

КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ МІКРОКЛІМАТОМ: АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ

Ігор Голод

Харківський національний університет радіоелектроніки,

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ihor.holod@nure.ua

Анотація: У статті розглядаються кіберфізичні системи управління мікрокліматом у виробничих середовищах. Аналізуються їхні переваги, такі як енергоефективність, точність контролю та адаптивність до змінних умов. Особливу увагу приділено використанню IoT, штучного інтелекту та хмарних технологій для підвищення ефективності управління мікрокліматом у різних галузях промисловості.

Ключові слова: Кіберфізичні системи, мікроклімат, автоматизація, IoT.

CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN MICROCLIMATE MANAGEMENT: ANALYSIS OF MODERN APPROACHES

Ihor Holod

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: ihor.holod@nure.ua

Annotation: The article examines cyber-physical systems for microclimate management in industrial environments. It analyzes their advantages, such as energy efficiency, control accuracy, and adaptability to changing conditions. Special attention is given to the use of IoT, artificial intelligence, and cloud technologies to enhance microclimate management efficiency across various industries.

Key words: Cyber-Physical Systems, Microclimate, Automation, IoT.

Кіберфізичні системи (КФС) – це складні, гетерогенні, розподілені системи, що поєднують кібернетичні компоненти (давачі, виконавчі механізми, центри керування) з фізичними процесами. Вони забезпечують автоматизоване управління через безперервний моніторинг і контроль ключових параметрів середовища. У контексті мікроклімату виробничих приміщень КФС дозволяють контролювати температуру, вологість, повітряний потік та інші критично важливі показники, що забезпечують оптимальні умови для технологічних процесів [1].

Структура та архітектура кіберфізичних систем для керування мікрокліматом. Кіберфізичні системи (КФС) для керування мікрокліматом включають три основні рівні: сенсорний рівень, рівень управління та рівень виконавчих механізмів. Опис рівнів приведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 Рівні управління КФС для керування мікрокліматом.

Сенсорний рівень	Вимірювальні датчики: температура, вологість, рівень CO ₂ , швидкість повітряного потоку тощо. Розподілена структура сенсорної мережі для моніторингу в реальному часі. Інтеграція бездротових технологій для підвищення мобільності системи.
------------------	--

Рівень управління	Центральний модуль обробки даних, який аналізує інформацію від датчиків. Використання алгоритмів керування на основі математичних моделей мікроклімату. Система зворотного зв'язку для корекції параметрів у реальному часі.
Рівень виконавчих механізмів	Нагрівальні елементи, вентилятори, зволожувачі та охолоджувальні пристрої. Розподілене керування для зонального контролю мікроклімату. Інтелектуальна взаємодія між виконавчими механізмами для досягнення оптимальних умов.

Архітектура КФС базується на гнучкій модульній структурі, що дозволяє адаптувати систему до різних виробничих середовищ. Вона включає хмарні технології для збору та аналізу великих масивів даних, що забезпечує прогнозне управління мікрокліматом.

Основною перевагою такої архітектури є можливість інтеграції з іншими кіберфізичними системами, що дозволяє створювати єдине інформаційне середовище для оптимізації енергоспоживання та забезпечення стабільних параметрів мікроклімату у виробничих процесах [2-3].

Для реалізації КФС використовуються різні технології та інструменти. Інтернет речей (IoT) дозволяє підключати сенсори та виконавчі механізми до глобальних мереж, забезпечуючи віддалений моніторинг і управління. Хмарні платформи використовуються для обробки та зберігання великих обсягів даних, що надходять від сенсорів, а також для здійснення складного аналізу інформації. Машинне навчання та штучний інтелект (ШІ) допомагають передбачити майбутні зміни мікроклімату на основі історичних даних, що значно покращує ефективність управління. Крім того, важливу роль відіграють системи реального часу, які забезпечують безперервний моніторинг і миттєве реагування на зміни в середовищі, дозволяючи оперативно коригувати параметри мікроклімату.

Використання IoT у виробничих умовах. Розвиток кіберфізичних систем значною мірою пов'язаний із технологіями Інтернету речей (IoT), які забезпечують ефективну взаємодію між сенсорами, виконавчими механізмами та централізованими системами аналізу даних. Завдяки цьому вдається досягти не лише автоматизації управління мікрокліматом, а й підвищення точності контролю за рахунок постійного збору та аналізу інформації. Впровадження IoT у виробничих умовах відкриває нові можливості для моніторингу й оптимізації параметрів середовища.

Сучасні бездротові технології дозволяють значно спростити процес встановлення й інтеграції сенсорних мереж, а також забезпечують мобільність і гнучкість таких систем. Завдяки цьому стає можливим віддалений контроль за станом мікроклімату та оперативне реагування на зміни, що особливо важливо для виробництв із жорсткими вимогами до температури, вологості або рівня газового складу повітря. Крім того, використання IoT у системах керування мікрокліматом сприяє зниженню енергоспоживання, оскільки дозволяє автоматично регулювати роботу виконавчих механізмів відповідно до реальних потреб.

Одним із ключових аспектів впровадження IoT є можливість аналізу великих обсягів даних у режимі реального часу. Це забезпечує не лише миттєвий контроль, а й прогнозування змін параметрів мікроклімату, що дає змогу завчасно коригувати режими роботи системи та запобігати можливим відхиленням. У свою чергу, використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання у поєднанні з IoT дозволяє значно підвищити ефективність управління, адаптуючи систему до змін у виробничому процесі та зовнішніх умовах.

Таким чином, інтеграція IoT у кіберфізичні системи керування мікрокліматом не лише покращує якість моніторингу й автоматизації, а й відкриває нові перспективи для оптимізації енергоспоживання, підвищення стабільності виробничих процесів і створення більш адаптивних систем управління. На Рис 1 представлена кіберфізична система управління мікрокліматом із використанням IoT [4-6].

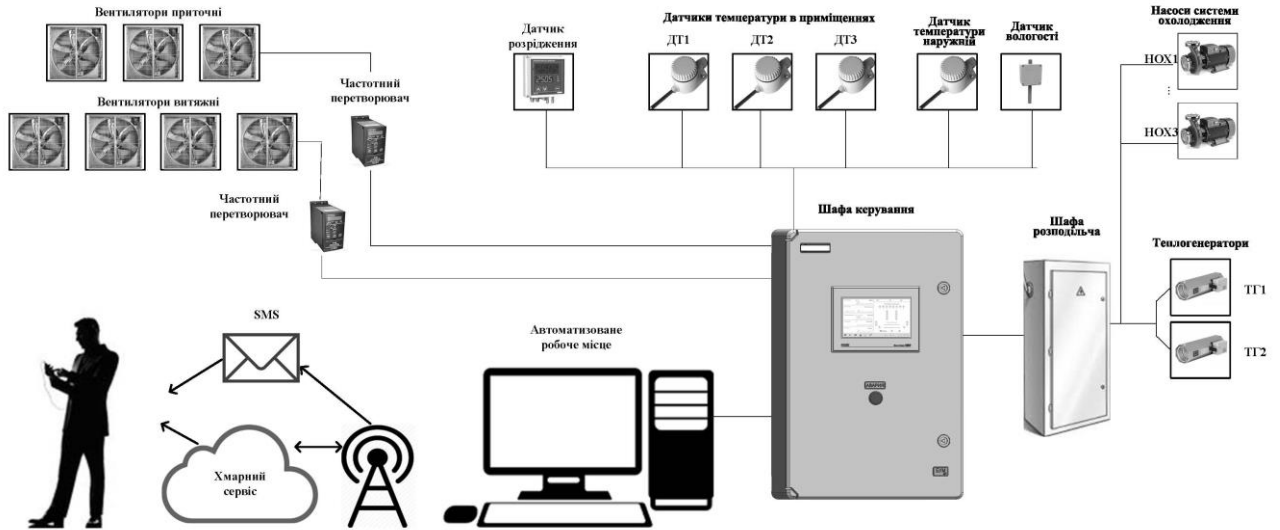


Рис. 1. Кіберфізична система управління мікрокліматом із використанням IoT

Впровадження КФС управління мікрокліматом у різних галузях. Кіберфізичні системи (КФС) управління мікрокліматом відіграють критично важливу роль у багатьох галузях, забезпечуючи оптимальні умови для виробничих процесів, зберігання продукції та підвищення енергоефективності. Особливо важливим є застосування таких систем у харчовій промисловості, фармацевтиці та сільському господарстві, де параметри мікроклімату безпосередньо впливають на якість і безпечність кінцевої продукції.

1. Харчова промисловість

У харчовій промисловості контроль мікроклімату є ключовим фактором, що забезпечує дотримання стандартів зберігання і виробництва харчових продуктів. КФС дозволяють автоматизовано регулювати температуру, вологість і циркуляцію повітря на виробництві та у складських приміщеннях.

Наприклад, у м'ясопереробних комбінатах КФС забезпечують підтримку низьких температур у виробничих зонах для запобігання розвитку патогенних мікроорганізмів. Водночас, у хлібопекарській промисловості важливо підтримувати оптимальну вологість повітря, що впливає на якість бродіння тіста.

Використання IoT у таких системах дозволяє забезпечити віддалений моніторинг і контроль параметрів мікроклімату через хмарні сервіси, що підвищує ефективність управління.

2. Фармацевтика

Фармацевтична галузь має одні з найсуворіших вимог до мікроклімату. Температура, вологість і рівень забруднень у повітрі впливають на стабільність лікарських засобів, стерильність виробничого процесу та термін зберігання препаратів.

КФС у фармацевтиці використовуються для автоматичного підтримання чистих приміщень відповідно до стандартів GMP (Good Manufacturing Practice). У таких приміщеннях

реалізовано жорсткий контроль параметрів повітря, використання НЕРА-фільтрів та розумних вентиляційних систем.

Завдяки IoT рішенням оператори можуть отримувати миттєві сповіщення про відхилення від встановлених параметрів та оперативно реагувати на потенційні загрози.

3. Сільське господарство

В аграрному секторі управління мікрокліматом має вирішальне значення для підвищення врожайності та зменшення втрат продукції. Сучасні КФС забезпечують автоматизований контроль параметрів у теплицях, фермах і сховищах для зберігання зерна.

У тваринництві КФС застосовуються для підтримки комфортних умов утримання худоби та птиці, що безпосередньо впливає на їхню продуктивність. Наприклад, у птахофермах кіберфізичні системи керують температурою та вентиляцією, зменшуючи стресові фактори для птиці та покращуючи конверсію корму.

В тепличному господарстві КФС використовують IoT-сенсори для вимірювання вологості, освітлення та температури, а також для управління системами поливу та обігріву. Це дозволяє суттєво підвищити ефективність використання ресурсів та стабільність вирощування культур [7].

ВИСНОВКИ. Кіберфізичні системи управління мікрокліматом є ключовим елементом автоматизації виробничих процесів, забезпечуючи оптимальні умови для технологічних операцій, енергоефективність та стабільність параметрів середовища. Використання IoT, хмарних технологій, штучного інтелекту та систем реального часу дозволяє покращити точність контролю, прогнозування змін та адаптацію до різних виробничих умов. Застосування таких систем у харчовій, фармацевтичній промисловості та сільському господарстві підвищує якість продукції, знижує витрати та сприяє сталому розвитку галузей.

Список використаних джерел:

1. Дуда О., Станько А. Архітектура мережевої платформи моніторингу об'єктів у кіберфізичних системах «розумних міст» // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2023. – Вип. 4 (323). – С. 123-130. – DOI: 10.31891/2307-5732-2023-323-4-123-130. – УДК 004.75..

2. Filipenko, O., Chala, O., Bortnikova, V., Sychova, O., & Botsman, I. (2019, September). Impact of Technological Operations Parameters on Moems Components Formation. In 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL) (pp. 371-374). IEEE.

3. V. Bortnikova, I. Nevliudov, I. Botsman and O. Chala, "Search Query Classification Using Machine Learning for Information Retrieval Systems in Intelligent Manufacturing," in CEUR Workshop Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications: Integration, Harmonization, and Knowledge Transfer (ICTERI'2019), June 12-15, 2019, Kherson, Ukraine.

4. Невлюдов І. Ш. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур: Монографія І. Ш. Невлюдов, І. В. Боцман, В. В. Невлюдова, Є. А. Разумов-Фризюк. – Кривий ріг : КК НАУ, 2018. – 256 с.

5. Igor Nevliudov, Olena Chala, Iryna Botsman, Oleksandr Klymenko, Maksym Vzheshnievskyi. Automation of Mathematical Modeling of Physical and Technological Processes in the Electronic Devices Manufacture // Proceedings of the XII International Scientific Conference «Functional Basis of Nanoelectronics» – Odessa, September 20-24, 2021. – PP. 74-77;

6. Мірошниченко В. Р. Кібербезпека інноваційних систем та Інтернету речей в умовах Індустрії 4.0 // Міжнародна науково-практична конференція "Міжнародне науково-технічне співробітництво: принципи, механізми, ефективність". Збірник наукових праць. – 10-11 березня 2023. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – УДК 001.1.

7. Терехов Д. Стратегічне управління виробничим підприємством з використанням сучасних інформаційних технологій // Університет економіки та підприємництва. – 2023. – УДК 658: 330.47. – DOI: 10.31891/mdes/2023-10-20.
8. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
9. Automated Monitoring and Visualization System in Production / V. Lyashenko, Abu-Jassar Amer Tahseen, V. Yevsieiev, S. Maksymova // *Int. Res. J. Multidiscip. Technovation*, 5(6), 09-18.
10. Nevliudov, I., Omarov, M., Yevsieiev, V., Bronnikov, A., & Lyashenko, V. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis.
11. Khalid, M. S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I. S., Lyashenko, V., & Wahid, R. (2022). HMI development automation with GUI elements for object-Oriented programming Languages implementation.
12. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., & Ahmad, M. A. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive Cyber-Design CPPS Development.
13. Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2024). Study of Methods of Dynamic Description of The Environment for Collaborative Robots-Manipulators in the Concepts of Industry 5.0 (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers «SCIENTIA»).
14. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.
15. Gurin, D., & et al. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
16. Yevsieiev, V., & et al. (2025). Development of a program for processing 3d models of objects in a collaborative robot workspace using an HD camera. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 194-210.
17. Gurin, D., & et al. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
18. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
19. Nevliudov, I., & et al.. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7465-7473.
20. Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024
21. Abu-Jassar A. Building a Route for a Mobile Robot Based on the BRRT and A*(H-BRRT) Algorithms for the Effective Development of Technological Innovations / Amer Abu-Jassar, Hassan Al-Sukhni, Yasser Al-Sharo, S. Maksymova, V. Yevsieiev, V. Lyashenko // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. – 2024. – V. 72(11). – P. 294-306.
22. Yevsieiev, V., Alkhalaileh, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.