

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2026-63-22>

УДК 681.5:628.8

Ліщина Валерій Олександрович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-2371-3850>

Чарук Владислав Русланович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0000-0026-0580>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

## ПРОГРАМНІ ТЕХНОЛОГІЇ АДАПТИВНОГО КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ДЛЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ УТРИМАННЯ ДОМАШНІХ ТВАРИН

Ліщина В.О., Чарук В.Р. Програмні технології адаптивного клімат-контролю для безпечних умов утримання домашніх тварин. У статті розглянуто програмні технології розробки кіберфізичної IoT-системи енергоефективного адаптивного автоматизованого домашнього клімат-контролю для забезпечення безпечних умов утримання домашніх тварин. Запропоновано архітектуру інтелектуальної системи на базі Raspberry Pi, яка поєднує сенсорні модулі моніторингу параметрів мікроклімату, блок обробки та аналізу даних, виконавчі пристрої та засоби віддаленого керування. Система забезпечує автоматичний контроль температури, вологості, якості повітря та освітленості з використанням адаптивних алгоритмів керування й технологій Інтернету речей (IoT). Досліджено принципи побудови функціональної структури системи, механізми збору та обробки сенсорних даних, а також методи енергоефективного регулювання мікроклімату. Реалізовано можливість дистанційного моніторингу та керування через вебінтерфейс і мобільний застосунок. Особливу увагу приділено забезпеченню стабільності роботи системи, зниженню енергопоживання та підвищенню рівня автоматизації процесів догляду за домашніми тваринами. Практичне значення розробки полягає у створенні масштабованого та гнучкого рішення для інтеграції в сучасні системи «розумного» дому, що дозволяє підтримувати комфортні та безпечні умови утримання тварин незалежно від змін зовнішнього середовища.

**Ключові слова:** IoT, кіберфізична система, Raspberry Pi, домашні тварини, клімат-контроль, автоматизація, енергоефективність, сенсорні системи, розумний дім, адаптивне керування.

Lishchyna V., Charuk V. Software Technologies for Adaptive Climate Control to Ensure Safe Conditions for Keeping Pets. This article examines software technologies for developing a cyber-physical IoT system for energy-efficient, adaptive, automated home climate control to ensure safe conditions for keeping pets. An architecture for an intelligent system based on Raspberry Pi is proposed, which combines sensor modules for monitoring microclimate parameters, a data processing and analysis unit, actuators, and remote control tools. The system provides automatic control of temperature, humidity, air quality, and lighting using adaptive control algorithms and Internet of Things (IoT) technologies. The principles of constructing the system's functional structure, mechanisms for collecting and processing sensor data, as well as methods for energy-efficient microclimate regulation have been investigated. Remote monitoring and control via a web interface and mobile app have been implemented. Particular attention was paid to ensuring system stability, reducing energy consumption, and increasing the level of automation in pet care processes. The practical significance of this development lies in the creation of a scalable and flexible solution for integration into modern smart home systems, enabling the maintenance of comfortable and safe conditions for animals regardless of changes in the external environment.

**Keywords:** IoT, cyber-physical system, Raspberry Pi, pets, climate control, automation, energy efficiency, sensor systems, smart home, adaptive control.

**Вступ.** У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій Інтернету речей (IoT) та кіберфізичних систем особливої актуальності набуває створення інтелектуальних рішень для автоматизації побутового середовища. Одним із перспективних напрямів є розробка адаптивних систем домашнього клімат-контролю, здатних забезпечувати комфортні та безпечні умови не лише для людини, а й для домашніх тварин. Зокрема, коти є чутливими до змін температури, вологості, якості повітря та рівня освітлення, що безпосередньо впливає на їхній фізіологічний стан, поведінку та загальне самопочуття. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні спеціалізованих автоматизованих систем, які можуть у режимі реального часу аналізувати параметри мікроклімату та адаптивно керувати відповідними виконавчими пристроями.

Сучасні дослідження у сфері кіберфізичних систем та Інтернету речей (IoT) демонструють активний розвиток інтелектуальних платформ автоматизованого моніторингу та керування мікрокліматом у системах «розумного» дому. У роботах українських науковців розглядаються питання інтеграції IoT-пристроїв, платформ Raspberry Pi, сенсорних мереж та систем автоматизації для побутових і промислових застосувань [1–3]. Зарубіжні дослідження присвячені побудові адаптивних систем керування, використанню бездротових технологій, хмарних сервісів та енергоефективних алгоритмів у smart home-середовищі [4–6].

Аналіз літературних джерел показує, що питання спеціалізованих IoT-систем клімат-контролю для домашніх тварин залишаються недостатньо дослідженими, що підтверджує актуальність даної роботи. Кіберфізичні IoT-системи домашнього клімат-контролю поєднують

програмні та апаратні компоненти, сенсорні мережі, хмарні сервіси, засоби обробки даних і алгоритми автоматичного керування. Їх використання дозволяє реалізувати енергоефективний підхід до підтримки оптимального мікроклімату шляхом динамічного регулювання роботи систем опалення, вентиляції, кондиціонування та зволоження повітря залежно від поточного стану середовища та поведінкових характеристик тварини. Особливого значення набувають програмні технології розробки таких систем, оскільки саме програмне забезпечення забезпечує інтеграцію пристроїв, аналіз сенсорних даних, прийняття рішень та віддалений моніторинг.

Метою даної статті є дослідження та аналіз програмних технологій розробки кіберфізичної IoT-системи енергоефективного адаптивного автоматизованого домашнього клімат-контролю для котів, а також визначення архітектурних підходів, методів взаємодії компонентів системи та засобів забезпечення адаптивності й енергоефективності функціонування.

У процесі розробки кіберфізичної IoT-системи домашнього клімат-контролю особлива увага приділяється створенню інтелектуального програмно-апаратного комплексу, здатного автоматично підтримувати комфортні та безпечні умови перебування домашніх тварин у приміщенні. Основною ідеєю системи є забезпечення стабільного мікроклімату шляхом безперервного моніторингу параметрів навколишнього середовища та адаптивного керування кліматичним обладнанням відповідно до поточних умов і поведінкових особливостей тварини. Запропонована система базується на використанні мікрокомп'ютера Raspberry Pi як центрального вузла обробки даних та координації роботи виконавчих пристроїв. Такий підхід забезпечує гнучкість конфігурації, масштабованість та можливість інтеграції із сучасними IoT-платформами.

**Архітектура та принцип функціонування кіберфізичної IoT-системи домашнього клімат-контролю.** До складу системи входять сенсорні модулі контролю температури, вологості, якості повітря та освітленості, дані з яких у режимі реального часу аналізуються програмним забезпеченням для формування керуючих впливів. Програмна складова системи реалізує механізми автоматизованого прийняття рішень щодо регулювання роботи нагрівальних елементів, вентиляції, систем зволоження та охолодження повітря. Для підвищення енергоефективності використовуються алгоритми адаптивного керування, які дозволяють мінімізувати енергоспоживання без погіршення умов утримання тварин.

Крім того, система підтримує можливість дистанційного моніторингу та керування через вебінтерфейс або мобільний застосунок, що значно підвищує зручність експлуатації та оперативність реагування на зміни параметрів середовища. Важливим аспектом дослідження є інтеграція технологій Інтернету речей, хмарних сервісів та інтелектуального аналізу даних для формування адаптивної поведінки системи. Використання методів прогнозування та елементів машинного навчання дозволяє враховувати закономірності зміни температурного режиму, активність тварин та зовнішні кліматичні фактори, що сприяє більш точному налаштуванню параметрів мікроклімату. Практична цінність запропонованого підходу полягає у підвищенні рівня автоматизації процесів догляду за домашніми тваринами, зменшенні впливу людського фактору та забезпеченні стабільних і безпечних умов утримання. Реалізація таких систем створює передумови для розвитку сучасних інтелектуальних рішень у сфері «розумного» дому та автоматизованого контролю мікроклімату для домашніх тварин. Запропонована кіберфізична система (Рис.1) домашнього клімат-контролю для тварин реалізована на основі концепції Інтернету речей (IoT) та орієнтована на забезпечення стабільних, безпечних і енергоефективних умов утримання домашніх тварин у приміщенні.

Основою системи є інтеграція сенсорних модулів, центрального обчислювального вузла, виконавчих пристроїв та засобів віддаленого моніторингу в єдину автоматизовану структуру керування мікрокліматом.

Центральним елементом системи виступає мікрокомп'ютер Raspberry Pi, який виконує функції збору, аналізу та обробки інформації, а також формування керуючих сигналів для виконавчих модулів.

Використання даної платформи забезпечує достатню обчислювальну потужність, підтримку мережових технологій та можливість інтеграції з великою кількістю периферійних пристроїв і сенсорів. Крім того, відкрита архітектура програмного забезпечення дозволяє реалізовувати адаптивні алгоритми керування та масштабувати систему відповідно до потреб користувача.



Рис. 1. Схема роботи

Функціональна структура системи складається з декількох основних рівнів: сенсорного блоку, блоку обробки та логіки, виконавчого рівня, модуля зв'язку та підсистеми віддаленого моніторингу. На сенсорному рівні використовуються датчики температури, вологості, якості повітря, освітленості та активності тварини. Отримані показники характеризують поточний стан мікроклімату в приміщенні та дозволяють системі реагувати на зміну умов утримання у реальному часі. Наприклад, перевищення допустимого рівня температури активує систему вентиляції або охолодження, тоді як при зниженні температури автоматично вмикається нагрівальний елемент.

#### Функціональна схема блоку логіки роботи системи та управління на базі Raspberry Pi.

Функціональна структура системи побудована за принципом взаємодії сенсорного, обчислювального та виконавчого рівнів, що забезпечує автоматизований моніторинг параметрів мікроклімату та адаптивне керування кліматичним обладнанням. Центральним елементом системи є мікрокомп'ютер Raspberry Pi, який виконує обробку даних, аналіз стану середовища та формування керуючих сигналів.

До вхідного рівня системи належать сенсорні модулі контролю температури, вологості, рівня освітленості та якості повітря. Отримані дані передаються до центрального контролера, де здійснюється їх фільтрація, порівняння з допустимими пороговими значеннями та аналіз поточного стану мікроклімату. На основі закладених алгоритмів система визначає необхідність активації або деактивації відповідних виконавчих пристроїв.

Логічний блок керування реалізує адаптивний алгоритм роботи, який враховує часові параметри, зміни зовнішнього середовища та індивідуальні умови утримання домашніх тварин. У разі зниження температури нижче встановленого рівня система автоматично активує нагрівальні елементи, а при перевищенні допустимих показників — вентиляцію або охолодження. Додатково передбачено режим енергозбереження, у якому інтенсивність роботи обладнання оптимізується залежно від поточного навантаження та кліматичних умов.

Виконавчий рівень системи включає модулі реле, нагрівальні елементи, вентилятори, зволожувачі та інші пристрої регулювання мікроклімату. Передача команд між центральним контролером і виконавчими компонентами здійснюється через GPIO-інтерфейси та бездротові IoT-протоколи зв'язку.

Для забезпечення віддаленого моніторингу та керування система підтримує інтеграцію з вебінтерфейсом або мобільним застосунком. Це дозволяє користувачу отримувати актуальну інформацію про параметри середовища, змінювати налаштування роботи системи та отримувати сповіщення про критичні відхилення мікроклімату в режимі реального часу.

Узагальнена функціональна схема роботи системи включає такі основні компоненти:

- блок сенсорного моніторингу;
- блок збору та обробки даних;
- блок логіки прийняття рішень;
- блок керування виконавчими пристроями;
- модуль віддаленого доступу та IoT-комунікації;
- систему енергоефективного адаптивного регулювання мікроклімату.

Передача даних від сенсорів до центрального контролера здійснюється через інтерфейси GPIO, I2C та 1-Wire. На етапі первинної обробки програмне забезпечення виконує фільтрацію та усереднення отриманих значень з метою усунення шумів та підвищення достовірності вимірювань. Після цього дані надходять до логічного модуля аналізу, де відбувається порівняння поточних параметрів із заданими пороговими значеннями та визначення оптимального режиму роботи системи.

Блок логіки керування реалізує алгоритми автоматичного прийняття рішень щодо зміни параметрів мікроклімату. Система підтримує декілька режимів функціонування: автоматичний, ручний, енергозберігаючий та режим роботи за розкладом. В автоматичному режимі програмне забезпечення самостійно аналізує умови середовища та формує команди для виконавчих пристроїв без втручання користувача. Ручний режим дозволяє оператору змінювати параметри через вебінтерфейс або мобільний застосунок. Енергозберігаючий режим оптимізує інтенсивність роботи обладнання з метою зниження споживання електроенергії.

Важливою складовою системи є використання адаптивних алгоритмів керування, які враховують не лише поточні показники мікроклімату, але й часові характеристики, активність тварини та попередню історію змін параметрів середовища. Завдяки цьому система здатна прогнозувати температурні коливання та завчасно реагувати на можливі зміни умов утримання. Такий підхід підвищує стабільність роботи системи та сприяє покращенню комфорту домашніх тварин. Виконавчий рівень системи включає нагрівальні елементи, вентиляційні модулі, системи охолодження, зволожувачі повітря та освітлення. Керування цими пристроями здійснюється через релейні модулі та програмно-керовані інтерфейси. Для інформування користувача про аварійні або критичні стани можуть використовуватись звукові та світлові сигнальні пристрої.

Комунікаційна підсистема забезпечує інтеграцію системи з локальною мережею та хмарними сервісами. Для передачі даних використовуються бездротові технології Wi-Fi, Ethernet та Bluetooth, а також протоколи MQTT, HTTP/HTTPS і WebSocket. Це дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг параметрів мікроклімату, отримання сповіщень та зміну налаштувань системи в режимі реального часу незалежно від місця перебування користувача. Додатково система підтримує функції локального зберігання даних на microSD-карті та ведення журналу подій. Зберігання статистики дозволяє аналізувати ефективність роботи обладнання, оцінювати рівень енергоспоживання та проводити оптимізацію алгоритмів керування. Передбачено також модулі самодіагностики та перевірки працездатності сенсорів і виконавчих пристроїв, що підвищує надійність функціонування системи. Таким чином, запропонована архітектура кіберфізичної IoT-системи забезпечує комплексний підхід до автоматизованого керування мікрокліматом для домашніх тварин. Інтеграція сучасних програмних технологій, сенсорних систем та адаптивних алгоритмів керування дозволяє створити енергоефективне та масштабоване рішення для підтримки комфортних і безпечних умов утримання тварин у середовищі «розумного» дому.

Проаналізуємо основні блоки.

### 1. Сенсорний блок збору даних мікроклімату

Сенсорний рівень системи (Рис.2) призначений для безперервного моніторингу параметрів навколишнього середовища та формування вхідних даних для центрального контролера.



Рис. 2 Сенсорний блок збору даних мікроклімату

До складу сенсорного блоку входять датчики температури, вологості, якості повітря, освітленості, а також модуль контролю активності тварини та годинник реального часу. Датчики температури та вологості типу DHT22 або BME280 забезпечують контроль основних параметрів мікроклімату. Отримані показники дозволяють підтримувати комфортний температурний режим і необхідний рівень вологості для домашніх тварин. Датчик якості повітря MH-Z19B використовується для визначення концентрації CO<sub>2</sub> та контролю вентиляції приміщення. Датчик освітленості BH1750 дозволяє автоматизувати роботу освітлення залежно від рівня природного світла та часу доби.

Окремим елементом системи є PIR-сенсор активності тварини, який використовується для визначення присутності або руху тварини у приміщенні. На основі цих даних система може переходити в режим енергозбереження або змінювати інтенсивність роботи кліматичного обладнання.

## 2. Центральний контролер та блок логіки на базі Raspberry Pi

Центральним елементом системи є Raspberry Pi, який виконує функції обробки інформації, аналізу параметрів мікроклімату та формування керуючих команд. Контролер приймає дані від усіх сенсорних модулів через GPIO, I2C та інші інтерфейси, після чого здійснюється їх програмна обробка (Рис.3). У структурі програмного забезпечення виділено декілька основних функціональних рівнів: збір даних, аналіз інформації, адаптивне керування, режим енергозбереження та локальне зберігання даних. Алгоритми системи порівнюють поточні параметри середовища із заданими пороговими значеннями та визначають необхідність активації відповідних виконавчих пристроїв. Для підвищення ефективності роботи реалізовано адаптивний принцип керування, який враховує попередні зміни температури, рівень активності тварини та часові параметри. Завдяки цьому система здатна не лише реагувати на зміну умов, а й прогнозувати можливі відхилення мікроклімату.

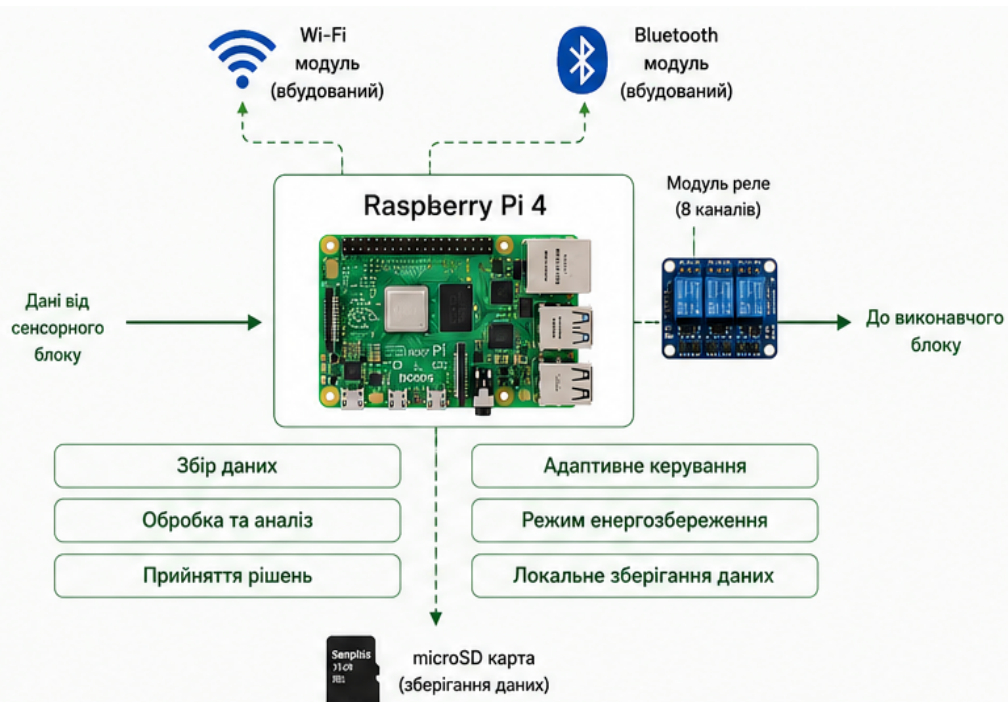


Рис. 3 Центральний контролер та блок логіки

## 3. Виконавчий блок керування мікрокліматом

Виконавчий рівень системи (Рис.4) відповідає за фізичне регулювання параметрів середовища відповідно до команд центрального контролера. До складу виконавчого блоку входять нагрівальні елементи, система вентиляції, модулі охолодження, зволожувачі повітря та освітлення. Керування навантаженням здійснюється через багатоканальний релейний модуль, який забезпечує комутацію виконавчих пристроїв залежно від поточних умов мікроклімату. Наприклад, при зниженні температури автоматично активується нагрівальний елемент, а при перевищенні допустимого рівня температури — система вентиляції або охолодження.

Додатково система підтримує звукову та світлову сигналізацію для повідомлення користувача про аварійні ситуації, критичні зміни параметрів або несправності обладнання.



Рис. 4 Виконавчий блок керування

#### 4. Підсистема комунікації та бездротового зв'язку

Для забезпечення інтеграції з мережею Інтернет та реалізації віддаленого доступу система використовує вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth. Передача даних між компонентами виконується за допомогою сучасних IoT-протоколів, що забезпечують стабільний зв'язок та оперативний обмін інформацією. Підключення до мережі дозволяє організувати синхронізацію з хмарними сервісами, віддалене налаштування параметрів системи та отримання сповіщень у режимі реального часу. Бездротові технології також спрощують інтеграцію системи у середовище «розумного» дому.

#### 5. Підсистема віддаленого моніторингу та керування

Важливою складовою IoT-системи є модуль дистанційного моніторингу, який забезпечує контроль роботи обладнання через вебінтерфейс або мобільний застосунок. Користувач має можливість переглядати поточні показники температури, вологості та інших параметрів мікроклімату, змінювати режими роботи системи та отримувати повідомлення про критичні події.

Для підвищення надійності роботи передбачено використання хмарного сервісу та локального зберігання інформації на microSD-карті. Це дозволяє вести журнал подій, накопичувати статистику змін параметрів середовища та виконувати аналіз ефективності роботи системи.

#### 6. Система живлення та забезпечення автономності

Живлення компонентів системи здійснюється через стабілізований блок живлення 5V DC, який забезпечує безперебійну роботу центрального контролера, сенсорних модулів та комунікаційних пристроїв. Використання енергоефективних алгоритмів дозволяє оптимізувати навантаження на систему та зменшити споживання електроенергії.

Реалізація автономного принципу функціонування забезпечує підтримання необхідного мікроклімату навіть при мінімальному втручанні користувача, що є особливо важливим для тривалого утримання домашніх тварин у приміщенні.

#### Практичне значення розробки та можливі сфери застосування

Практичне значення розробленої кіберфізичної IoT-системи полягає у створенні гнучкого та масштабованого рішення для автоматизованого контролю мікроклімату в середовищі утримання домашніх тварин. Система забезпечує підтримку комфортних і безпечних умов шляхом моніторингу температури, вологості, якості повітря та автоматичного керування кліматичним обладнанням у режимі реального часу.

Використання Raspberry Pi дозволяє легко інтегрувати додаткові сенсори, модулі зв'язку та елементи інтелектуального аналізу даних. Реалізовані алгоритми енергозбереження знижують споживання електроенергії завдяки адаптивному регулюванню роботи нагріву, вентиляції та охолодження.

Система підтримує дистанційний моніторинг через вебінтерфейс або мобільний застосунок, а також функцію сповіщень про критичні зміни параметрів середовища.

Розробка може застосовуватись у системах «розумного» дому; у ветеринарних клініках та зооготелях; у розплідниках і лабораторіях; у приватних домогосподарствах для автоматизованого догляду за тваринами.

#### Висновки і перспективи подальших досліджень

У роботі розроблено концепцію кіберфізичної IoT-системи адаптивного домашнього клімат-контролю для забезпечення безпечних умов утримання домашніх тварин. Система на базі Raspberry Pi об'єднує сенсорні модулі, програмні алгоритми обробки даних, виконавчі пристрої та засоби віддаленого керування.

Запропоноване рішення забезпечує автоматичний контроль параметрів мікроклімату, підтримує енергоефективне керування та зменшує вплив людського фактору. Інтеграція IoT-технологій дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг і створює основу для впровадження системи у середовище «розумного» дому.

Подальший розвиток системи пов'язаний із впровадженням методів штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу поведінки тварин і прогнозування змін мікроклімату.

Перспективними напрямками є інтеграція комп'ютерного зору; використання біометричних сенсорів; оптимізація алгоритмів енергозбереження; розширення інтеграції з IoT-системами «розумного» дому; створення хмарних сервісів моніторингу та аналітики. Розвиток таких систем сприятиме підвищенню рівня автоматизації, безпеки та комфорту утримання домашніх тварин.

#### Список бібліографічного опису

1. Alexandra Schieweck, Erik Uhde, Tunga Salthammer, Lea C. Salthammer, Lidia Morawska, Mandana Mazaheri, Prashant Kumar, Smart homes and the control of indoor air quality, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 94, 2018, Pages 705-718, ISSN 1364-0321.
2. Бешлей М., Шкоропад Ю., Бешлей Г. Розробка кіберфізичної системи для автоматизації та керування інтернетом речей з використанням платформи Home Assistant // *ICTEE*. – 2024.
3. Гнатів А. Р. Інформаційна система моніторингу метеопараметрів з використанням концепції Інтернету речей (IoT). – 2023.
4. Wang Y.-S., Lin C.-C. The application of thermal comfort control based on Smart House System of IoT // *Measurement*. – 2020. – Vol. 149. – 106997.
5. Quesada J., García L., Guerrero L. IoFClima: The fuzzy logic and the Internet of Things to control indoor temperature regarding the outdoor ambient conditions // *Future Generation Computer Systems*. – 2017. – Vol. 76. – P. 275–284.
6. D'Orazio M., Di Perna C., Maggioletto G. A fuzzy-logic IoT lighting and shading control system for smart buildings // *Automation in Construction*. – 2020. – Vol. 120. – 103397.

#### References

1. A fuzzy-logic IoT lighting and shading control system for smart buildings / G. Chiesa et al. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 120. P. 103397. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103397> (date of access: 17.05.2026).
2. Beshley M., Shkoropad Y., Beshley H. DEVELOPMENT OF A CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR AUTOMATION AND CONTROL OF THE INTERNET OF THINGS USING THE HOME ASSISTANT PLATFORM. *Information and communication technologies, electronic engineering*. 2024. Vol. 4, no. 1. P. 20–30. URL: <https://doi.org/10.23939/ict2024.01.020> (date of access: 17.05.2026).
3. IoFClima: The fuzzy logic and the Internet of Things to control indoor temperature regarding the outdoor ambient conditions / D. Meana-Llorián et al. *Future Generation Computer Systems*. 2017. Vol. 76. P. 275–284. URL: <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.11.020> (date of access: 17.05.2026).
4. Smart homes and the control of indoor air quality / A. Schieweck et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 94. P. 705–718. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.057> (date of access: 17.05.2026).
5. Sung W.-T., Hsiao S.-J. The application of thermal comfort control based on Smart House System of IoT. *Measurement*. 2020. Vol. 149. P. 106997. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106997> (date of access: 17.05.2026).

Історія статті:

Отримано: 21.05.2026 Доопрацьовано: 21.05.2026 Прийнято до друку: 23.05.2026 Опубліковано: 29.05.2026