигналу предиктивним алгоритмом і реле за зростання температури 4 °C/год

За допуску ε = 0,5 °C і горизонту 30 хв алгоритм формує сигнал на 11–23 хв раніше, ніж температура досягає межі 30 °C, а з горизонтом 60 хв — на 26–47 хв. Реле спрацьовує лише в момент порушення. Коли температура тримається трохи нижче межі із шумом 0,5 °C, реле дає близько 208 хибних спрацювань на добу, а предиктивний алгоритм — менше 0,1.

Висновки

Розроблена система переносить прийняття рішень з апаратного вузла на сервер і формує сигнал за прогнозом динаміки параметрів мікроклімату. Це дає оператору й автоматиці запас часу 11–47 хв до настання критичного стану та практично усуває хибні спрацювання. Система побудована на доступних компонентах і відкритому програмному забезпеченні, тому придатна для впровадження в малих і середніх тепличних господарствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ESP32 Series Datasheet. Espressif Systems [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
2. MQTT Version 3.1.1. OASIS Standard [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html
3. PostgreSQL Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.postgresql.org/docs/
4. React. The library for web and native user interfaces [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://react.dev/
5. Node.js. Run JavaScript Everywhere [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://nodejs.org/en
6. Hyndman R. J. Forecasting: Principles and Practice / R. J. Hyndman, G. Athanasopoulos. – 3rd ed. – Melbourne : OTexts, 2021. – Режим доступу до ресурсу: https://otexts.com/fpp3/

Чорний Олексій Сергійович — студент групи 1КІ-25м, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, alex.chorny.2004@gmail.com.

Савицька Людмила Анатоліївна – к.т.н., доцент кафедри обчислювальної техніки, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: savytska.liudmyla@vntu.edu.ua.

Chornyi Oleksiy Serhiyovych – student of group 1KI-25m, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, alex.chorny.2004@gmail.com.

Savitska Lyudmila Anatoliivna – Ph.D., Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: savytska.liudmyla@vntu.edu.uau.ua.