

Володимир Мельоха, Володимир Карашецький*, Володимир Яркун*

¹ НЛТУ України, Львів, Україна, melokha@nltu.edu.ua

² НЛТУ України, Львів, Україна. ORCID: 0009-0008-1460-2674,
karashetskyu@nltu.edu.ua

³ НЛТУ України, Львів, Україна. ORCID: 0000-0002-4876-1111,
yarkun@nltu.edu.ua

Локальна трирівнева IoT-система моніторингу мікроклімату із симуляцією сенсорних даних

***Анотація.** У роботі представлено прототип трирівневої IoT-системи моніторингу мікроклімату для Smart Campus, реалізований на основі симуляції сенсорних даних. Архітектура включає периферійний, серверний і клієнтський рівні, що забезпечує автономність і масштабованість системи. Використання симульованих даних дозволило протестувати принципи збору, обробки та візуалізації показників без застосування фізичних сенсорів. Результати підтвердили ефективність симуляційного підходу та перспективність розробленої моделі для подальшого підключення реальних IoT-пристроїв у систему.*

***Ключові слова** – IoT; Smart Campus; симуляція сенсорних даних; моніторинг мікроклімату; трирівнева архітектура; візуалізація даних.*

Вступ. Актуальність розробки систем моніторингу мікроклімату в освітньому середовищі зумовлена необхідністю підтримки ефективного навчального процесу та збереження здоров'я учасників. Параметри навколишнього середовища, такі як температура, вологість та рівень діоксиду вуглецю (CO₂), безпосередньо впливають на когнітивні функції та продуктивність студентів. Наявні комерційні IoT-рішення часто мають значні недоліки, включаючи високу вартість, закритість архітектури та залежність від зовнішніх хмарних інфраструктур. У відповідь на ці виклики постає завдання впровадження недорогих, відкритих та безпечних інструментів[1]. Ключовим підходом у цій сфері є розробка автономних IoT-систем, базованих на відкритій DIY-архітектурі ("Do It Yourself"). Це рішення забезпечує повну автономність, локальне управління даними, високий рівень конфіденційності та можливість адаптації до специфіки

окремих навчальних приміщень. Використаємо архітектурні моделі [3-5], що реалізують трирівневу структуру:

1. Периферійний рівень (Edge Devices): Відповідає за збір екологічних даних. Реалізований на базі мікроконтролерів, які є оптимальним вибором завдяки низькій вартості, вбудованій підтримці Wi-Fi та високій продуктивності.

2. Мережевий рівень (Backend Server): Забезпечує централізовану обробку, зберігання та верифікацію даних.

3. Клієнтський рівень (Client Tier): Надає вебінтерфейс для інтерактивної візуалізації показників та сигналізує про порушення нормативних параметрів.

Аналіз існуючих рішень. Розроблена система, орієнтована на симуляцію сенсорних даних та розробку для Smart Campus, має низку ключових переваг над системами, описаними у джерелах, оскільки зменшує витрати на закупівлю дорогого обладнання та є значущою для невеликих освітніх інституцій. Саме впровадження механізму симуляції сенсорних даних забезпечує роботу перевагами:

1. Автономна IoT-система моніторингу мікроклімату аудиторій [1]: Ця система, заснована на відкритій DIY-архітектурі (ESP32, PostgreSQL/TimescaleDB), усуває недоліки комерційних рішень, такі як висока вартість та залежність від хмари. Проте наша система дасть змогу проводити комплексне стрес-тестування локального бекенду (PostgreSQL/TimescaleDB), верифікувати механізм автоматичного інформування про порушення нормативних параметрів (наприклад, $\text{CO}_2 > 1\,000\text{ ppm}$) у великій кількості віртуальних аудиторій одночасно, що неможливо зробити лише на основі реальних вимірів.

2. Системи [2], базовані на методології DevOps та AWS значною мірою покладаються на хмарну інфраструктуру. Наша перевага полягає в тому, що симуляція дозволяє швидке виявлення та усунення вразливостей системи та кібербезпеки і стабільне масштабування для Smart Campus.

3. Розроблення автоматизованої системи збору та аналізу метеоданих [3]: Ця система реалізована з локальним веб-сервером на ESP32 і має обмежені ресурси плати (пам'ять, обробка даних) та складна у масштабуванні. Наша систе-

ма переважає завдяки симуляції, яка дає змогу розробляти та тестувати логіку обробки даних без ризику перевантаження малоресурсної периферійної плати, перевіряючи її роботу на максимальних обсягах даних перед реальним розгортанням.

4. Система моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку [4]: Хоча цей проєкт проводить експериментальні дослідження для знаходження похибок (відносної та максимальної) і кореляції показників, він базується на реальних, а не симульованих даних. Наша симуляція сенсорних даних дозволить проводити верифікацію точності системи та її аналітичних алгоритмів (наприклад, залежності вологості від якості повітря) у контрольованих, відтворюваних умовах.

Крім того, симуляція дає можливість створювати сценарії, яких не існує в реальних умовах Smart Campus (наприклад, моделюючи сценарії, які призводять до критичних значень $\text{CO}_2 > 800 \text{ ppm}$).

Програмна реалізація. Враховуючи вище описане, розроблено програму, що дозволяє дослідити принципи роботи IoT-систем без необхідності фізичних пристроїв. Вона демонструє цикл «збір даних → обробка → візуалізація → реагування», який є типовим для реальних систем розумного середовища. Крім того, застосування мови Python у середовищі Google Colab забезпечує легкість тестування, гнучкість і доступність з будь-якого пристрою.

Симульовані дані збережені у таблицях для подальшого аналізу, побудови графіків і статистичної оцінки. Програма має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із візуальними індикаторами, які змінюють колір залежно від стану середовища (рис. 1). У майбутньому цей прототип може бути розширений для підключення реальних IoT-пристроїв через Wi-Fi або MQTT-протокол.

Temperature: 25.53 °C

Humidity: 65.29 %

CO2: 863.72 ppm

Light: 314.2 lx

К-сть зчиту... 20

Інтервал (с): 1.00

Порог (фа... 0.95

Запустити симуля...

Рисунок 1. Дашборд.

Розроблена локальна трирівнева IoT-архітектура моніторингу мікроклімату Smart Campus імітує роботу 4 сенсорів: температура, вологість, CO₂, освітленість шляхом симуляції сенсорних даних. Збирає дані у реальному часі (можливість зміни інтервалу між вимірюваннями). Зберігає дані в pandas.DataFrame. Обчислює базову статистику (describe()). Будує графіки змін показників у часі. Позначає критичні значення сенсорів які виходять за межі нормального діапазону.

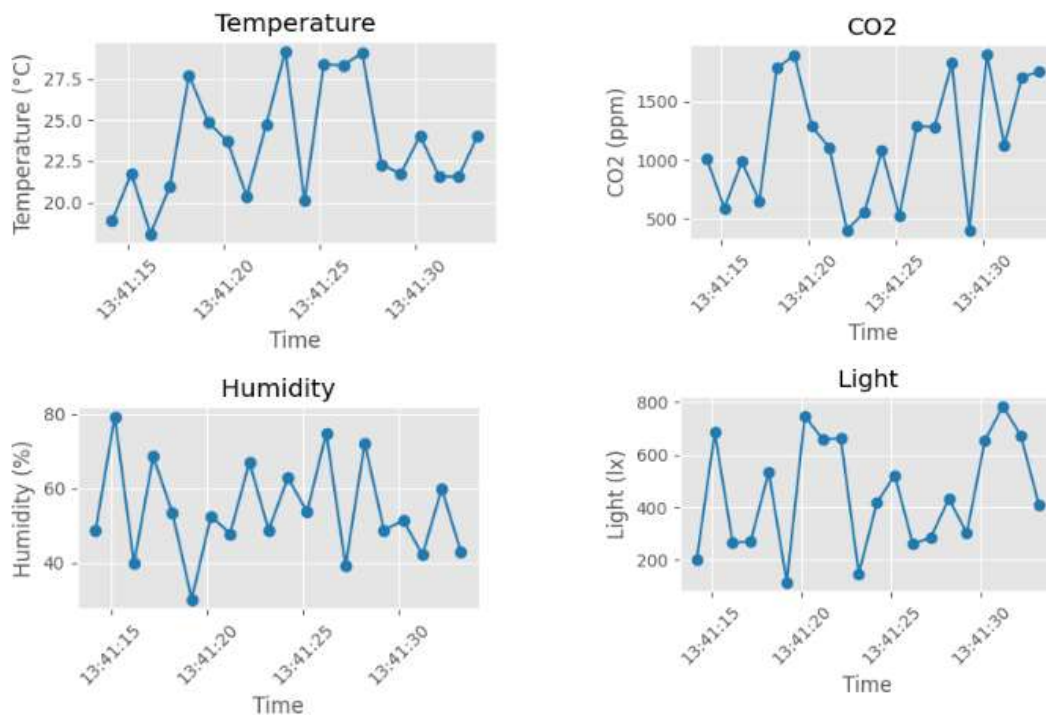


Рисунок 2. Графіки динаміки температури та вологості, рівня CO₂ та освітлення

В результаті роботи програми користувач може спостерігати як програма генерує потік сенсорних даних, відображається таблиця з поточними значеннями, створюється графік зміни температури, вологості та інших параметрів, а також коли показники виходять за межі норми.

IoT Dashboard в реальному часі відображає поточні значення сенсорів за допомогою інтерактивних віджетів (ipywidgets) і графіків (рис.2).

Висновок. У ході роботи було реалізовано прототип IoT-системи моніторингу мікроклімату у приміщеннях Smart Campus, який виконує генерацію, обробку та візуалізацію сенсорних даних у режимі реального часу. Програма імітує роботу чотирьох типів сенсорів: температури, вологості, рівня CO₂ та освітленості, що дозволяє моделювати реальні умови у навчальних чи офісних приміщеннях.

Таким чином, створена програма демонструє ключові аспекти IoT-технологій, включаючи збір, обробку, аналіз і візуалізацію даних. Результати роботи свідчать про ефективність застосування симуляційного підходу для вивчення складних систем у межах концепції Smart Campus.

Список використаних літературних джерел

- [1] Хоменко Є. В., Бабічев С. А. Автономна IoT-система моніторингу мікроклімату аудиторій на основі відкритої DIY-архітектури. Прикладні питання математичного моделювання. 2025. Т. 8, № 1. С. 245–253.
- [2] Жовнір Ю. І., Грибовський О. М., Орлов М. В., Дуда О. М., Кунанець Н. Е. Методологія розроблення та супроводу інформаційних систем, базованих на технології інтернету речей. Управління розвитком складних систем. Київ, 2024. № 60. С. 56–70.
- [3] Вирста В. М. Дослідження та аналіз системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. 73 с..
- [4] Русінка О. В., Чепчур М. О. Розроблення автоматизованої системи збору та аналізу метеоданих з використанням технологій IoT: кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня бакалавр. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. 74 с..

- [5] Муха Д. Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр. Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2025. 55 с..

***Local three-level IoT microclimate monitoring system
with sensor data simulation***

Volodymyr Melokha, Volodymyr Karashetsky, Volodymyr Yarkun

The paper presents a prototype of a three-level IoT microclimate monitoring system for a Smart Campus, implemented using simulated sensor data. The architecture includes edge, server, and client levels, ensuring system autonomy and scalability. The use of simulated data made it possible to test data collection, processing, and visualization algorithms without physical sensors. The results confirm the effectiveness of the simulation-based approach and the potential of the developed model for further integration of real IoT devices in the Smart Campus environment.