

Abstract: Modern agrotechnological approaches to enhancing the adaptability of sunflower cultivation under climate change conditions are considered. It has been established that rising temperatures, moisture deficit, and uneven precipitation significantly affect crop productivity. The effectiveness of the integrated application of resource-saving technologies, adapted hybrids, fertilization systems, crop management practices, precision agriculture, and irrigation, taking into account soil and climatic conditions, has been substantiated. The need for scientific research and modeling of the impact of climate change on sunflower productivity is emphasized.

Keywords: sunflower, climate change, adaptive hybrids, resource-saving technologies, precision agriculture, irrigation, plant resilience, agrotechnological innovations.

УДК 004.85:631.544

DOI 10.31521/978-617-7149-94-0-4

ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ КЛІМАТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛИЦЬ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ СИНТЕТИЧНИХ ІОТ-ДАНИХ

Богатєнкова О.Є., асистентка

Миколаївський національний аграрний університет

<https://orcid.org/0009-0003-0214-0680>

Анотація: У тезах розглянуто підхід до виявлення аномалій енергоспоживання кліматичного обладнання теплиць (вентилятори, насоси, системи досвічування) з використанням методів машинного навчання. Запропоновано структурно-логічну схему IoT-системи моніторингу на базі мікроконтролера ESP32 та датчиків струму. Для навчання моделей (Isolation Forest, One-Class SVM, Autoencoder) застосовано синтетичний датасет, що імітує нормальні та аномальні режими роботи. Результати моделювання підтверджують доцільність запропонованого підходу для підвищення енергоефективності тепличних господарств.

Ключові слова: аномалії енергоспоживання, теплиці, машинне навчання, синтетичні дані, IoT, ESP32, продовольча безпека.

Сучасні умови відновлення України супроводжуються значним дефіцитом енергоресурсів та порушеннями стабільності енергопостачання. Водночас зміни клімату змушують аграріїв дедалі активніше використовувати енергоємні системи клімат-контролю в тепличних господарствах – вентиляцію, опалення, досвічування та зрошення. Теплиці є критично важливим елементом забезпечення продовольчої безпеки країни, особливо в умовах обмеженого доступу до відкритих ґрунтів [1].

Однією з ключових проблем є відсутність доступних та масштабованих систем моніторингу аномалій енергоспоживання тепличного обладнання. Аномалії – як короткочасні (збій автоматики, залишений увімкненим вентилятор), так і довготривалі (деградація компресора, витік тепла) – призводять до перевитрат електроенергії, а в критичних випадках – до загибелі врожаю. За даними досліджень, впровадження систем моніторингу та аналізу

енергоспоживання в агросекторі дозволяє досягти економії електроенергії на рівні 12% без додаткових капітальних вкладень в обладнання [2].

Метою даної роботи є оцінка можливості виявлення аномалій енергоспоживання кліматичного обладнання теплиць методами машинного навчання на синтетичних IoT-даних.

Для дослідження обрано три типи тепличного обладнання з характерними профілями споживання (Таблиця). Кожен тип генерує специфічні часові ряди, що дозволяє моделювати різні класи аномалій.

Для навчання моделей машинного навчання використано методику формування синтетичного датасету, що включає: моделювання профілів споживання на основі даних про типовий робочий цикл обладнання; генерацію нормальних режимів з додаванням природного шуму (SNR = 20 дБ); вставку трьох типів аномалій – короткочасних (тривалістю <5 хв), довготривалих (>30 хв) та дрейфових (поступове відхилення середнього значення).

Таблиця
Характеристика досліджуваного тепличного обладнання

Тип обладнання	Типова потужність, кВт	Циклічність	Характерні аномалії
Вентилятор	0,5-1,5	Циклічна (15 хв вкл/30 хв вимк)	Зависання «вкл», зниження ККД
Насос краплинного поливу	0,75-2,2	Імпульсна	Витік, кавітація, сухий хід
LED-досвічування	2,0-5,0	Сезонна (12–18 год/добу)	Дрейф потужності, мерехтіння

Структурно-логічна схема запропонованої системи моніторингу (Рис.) включає наступні компоненти: датчики струму на кожному приладі (ACS712/ZMPT101B), мікроконтролер ESP32 для агрегації та попередньої обробки даних, сервер збору даних з базою часових рядів (InfluxDB) та аналітичний модуль з реалізованими ML-моделями. Аналогічні архітектурні рішення на базі ESP32 вже показали свою ефективність у задачах моніторингу сільськогосподарських об'єктів [3, 4].

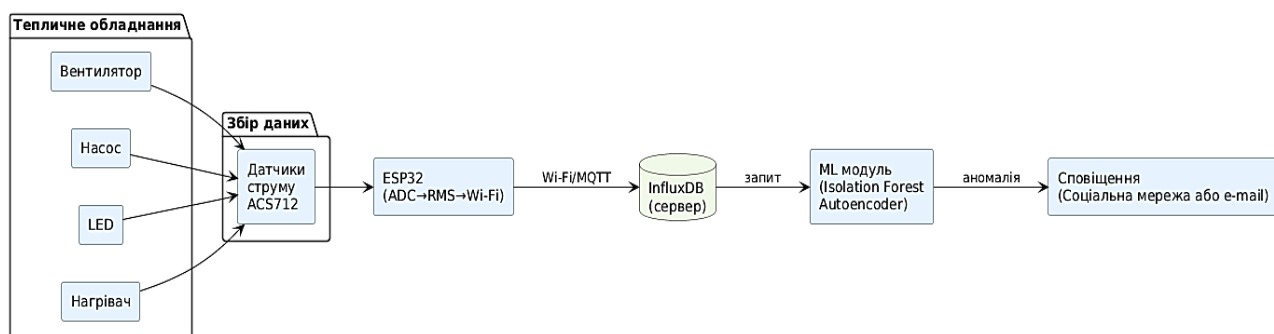


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема системи моніторингу енергоспоживання тепличного обладнання (складено автором)

Для виявлення аномалій застосовано три методи машинного навчання: Isolation Forest (алгоритм на основі випадкових розбиттів простору ознак), One-

Class SVM (опорно-векторна машина для однокласової класифікації) та автоенкодер (нейромережа з архітектурою вузького місця). Вибір обумовлений їхньою здатністю працювати в unsupervised-режимі, що критично важливо за відсутності розмічених даних про аномалії на реальних об'єктах.

Попереднє моделювання показало наступні результати на синтетичному датасеті обсягом 50000 точок:

- **Автоенкодер** забезпечив найвищу точність виявлення довготривалих аномалій (F1-міра = 0,92) завдяки здатності враховувати часові залежності;
- **Isolation Forest** виявився найкращим для короткочасних аномалій (F1 = 0,88) через високу швидкість детекції без необхідності навчання на великих обсягах даних;
- **One-Class SVM** показав найнижчі результати (F1 = 0,79) через чутливість до шуму в даних.

Очікуваний економічний ефект від впровадження системи для типової теплиці площею 500 м² може становити 15-20% скорочення споживання електроенергії за рахунок раннього виявлення аномалій та оптимізації робочих циклів обладнання. Вартість рішення на базі ESP32 та open-source ПП не перевищує 150-200 USD, що робить його доступним для малих та середніх фермерських господарств.

Запропонований підхід демонструє принципову можливість виявлення аномалій енергоспоживання тепличного обладнання методами ML на синтетичних даних. Перспективи подальших досліджень включають валідацію моделей на реальних даних з діючих тепличних господарств, а також використання розробленої системи як навчального стенду для студентів аграрних та інженерних спеціальностей.

Список використаних джерел

1. Morales-García J., Padilla-Quimbiulco D., Cantabella M., et al. GreenhouseGuard: Enabling real-time warning prediction for smart greenhouse management. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 2024, 16(3): 389-405. <https://doi.org/10.3233/AIS-230359>
2. FIELD: A comprehensive FarmIng Electrical Load measurements dataset from 30 three-phase dairy farms in Germany. *Scientific Data*, 2025, 12: 1830. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-06094-2>
3. Biswal S.R., Choudhury T.R., Santra S.B., et al. Simplified Prediction-Based AI-IoT Model for Energy Management Scheme in Standalone PV Powered Greenhouse. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics*, 2025, 6(1): 224-237. <https://doi.org/10.1109/JESTIE.2024.3425670>
4. Peddi M., Veeram S.R., Aitha L., et al. Internet of things and ESP 32 powered real-time monitoring of bio-shed. *AIP Conference Proceedings*, 2025, 3298(1): 020026. <https://doi.org/10.1063/5.0280353>

Abstract: This paper presents an approach for detecting energy consumption anomalies in greenhouse climate control equipment (fans, pumps, LED lighting) using machine learning methods. A structural-logical diagram of an IoT-based monitoring system using ESP32 microcontroller and current sensors is proposed. A synthetic dataset simulating normal and abnormal operating modes is used to train models (Isolation Forest, One-Class SVM, Autoencoder). Simulation results confirm the feasibility of the proposed approach for improving energy efficiency of greenhouse farms.

Keywords: energy consumption anomalies, greenhouses, machine learning, synthetic data, IoT, ESP32, food security.

УДК 624.014

DOI 10.31521/978-617-7149-94-0-5

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Богданов С.І., старший викладач

Миколаївський національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7207-2546>

Анотація: У роботі проведено узагальнення підходів до визначення експлуатаційних характеристик елементів аркових металевих систем, зокрема їх міцності, стійкості та надійності в залежності від дії вітру. Особливу увагу приділено принципам проектування конструкцій із мінімальною матеріаломісткістю за умови забезпечення нормативного рівня надійності у всіх характерних перерізах. З урахуванням курсу України на гармонізацію нормативної бази з європейськими стандартами актуалізується потреба у зіставленні підходів до забезпечення надійності конструкцій. Це стосується як загальних принципів проектування, так і специфіки розрахунку легких металевих каркасів.

Ключові слова: вітрове навантаження, сталеві конструкції, гнучкі елементи, аркові системи, несуча здатність, коефіцієнт запасу, стійкість, надійність.

Постановка проблеми. Ефективне функціонування аграрного сектору значною мірою залежить від умов зберігання продукції, що безпосередньо пов'язано з поняттям продовольчої безпеки. Одним із сучасних рішень є використання швидкокомтованих будівель із легких металевих конструкцій, які відзначаються мобільністю, технологічністю та економічністю.

Застосування таких споруд дозволяє скоротити строки будівництва, зменшити витрати на транспортування та забезпечити можливість повторного використання конструктивних елементів. Проте при цьому особливої ваги набуває питання забезпечення їхньої надійності протягом усього терміну експлуатації.

Сучасні тенденції проектування спрямовані на зниження матеріаломісткості конструкцій, що потребує більш точного врахування факторів, які впливають на їхню роботу. У зв'язку з цим виникає необхідність переходу від детермінованих методів розрахунку до ймовірнісних підходів, які дозволяють враховувати випадковий характер навантажень і властивостей матеріалів.