

Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СМАРТ-СИСТЕМИ  
ОБІГРІВУ ДОМАШНІХ ТВАРИН В ХОЛОДНУ ПОРУ РОКУ У  
ДОМАШНЬОМУ ГОСПОДАРСТВІ

RESEARCH AND DESIGN OF SMART HEATING SYSTEM FOR  
PETS DURING COLD SEASON IN HOUSEHOLD

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи КІМ-21

Бондарчук Владислав Григорович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Багнюк Наталія Володимирівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«\_\_\_» грудня 2025 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Гринюк Сергій Васильович

(підпис)

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Т.ТЕРЛЕЦЬКИЙ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Бондарчуку Владиславу Григоровичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Дослідження та проектування смарт-системи обігріву домашніх тварин в холодну пору року у домашньому господарстві*

Керівник роботи *к.т.н., доцент Багнюк Наталія Володимирівна.*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «25» листопада 2025 року № 913/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи *09.12.2025р.*

3. Вихідні дані до роботи *Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області, різні інтернет-ресурси технічного спрямування*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

*Вступ.*

*Теоретичні основи створення смарт-системи обігріву домашніх тварин*

*Технічне обґрунтування та архітектура системи*

*Розробка автономної системи обігріву тварин на базі Raspberry PI*

*Висновки.*

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теоретичні основи створення смарт-системи обігріву домашніх тварин</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Технічне обґрунтування та архітектура системи</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Розробка автономної системи обігріву тварин на базі Raspberry PI</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		____%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст.викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 18.06.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>	До 29.11.2025 р.	
2.	<i>Теоретичні основи створення смарт-системи обігріву домашніх тварин</i>	До 29.11.2025 р.	
3.	<i>Технічне обґрунтування та архітектура системи</i>	До 29.11.2025 р.	
4.	<i>Розробка автономної системи обігріву тварин на базі Raspberry PI</i>	До 29.11.2025 р.	
5.	<i>Висновки та пропозиції</i>	До 29.11.2025 р.	
6.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	До 29.11.2025 р.	
7.	<i>Формування додатків</i>	До 29.11.2025 р.	
8.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	До 29.11.2025 р.	
9.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	До 29.11.2025 р.	
10.	<i>Нормоконтроль</i>	До 29.11.2025 р.	
11.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	До 02.12.2025 р.	
12.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедру</i>	До 09.12.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис) Бондарчук В. Г. (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис) Багнюк Н. В (прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Бондарчук В. Г. Дослідження та проектування смарт-системи обігріву домашніх тварин в холодну пору року у домашньому господарстві.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню, проектуванню та розробці смарт-системи обігріву домашніх тварин у холодну пору року на основі технологій інтернету речей та модулів автоматизованого керування мікрокліматом.

У роботі проведено аналіз предметної області, історичного розвитку технологій обігріву, сучасних технічних рішень та тенденцій використання смарт-систем для підтримання мікроклімату. Обґрунтовано вибір апаратної платформи Raspberry Pi і мікроконтролерів NodeMCU, визначено їх переваги, функціональні можливості та доцільність використання у процесі керування параметрами обігріву.

Спроектовано та реалізовано автономну систему обігріву з можливістю моніторингу температурних параметрів, віддаленого керування та автоматизації процесів за допомогою Node-RED. Розроблено структурні та функціональні схеми роботи системи, здійснено тестування та проведено експериментальний аналіз ефективності запропонованого рішення.

Результати дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем керування мікрокліматом, створення автономних установок для утримання тварин, а також впровадження інтелектуальних IoT-рішень у побутових умовах.

Ключові слова: смарт-система, інтернет речей, автоматизований обігрів, Raspberry Pi; мікроклімат тварин.

## ANNOTATION

Bondarchuk V. Research and design of a smart heating system for pets in the cold season in the household.

Master's degree thesis "Computer Engineering" specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The qualification work is devoted to the research, design and development of a smart heating system for pets in the cold season based on Internet of Things technologies and automated microclimate control modules.

The work analyzes the subject area, historical development of heating technologies, modern technical solutions and trends in the use of smart systems for maintaining the microclimate. The choice of the Raspberry Pi hardware platform and NodeMCU microcontrollers is justified, their advantages, functionality and feasibility of use in the process of controlling heating parameters are determined.

An autonomous heating system with the ability to monitor temperature parameters, remote control and process automation using Node-RED has been designed and implemented. Structural and functional diagrams of the system have been developed, testing has been carried out and an experimental analysis of the effectiveness of the proposed solution has been conducted.

The results of the study can be used to further improve microclimate control systems, create autonomous installations for keeping animals, as well as implement intelligent IoT solutions in domestic conditions.

Keywords: smart system, Internet of Things, automated heating, Raspberry Pi; animal microclimate.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СМАРТ-СИСТЕМИ ОБІГРІВУ ДОМАШНІХ ТВАРИН.....	10
1.1 Аналіз предметної області та актуальність проблеми .....	10
1.2 Історичний розвиток технологій обігріву тварин та актуальність застосування смарт-систем обігріву .....	15
1.3 Сучасні технології, тенденції та порівняльний аналіз існуючих рішень	17
1.4 Технологічні рішення підтримання комфортного теплового режиму домашніх тварин у холодну пору року .....	19
РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ	22
2.1 Ціль створення проєкту .....	22
2.2 Оптимальний вибір і переваги технології на базі Raspberry Pi.....	23
2.3 Апаратно-програмні особливості та переваги платформи NodeMCU	27
2.4 Архітектура системи контролю підігріву та регулювання параметрів	29
2.5 Програмні технології автоматизованого керування мікрокліматом для тварин на базі Raspberry Pi.....	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ОБІГРІВУ ТВАРИН НА БАЗІ RASPBERRY PI .....	33
3.1 Концепція та принципи розробки установки.....	33
3.2 Функціональні вимоги установки .....	34
3.3 Вибір технічних засобів та виконавчих механізмів .....	38
3.4 Опис установки та блок-схема системи автоматизованої смарт-системи обігріву домашніх тварин.....	40
3.5 Структурна схема апаратної архітектури автоматизованої смарт-системи.....	42
3.6 Обґрунтування вибору мікроконтролера .....	43
3.7 Структурно-електрична схема керування та реалізація функціоналу	46

3.8 Обґрунтування вибору середовища програмування та застосування технології Node-RED .....	48
3.9 Конструювання установки та розробка програмної частини .....	50
3.10 Блок-схема алгоритму роботи системи .....	57
3.11 Реалізація тестування та рекомендації впровадження .....	59
3.12 Експериментальний аналіз .....	61
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	70

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку технологій інтернету речей (Internet of Things, IoT) значно розширюються можливості автоматизації різних сфер господарської діяльності. Особливе значення такі технології набувають у приватних домогосподарствах, де виникає потреба забезпечення належних умов утримання домашніх тварин у холодну пору року. Використання систем моніторингу температури та інтелектуального керування обігрівом дозволяє не лише підвищити рівень комфорту та безпеки тварин, а й оптимізувати споживання енергетичних ресурсів.

Разом із тим, більшість наявних рішень використовують ручне керування або стандартні схеми регуляції без урахування індивідуальних умов середовища та змін зовнішніх факторів. Це ускладнює автоматизацію процесів обігріву та не гарантує стабільної підтримки температурних параметрів у довготривалому режимі. Тому актуальним є створення смарт-системи, здатної в автоматичному режимі контролювати параметри мікроклімату та керувати обігрівальним обладнанням відповідно до встановлених режимів.

Актуальність теми. Актуальність дослідження полягає у необхідності підвищення ефективності, надійності та автономності процесів утримання тварин за рахунок впровадження інтелектуальних систем обігріву, що базуються на технологіях IoT та автоматизованого моніторингу середовища. Реалізація таких рішень дозволяє забезпечити стабільний мікроклімат навіть за відсутності користувача, а також зменшити енерговитрати.

Метою роботи є дослідження, проектування та реалізація смарт-системи обігріву домашніх тварин у приватному господарстві з використанням інтернету речей та датчиків моніторингу температури.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення оптимальних температурних параметрів утримання домашніх тварин у приватному господарстві.

Предмет дослідження – смарт-система обігріву домашніх тварин, яка включає датчики, виконавчі пристрої та модуль автоматизованого керування.

Завдання дослідження:

- проаналізувати існуючі системи обігріву та способи моніторингу мікроклімату у приміщеннях для утримання тварин;
- обґрунтувати вибір апаратної та програмної частини системи;
- спроектувати та реалізувати смарт-систему обігріву;
- провести експериментальні дослідження та здійснити оцінку отриманих результатів.

Наукова новизна дослідження полягає у розробленні та реалізації смарт-системи автоматизованого обігріву тварин із застосуванням технологій інтернету речей та інтелектуальних алгоритмів керування, що забезпечують динамічне регулювання температури відповідно до змін умов довкілля. На відміну від традиційних терморегуляторів, запропонований підхід передбачає комплексну інтеграцію вимірювальних сенсорів, програмного контролера та виконавчих пристроїв у єдину керовану систему.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування запропонованої системи у приватних домогосподарствах для забезпечення необхідних умов утримання різних видів домашніх тварин у холодний період року. Використання автоматизованого керування дозволяє зменшити витрати енергоресурсів, підвищити надійність обігріву та мінімізувати вплив людського фактора. Розроблену систему може бути адаптовано під різні типи приміщень і обладнання.

Методи дослідження. У роботі застосовувалися аналітичні методи для вивчення наявних технічних рішень, методи моделювання та математичного аналізу процесів теплової взаємодії, а також експериментальні методи для перевірки працездатності й ефективності запропонованої системи в реальних умовах експлуатації.

Апробація результатів. Результати роботи представлені на Міжнародній науково-практичній конференції «Наука, освіта і суспільство в умовах змін: виклики та інновації», яка проводилася 10 жовтня 2025 р., м. Кременчук [1].

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СМАРТ-СИСТЕМИ ОБІГРІВУ ДОМАШНІХ ТВАРИН

### 1.1 Аналіз предметної області та актуальність проблеми

У сучасних умовах розвитку кіберфізичних систем і технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT) питання підтримання оптимальних параметрів мікроклімату для утримання тварин набуває особливої актуальності. Численні дослідження у сфері «smart livestock» та точного тваринництва свідчать, що температурний режим є одним з ключових факторів, які визначають рівень добробуту тварини, стан її здоров'я та стійкість до стресових впливів довкілля.

Для невеликих домашніх господарств і приватних домогосподарств, де утримуються домашні тварини (собаки, коти, дрібні ссавці та птахи), проблема стабільного обігріву у холодний період року є не менш суттєвою, ніж для промислових ферм, але часто вирішується за допомогою примітивних або малоефективних засобів.

У публікаціях, присвячених мікроклімату тваринницьких приміщень [2] наголошується, що комфортний тепловий стан визначається сукупним впливом температури, відносної вологості, швидкості руху повітря та теплового випромінювання [3]. Порушення балансу цих параметрів призводить до перегрівання або переохолодження, зміни гормонального та імунного статусу, зниження активності, появи респіраторних захворювань. Огляд сучасних методів оцінювання теплового комфорту у тваринницьких будівлях показує, що для надійного контролю середовища необхідні багатоканальні сенсорні системи, здатні одночасно вимірювати кілька параметрів і передавати дані до аналітичного модуля в реальному часі [4].

Окремий напрям становлять IoT-рішення для моніторингу умов утримання тварин: багатосенсорні платформи, що відстежують температуру, вологість, концентрацію газів та пилу у приміщеннях [5]. Такі системи, побудовані на базі дешевих сенсорів і мікроконтролерів, довели ефективність

як інструмент підтримання добробуту тварин та зниження енергетичних витрат на вентиляцію й обігрів.

Для домашніх тварин, що утримуються в житлових приміщеннях або в окремих ізольованих зонах [6-8] (будки, вольєри, утеплені будиночки, міні-вольєри на балконах тощо), традиційним рішенням здебільшого є некеровані нагрівальні прилади (електрообігрівачі, грілки, інфрачервоні лампи), які працюють у режимі «ввімкнено чи вимкнено» без урахування поточного стану тварини та змін зовнішніх умов. Це створює ризики локального перегріву, нераціонального енергоспоживання та відсутності адаптації до добових та сезонних змін температури. На відміну від цього, смарт-системи обігріву орієнтуються на безперервний збір даних, прогнозування температурних трендів та активне керування тепловою потужністю.

Важливою тенденцією є використання мікрокомп'ютерних платформ, зокрема Raspberry Pi та аналогічних одноплатних комп'ютерів, як «ядра» кіберфізичної системи обігріву [9]. Такі платформи поєднують в собі достатню обчислювальну потужність, гнучкість у підключенні сенсорних модулів, підтримку мережевих інтерфейсів та можливість розгортання локальних програмних сервісів для аналізу даних, візуалізації та взаємодії з користувачем. Це дозволяє реалізувати архітектуру «edge-computing», за якої обробка даних та прийняття рішень відбуваються безпосередньо на пристрої, що підвищує автономність, стійкість до збоїв мережі та швидкість реакції системи.

Узагальнену архітектуру смарт-системи обігріву домашніх тварин на базі одноплатного комп'ютера можна представити у вигляді трирівневої структури, що включає сенсорний рівень, рівень обробки та прийняття рішень і рівень виконавчих пристроїв (рис. 1.1). На сенсорному рівні формуються потоки даних про температуру, вологість, стан поверхні підстилки, іноді – про поведінкову активність тварини. На рівні обробки відбувається фільтрація завадів, об'єднання каналів (data fusion), формування індикаторів теплового комфорту та прогноз параметрів середовища. На рівні виконавчих пристроїв

реалізується керування нагрівачами, вентиляторами, жалюзі чи клапанами, а також генерується інформація для користувача у вигляді повідомлень або візуалізацій.

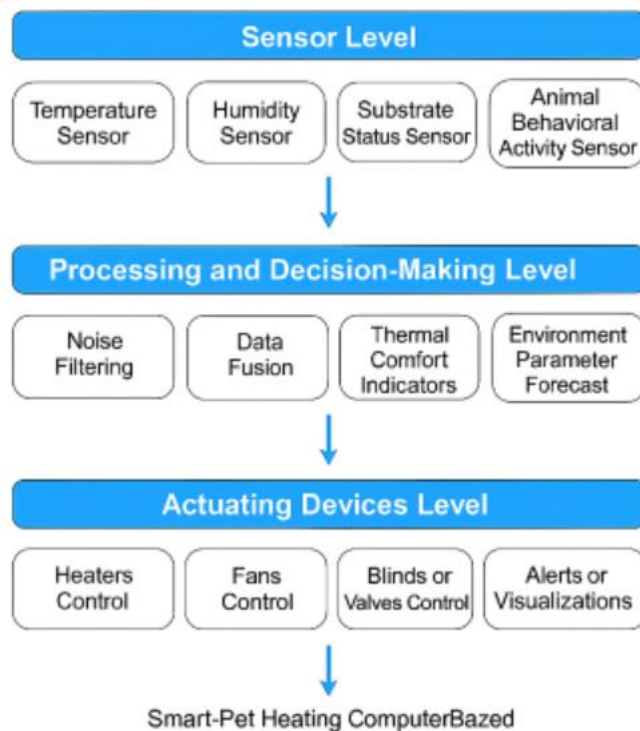


Рисунок 1.1 – Архітектуру смарт-системи обігріву домашніх тварин на базі одноплатного комп'ютера

Таким чином, предметна область передбачає інтеграцію технологій сенсорики, енергоефективного обігріву, мережевих протоколів і інтелектуальних алгоритмів керування у єдину кіберфізичну платформу, орієнтовану на забезпечення стабільного теплового комфорту домашніх тварин у змінних умовах зовнішнього середовища.

На даний час домашні тварини дедалі більше сприймаються як члени родини, що потребують належного догляду, комфорту та безпеки. Одним із ключових аспектів є забезпечення теплового комфорту в холодну пору року, особливо для тварин, які утримуються у приватних господарствах, на відкритих територіях або у неопалюваних приміщеннях.

Переохолодження може спричинити стрес, зниження імунітету, порушення терморегуляції та навіть загрозу життю тварини. Особливо вразливими є м тварини, а також ті, що мають коротку шерсть або хронічні захворювання. Згідно за матеріалами PetMag [10], навіть породи з густою шерстю, такі як хаскі чи сенбернари, можуть страждати від переохолодження при тривалому перебуванні на морозі. Тому є потреба в облаштуванні приміщень з клімат-контролем по принципу розробок, зображених на рисунку 1.2 та 1.3.



Рисунок 1.2 – Собача будка для собак ASL Solutions Deluxe [10]



Рисунок 1.3 – Опалювальним будиночком для кошенят від K&H Pet Products [10]

Це зумовило активний розвиток ринку смарт-рішень для обігріву тварин, які поєднують функції підтримання температури, моніторингу мікроклімату, інтеграції з мобільними застосунками та персоналізації режимів роботи.

Сучасні технології дозволяють створювати системи, які не лише забезпечують комфорт, а й адаптуються до індивідуальних потреб тварини. Наприклад, система HomeRunPet Smart Heater (рис. 1.4) поєднує підігрів лежанки з фільтрацією повітря, що особливо важливо для тварин із чутливими дихальними шляхами [11].



Рисунок 1.4 – Система HomeRunPet Smart Heater [11]

В умовах урбанізації, коли тварини часто живуть у квартирах без постійного доступу до зовнішнього простору, контроль за мікрокліматом і поведінкою стає необхідним. Смарт-системи обігріву дозволяють власникам забезпечити належні умови навіть за їхньої фізичної відсутності, що особливо актуально у період подорожей, відряджень або нестабільного графіку.

Крім того, впровадження таких систем має соціальну значущість: вони сприяють відповідальному ставленню до утримання тварин, допомагають

запобігати нехтуванню їхніми потребами та знижують ризики травмування або загибелі.

Таким чином, актуальність дослідження та проектування смарт-системи обігріву домашніх тварин в холодну пору року зумовлена як технологічними можливостями, так і етичними вимогами сучасного суспільства.

## **1.2 Історичний розвиток технологій обігріву тварин та актуальність застосування смарт-систем обігріву**

Перші рішення для обігріву тварин були механічними – утеплені будки (рис. 1.5), солом'яні настили, інфрачервоні лампи. Проте вони не враховували індивідуальні потреби та не забезпечували стабільного контролю. Справжній прорив відбувся з появою смарт-нагрівальних елементів та сенсорних систем, які дозволяють регулювати температуру залежно від породи, віку та стану здоров'я тварини.

У 2025 році HeatedGear360 представив огляд «Dog House Heating Pad Solutions», де підкреслюється важливість використання терморегуляторів та датчиків руху для оптимізації енергоспоживання та безпеки [12].



Рисунок 1.5 – Приклад сучасної смарт-обігрівальної платформи для собак [12]

Актуальність розроблення смарт-системи обігріву домашніх тварин у холодну пору року визначається як технічними, так і соціально-економічними чинниками. З одного боку, у регіонах з тривалими періодами низьких

температур підтримання комфортного мікроклімату для тварин є необхідною умовою збереження їхнього здоров'я. З іншого боку, зростання тарифів на енергоресурси та потреба в раціональному їх використанні стимулюють пошук рішень, що забезпечують зниження енергоспоживання без погіршення умов утримання.

У дослідженнях, присвячених системам регулювання мікроклімату в органічному та енергоефективному тваринництві, показано, що застосування автоматизованих алгоритмів керування температурою та вентиляцією дозволяє досягнути помітного зменшення витрат енергії при одночасному покращенні показників комфорту. Дані аналізу температурних режимів у тваринницьких приміщеннях із застосуванням моделей прогнозування свідчать, що коректно налаштовані системи здатні згладжувати зовнішні температурні коливання і підтримувати внутрішню температуру в заданих межах навіть за значних змін погоди.

Для домашніх господарств додатковим аспектом актуальності є режим зайнятості власників. В умовах, коли власник часто відсутній вдома, контроль за роботою звичайних нагрівальних пристроїв практично неможливий. Це створює ризики як для тварини (перегрів або переохолодження), так і для безпеки житла (пожежонебезпечні ситуації). Інтелектуальні системи, інтегровані з мобільними застосунками, дозволяють контролювати стан мікроклімату дистанційно, отримувати сповіщення про відхилення від нормальних параметрів, змінювати режими обігріву та аналізувати історію роботи системи.

З позицій концепції «розумного дому» смарт-система обігріву домашніх тварин є логічним компонентом загальної інфраструктури, що забезпечує комфорт усіх мешканців, включно з тваринами. Вона може інтегруватися з системами опалення, вентиляції, відеоспостереження, датчиками відкривання дверей і вікон, що створює єдиний інформаційний простір для прийняття рішень. Водночас для домашніх господарств важливою вимогою є відносно низька вартість рішень, простота встановлення та обслуговування, а також

можливість адаптації під конкретні умови (розмір приміщення, вид тварини, теплотехнічні властивості огорожувальних конструкцій).

Отже, актуальність застосування смарт-систем обігріву полягає у необхідності забезпечення теплового комфорту домашніх тварин за умов ресурсних обмежень, підвищення вимог до безпеки та зростання ролі цифрових технологій у повсякденному житті.

### **1.3 Сучасні технології, тенденції та порівняльний аналіз існуючих рішень**

Сучасні системи обігріву для тварин включають:

- інтелектуальні нагрівальні панелі з можливістю дистанційного керування через Wi-Fi;
- інтеграцію з мобільними застосунками, що дозволяє власнику контролювати температуру та отримувати повідомлення про відхилення;
- сенсори вологості та якості повітря, які запобігають перегріванню та пересушуванню середовища;
- функції персоналізації, що враховують індивідуальні параметри тварини.

Наприклад, HomeRunPet у 2025 році презентував 2-в-1 систему обігріву та очищення повітря, яка поєднує підігрів лежанки з фільтрацією повітря, що особливо важливо для тварин із чутливими дихальними шляхами.

На ринку та в наукових розробках можна виділити декілька груп рішень, пов'язаних із підтриманням температури для тварин: пасивні засоби утеплення, традиційні побутові нагрівальні прилади, спеціалізовані «pet-products» з терморегуляцією та прототипи смарт-систем на базі IoT-платформ.

Пасивні засоби (утеплені будки, термоізоляційні матеріали, багатошарові підстилки) дозволяють зменшити теплові втрати, однак не забезпечують компенсації різких змін температури навколишнього середовища та не адаптуються до індивідуальних особливостей тварини. Традиційні побутові

нагрівачі (конвектори, масляні радіатори, ІЧ-лампи) здебільшого працюють у режимі постійної потужності або з примітивним механічним термостатом. Вони не мають інтегрованого вимірювання параметрів у зоні перебування тварини й не спрямовані на оптимізацію енергоспоживання.

Спеціалізовані комерційні рішення для тварин (обігріті лежачки, підлоги з підігрівом, термокилимки для ветеринарних цілей) зазвичай містять вбудований термодатчик і простий регулятор температури. Проте такі пристрої мають фіксовану архітектуру, обмежені можливості інтеграції у систему «розумного дому» та не передбачають розширення набору сенсорів (наприклад, додавання датчика вологості, освітленості, вібрації). Крім того, їхня вартість часто є достатньо високою у порівнянні з саморобними рішеннями на базі мікроконтролерів.

У наукових роботах останніх років активно розробляються низьковартісні IoT-системи для моніторингу мікроклімату в тваринницьких будівлях, де вимірюються температура, вологість, концентрація аміаку та інших газів, параметри повітряних потоків [3-6]. Деякі з цих систем інтегрують функції прогнозування температури на основі моделей машинного навчання, що дозволяє оптимізувати роботу нагрівальних і вентиляційних засобів [4]. Окремі рішення орієнтовані на притулки та невеликі господарства, де пропонується використання IoT-платформ для безперервного контролю параметрів середовища у клітках і вольєрах [8].

Певний інтерес становлять системи «smart pet house», у яких реалізовано моніторинг температури всередині будиночка для тварини з використанням вбудованих датчиків та мікроконтролера з можливістю відображення показників та керування нагрівом [8]. Однак такі рішення часто не враховують повною мірою поведінкові аспекти (переміщення тварини, вибір місця відпочинку), а також не застосовують адаптивні алгоритми, що базуються на історичних даних про мікроклімат.

Узагальнений висновок порівняльного аналізу свідчить, що наявні рішення частково закривають окремі функціональні завдання (обігрів,

моніторинг, базова автоматизація), але рідко поєднують у собі повний цикл: сенсорика – аналіз – прогноз – адаптивне керування – зручний користувацький інтерфейс – інтеграція з іншими системами «розумного дому». Саме така інтегрована постановка задачі визначає наукову новизну та практичну цінність розроблення смарт-системи обігріву домашніх тварин.

Дослідження показують, що найбільш поширеними є [11, 12]:

– Smart Heating Pads (HeatedGear360) – прості у використанні, але обмежені у функціоналі;

– Doghouse Heaters (PetMag) – забезпечують комплексний обігрів, проте потребують значних енергозатрат;

– інтегровані системи «розумного дому» – найбільш гнучкі, але дорогі та складні у налаштуванні.

Таким чином, актуальною задачею є розробка доступної, енергоефективної та персоналізованої системи обігріву, яка може бути реалізована на базі мікрокомп'ютерів Raspberry Pi чи Arduino, що забезпечують баланс між функціональністю та вартістю.

Висновки до розділу. Аналіз показує, що актуальність смарт-систем обігріву тварин зумовлена:

– соціальними чинниками (ставлення до тварин як до членів родини);

– технологічними можливостями (IoT, сенсорні системи, штучний інтелект);

– економічними аспектами (зростання ринку зоотоварів, доступність DIY-рішень).

Таким чином, розробка індивідуальної смарт-системи обігріву на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi є перспективним напрямом, що поєднує практичну користь, наукову новизну та соціальну значущість.

#### **1.4 Технологічні рішення підтримання комфортного теплового режиму домашніх тварин у холодну пору року**

Зимовий домашній мікроклімат одночасно стосується людей і тварин. Для котів і собак важливі не лише градуси, а й відсутність протягів, стабільність температури на рівні місця відпочинку, помірна вологість і безпечна вентиляція.

Домашні тварини мають власні термонеутральні діапазони, що відрізняються від людських. Для котів термонеутральні діапазони значно вищий, ніж для людей, тоді як для собак він нижчий, але теж зміщується з віком, породою та станом здоров'я.

Можна виділити такі технологічні модулі теплового комфорту тварин:

– до локальних джерел тепла з низькими ризиками відносяться підігрівальні мати або плити (12-24 В), що утворюють «теплу пляму» в місці відпочинку тварини й мінімізують потребу прогрівати весь об'єм кімнати. Для домашніх тварин така стратегія зменшує ризики опіків і шумове навантаження у порівнянні з ІЧ-лампами (які мають аналогічну логіку локального обігріву);

– інфрачервоні нагрівачі (рис. 1.6): панелі з помірною температурою поверхні забезпечують комфорт через випромінювання, зменшуючи конвекційні потоки (менше протягів) у «зонах відпочинку» тварин. При розміщенні важливо урахувати середню температуру огороджувальних конструкцій (вікна/стіни) [13].



Рисунок 1.6 – Інфрачервоне опалення [13]

– інтегрований контроль вологості й вентиляції. Узимку повітря часто пересушене. Цільовий діапазон 40-60 % RH підтримують зволожувачі з контролем якості води й режимами гігієнічної промивки;

– безпека: побутові теплові лампи та обігрівачі несуть ризики опіків і пожеж, тому слід надавати перевагу закритим, низькотемпературним рішенням із надійним кріпленням.

Активність, ігрова поведінка, тривалість сну і вибір місця у тварин змінюються з сезоном. Локальне тепло (мати, плити) більш ефективно за нагрів усього об'єму й безпечніше за відкриті лампи. У тваринництві підігрівальні мати дають довший «комфортний» час перебування у теплій зоні за меншого споживання електроенергії, ніж ІЧ-лампи. У домашньому контексті це прямо зменшує рахунок за електроенергію та ризики некомфортного утримання тварин.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ

#### 2.1 Ціль створення проєкту

Ціль розробки полягає у створенні автономної системи обігріву тварин на базі Raspberry Pi, яка забезпечує стабільний мікроклімат, енергоефективність та можливість віддаленого управління.

Розробка автономної системи обігріву тварин на базі Raspberry Pi має на меті інтеграцію сучасних технологій автоматизації у сферу агроінженерії та біотехнологій. Основним завданням є створення інтелектуального комплексу, що здатний підтримувати оптимальні температурні умови для утримання тварин незалежно від зовнішніх кліматичних факторів. Це особливо актуально для сільськогосподарських підприємств, лабораторій та дослідницьких центрів, де стабільність мікроклімату безпосередньо впливає на продуктивність та здоров'я тварин.

Використання мікрокомп'ютера Raspberry Pi дозволяє реалізувати багаторівневу систему моніторингу та управління, яка включає сенсорні модулі для вимірювання температури, вологості та інших параметрів середовища. На основі отриманих даних система здатна автоматично регулювати роботу нагрівальних елементів, забезпечуючи енергоефективність та зниження витрат на електроенергію. Крім того, застосування алгоритмів машинного навчання та можливість віддаленого доступу через інтернет відкривають перспективи для створення адаптивних систем, що враховують індивідуальні потреби різних видів тварин.

Цінність даних рішень у поєднанні технологій інтернету речей (IoT), сенсорних систем та інтелектуальних алгоритмів управління для вирішення прикладних завдань у тваринництві. Практичне значення розробки полягає у підвищенні рівня автоматизації аграрних процесів, зменшенні людського фактору та забезпеченні стабільних умов утримання тварин, що сприяє підвищенню їх продуктивності та збереженню здоров'я. Таким чином,

запропонована система може стати важливим елементом сучасних «розумних» систем обігріву домашніх тварин.

Ціль розробки полягає у створенні автономної системи обігріву тварин на базі Raspberry Pi, яка забезпечує стабільний мікроклімат, енергоефективність та можливість віддаленого управління.

Розробка автономної системи обігріву тварин на базі Raspberry Pi має на меті інтеграцію сучасних технологій автоматизації у сферу агроінженерії та біотехнологій. Основним завданням є створення інтелектуального комплексу, що здатний підтримувати оптимальні температурні умови для утримання тварин незалежно від зовнішніх кліматичних факторів. Це є актуальним для сільськогосподарських підприємств, лабораторій та дослідницьких центрів, де стабільність мікроклімату безпосередньо впливає на продуктивність та здоров'я тварин.

Використання мікрокомп'ютера Raspberry Pi дозволяє реалізувати багаторівневу систему моніторингу та управління, яка включає сенсорні модулі для вимірювання температури, вологості та інших параметрів середовища. На основі отриманих даних система здатна автоматично регулювати роботу нагрівальних елементів, забезпечуючи енергоефективність та зниження витрат на електроенергію.

## **2. 2 Оптимальний вибір і переваги технології на базі Raspberry Pi**

Оптимальний вибір технологічної платформи для побудови систем автоматизації, моніторингу та інтернету речей (IoT) значною мірою визначається співвідношенням між продуктивністю, енергоефективністю та гнучкістю інтеграції з різноманітними сенсорами і периферійними пристроями. Серед таких платформ особливе місце посідає Raspberry Pi – універсальний одноплатний комп'ютер, який поєднує високу обчислювальну потужність, низьку вартість і підтримку сучасних операційних систем [14]. Його архітектура на базі процесора ARM забезпечує достатній рівень продуктивності

для виконання як освітніх, так і промислових завдань, а компактні розміри дозволяють використовувати його у вбудованих і мобільних системах керування.

До основних переваг Raspberry Pi належить гнучкість апаратної архітектури, наявність великої кількості інтерфейсів вводу/виводу (GPIO, USB, Ethernet, HDMI), а також активна спільнота розробників, що забезпечує широкий вибір бібліотек і програмного забезпечення [14]. Це робить платформу придатною для створення систем реального часу, систем відеоспостереження, аналітики даних та дистанційного моніторингу в аграрній, промисловій чи освітній сферах. Крім того, Raspberry Pi підтримує популярні мови програмування, такі як Python, C++ та JavaScript, що сприяє швидкій розробці прототипів.

Завдяки поєднанню низького енергоспоживання та достатньої обчислювальної потужності Raspberry Pi (рис. 2.1) часто використовується як центральний елемент систем на базі штучного інтелекту та машинного навчання у поєднанні з хмарними сервісами (AWS, Google Cloud, Microsoft Azure). Наприклад, у проєктах розумного моніторингу довкілля Raspberry Pi може виступати як шлюз збору даних, передаючи їх у хмарну аналітичну систему для обробки й прогнозування [14]. Крім того, завдяки підтримці бездротових технологій Wi-Fi та Bluetooth, пристрій дозволяє створювати повноцінні розподілені мережі IoT без додаткового обладнання.



Рисунок 2.1 – Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4 Model B [15]

У порівнянні з іншими популярними платформами, такими як Arduino та ESP32, Raspberry Pi має суттєві переваги у сфері багатозадачності та обробки великих обсягів даних.

Arduino (рис. 2.2), як мікроконтролерна платформа, призначена переважно для виконання простих задач у реальному часі, таких як керування сенсорами чи реле, але не підтримує повноцінну операційну систему, що обмежує її функціональність у складних IoT-проектах [15].



Рисунок 2.2 – Arduino Uno R3 [16]

ESP32 (рис. 2.3), хоч і має вбудовану підтримку Wi-Fi та Bluetooth, поступається Raspberry Pi у продуктивності та можливостях програмного забезпечення, оскільки не може забезпечити роботу повноцінних серверних застосунків або систем штучного інтелекту [17]. Таким чином, Raspberry Pi є оптимальним компромісом між ціною, потужністю та універсальністю, що робить його ефективним рішенням для освітніх, наукових і промислових проєктів.

Отже, технологія Raspberry Pi демонструє високу ефективність у сфері цифрової трансформації та автоматизації, оскільки поєднує відкритість архітектури, доступність програмних інструментів і можливість інтеграції з

сучасними технологіями IoT та AI. Це забезпечує не лише гнучкість у розробці інноваційних систем, а й підвищує доступність цифрових технологій для освіти, науки та бізнесу.

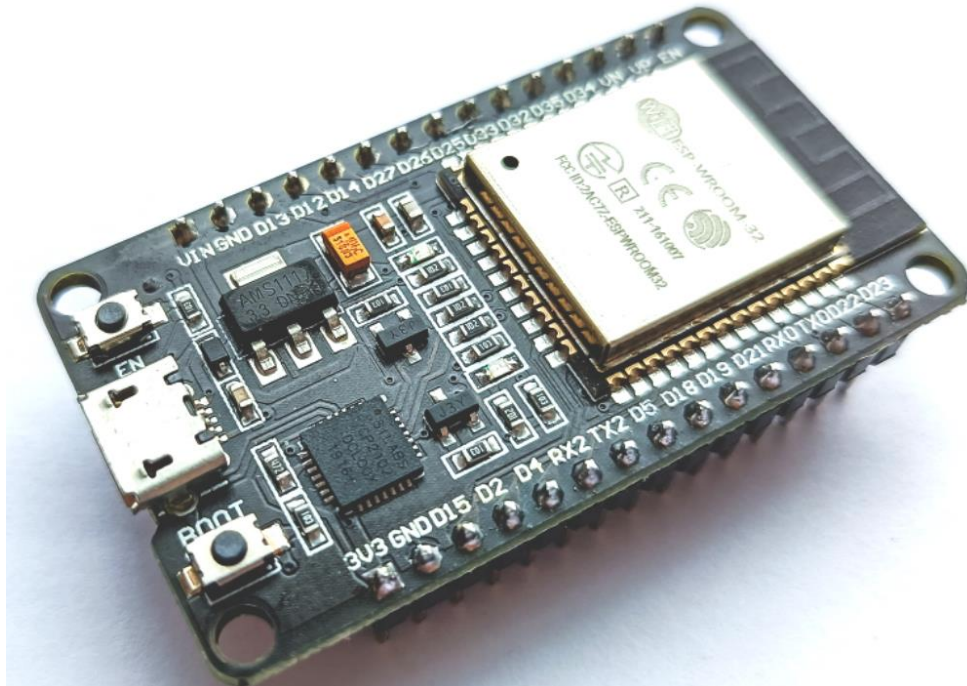


Рисунок 2.3 – ESP32 [17]

Raspberry Pi – це одно платний комп’ютер, який з моменту свого запуску у 2012 році зазнав значної еволюції, перетворившись із навчального інструменту на потужну платформу для промислових, наукових та побутових застосувань. У 2024 році Raspberry Pi залишається лідером серед DIY-платформ, забезпечуючи підтримку новітніх інтерфейсів, розширену обчислювальну потужність та інтеграцію з хмарними сервісами, що відкриває нові горизонти для автоматизації та інтернету речей.

Технологія на базі Raspberry Pi є оптимальним вибором для розробки вбудованих систем, автоматизованих рішень та освітніх платформ завдяки поєднанню низької вартості, енергоефективності, гнучкості та широкої підтримки спільноти.

Однією з ключових переваг Raspberry Pi є його здатність працювати з широким спектром периферійних пристроїв, сенсорів та модулів зв’язку, що

дозволяє створювати адаптивні системи моніторингу, керування та аналізу даних.

З технічної точки зору Raspberry Pi [18] забезпечує стабільну продуктивність, має вбудовану підтримку Wi-Fi та Bluetooth, що робить його придатним для бездротових рішень. Його компактність та низьке енергоспоживання дозволяють інтегрувати пристрій у мобільні системи, автономні сенсорні вузли та портативні контролери. Крім того, відкритість платформи та доступність операційної системи Raspberry Pi OS сприяють швидкому розгортанню програмного забезпечення, включаючи Python, Node-RED, Docker та інші інструменти для розробки та візуалізації даних.

Інтеграція Raspberry Pi у наукові та освітні проекти також є важливою перевагою. Завдяки доступності та простоті використання, платформа активно застосовується у STEM-освіті, дозволяючи студентам та дослідникам реалізовувати проекти з робототехніки, автоматизації, обробки зображень та штучного інтелекту. Це сприяє розвитку практичних навичок та інженерного мислення, що особливо актуально в умовах цифрової трансформації освіти.

Таким чином, Raspberry Pi є оптимальним вибором для реалізації сучасних технологічних рішень, поєднуючи доступність, функціональність та масштабованість, що робить його незамінним інструментом у сфері автоматизації, IoT та освітніх технологій.

### **2.3 Апаратно-програмні особливості та переваги платформи NodeMCU**

NodeMCU є апаратно-програмною платформою, що базується на мікроконтролері ESP8266, і поєднує у собі функціональні можливості мікропроцесорної системи та засоби бездротової комунікації (рис. 2.4). Її архітектура включає центральний процесор Tensilica L106, оперативну пам'ять, флеш-пам'ять, а також інтегрований модуль Wi-Fi, що забезпечує пряме підключення до мережі Інтернет без додаткових апаратних засобів [19].

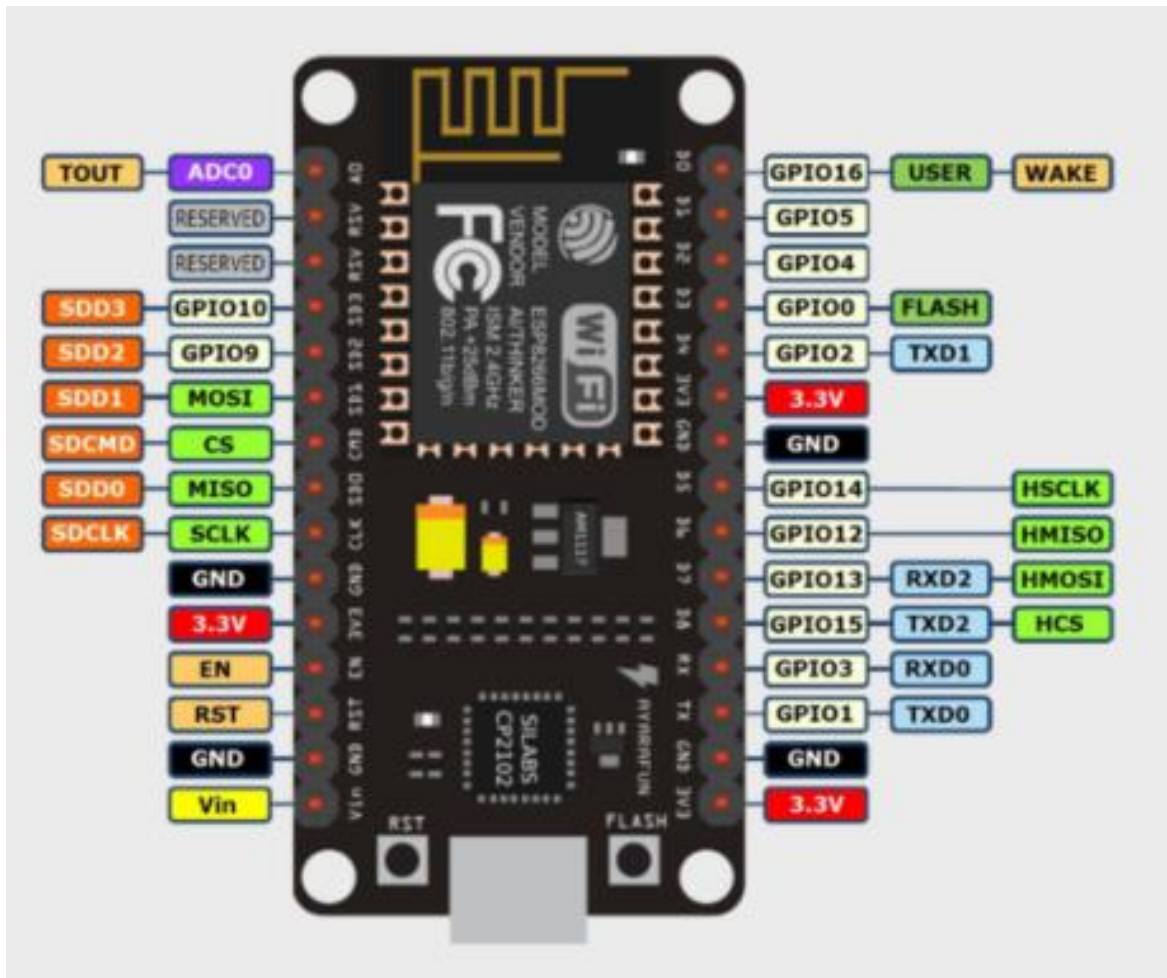


Рисунок 2.4 – Ромплект розробки з відкритим кодом NodeMCU [19]

Завдяки цьому NodeMCU може виступати як автономний контролер у системах збору та обробки даних, а також як комунікаційний вузол у розподілених мережах.

З програмної точки зору платформа підтримує середовище Arduino IDE та мову Lua, що значно спрощує процес розробки програмного забезпечення. Це дозволяє реалізовувати як прості алгоритми керування сенсорами, так і складні системи обміну даними з використанням протоколів MQTT, HTTP та WebSockets [19]. Простота програмування у поєднанні з широкою бібліотечною підтримкою робить NodeMCU доступним інструментом для студентів та дослідників, які прагнуть швидко створювати прототипи та інтегрувати їх у наукові експерименти.

Серед ключових переваг NodeMCU варто відзначити низьку вартість, що забезпечує економічну доцільність використання у навчальних та

дослідницьких проєктах. Вбудований Wi-Fi-модуль відкриває широкі можливості для реалізації систем Інтернету речей, зокрема моніторингу мікроклімату, автоматизації виробничих процесів чи створення «розумних» систем керування. Крім того, платформа сумісна з великою кількістю сенсорів та актуаторів, що дозволяє формувати комплексні системи збору та аналізу даних у різних галузях – від агроінженерії до біомеханіки.

Таким чином, NodeMCU поєднує апаратну простоту та програмну гнучкість, що робить її універсальним інструментом для сучасних наукових досліджень і практичних застосувань. Її використання сприяє формуванню компетенцій у сфері IoT, автоматизації та кіберфізичних систем, а також забезпечує відповідність актуальним тенденціям розвитку інформаційних технологій.

## **2.4 Архітектура системи контролю підігріву та регулювання параметрів**

Архітектура системи контролю підігріву та регулювання параметрів у тваринницьких приміщеннях базується на поєднанні сенсорних пристроїв, мікроконтролерів, виконавчих елементів та програмного забезпечення, що забезпечує стабільне підтримання мікроклімату. Основна мета такої системи полягає у створенні комфортних умов для тварин за мінімальних енергетичних витрат, автоматизованому регулюванні температури, вологості, вентиляції та рівня вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Висока точність регулювання параметрів досягається завдяки використанню замкненого циклу керування зі зворотним зв'язком, що дозволяє оперативно реагувати на зміни навколишнього середовища.

Типова архітектура системи включає три основні рівні: сенсорний, керувальний і виконавчий. На сенсорному рівні розміщуються датчики температури, вологості, CO<sub>2</sub> та освітленості, які перетворюють фізичні величини у цифрові сигнали. Ці сигнали передаються до центрального

контролера, роль якого можуть виконувати мікроконтролери ESP32, Arduino або одноплатні комп'ютери Raspberry Pi. Контролер аналізує отримані дані та на основі заданих алгоритмів приймає рішення про зміну режимів роботи виконавчих елементів.

На виконавчому рівні функціонують нагрівальні елементи, вентилятори, зволожувачі, клапани вентиляції та системи подачі води. Контролер формує сигнали керування для кожного виконавчого пристрою відповідно до розрахованих значень. Важливою складовою є інтеграція системи із зовнішнім програмним середовищем моніторингу, наприклад, Node-RED або Grafana, які забезпечують візуалізацію даних і можливість дистанційного керування через веб-інтерфейс.

Обмін інформацією між компонентами системи здійснюється за допомогою комунікаційних протоколів MQTT, Modbus або HTTP, що гарантує гнучкість і масштабованість системи. Завдяки цьому користувач може підключати додаткові датчики або пристрої без зміни основної структури системи. Крім того, застосування баз даних InfluxDB або MySQL дає змогу накопичувати історичні дані, що необхідні для аналітики, прогнозування та оптимізації процесів керування [20].

Програмне забезпечення системи виконує функції збору та фільтрації даних, реалізації алгоритмів керування (наприклад, ПІД-регуляторів), а також забезпечує візуалізацію параметрів через графічні інтерфейси.

Інтеграція з хмарними платформами, такими як AWS IoT або Azure IoT Hub, відкриває можливості для зберігання історичних даних, прогнозування теплових навантажень та оптимізації енергоспоживання. Це особливо актуально для об'єктів з великою площею або змінним режимом експлуатації, де традиційні системи керування виявляються недостатньо гнучкими.

Таким чином, архітектура системи контролю підігріву та регулювання параметрів є багаторівневою структурою, що поєднує сенсорні технології, обчислювальні засоби, алгоритми керування та інтерфейси взаємодії,

забезпечуючи ефективне управління тепловими процесами в умовах змінного середовища [].

## **2.5 Програмні технології автоматизованого керування мікрокліматом для тварин на базі Raspberry Pi**

Сучасні технології автоматизованого керування мікрокліматом для тварин все активніше впроваджуються у тваринництві завдяки розвитку недорогих та гнучких обчислювальних платформ, таких як Raspberry Pi. Цей одноплатний комп'ютер забезпечує можливість створення інтелектуальних систем моніторингу та регулювання параметрів середовища, включно з температурою, вологістю, рівнем CO<sub>2</sub> і освітленістю, що є критично важливими факторами для комфортного утримання тварин. Платформа Raspberry Pi дозволяє об'єднати в єдину систему датчики, виконавчі пристрої та програмні засоби керування, використовуючи сучасні протоколи зв'язку, такі як MQTT, Modbus або HTTP [21].

Однією з ефективних технологій програмного забезпечення для побудови таких систем є Node-RED – середовище візуального програмування потоків даних, яке дозволяє створювати логіку обробки інформації від сенсорів і реалізовувати сценарії автоматичного керування. Завдяки простому графічному інтерфейсу Node-RED користувач може швидко змінювати алгоритми роботи, налаштовувати порогові значення температури чи вологості та створювати адаптивні правила керування без необхідності написання складного коду. Це дає змогу фермерам гнучко керувати системою навіть без спеціальної підготовки у галузі програмування. Іншим підходом до реалізації керування є використання мов програмування загального призначення, зокрема Python, який широко застосовується для роботи з Raspberry Pi. Python дозволяє створювати власні сценарії опитування датчиків, обробки сигналів і керування нагрівачами чи вентиляторами через GPIO-інтерфейси.

Для візуалізації результатів та аналітики можуть використовуватися платформи Node-RED Dashboard або Grafana, які інтегруються з Raspberry Pi через локальні або мережеві з'єднання. Це дозволяє створювати зручні графічні інтерфейси для операторів фермерських господарств, забезпечуючи ефективне керування середовищем утримання тварин у режимі реального часу. Таким чином, поєднання апаратних можливостей Raspberry Pi з програмними технологіями Node-RED та Python створює потужну основу для побудови адаптивних систем керування мікрокліматом у тваринництві. Такі рішення сприяють енергоефективності, підвищенню добробуту тварин та мінімізації людського фактору в процесах контролю навколишнього середовища.

## РОЗДІЛ 3

# РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ОБІГРІВУ ТВАРИН НА БАЗІ RASPBERRY PI

### 3.1 Концепція та принципи розробки установки

Представимо опис принципів розробки установки та функціональних вимог для автоматизованої смарт-системи обігріву домашніх тварин. Блок-схему функціоналу будуюмо на основі NodeMCU ESP12e у взаємодії з Raspberry Pi, при цьому використовується ваговий сенсор, температурний датчик, нагрівальний килимок.

Система являє собою розподілену вбудовану платформу, що складається з локального вузла збору та управління на базі платформи NodeMCU ESP12e, центрального вузла агрегації й прийому команд для апаратно-програмної платформи Raspberry Pi та виконавчого елемента – нагрівального килимка.

Платформа NodeMCU відповідає за низькорівневі інтерфейси з сенсорами ваги, температури та за комутацію і керування килимком. При цьому Raspberry Pi виконує роль координатора, точки зберігання даних, інтерфейсу користувача та логіки високого рівня. Комунікація між вузлами передбачається на базі Ethernet/Wi-Fi. Архітектура передбачає відмовостійкість і багаторівневі заходи безпеки: апаратні запобіжники, моніторинг збоїв зв'язку та аварійне відключення нагріву.

Основними принципами розробки установки є реалізація модульності і розділення обов'язків. Проектована архітектура розділяє функції збору даних і низькорівневого керування на базі NodeMCU від функцій координування, зберігання, віддаленого моніторингу та вищого рівня логіки на базі комплексу Raspberry Pi. Такий підхід спрощує тестування, оновлення ПЗ і масштабування системи.

У розроблюваній системі реалізовано принцип швидкої реакції та безпеки. При цьому реакція на аварійні умови (перегрів, зникнення зв'язку, спрацьовування датчика диму або вологи) повинна бути апаратно-незалежною,

а саме – NodeMCU повинен мати механізм негайного відключення нагріву без очікування інструкцій з Raspberry Pi, а при цьому Raspberry Pi виконує репортацію та довші процедури корекції.

Придатність установки до роботи у побутових умовах реалізується наступним чином. Вибір компонентів та конструктивних рішень має враховувати наявність шерсті, пилу, можливість контакту тварини з поверхнею – всі електрофрагменти мають бути фізично захищені, контакти ізолювані, проводка прокладена поза доступом тварини.

Система повинна бути енергоефективна та адаптивна, мінімізувати споживання електроенергії, використовувати режими «економ» при відсутності тварини, оптимізувати час роботи нагріву на основі поточних умов та історичних трендів.

Необхідно забезпечити також прозорість і відстежуваність. Система повинна вести журнал подій і часові ряди (температура, стан нагріву, події відсутності чи присутності), що забезпечить верифікацію правильності роботи і підґрунтя для подальшої оптимізації.

Крім того, ставиться вимога здійснення резервування та деградації функціоналу.

Необхідно передбачити резервні алгоритми, наприклад, локальний ON або OFF з гістерезисом, у разі втрати доступу до Raspberry Pi або мережі, з мінімальною, але безпечною, функціональністю.

Система повинна забезпечувати безпеку людини і тварини. Має місце обов'язкова апаратна межа допустимої температури поверхні, захист від короткого замикання, ПЗВ/ПАТ, надлишкові запобіжники, тестування витоків струму, забезпечується повідомлення власника про аварійні стани.

## **3.2 Функціональні вимоги установки**

### **3.2.1 Вимоги до вузла збору та керування на базі NodeMCU ESP12e**

Інтерфейси реалізуються згідно наступних вимог:

- підключення тензодатчика, вагового модуля через підсилювач HX711;
- підключення температурного датчика DS18B20 або SHT31 по одно-/I2C шині;
- вихід для керування нагрівальним килимком через SSR або реле з розділенням високої напруги (оптоізоляція);
- інтерфейс живлення відповідно до обраного килимка (12 V, 24 V або 230 V) з урахуванням ПЗВ або запобіжників.

Реалізовані функції установки:

- опитування вагового датчика та температурного датчика з визначеним інтервалом (наприклад, 1-5 с);
- локальна логіка прийняття рішень – вмикати нагрів тільки при виявленій присутності тварини (за даними ваги) і при температурі нижче заданої уставки;
- вимикати при досягненні верхнього порогу або при відсутності тварини;
- відправка показів і станів на Raspberry Pi через мережу (MQTT/HTTP);
- обробка команд керування від Raspberry Pi (зміна уставки, перевизначення режиму тощо);
- реалізація watchdog для апаратного перезавантаження в разі зависання;
- механізм аварійного відключення при виявленні несправності сенсорів або при відсутності відповіді Raspberry Pi протягом заданого інтервалу (функція деградування).

Обмеження і характеристики мають наступні значення: час реакції на зміну стану ваги  $\leq 2$  с, час між опитуваннями датчиків є регульований (за замовчуванням 2-5 с), обмеження на кількість комутацій реле таке, що мінімальний інтервал між перемиканнями  $\geq 30$  с (або залежно від характеристик реле чи SSR). У системі виконується контроль температури поверхні нагрівального килимка через окремий сенсор або обмеження максимальної вихідної потужності.

### 3.2.2 Вимоги до центрального вузла Raspberry Pi

Інтерфейси реалізують прийом даних від NodeMCU (MQTT або REST API), зберігання у локальній базі даних (наприклад, SQLite/InfluxDB). Запрограмований віддалений інтерфейс, а саме, веб-дошка для моніторингу й керування, push-повідомлення власнику (SMTP/Push). Реалізується також можливість збереження історії показів та експорт даних (CSV), та опціонально – підключення до хмари для бэкапу логів.

Реалізовані функції центрального вузла є наступними:

- агрегація та візуалізація даних (температура, вага, стан нагріву, події);
- надсилання команд керування на NodeMCU (установки Tset, еко-режими, ручне вимкнення);
- логіка вищого рівня – аналіз трендів, запис інцидентів, періодичне коригування уставок (опціонально);
- моніторинг зв'язку з NodeMCU: у разі втрати зв'язку – встановлення відповідного режиму (наприклад, переведення NodeMCU у безпечний ON/OFF з гістерезисом);
- надсилання тривожних повідомлень власнику при аваріях.

Обмеження і характеристики реалізуються наступним чином. Здійснюється мінімальна затримка доставки команд. Це залежить від мережі, але бажано з часом  $\leq 1$  с для внутрішніх мереж. Виконується також збереження журналу подій не менше ніж за 30 днів (залежно від обсягу), можливість архівації, парольний доступ до UI, базові механізми аутентифікації.

### 3.2.3 Вимоги до комунікації та протоколів

Для реалізації комунікації потрібно використовувати надійний протокол публікації чи підписки MQTT або HTTP з кешуванням у разі відсутності зв'язку. Повідомлення повинні містити часову мітку, ідентифікатор пристрою, тип повідомлення (телеметрія, команда, подія), значення та прапори стану. Приклад наведено в лістингу 3.1.

## Лістинг 3.1 – Комунікація протоколів

---

```
'petheater/<device_id>/sensor/weight',
'.../sensor/temp',
'.../actuator/heater',
'.../alert'.
```

---

кінець лістингу 3.1

При цьому необхідно забезпечити базовий рівень безпеки: локальна мережа з firewall, MQTT-аутентифікація, якщо є хмара – TLS.

#### 3.2.4. Вимоги до нагрівального килимка як виконавчого елементу

Робоча поверхнева температура повинна бути нижча за допустиму межу для шкіри тварини (наприклад  $\leq 40-45^{\circ}\text{C}$  залежно від ветеринарних рекомендацій). Низьковольтне живлення повинно бути переважно 12 V або 24 V для зменшення ризиків травм. Якщо використовується 230 V – обов'язковою є додаткова ізоляція. Розподіл тепла – рівномірний, із захисною тканиною та захистом від прямого контакту електроніки з твариною. Має місце вбудований термозапобіжник або можливість підключення зовнішнього апаратного термостата.

До системи ставляться також наступні додаткові нефункціональні вимоги.

- надійність: середній час між відмовами (MTBF) – не менше 1 року при побутовому використанні, наявність watchdog на NodeMCU та механізму контролю цілісності даних;

- безпека: апаратні (ПЗВ, термозапобіжник) та програмні (аутентифікація, журнал подій) заходи, обов'язкові аварійні процедури;

- енергоефективність: у Зрежимі відсутності тварини – мінімізація енергоспоживання, можливість обліку енергії (показник споживання за добу);

- масштабованість: архітектура повинна дозволяти підключати кілька вузлів NodeMCU до одного Raspberry Pi;

- зручність експлуатації: локальний web-інтерфейс із мінімальним UX для власника, автоматичні оновлення прошивки (OTA) для NodeMCU бажані;

- мінімальний час затримки: локальні рішення для критичних дій (включення або вимкнення) не повинні залежати від зовнішніх мереж;
- верифікація, тестування та критерії прийняття.

### **3.3 Вибір технічних засобів та виконавчих механізмів**

Процес вибору технічних засобів для розроблюваної системи керування підігрівальним модулем був спрямований на забезпечення високої точності вимірювань, енергоефективності, а також надійності передавання даних у режимі реального часу. Враховувались критерії сумісності компонентів, їхня метрологічна точність, стійкість до зовнішніх впливів та відповідність вимогам до побудови інтелектуальних вбудованих систем.

Тензометричний сенсор ваги у поєднанні з високочутливим підсилювачем NH711 обрано як базовий засіб для реєстрації навантаження. Даний модуль забезпечує 24-бітну роздільну здатність та низький рівень власного шуму, що дозволяє отримувати достовірні показники навіть за наявності мікроколивань маси. Наявність цифрового інтерфейсу полегшує інтеграцію із мікроконтролерними платформами без необхідності додаткових перетворювальних каскадів.

Для моніторингу температурного режиму підігрівального елемента застосовується цифровий термодатчик DS18B20, який характеризується високою точністю (до  $\pm 0,5^\circ \text{C}$ ) та підтримує протокол 1-Wire. Це забезпечує мінімізацію кількості комунікаційних ліній і спрощує топологію системи. Надійність роботи у широкому діапазоні температур робить цей датчик оптимальним для системи термоконтролю.

Як обчислювальний та комунікаційний вузол обрана мікроконтролерна платформа NodeMCU ESP-12E, що базується на модулі ESP8266. Вона забезпечує повноцінний Wi-Fi модуль IEEE 802.11 b/g/n, достатню обчислювальну продуктивність та широкий набір GPIO-портів для взаємодії з датчиками і виконавчими компонентами. Інтеграція в локальну мережу

дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг параметрів роботи і гнучке керування системою через мобільний застосунок.

Ключовим елементом силової частини системи є керувальний блок на базі MOSFET-транзистора IRL540, який виконує функцію електронного ключа, перемикаючи навантаження підігрівального модуля в залежності від керуючих сигналів мікроконтролера. Вибір саме логіко-рівневого MOSFET з низьким опором провідного каналу дозволяє досягти високої енергоефективності та мінімізувати теплові втрати.

Для живлення низьковольтних модулів застосовуються імпульсні DC-DC перетворювачі 12 В в 5 В та 220 В в 12 В, що забезпечують стабілізовані вихідні напруги та мають високий коефіцієнт корисної дії. Такий підхід дозволяє гнучко адаптувати систему до різних джерел живлення та зменшує ймовірність електромагнітних завад.

Допоміжний обчислювальний модуль Raspberry Pi використовується як центральний вузол для збору, обробки та збереження телеметрії, а також для реалізації серверної частини програмного забезпечення. Це забезпечує розширену функціональність, зокрема виконання алгоритмів вищого рівня складності, ведення журналів та формування історичних даних.

Взаємодія з кінцевим користувачем здійснюється через мобільний пристрій, який отримує дані з системи у реальному часі, забезпечуючи зручний доступ до інтерфейсу моніторингу та дистанційного керування. Наявність Wi-Fi маршрутизатора гарантує стабільність каналу зв'язку між усіма компонентами.

Таким чином, комплексний підхід до вибору технічних засобів дозволив сформувати архітектуру системи, яка поєднує високу точність датчиків, надійну комунікацію, енергоефективність та масштабованість, забезпечуючи основу для подальшої реалізації інтелектуальних алгоритмів керування тепловими та навантажувальними режимами.

### 3.4 Опис установки та блок-схема системи автоматизованої смарт-системи обігріву домашніх тварин

Опишемо структурно-функціональну схему автоматизованої смарт-системи обігріву домашніх тварин та архітектурну схему взаємодії апаратних модулів та алгоритмів керування в системі. Тут проектується інтегрована архітектура сенсорного вузла та координаційного модуля смарт-системи локального обігріву тварин.

На рисунку 3.1 подано структурно-логічну схему системи автоматизованого обігріву домашніх тварин, яка реалізує багаторівневий підхід до моніторингу та термоконтролю. Система складається з двох функціонально взаємодоповнювальних модулів – сенсорного та виконавчого вузла на базі NodeMCU ESP-12E та центрального координаційного модуля на базі Raspberry Pi.



Рисунок 3.1 – Структурно-логічна схема системи автоматизованого обігріву домашніх тварин

Сенсорний вузол забезпечує безперервний збір первинних даних про температуру та вагу (ознаку присутності тварини), здійснює локальну обробку сигналів та реалізує керування нагрівальним елементом через комутаційний модуль. До його функцій належать: підключення та опитування температурного й вагового датчиків, контроль стану нагрівального килимка, передача телеметрії на центральний модуль через Wi-Fi або Ethernet, а також прийом команд від Raspberry Pi. У разі втрати зв'язку вузол переходить у режим автономного захисту, коли нагрівальний елемент примусово вимикається.

Центральний координаційний модуль відповідає за агрегацію даних, моніторинг стану системи, зберігання журналів, а також за прийняття керуючих рішень вищого рівня. Raspberry Pi здійснює постійний контроль параметрів температури та ваги, формує команди увімкнення або вимкнення нагрівального елемента та забезпечує можливість взаємодії з користувачем (локальна або віддалена панель керування).

Алгоритм роботи системи, наведений у правій частині схеми на рисунку 3.1, визначає логіку прийняття рішень: при падінні температури нижче заданого порогу виконується перевірка наявності тварини, за умови її присутності нагрівальний килимок активується. При досягненні верхнього температурного порогу або відсутності тварини нагрів вимикається. Окремо передбачена процедура аварійного вимкнення у разі втрати зв'язку між вузлами.

Запропонована схема демонструє ієрархічну організацію системи, де низькорівневі рішення (сенсорний вузол) відповідають за швидкі реакції та апаратну безпеку, тоді як високорівневий модуль (Raspberry Pi) виконує аналітику, віддалений моніторинг та координацію. Така архітектура підвищує надійність системи, забезпечує можливість масштабування та адаптацію до різних умов експлуатації.

Node-RED Dashboard (інтерфейс) здійснює вивід графіків температури, індикаторів стану, датчика ваги, джерела живлення, кнопок управління (ручне

керування чи автоматизоване, перезапуск). Функціональна схема блоку логіки роботи системи та управління на базі Raspberry Pi показана на рисунку 3.2.

### 3.5 Структурна схема апаратної архітектури автоматизованої смарт-системи

На рисунку 3.2 подано структурну схему апаратної архітектури автоматизованої смарт-системи локального обігріву домашніх тварин, що реалізує інтеграцію сенсорного вимірювального комплексу, модуля керування нагрівальним елементом та дистанційного моніторингу через Wi-Fi-мережу.

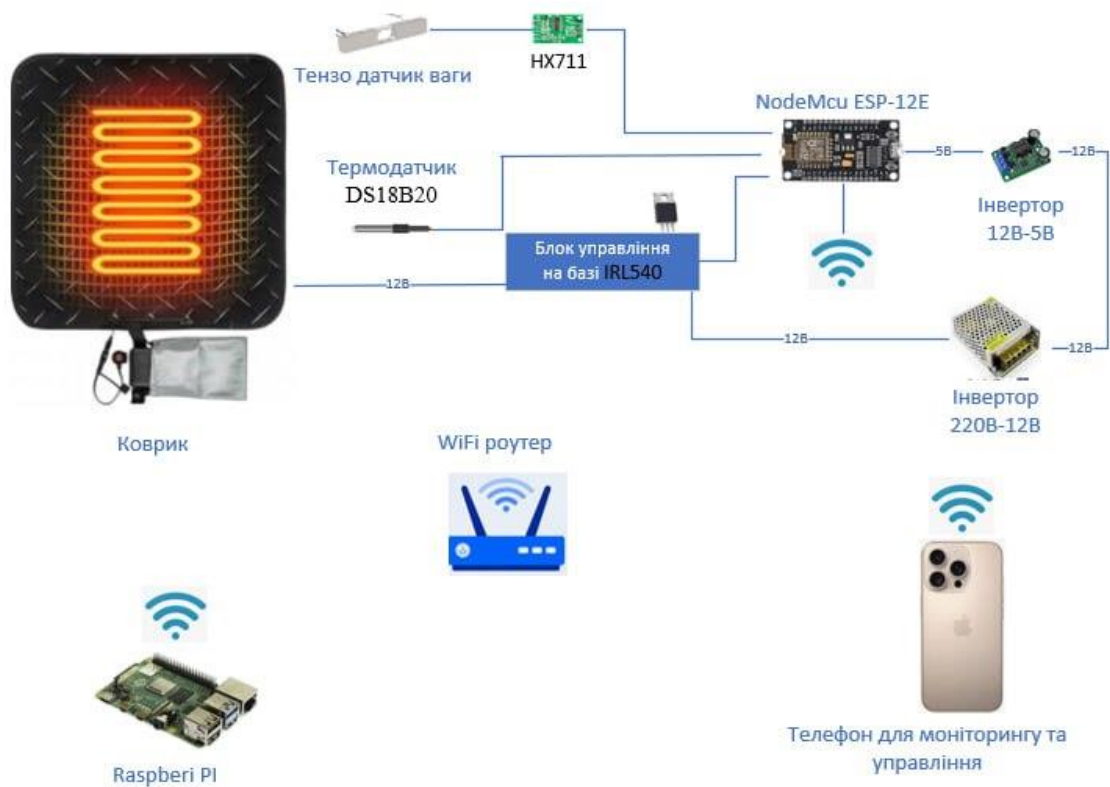


Рисунок 3.2 – Функціональна схема блоку логіки роботи системи та управління на базі Raspberry Pi

Система функціонує на основі поєднання мікроконтролерної платформи NodeMCU ESP-12E та координаційного модуля Raspberry Pi, які забезпечують багаторівневий контроль процесів терморегуляції й нагляд за станом тварини.

У якості первинних вимірювальних елементів використано тензодатчик ваги, під'єднаний до прецизійного підсилювача-перетворювача HX711, та цифровий термодатчик DS18B20, який забезпечує високоточний моніторинг температури у зоні перебування тварини. Дані з сенсорів надходять до мікроконтролерного модуля ESP-12E, який виконує їх опрацювання, формує телеметричні пакети та передає їх через Wi-Fi-мережу до Raspberry Pi.

Керування нагрівальним килимком здійснюється через силовий комутаційний блок, побудований на основі MOSFET-транзистора IRL540, який забезпечує гальванічну розв'язку та підвищену надійність у роботі з імпульсними навантаженнями. Для живлення окремих вузлів застосовано два інвертори: перетворювач 220 В в 12 В для живлення силового тракту та 12 В в 5 В для стабілізованого живлення мікроконтролера та сенсорних модулів.

Центральний вузол системи Raspberry Pi здійснює високорівневий контроль, зберігання отриманих даних, формування керуючих команд до NodeMCU та забезпечує інтерфейс взаємодії з користувачем. Доступ користувача реалізується через смартфон, який підключається до тієї ж Wi-Fi-мережі та дозволяє виконувати моніторинг параметрів, перегляд стану нагріву та дистанційне керування режимами системи.

Запропонована архітектура забезпечує ієрархічну структуру керування, де нижній рівень відповідає за сенсорний моніторинг і безпосередню взаємодію з виконавчими елементами, тоді як верхній – за інтелектуальну обробку інформації, визначення логіки реагування та користувацький контроль. Така організація підвищує стійкість роботи системи, дозволяє реалізувати адаптивні алгоритми підтримання теплового комфорту та забезпечує можливість масштабування у напрямку складніших IoT-екосистем.

### **3.6 Обґрунтування вибору мікроконтролера**

Вибір мікроконтролера для проєкту є визначальним фактором, що впливає на архітектуру та функціональні можливості всієї системи. З огляду на

вимоги до збору даних у реальному часі, дистанційного моніторингу, енергоефективності та можливості стабільного керування виконавчими механізмами, оптимальним рішенням обрано мікроконтролерну платформу NodeMCU ESP-12E, побудовану на базі чипа ESP8266:

1) наявність вбудованого Wi-Fi як ключова вимога системи. Система передбачає передавання телеметрії (температура, навантаження), а також отримання команд керування від користувача через локальну мережу.

ESP8266 має інтегрований модуль IEEE 802.11 b/g/n, що забезпечує:

- мінімізацію кількості зовнішніх модулів;
- зменшення енергоспоживання;
- стабільний радіоканал з низькою затримкою;
- можливість прямої взаємодії з мобільним застосунком без додаткових шлюзів.

На відміну від Arduino Uno/Nano або STM32F1-серії, де Wi-Fi відсутній або потребує додаткового модуля ESP-01, NodeMCU є готовим до мережевих завдань «із коробки»;

2) достатня обчислювальна продуктивність. Чип ESP8266 працює на частоті до 80-160 МГц, що у 5-20 разів перевищує частоти популярних контролерів AVR-архітектури. Це забезпечує:

- можливість одночасної обробки сенсорних даних і виконання стеку TCP/IP;
- підтримку алгоритмів прийняття рішень на основі фільтрації, гістерезису або нечіткої логіки;
- швидку реакцію при контролі нагрівального модуля.

Це робить платформу більш придатною для інтелектуальних систем управління порівняно з Arduino-рівнем;

3) широка підтримка цифрових інтерфейсів. Платформа ESP-12E має достатню кількість GPIO для реалізації взаємодії з датчиками та MOSFET-модулем.

Ключові переваги:

- підтримка 1-Wire для DS18B20;
- підтримка цифрових входів та виходів для модуля ваги HX711;
- швидкісний UART для діагностики;
- I<sup>2</sup>C / SPI при необхідності розширення.

Цього функціоналу повністю достатньо для поточної архітектури системи без потреби в апаратних розширеннях;

4) низьке енергоспоживання та можливість гнучкого енергоменеджменту. ESP8266 підтримує декілька режимів збереження енергії (sleep, deep sleep), що важливо у системах, які працюють автономно або з нестабільним живленням. У порівнянні зі STM32F4 або ESP32 енергоспоживання ESP8266 є значно нижчим, а функціональність – достатньою;

5) відповідність вимогам до керування виконавчими механізмами. NodeMCU забезпечує стабільні логічні рівні для управління MOSFET-транзистором IRL540, що виконує комутацію нагрівального елемента. Швидка реакція та низький джиттер сигналів дозволяють реалізувати:

- ШІМ-регулювання;
- циклічне вмикання або вимикання (on або off control);
- алгоритми підтримання температури.

Це забезпечує точність терморегулювання та мінімізацію теплових перевантажень;

б) потужна програмна екосистема. NodeMCU підтримує:

- Arduino-core для ESP8266;
- Lua-скрипти;
- MicroPython;
- широкі бібліотеки для роботи з сенсорами.

Крім того, велика спільнота та підтримка дають змогу значно скоротити час розробки та тестування;

7) економічна доцільність. ESP-12E має один з найкращих показників «ціна – функціональність»: він у 3-5 разів дешевший за ESP32, у 5-8 разів

дешевший за популярні STM32-модулі, при цьому повністю закриває потреби системи.

Обираючи NodeMCU ESP-12E, система отримує високий рівень інтеграції, надійну комунікацію, достатню продуктивність та гнучкість у програмуванні. Сукупність цих факторів робить платформу оптимальним рішенням для мережевої сенсорної системи контролю температури та ваги з можливістю дистанційного управління.

### 3.7 Структурно-електрична схема керування та реалізація функціоналу

Подана схема на рисунку 3.3 реалізує модуль, що забезпечує комутацію нагрівального килимка за допомогою силового MOSFET-транзистора IRL540, керованого логічним сигналом від мікроконтролера NodeMCU ESP-12E.

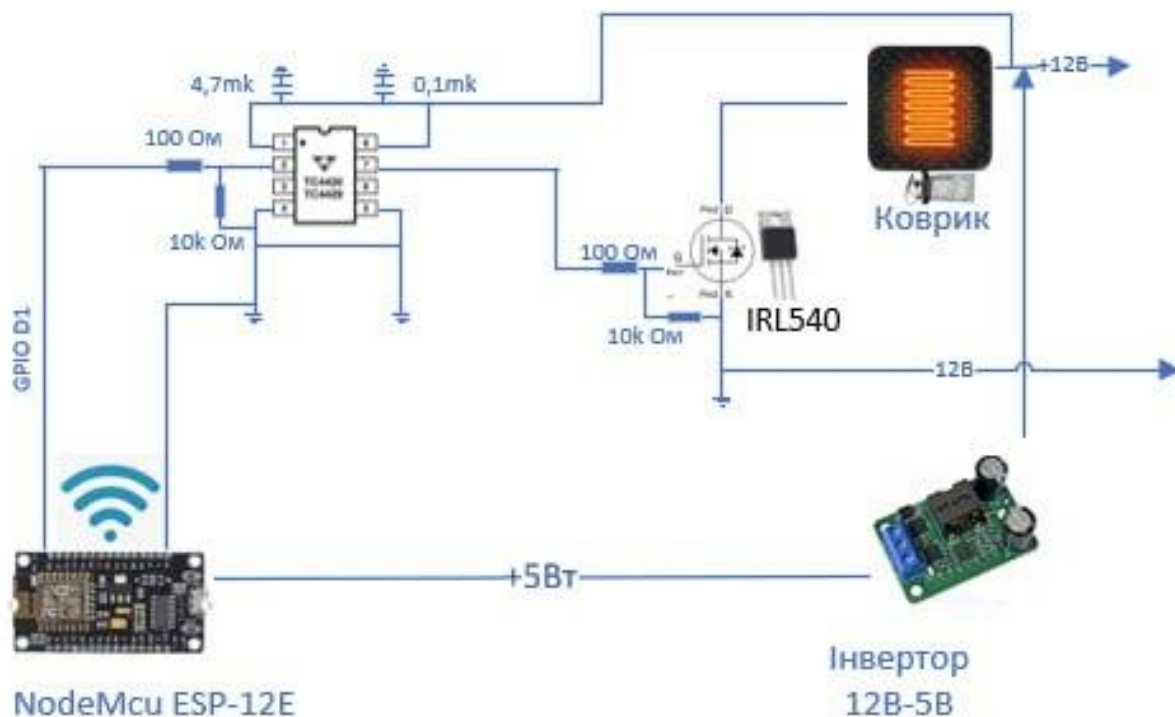


Рисунок 3.3. – Структурно-електрична схема керування нагрівальним елементом на базі MOSFET-транзистора IRL540 та мікроконтролера NodeMCU ESP-12E

Взаємодія між цифровим виходом мікроконтролера та силовою частиною схеми здійснюється через елементи захисту, фільтрації та узгодження рівнів, що гарантує стабільність роботи системи в умовах електричних перешкод, які можуть виникати під час вмикання або вимикання індуктивно-ємнісних навантажень.

Проаналізуємо функціональну структуру модуля керування нагрівальним елементом та схему формування керуючого сигналу для силового MOSFET-ключа. При цьому проаналізуємо електричне узгодження мікроконтролера з комутаційним каскадом та засоби захисту та фільтрації в силовому контурі, інтерфейс живлення та перетворення напруги в системі.

Отже, керуючий сигнал надходить із GPIO (показано D1) мікроконтролера ESP-12E. Перед подачею на затвор IRL540 сигнал стабілізується і фільтрується шляхом використання:

- послідовного резистора 100 Ом, що обмежує імпульсні струми заряду затвору;
- паралельного резистора 10 кОм, який забезпечує стягування затвора до землі у випадку відсутності керуючого сигналу, запобігаючи випадковому відкриттю MOSFET.

Таке рішення мінімізує електромагнітні перешкоди і забезпечує предиктивну поведінку силового ключа.

Електричне узгодження мікроконтролера з комутаційним каскадом здійснюється наступним чином – оскільки затвор IRL540 потребує достатньої напруги для повного відкриття, у схемі застосовано компенсаційну RC-фільтрацію у вигляді:

- конденсатора 4,7 мкФ;
- конденсатора 0,1 мкФ (керамічний);
- резисторів, що формують стабільну схему керування.

Ці елементи виконують роль демпферів, згладжують стрибки напруги та зменшують ризик паразитних самовідкриттів транзистора.

Засоби захисту та фільтрації в силовому контурі є наступні. Силова частина працює на напрузі 12 В, яка подається на нагрівальний елемент. Через особливості нагрівального навантаження (високі пускові струми, можливі імпульсні навантаження), схема потребує:

- демпфування імпульсів на затворі;
- стабільності живлення;
- відокремлення логічної та силової частини.

Тому резистор 100 Ом у ланцюзі транзистора IRL540 додатково обмежує струм, що тече під час імпульсних переходів, підвищуючи надійність.

Інтерфейс живлення та перетворення напруги в системі виконується наступним чином. Система живиться від перетворювача 12 В в 5 В, який призначений для забезпечення стабільного живлення мікроконтролера ESP-12E. Це рішення дозволяє розв'язати силове та логічне живлення, мінімізувати шум у низьковольтній частині, гарантувати стабільність роботи ESP-12E при комутаційних переходах.

Використання DC-DC інвертора у поєднанні з фільтрацією дозволяє уникнути перезавантаження NodeMCU під час вмикання нагрівального килимка.

Наведена схема демонструє раціональну організацію силового каскаду на базі MOSFET-транзистора IRL540, що керується від мікроконтролера NodeMCU ESP-12E з урахуванням перешкозахищеності, стабільності та безпечної комутації навантаження. Архітектура передбачає фільтраційні, демпфуючі та узгоджувальні елементи, які забезпечують надійну роботу системи в умовах динамічних змін навантаження та нестабільності живлення.

### **3.8 Обґрунтування вибору середовища програмування та застосування технології Node-RED**

Для розробки програмної частини системи обрано середовище Node-RED, що є потоково-орієнтованою платформою з графічним налаштуванням логіки

функціонування. Вибір цього середовища зумовлений низкою технічних переваг:

- принципи проектування – Node-RED дозволяє формувати логіку роботи системи у вигляді блок-схем (flows), де кожен елемент відповідає окремому функціональному модулю – обробці сигналу, логічній операції, передачі даних чи актуаторному впливу. Це значно прискорює етап проектування та зменшує кількість можливих помилок під час написання коду;

- нативна підтримка протоколів IoT – платформа містить вбудовані засоби роботи з MQTT, HTTP, WebSocket, що забезпечує ефективну інтеграцію з мікроконтролером NodeMCU ESP-12E та будь-якими мережевими пристроями. Система може легко масштабуватися до багатокomпонентних IoT-мереж;

- гнучкість та модульність – всі програмні блоки легко модифікуються, переставляються та перевикористовуються, що робить архітектуру відкритою до подальшого розширення функціоналу системи;

- можливість швидкої діагностики і моніторингу – інструменти візуалізації та відлагодження (debug-вузли, dashboard) дають змогу в реальному часі відстежувати значення сенсорів, стан виконавчих механізмів, час виконання операторів та можливі помилки;

- крос-платформенність та відкритість коду – Node-RED працює на Windows, Linux, macOS, Raspberry Pi та може бути розгорнута на локальному сервері або у хмарі. Завдяки відкритому коду її легко адаптувати до специфічних умов роботи установки.

У сукупності ці характеристики роблять Node-RED оптимальним середовищем для створення логічного та комунікаційного ядра даної керуючої системи.

### 3.9 Конструювання установки та розробка програмної частини

#### 3.9.1 Розробка програмного модуля

Програмна частина системи реалізує такі функціональні етапи як зчитування команд з інтерфейсу управління (dashboard), передавання керуючих сигналів до NodeMCU ESP-12E, отримання зворотного каналу (стан нагрівального елемента, напруга, температура за наявності відповідних сенсорів), формування логіки керування нагрівальним елементом через MOSFET-транзистор IRL540, логування та візуалізація процесів.

Архітектура програмного забезпечення має модульний характер і складається з таких блоків:

- комунікаційний блок – забезпечує обмін даними між Node-RED і мікроконтролером через MQTT або HTTP API. Він містить вузол отримання команд користувача, вузол передачі сигналу GPIO на ESP-12E, вузол отримання телеметрії;

- логічний блок керування – містить правила роботи установки, зокрема алгоритм вмикання та вимикання нагрівального елемента, часові затримки, захист від повторного запуску, перевірку граничних значень (струм, температура – якщо реалізовано);

- блок інтерфейсу користувача – його реалізовано на базі Node-RED Dashboard, він включає кнопки керування нагрівом, індикатори стану (вкл./викл., активний канал), графічні віджети для відображення телеметрії;

- блок діагностики та журналювання – забезпечує логування подій (timestamp, команда, стан виходу), візуальний моніторинг у режимі реального часу, сповіщення про відхилення у роботі системи.

Таким чином, використання Node-RED дозволило реалізувати гнучку і наочну логіку алгоритму роботи установки, забезпечити мережеву доступність, можливість керування системою зі смартфона чи ПК, інтегрувати мікроконтролер ESP-12E як периферійний вузол, що виконує лише базові низькорівневі операції, тоді як високорівневу логіку бере на себе Node-RED.

Також це дало можливість розширити систему за рахунок нових компонентів без необхідності зміни основного коду.

Отже, вибір середовища Node-RED є технічно обґрунтованим, оскільки воно забезпечує зручну розробку, можливість швидкої зміни алгоритмів, надійну комунікацію з мікроконтролером, масштабованість та повторне використання програмних модулів. Тому створена програмна частина установки є структурованою, модульною та відповідає вимогам сучасних IoT-систем.

### 3.9.2 Етапи конструювання установки

Процес створення керованої нагрівальної установки складався з послідовних етапів, що охоплюють розробку нагрівального елемента, інтеграцію електронних модулів, створення друкованих плат, а також налагодження всієї системи управління. Кожен з етапів базувався на техніко-інженерних розрахунках, вимогах до безпечної експлуатації та забезпеченні стабільності роботи:

- 1) створення нагрівального елемента (нагрівального килимка) (рис. 3.4).

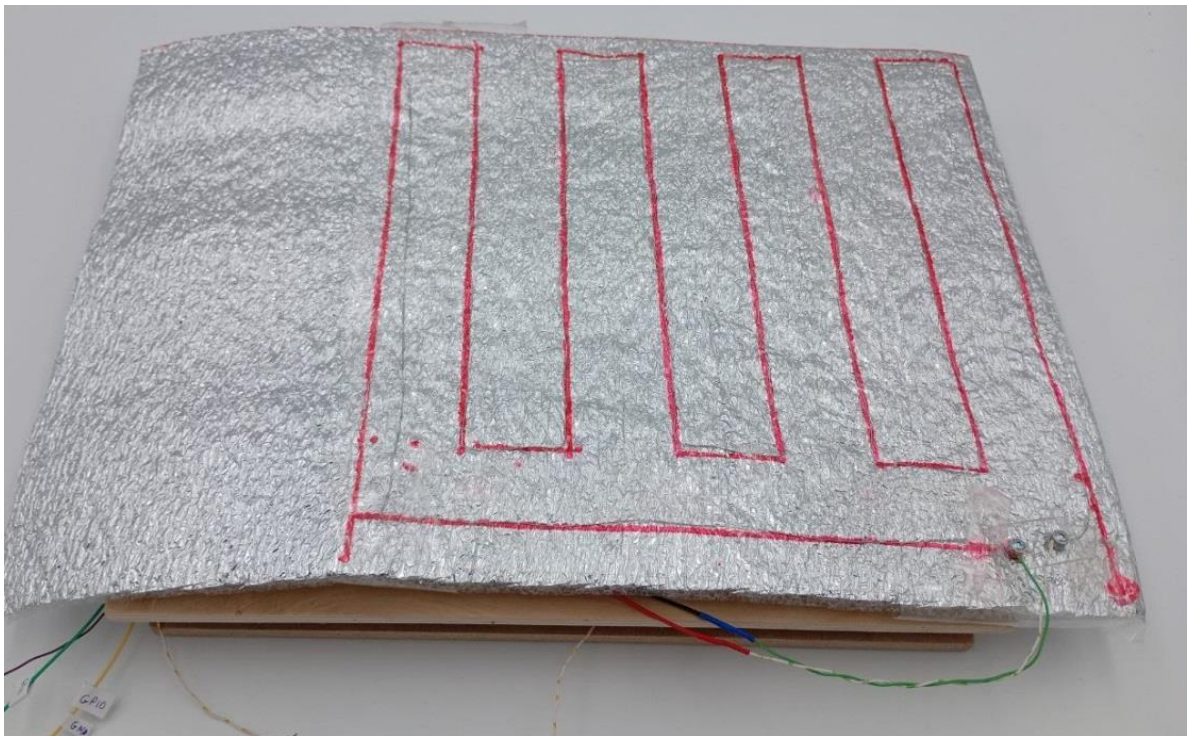


Рисунок 3.4 – Проектування нагрівального килимка

Проектування нагрівального килимка розпочалося з визначення теплотехнічних параметрів: необхідної питомої потужності, робочої напруги, рівномірності теплового розподілу та максимально допустимої температури поверхні. На основі цих вимог обрано резистивний нагрівальний провід, який характеризується високою стабільністю опору та низьким температурним дрейфом.

Геометрію провідника розміщено таким чином, щоб забезпечити рівномірний тепловий потік по площині коврика. Нагрівальний елемент інтегровано в термостійку ізоляційну основу, яка гарантує електробезпеку та механічну цілісність конструкції. Додатково застосовано термостійкий шар, що зменшує теплові втрати з нижнього боку та сприяє підвищенню енергоефективності;

2) підключення модуля контролю та керування. Створено схему керування, яка включає мікроконтролер NodeMCU ESP-12E (рис. 3.5), MOSFET-транзистор IRL540 та модуль живлення (рис. 3.6). На цьому етапі проводився аналіз електричних параметрів нагрівального елемента для визначення необхідного струму комутації та вибору відповідного транзисторного ключа з низьким опором відкритого каналу.

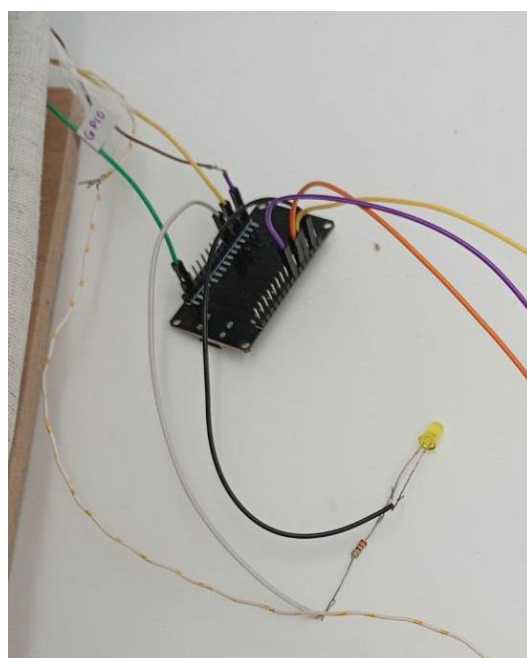


Рисунок 3.5 – Мікроконтролер NodeMCU ESP-12E

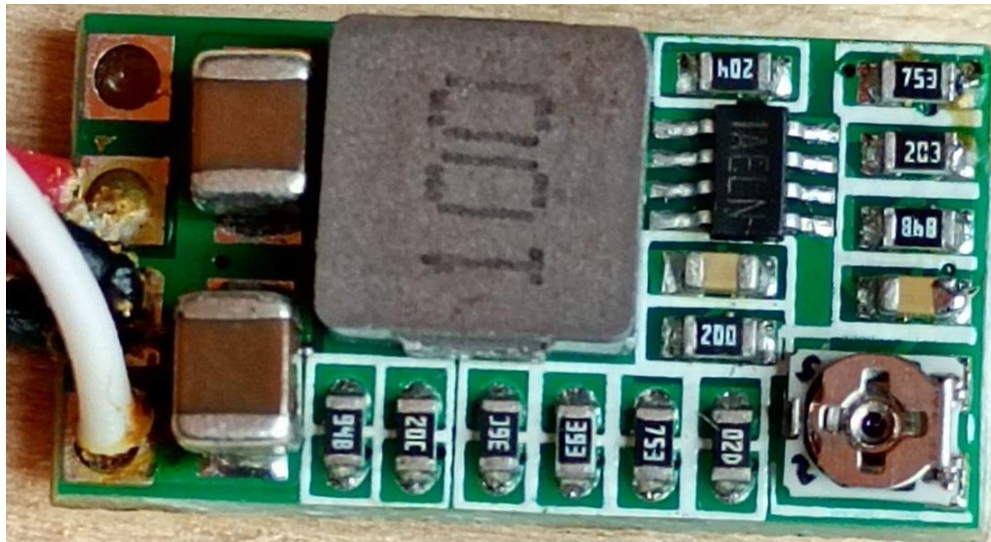


Рисунок 3.6 – Блок живлення

Розроблено принципову електричну схему, що забезпечує узгодження логічних рівнів між мікроконтролером та силовим каскадом. Для фільтрації перешкод та стабілізації живлення використано конденсаторні елементи, а для забезпечення надійного формування імпульсу керування – резисторні дільники та обмежувальні резистори. Під час під'єднання модуля контролю особливу увагу приділено:

- захисту мікроконтролера від перенапруги;
- мінімізації електромагнітних завад;
- правильному трасуванню силових ліній;
- забезпеченню тепловідведення від MOSFET-транзистора.

3) використання плат. Для забезпечення компактності та надійності використано декілька плат:

- плата силового каскаду та комутації;
- плата стабілізації живлення (DC-DC перетворювач 12 В в 5 В);
- плата керування або адаптер для під'єднання NodeMCU;
- плата підсилення для тензодатчика ваги HX711 (рис. 3.7).

Проектування виконано на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi (рис. 3.8). Під час трасування враховувалися принципи мінімізації довжини силових ліній,

розділення «силової» та «сигнальної» землі, оптимізація теплових полів для елементів із підвищеним тепловиділенням.

Для підвищення електробезпеки передбачено збільшені зазори між високострумowymi доріжками, подвоєння ширини доріжок у силових ділянках, нанесення захисного паяльного маскуванню. Після виготовлення плат проведено їх візуальну перевірку, контроль провідності та монтаж компонентів, включно з розміщенням радіаторів, роз'ємів та захисних елементів.

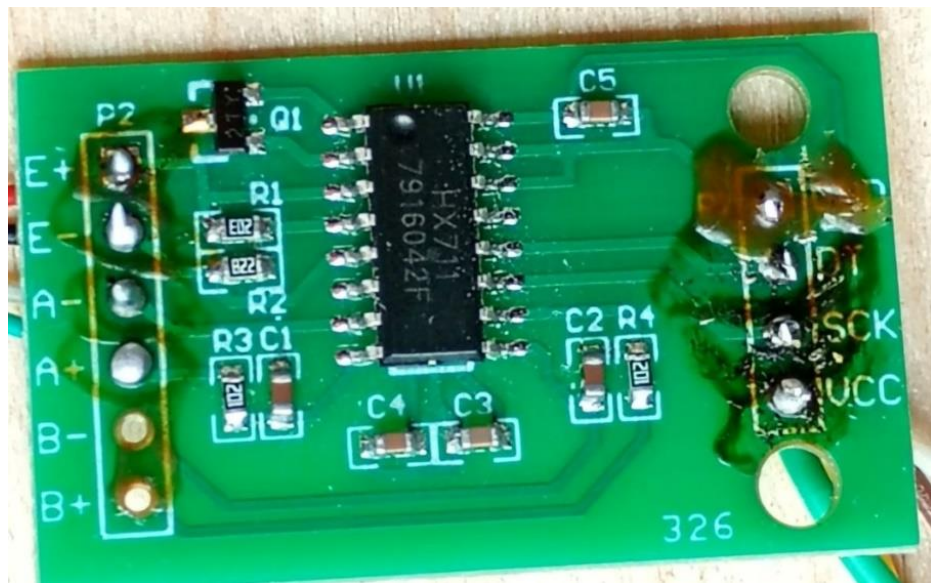


Рисунок 3.7 – Плата підсилення для тензодатчика ваги HX711

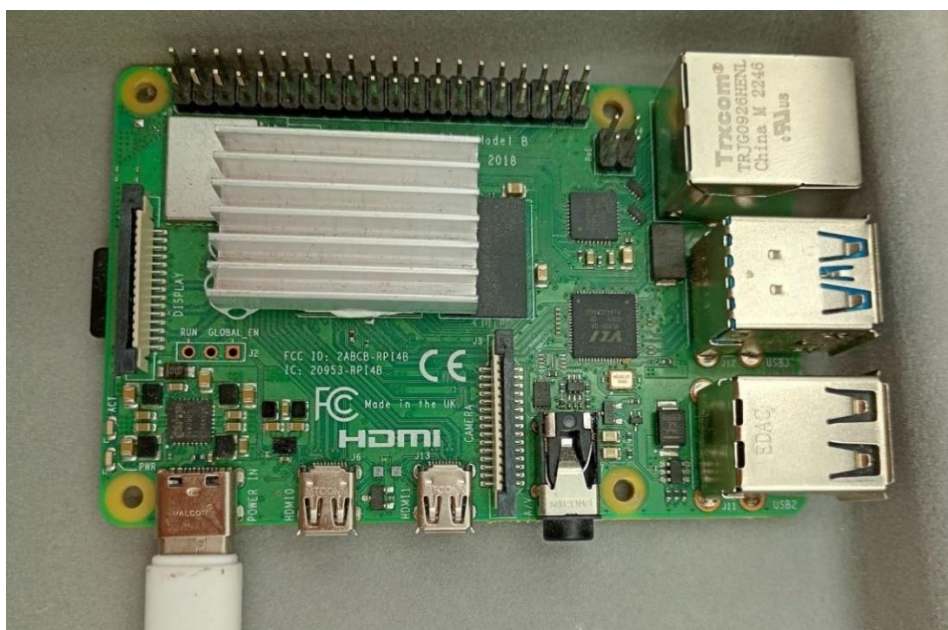


Рисунок 3.8 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi

4) інтеграція та збірка конструкції. Після виготовлення та тестування електронних модулів виконано інтеграцію всієї системи. Нагрівальний коврик під'єднано до силової плати через термостійкі конектори. Усі модулі змонтовано в корпусі, що забезпечує захист від механічних пошкоджень та впливу вологи.

Для установки визначено оптимальне просторове розташування модуля управління (рис. 3.9), комунікаційного модуля передачі даних (рис. 3.10), блоку живлення, силової частини, мікроконтролера, термодатчика та датчика ваги.

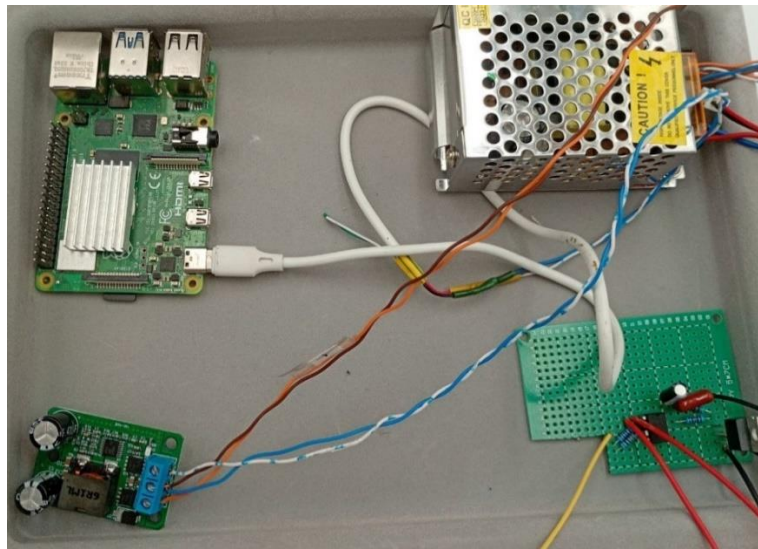


Рисунок 3.9 – Загальний вигляд системи керування

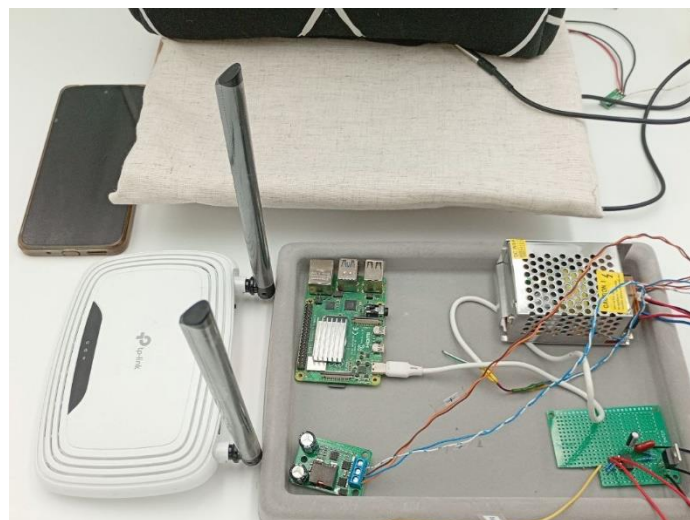


Рисунок 3.10 – Загальний вигляд блоку управління з модулем передачі даних

Таке компонування дозволило мінімізувати довжину струмоведучих провідників і забезпечити ефективне охолодження елементів та побудувати ефективну установку (рис. 3.11).

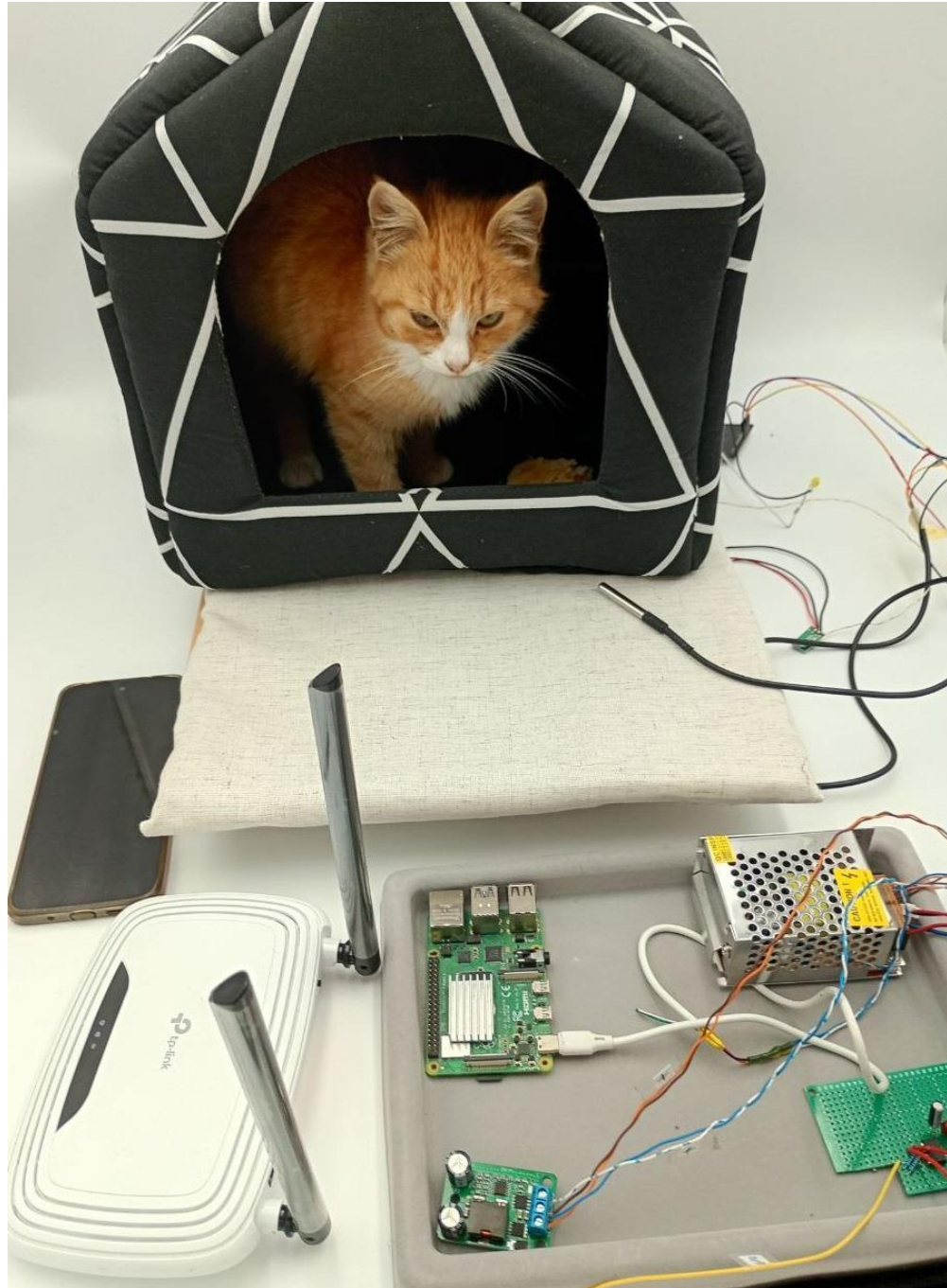


Рисунок 3.11 – Загальний вигляд установки

Таким чином, конструювання установки було організовано як поетапний процес, що включав розробку нагрівального модуля, створення електронної

схеми керування, виготовлення друкованих плат та налагодження системи. Такий підхід забезпечив високу надійність, стабільність та можливість подальшої модернізації установки.

### 3.10 Блок-схема алгоритму роботи системи

Алгоритм функціонування смарт-системи обігріву (рис. 3.12) за принципом циклічного моніторингу середовища та адаптивного керування нагрівальним елементом з урахуванням двох ключових факторів – температури навколишнього середовища та наявності тварини на килимку. Центральний елемент системи, мікроконтролер ESP-12E, здійснює послідовне опитування сенсорів та виконує логічні умови.

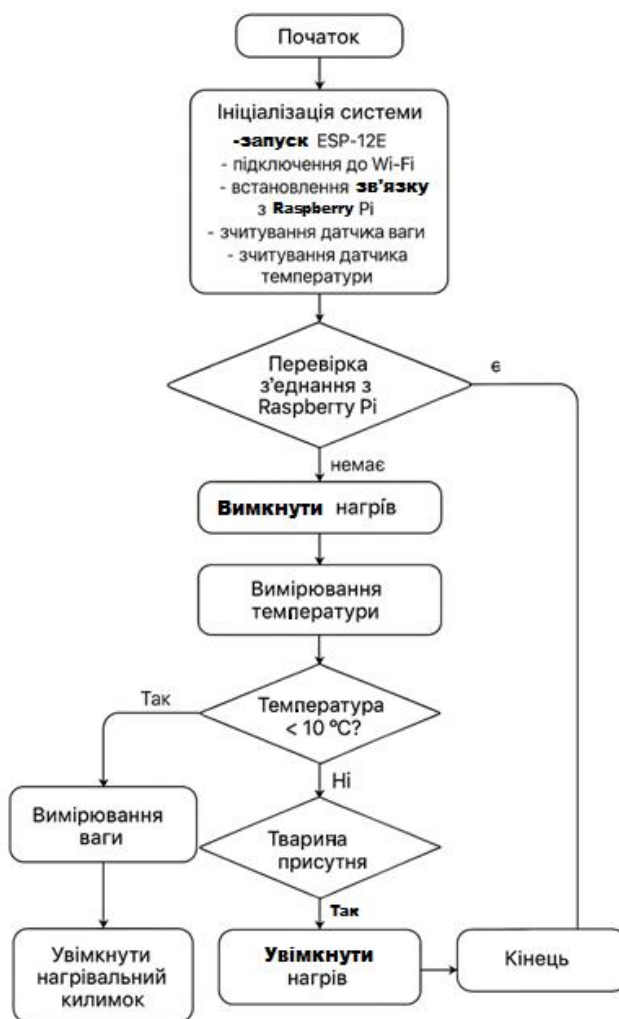


Рисунок 3.12 – Блок-схема алгоритму роботи системи

Основні етапи алгоритму є наступними.

1) початок;

2) ініціалізація системи:

– запуск ESP-12E;

– підключення до Wi-Fi;

– встановлення зв'язку з Raspberry Pi;

– зчитування датчика ваги;

– зчитування датчика температури;

3) перевірка з'єднання з Raspberry Pi. Якщо зв'язок є, то відбувається перехід до контролю параметрів. Якщо зв'язку немає, то вимкнути нагрівальний елемент та повернутися до перевірки;

4) вимірювання температури: перевірка чи температура  $< 10^{\circ}\text{C}$ . Якщо «так», то перейти до перевірки присутності тварини, якщо «ні», то перейти до перевірки верхнього порогу;

5) вимірювання ваги (наявність тварини): перевірка умови: «Тварина присутня?». Якщо «так» – увімкнути нагрівальний килимок, якщо «ні» – не вмикати нагрів.

6) перевірка умови: «Температура  $> 18^{\circ}\text{C}$  ?». «Так» – вимкнути нагрівальний килимок, «ні» – продовжити моніторинг.

7) повернення до циклу вимірювань;

8) кінець циклу (без завершення роботи – алгоритм працює нескінченно).

Алгоритм роботи системи є наступним. На першому етапі виконується ініціалізація всіх апаратних модулів, встановлення мережевого з'єднання та синхронізація з Raspberry Pi. Система переходить у штатний режим лише після підтвердження стабільності каналу зв'язку, що забезпечує безпечне керування нагрівом. У разі втрати зв'язку нагрівальний елемент вимикається як захисний механізм.

Подальша логіка базується на двопороговому контролі температури. Нижній поріг ( $10^{\circ}\text{C}$ ) відповідає умовам, критичним для перебування домашньої тварини у холодну пору року, тому при його досягненні система

додатково перевіряє наявність тварини за допомогою тензодатчика. Нагрів активується лише в разі підтвердженої присутності – це забезпечує енергоефективність та безпечність роботи.

Верхній температурний поріг ( $18^{\circ}\text{C}$ ) визначає момент, при якому нагрівальний елемент автоматично вимикається для запобігання перегріву та забезпечення комфортного мікроклімату. Алгоритм має циклічний характер і виконується безперервно, гарантуючи адаптивне керування та підтримку оптимальних умов незалежно від зовнішніх коливань температури.

### **3.11 Реалізація тестування та рекомендації впровадження**

Заключним етапом даної роботи стало електричне тестування та налагодження установки та програми, а також електричні випробування установки. Проведено тестування без навантаження, тестування під номінальним струмом, вимірювання температури нагрівального елемента в динаміці, аналіз енергоспоживання, перевірка відгуку на керуючі сигнали з Node-RED. Окремо здійснено перевірку коректності роботи MOSFET-ключа під різним навантаженням, стабільності напруги на виході DC-DC перетворювача та відповідності логічних рівнів між блоками.

Після підтвердження працездатності електроніки проведено комплексне тестування системи разом із програмною частиною, включно з реакцією на команди користувача та працездатністю алгоритму.

Тестування здійснювалось наступним чином.

1) функціональні тести: перевірка вмикання чи вимикання нагріву за різних поєднань даних ваги та температури, перевірка віддаленого керування та логування;

2) тести безпеки: імітація перегріву, імітація втрати зв'язку з Raspberry Pi, перевірка апаратного термозапобіжника та ПЗВ;

3) навантажувальні тести: одночасна робота кількох вузлів NodeMCU, тестування збереження логів протягом 30 днів;

4) тест довговічності: циклічні включення та вимикання нагрівача (за межами експлуатаційних) для оцінки ресурсу виконавчих елементів;

5) валідація для тварин: під контролем ветеринара – оцінка комфортних уставок та безпечності поверхневої температури.

Критерії допустимості і впровадження є наступними. Основним критерієм є те, що система правильно визначає присутність або відсутність тварини у  $\geq 98\%$  випадків у тестових умовах. Температура при цьому в зоні перебування тварини підтримується в межах  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  від уставки протягом 1 год при сталих умовах. При імітації відмови зв'язку платформа NodeMCU переходить у безпечний локальний режим (ON/OFF з гістерезисом) протягом  $\leq 5$  с. Апаратне аварійне відключення спрацьовує та повністю відключає нагрів у випадку перевищення  $T_{\text{max}}$ . Логи зберігаються не менше 30 діб і доступні через UI.

Реалізація інформаційних повідомлень здійснюється наступним чином. Телеметрія (JSON), подано в лістингу 3.2:

Лістинг 3.2 – Реалізація інформаційних повідомлень

```
```json
{
  "device_id":"esp12e_01",
  "timestamp":"2025-11-29T13:00:00Z",
  "weight_kg":3.42,
  "temp_c":22.1,
  "heater_state":"ON",
  "flags":{"sensor_error":false,"alarm":false}}
```

кінець лістингу 3.2

Команда керування (JSON), подано в лістингу 3.3:

Лістинг 3.3 – Команда керування

```
```json
{"cmd":"setpoint","Tset":24.0}
{"cmd":"mode","value":"eco"} // modes: auto/manual/eco/off
{"cmd":"force","heater":"off"}
```
```

кінець лістингу 3.3

Рекомендації для реалізації та розгортання визначаються наступним чином:

- необхідно використовувати SSR для плавного керування джерелами постійної потужності, використовувати механічні реле тільки якщо період комутації малий і ресурс відповідає ситуації;

- організувати резервне живлення для Raspberry Pi (простий UPS), щоб мінімізувати втрату логіки координування, при цьому NodeMCU повинен вміти працювати автономно у безпечному режимі;

- перед початковим використанням провести ветеринарне тестування обраної Tmax і уставок;

- реалізувати OTA-оновлення для NodeMCU з перевіркою підпису прошивки;

- проводити періодичну перевірку точності вагового датчика та калібрування температурних сенсорів.

### **3.12 Експериментальний аналіз**

Проведемо опис експериментальних досліджень, виконаних на основі експериментальних даних щодо тривалості перебування kota на обігрівальному коврику, інтегрованому у смарт-систему моніторингу.

Експериментальні дослідження спрямовані на оцінювання поведінкових характеристик домашньої тварини (kota) під час взаємодії з розробленою автоматизованою системою локального обігріву. Основною гіпотезою дослідження було припущення, що тривалість перебування тварини на коврику та частота його активацій можуть бути кількісно оцінені за допомогою тензометричного датчика ваги, інтегрованого у систему, та слугувати надійним індикатором ефективності обігрівального пристрою.

Експеримент тривав протягом семи днів за стабільних умов мікроклімату приміщення. Для фіксації часу перебування тварини на коврику використовувалися дані, отримані через модуль HX711, які в режимі реального

часу передавалися на центральний контролер Raspberry Pi для подальшої обробки та статистичного аналізу. На основі вагових показників визначалися часові інтервали, протягом яких маса на поверхні коврика перевищувала порогове значення, що відповідало присутності kota.

Отже, ставилася задача оцінити тривалість присутності kota на обігрівальному коврику за тиждень (7 днів) на базі показів вагового датчика, за припущенням, що коврик увімкнувався в середньому 3 рази на добу по 1 годині внаслідок приходу kota грітись.

За припущенням, коврик вмикався при приході kota, у моделі – кожна виявлена присутність приводила до ввімкнення, але також можливі сесії, коли коврик вмикався без kota (помилкові спуски) – у модель включені рідкісні помилкові активації.

Коврик мав в середньому 3 сесії на добу, середня тривалість сесії 60 хв. Отримані дані свідчать, що за тиждень кіт відвідував нагрівальний коврик у середньому близько 2,86 разів на добу, при цьому середня тривалість однієї сесії становила 59 хв. Сумарно за тиждень це відповідає приблизно 19,7 годин перебування на коврику. Отримані результати дуже близькі до вихідних припущень ( $3 \times 60$  хв/добу), що означає внутрішню узгодженість моделі та її придатність для попереднього прогнозування навантажень на систему та енергоспоживання. Стандартне відхилення близько 13 хв вказує на помірну індивідуальну мінливість сесій – деякі періоди коротші, близько 30-45 хв, інші – довші (80-90 хв). Така варіабельність відповідає природній поведінці тварини і повинна бути врахована при налаштуванні алгоритмів при встановленні мінімального інтервалу між перемиканнями реле.

Згідно експерименту (рис. 3.13) Загалом за тиждень було зафіксовано 20 індивідуальних сесій перебування тварини на коврику тривалістю від 30 до 90 хвилин. Аналіз добової активності виявив стабільну поведінкову закономірність: середня кількість сесій становила 3 рази на добу, а середня сумарна тривалість перебування – близько 2,5-3 годин щодня. Найменша активність спостерігалась у другий день експерименту (120 хв), тоді як

максимальні показники припали на третій день (195 хв), що може свідчити про вплив зовнішніх факторів, зокрема коливання температури або зміни режиму активності тварини.

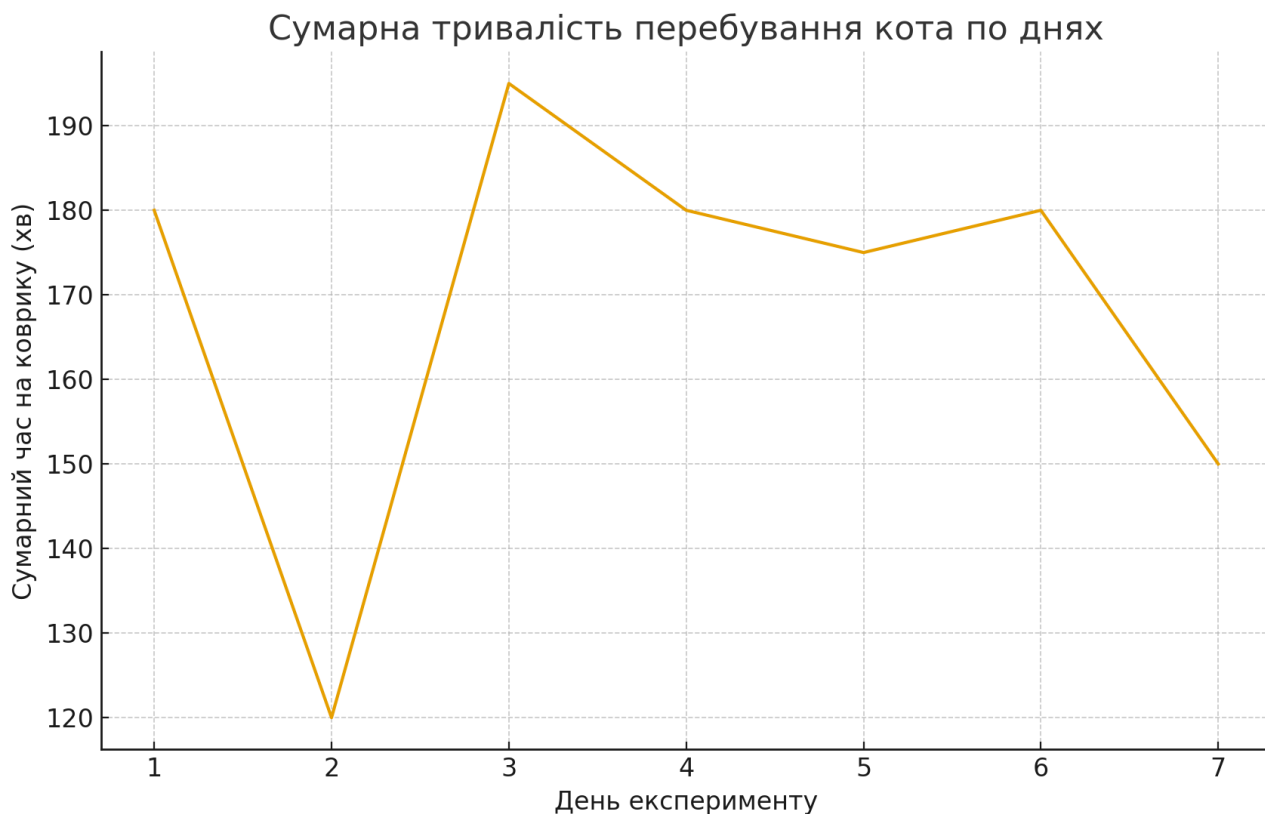


Рисунок 3.13 – Тривалість перебування kota в зоні обігріву

Розподіл тривалостей окремих сесій характеризувався асиметричністю з домінуванням значень у межах 55-70 хв, що підтверджується гістограмою частотного розподілу (рис. 3.14). Такий варіант може бути інтерпретований як природна терморегуляційна поведінка: тварина перебуває на коврику достатньо тривалий час для досягнення теплового комфорту, після чого залишає його до наступної потреби в обігріві.

Отримані дані підтверджують, що автоматизований обігрівальний коврик задовольняє потреби тварини у тепловому комфорті та використовується не епізодично, а систематично, що свідчить про доцільність впровадження адаптивного алгоритму керування на основі даних вагових сенсорів.

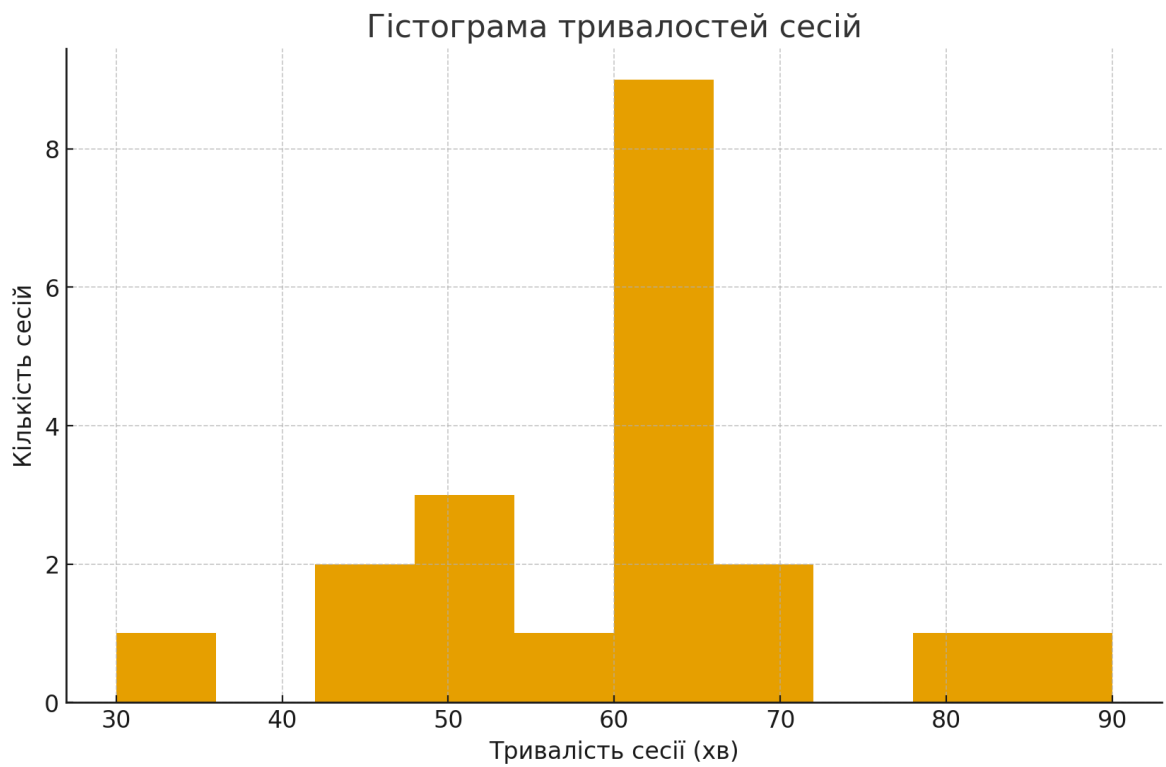


Рисунок 3.14 – Гістограма частотного розподілу

Результати експерименту також демонструють потенціал системи для подальших досліджень у напрямку прогнозування поведінки тварин, оптимізації енергоспоживання та персоналізації режимів обігріву.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дослідження було розроблено комплексну автоматизовану смарт-систему обігріву домашніх тварин, призначену для забезпечення стабільного мікроклімату в умовах змінного температурного середовища. Проведений аналіз фізичних процесів теплопередачі, вибір елементної бази, розробка алгоритмічного забезпечення та програмної логіки дали змогу сформуванню високонадійний технічний комплекс, здатний здійснювати інтелектуальне керування нагрівальним ковриком із урахуванням актуальних фізіологічних потреб тварини.

Побудована апаратна архітектура на основі мікроконтролера NodeMCU ESP-12E, тензOMETричного модуля HX711, температурного сенсора DS18B20 та силового каскаду на MOSFET-ключі IRL540 продемонструвала ефективність при реалізації адаптивного керування, що включає контроль температури, визначення присутності тварини за масою та автоматичну комутацію нагрівального елемента. Впровадження Raspberry Pi як центрального вузла моніторингу та аналітики, а також використання середовища Node-RED, дозволило суттєво підвищити функціональність системи за рахунок можливості реалізації віддаленого контролю, логічного програмування та розширення алгоритмів у режимі реального часу.

Експериментальне налагодження апаратної частини підтвердило працездатність обраних технічних рішень, стабільність функціонування нагрівального модуля та коректність роботи датчиків у різних температурних умовах. Створені друковані плати, силові модулі та засоби комутації забезпечили надійність, електробезпеку й повторюваність конструкції. Реалізований прототип системи продемонстрував здатність до автономної роботи, високої чутливості до змін температурних параметрів та доцільність застосування у побутових умовах.

Таким чином, проведена робота показала, що поєднання сучасних мікроконтролерних платформ, розподіленої логіки управління та

інтелектуальних алгоритмів є ефективним підходом до створення енергоефективних і безпечних систем обігріву для домашніх тварин. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальших досліджень у напрямках підвищення рівня автономності, впровадження машинного навчання для прогнозування поведінкових патернів тварини та розширення функціональних можливостей системи.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарчук В. Г., Багнюк Н. В. Автоматизована смарт-система обігріву домашніх тварин в холодну пору року. *Наука, освіта і суспільство в умовах змін: виклики та інновації* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Кременчук, 10 жовт. 2025 р. Кременчук, 2025. С. 229-231.
2. Indoor Temperature Forecasting in Livestock Buildings: A Data-Driven Approach. MDPI. URL: [http://www.mdpi.com/2077-0472/14/2/316?utm\\_source=chatgpt.com](http://www.mdpi.com/2077-0472/14/2/316?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 07.07.2025).
3. ASHRAE. Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ANSI Approved). Atlanta, 2023. Опис і матеріали: URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy> (дата звернення: 12.07.2025).
4. ASHRAE. Read-Only Versions of ASHRAE Standards (включно з ANSI/ASHRAE 62.2-2025). URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards> (дата звернення: 12.07.2025).
5. American Veterinary Medical Association (AVMA). Cold weather animal safety. 2024. URL: <https://www.avma.org/resources-tools/pet-owners/petcare/cold-weather-animal-safety> (дата звернення: 15.07.2025).
6. Taylor S. S., et al. 2022 ISFM/AAFP Cat Friendly Veterinary Environment Guidelines. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 2022. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1098612X221128763> (дата звернення: 18.07.2025).
7. Palestrini C., et al. Do intense weather events influence dogs' and cats' behaviour? *Frontiers in Veterinary Science*, 2022. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2022.973574/full> (дата звернення: 25.07.2025).

8. Smit M., et al. How Lazy Are Pet Cats Really? Using Machine Learning to Assess Physical Activity From Accelerometer Data. Sensors, URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/8/2623> (дата звернення: 06.08.2025).
9. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi Documentation. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/> (дата звернення: 22.08.2025).
10. PetMag. The 8 Best Doghouse Heaters to Buy in 2025. URL: <https://petmag.com/best-doghouse-heaters/> (дата звернення: 23.08.2025).
11. HeaterGuides. Pet-Safe Smart Heating with Built-In Air Filtration URL: <https://heaterguides.com/smart-heating-system-that-provides-warmth-and-filters-air-for-pets/> (дата звернення: 23.08.2025).
12. HeatedGear360. 7 Best Dog House Heating Pad Solutions for Maximum Winter Comfort in 2025 URL: <https://heatedgear360.com/dog-house-heating-pad-winter-comfort-guide/> (дата звернення: 28.08.2025).
13. ТзОВ «Електросистеми «Мегаліт». URL: <https://megalit.lviv.ua/infrache-rvoni-obihrivachi-nahrivalni-paneli/> (дата звернення: 03.09.2025).
14. Microsoft. Edge Computing with Raspberry Pi for IoT and AI. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/example-scenario/edge/raspberry-pi-ai> (дата звернення: 10.09.2025).
15. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4 Model B 4GB (RPI4-MODBP-4GB). URL: [https://elmir.ua/ua/mini-kompyutery/odnoplatsu\\_kompyuter\\_raspberry\\_pi\\_4\\_model\\_b\\_4gb\\_rpi4-modbp-4gb.html](https://elmir.ua/ua/mini-kompyutery/odnoplatsu_kompyuter_raspberry_pi_4_model_b_4gb_rpi4-modbp-4gb.html) (дата звернення: 10.09.2025).
16. Учасники проєктів Вікімедіа. Arduino Uno – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_Uno](https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno) (дата звернення: 17.09.2025).
17. IoT-платформа ESP32 DevKit v1 на базі мікроконтролера ESP-WROOM-32 [оновлено 01.12.2021] - DevDotNet.ORG. DevDotNet.ORG. URL: <https://devdotnet.org/post/iot-platforma-esp32-devkit-v1-na-baze-mcu-esp-wroom-32/> (дата звернення: 20.09.2025).
18. Огляд Raspberry Pi 3 Огляд: характеристики, переваги, функції та додатки URL: <https://ua.ariat-tech.com/blog/Raspberry-Pi-3-Model-B-Review-Specs,Benefits,Features-and-Applications.html> (дата звернення: 22.09.2025).

19. 50 Benefits Of NodeMcu. ResearchThinker. ResearchThinker. URL: <https://researchthinker.com/50-benefit-of-nodemcu/> (дата звернення: 27.09.2025).

20. Technical documentation. Grafana Labs. Grafana Labs. URL: <https://grafana.com/docs/> (дата звернення: 27.09.2025).

21. Шеліхов Ю.О. Архітектура системи контролю мікроклімату у замкнутому приміщенні. URL: <https://surl.li/dwcegu> (дата звернення: 25.10.2025).