

К.О. ГОРЕНКО, студентка, Л.О. ЯНОВА, О.В. ПИЩИКОВА,
С.І. САХНО, кандидати технічних наук, доценти
Криворізький національний університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ ТА ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ТА БЛЕКАУТІВ

Зростання техногенного навантаження у промислових регіонах, зокрема у м. Кривий Ріг, обумовлене поєднанням тривалого антропогенного впливу гірничо-металургійного комплексу та негативних наслідків воєнного конфлікту. Є потреба впровадження стійких, енергоефективних, автономних систем моніторингу, здатних функціонувати за умов нестабільної енергосистеми. Актуальними є інтелектуальні сенсорні вузли з якісним збором та локальною обробкою даних при тривалих відключеннях електропостачання. Бездротові сенсорні вузли батарейного живлення розряджаються при високій частоті передавання даних [1]. Стандартні мережеві протоколи на основі фіксованого часу неефективно витрачають радіочастотний ресурс [2].

Перспективним є перехід до подійного режиму роботи, коли сенсор активізується лише при виявленні відхилень. Адаптивне регулювання частоти передавання від мінімальної у нормальному стані до щосекундної при аварійних показниках забезпечить баланс між точністю та тривалістю автономної роботи [2]. Архітектура інтелектуальної моніторингової системи має ґрунтуватися на принципах розподіленого аналізу даних, локального фільтрування та подійної передачі даних за ситуацією виникнення.

Інтелектуальна локальна обробка даних в умовах блекаутів здійснюється сенсорними вузлами з автономними обчислювальними модулями. Ефективний підхід - використання методів квантування нейронних мереж безпосередньо на пристроях. Зменшення розрядності обчислень скорочує енергоспоживання до 53% [3]. Технологія LoRaWAN Class A є низькоенергетичною, зі стабільним зв'язком у складних промислових умовах. Після відновлення живлення, накопичені дані передаються до центру керування. Це забезпечує зменшення навантаження на радіоканал, підвищення точності фіксації пікових забруднень та збільшення часу автономної роботи вузлів (з 50 до 67 хвилин за даними експериментів [1]).

Рекомендовані типи та моделі приладів для моніторингу. Датчики мікроклімату (Sensirion SHT31/SHT41 – високоточні сенсори температури та вологості з низьким енергоспоживанням, Bosch BME688 – мультисенсор температури, вологості, тиску та газового забруднення з можливістю локальної обробки. Датчики газів та шкідливих факторів: SPEC Sensors 3-Series (CO, NO₂, O₃, SO₂) – електрохімічні датчики для моніторингу промислових газів; Alphasense PID-A1 – датчик летких органічних сполук (ЛОС); Plantower PMS7003 – лазерний датчик пилу PM₁₀ / PM_{2.5}. Інтелектуальні модулі локальної обробки: Nordic nRF52840 – енергоефективний мікроконтролер із підтримкою BLE та можливістю запуску квантованих нейромереж; ESP32-C3/ESP32-S3 – оптимальні для NN-квантування та локальної обробки сигналів; Комунікаційні модулі з низьким енергоспоживанням: LoRa SX1262 – модуль для LoRaWAN Class A вузлів; Quectel EG915Q-NA – для резервного NB-IoT/4G-моніторингу. Автономні джерела живлення: Li-SOCl₂ батареї (Saft LS14500) – довготривалий ресурс у холодних умовах; Суперконденсатори Eaton HV-Series – для короткого автономного живлення при пікових навантаженнях.

Отже, запропонована концепція інтелектуальної сенсорної мережі дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання, підвищити стійкість системи до аварійних ситуацій та забезпечити збереження критичних даних навіть за умов тривалих відключень електропостачання.

Список літератури

1. Хмиров М., Палій С. Оптимізація енергоефективності безпроводної сенсорної мережі для моніторингу якості повітря на промислових об'єктах. Herald of Khmelnytskyi National University, 2025. № 5.
2. Lee J., Leung V., et al. A wireless network of spatially distributed radio-frequency identification sensors for event-based data collection. Nature Electronics, 2024. Vol. 7, pp. 313–324.
3. Minsu Kim, Walid Saad, et al. On the Tradeoff between Energy, Precision, and Accuracy in Federated Quantized Neural Networks. Wireless@VT, 2021.