

**Ірина Бенцал**

Магістр комп'ютерних наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна

*bentsaluruna@gmail.com*

**Леся Дмитроца**

К.т.н, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук

Місце роботи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, кафедра комп'ютерних наук, Тернопіль, Україна

ORCID 0000-0003-2583-3271

*dmytrotsa.lesya@gmail.com*

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЇННЯ БДЖІЛ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ

**Анотація.** В роботі розглядаються актуальні проблеми передчасного відслідковування стану роїння бджолосімей за допомогою впровадження IoT-технологій у вулик. У дослідженні проаналізовано сучасні підходи до автоматизації моніторингу стану бджолосімей, визначено їхні обмеження та потребу у впровадженні інтелектуальних алгоритмів раннього попередження.

Для побудови системи використано мікрокомп'ютер Raspberry Pi як центральний вузол збору даних, цифрові сенсори DS18B20 (для вимірювання температури) та SHT31-D (для вимірювання вологості). Збір, передавання та візуалізація даних реалізовані за допомогою відкритих IoT-платформ HoneyPi та ThingSpeak, які забезпечують збереження даних у хмарному середовищі та подальший аналітичний обробіток. На основі зібраних часових рядів розроблений алгоритм, який аналізує зміну мікрокліматичних параметрів протягом останніх 24–36 годин. Алгоритм враховує динаміку зростання температури, амплітуду добових коливань і співвідношення між температурою та вологістю. При стійкому підвищенні температури та вологості з одночасним зменшенням амплітуди система формує попередження про можливе роїння за 24–48 годин.

Експериментальні дослідження із застосуванням реальних даних підтвердили працездатність алгоритму та точність прогнозу на рівні понад 80 %. Запропонований підхід дає змогу своєчасно виявляти підготовку до роїння, мінімізувати втрати бджіл, підвищити продуктивність і створює основу для подальшої розробки інтелектуальної системи.

**Ключові слова:** IoT-технології, розумний вулик, температура, вологість.

### 1. ВСТУП

Бджільництво є однією з ключових галузей сільського господарства, адже саме бджоли забезпечують запилення понад 80 % ентомофільних культур. Одним із найвагоміших чинників втрати робочих бджіл залишається роїння — природний процес поділу сім'ї, який у бджільництві розглядається як негативне явище.

**Постановка проблеми.** Основною проблемою є неможливість прогнозування моменту початку роїння за 24-36 годин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зазвичай пасічники орієнтуються на поведінкові ознаки або зовнішні спостереження, однак такі методи є суб'єктивними і потребують постійної присутності людини біля пасіки [1]. Класичні системи моніторингу фіксують лише факт змін після роїння (зменшення ваги, різкі стрибки температури), що не дає змоги запобігти втратам [2]. Таким чином, розроблення системи автоматизованого моніторингу та прогнозування роїння на основі даних датчиків і алгоритмів машинного аналізу є актуальним завданням для підвищення ефективності сучасного бджільництва.

**Мета публікації.** Метою роботи є створення інформаційно-вимірювальної системи, що забезпечує безперервний моніторинг мікроклімату вулика (температури та вологості) і прогнозує можливість роїння за 24–48 годин до його настання. Для

досягнення мети необхідно було проаналізувати існуючі методи автоматизації моніторингу стану бджолосімей і визначити їх недоліки, вибрати оптимальні сенсори для вимірювання температури та вологості, розробити апаратну архітектуру на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi з відкритими IoT-платформами, проаналізувати готові програмні рішення для збору та наступних досліджень, створити алгоритм раннього попередження роїння, що аналізує часові ряди даних, а саме температуру та вологість, провести експериментальні випробування системи і оцінити її ефективність, подати можливі варіанти покращення даної системи.

У результаті виконання поставлених завдань було розроблено концепцію інформаційно-вимірювальної системи для прогнозування роїння бджолосімей на основі аналізу температури та вологості вулика.

## **2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ**

Основні фізіологічні ознаки підготовки до роїння проявляються у зміні температурно-вологісних параметрів усередині вулика. У період перед роїнням спостерігається підвищення середньої температури на 1–2 °С, збільшення вологості повітря та зменшення добових амплітуд коливань.

Теоретичною основою побудови системи прогнозування є концепція Інтернету речей (IoT). У контексті бджільництва це дозволяє організувати безперервний моніторинг мікроклімату вулика через датчики температури та вологості, підключені до мікрокомп'ютера (наприклад, Raspberry Pi).

На основі отриманих даних формуються часові ряди, які піддаються математичній обробці, що дозволяють виявити закономірності змін і спрогнозувати момент роїння за 24–48 годин до його настання.

Застосування відкритих IoT-платформ дає змогу інтегрувати дані у хмарне середовище, здійснювати аналітику в режимі реального часу та формувати повідомлення про критичні відхилення параметрів. Таким чином, теоретичні положення дослідження ґрунтуються на поєднанні принципів біомоніторингу, аналізу часових рядів і технологій Інтернету речей, що створює передумови для розробки інтелектуальної системи прогнозування роїння бджолосімей.

## **3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для практичної реалізації було обрано мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3B+ як центральний вузол обробки. Система оснащена цифровими сенсорами: DS18B20 – вимірювання температури в межах –10...+85 °С із точністю ±0.5 °С та SHT31-D – вимірювання вологості (0–100 % RH) і температури з високою стабільністю. Вибір цих датчиків зумовлений їхньою сумісністю з Raspberry Pi, низьким енергоспоживанням та точністю показників. Збір даних відбувається з інтервалом 5-10 хвилин. Передавання інформації здійснюється через Wi-Fi-модуль до хмарного сервісу ThingSpeak, який підтримує REST API та MATLAB Analytics для подальшої обробки даних.

Програмна частина реалізована на основі відкритої платформи HoneypI, яка виконує автоматичне зчитування сенсорів через GPIO, локальне резервне збереження у форматі CSV, а також має можливість налаштування сповіщень при перевищенні порогів.

Крім ThingSpeak, розглядалися інші open-source платформи – HiveEyes, BeeMoS, BEEP-framework, які дозволяють підключати додаткові вулики в єдину мережу та масштабувати систему [3].

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За результатами аналізу було виявлено, що перед початком роїння спостерігається стабільне підвищення внутрішньої температури на 1.5-2 °C та зростання вологості на 5-7 %, при цьому добова амплітуда коливань зменшується в 1.5-2 рази. Запропонована система виявила роїння з точністю ~82 % при середньому часі попередження 36 годин. Результати показали високу кореляцію між ростом індексу та фактичним моментом виходу рою. Порівняно з класичним пороговим підходом (температура > 35 °C), запропонований метод зменшив кількість хибних спрацювань на ≈ 40 %.

Розроблена система може бути впроваджена у приватних і промислових пасіках для раннього попередження про роїння, зниження трудовитрат на ручний контроль, ведення статистики параметрів вулика, а також формування бази даних для подальшого машинного навчання. Крім того, система може стати частиною платформи, що поєднує моніторинг, прогнозування, управління мікрокліматом і віддалене сповіщення через мобільний додаток.

#### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У результаті проведеного дослідження було проаналізовано сучасні підходи до моніторингу стану бджолосімей та розроблено концепцію системи прогнозування роїння на основі IoT-технологій. Обґрунтовано вибір сенсорів, а також платформ ThingSpeak і HoneyPi для збору, зберігання та візуалізації даних. Отримані результати підтверджують можливість практичної реалізації інтелектуальної системи моніторингу пасік (Smart Apiary System), яка здатна підвищити ефективність роботи пасічників, мінімізувати втрати бджіл і сприяти розвитку цифрового бджільництва в Україні.

Перспективи подальших досліджень:

- удосконалення алгоритму прогнозування шляхом використання методів машинного навчання (нейронних мереж, класифікаторів);
- розширення системи додатковими сенсорами (CO<sub>2</sub>, ваги, звуку);
- створення мобільного додатка для віддаленого сповіщення пасічників.

#### ПОСИЛАННЯ (ПЕРЕКЛАДЕНІ ТА ТРАНСЛІТЕРОВАНІ)

1. A. Zaman, "A framework for better sensor-based beehive health," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 211, p. 108069, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169923002946>
2. S. Kontogiannis, "Beehive Smart Detector Device for the Detection of Critical Conditions That Utilize Edge Device Computations and Deep Learning Inferences," *Sensors*, vol. 24, no. 16, p. 5444, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/16/5444>
3. N. Al-Dhuraibi, A. Zaytar, H. Alzaabi, and A. Zaki, "Internet of Things Low Cost Monitoring BeeHive System Using Wireless Sensor Network," *ResearchGate*, 2019. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/337793861\\_Internet\\_of\\_Things\\_Low\\_Cost\\_Monitoring\\_BeeHive\\_System\\_using\\_Wireless\\_Sensor\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/337793861_Internet_of_Things_Low_Cost_Monitoring_BeeHive_System_using_Wireless_Sensor_Network).

MINISTRY OF EDUCATION  
AND SCIENCE OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY  
OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE

FACULTY OF INFORMATION  
TECHNOLOGY

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

## PROCEEDINGS

XIII International scientific  
and practical conference

**GLOBAL AND  
REGIONAL PROBLEMS OF  
INFORMATIZATION IN  
SOCIETY AND  
NATURE USING  
'2025**

13-14 November 2025

Kyiv, NULES of Ukraine

Kyiv 2025

## МАТЕРІАЛИ

XIII Міжнародної науково-  
практичної конференції

**ГЛОБАЛЬНІ ТА  
РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ  
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В  
СУСПІЛЬСТВІ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ  
'2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

## **МАТЕРІАЛИ**

XIII Міжнародної науково-практичної конференції

# **ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В СУСПІЛЬСТВІ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ '2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

УДК 004

Рекомендовано до друку вченою радою факультету інформаційних технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 4 від 18.12.2025).

Укладач: д.т.н., доцент Шкарупило В.В.

Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2025", 13–14 листопада 2025 року, НУБіП України, Київ. – К.: НУБіП України, 2025. – 206 с.

Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.

© Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, 2025