

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

доц. Чичура І.І.

«__» _____ 2025 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему:

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОГЛЯДУ ЗА ПТИЦЕЮ

Виконав:

Шкирта Ярослав Іванович

(прізвище, імя, по-батькові)

(підпис)

Науковий керівник:

Рябошук Михайло Михайлович, к.ф.-м.н, доцент

(прізвище, імя, по-батькові)

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи складається зі вступу, 3 розділів, висновків, переліку джерел посилань та додатків. Загальний обсяг пояснювальної записки: 59 сторінки, 9 рисунків, 5 таблиці, 32 літературних джерел, 5 додатки.

Використання автоматизованих систем догляду за птицею є досить актуальним у зв'язку із великим попитом на м'ясну продукцію і збільшенням її споживання. Автоматизація процесу догляду і вирощування птиці зводять на мінімум втручання людини та збільшення обсягів виробництва.

Метою даної роботи є створення автоматизованої системи, яка дозволить доглядати за птицею з мінімальним людським втручанням

В результаті розроблено комплект конструкторської документації для виготовлення пристрою автоматичного догляду за птицею, до якого можна безпосередньо підключати серводвигун та інші виконавчі механізми, а виконання та контроль відбувається за допомогою мікроконтролера.

Ключові слова: АВТОМАТИКА, СИСТЕМА , RASPBERRY,
МІКРОКОНТРОЛЕР ARDUINO, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ PROTEUS,
PHYTON

REPORT

The explanatory note of the qualification work consists of an introduction, 3 sections, conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the explanatory note is: 59 pages, 9 figures, 5 tables, 32 literary sources, and 5 appendices. The use of automated systems for poultry care is quite relevant due to the high demand for meat products and the increase in their consumption. Automating the process of caring for and raising poultry minimizes human intervention and increases production volumes.

The purpose of this work is to create an automated system that will allow for poultry care with minimal human intervention.

As a result, a set of design documentation has been developed for the manufacturing of an automatic poultry care device, which can be directly connected to a servomotor and other actuators, with execution and control carried out using a microcontroller.

Keywords: AUTOMATION, SYSTEM, RASPBERRY, ARDUINO
MICROCONTROLLER, SOFTWARE.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	10
1.1 Огляд потреб у догляді за птицею в промислових і домашніх умовах.....	10
1.2 Аналіз сучасних автоматизованих систем для птахівництва	11
1.3 Вивчення технологій що застосовуються в автоматизації догляду	15
1.4 Порівняння переваг і недоліків існуючих рішень	17
1.5 Порівняння переваг і недоліків автоматизованих систем	19
1.6 Висновки до розділу.....	21
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОГЛЯДУ ЗА ПТИЦЕЮ	23
2.1 Формування функціональних і нефункціональних вимог	23
2.2 Розробка архітектури системи.....	26
2.3 Вибір апаратних компонентів для реалізації системи	30
2.4. Проектування програмного забезпечення системи	32
2.5 Висновки до розділу.....	37
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ	39
3.1 Опис процесу створення прототипу системи	39
3.2 Інтеграція апаратних і програмних компонентів	41
3.3 Проведення тестування функціональності системи	43
3.4 Аналіз результатів тестування та оптимізація системи	44

КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Шкирта.Я.І		
Перевіри		РябошукМ.М		
Т. контр.				
Н. Контр				
Автоматизована система догляду за птицею			Літера	Аркуш
Пояснююча записка			У	2
			УжНУ, ІТФ, 4 курс, денна форма	
				60

ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТОК А. Код для програми	51
ДОДАТОК Б. СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ КОМПОНЕНТІВ	55
ДОДАТОК В. ДОДАТКОВІ ФРАГМЕНТИ КОДУ	56
В.1. Виведення температури на LCD 16x2	56
В.2. Надсилання даних на ThingSpeak	56
В.3. Telegram-бот для сповіщення	56
ДОДАТОК Г. КОРИСНІ ФОРМУЛИ	57
В.1. Розрахунок концентрації аміаку з MQ-135	57
В.2. Обрахунок активності птиці (за HC-SR501)	57
В.3. Температурно-вологісний індекс (ТНІ)	57
ДОДАТОК Д. ДОДАТКОВІ МАТЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ	58
Г.1. Розрахунок добового споживання енергії системою	58
Г.2. Розрахунок потреби у воді на добу	58
Г.3. Розрахунок необхідної площі вентиляційного отвору	58

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

CO2 – вуглекислий газ

DHT22 – датчик температури та вологості

GPIO – інтерфейс загального призначення вводу/виводу (General Purpose Input/Output)

HC-SR501 – пасивний інфрачервоний датчик руху

HTTPS – захищений протокол передачі даних (HyperText Transfer Protocol Secure)

IoT – Інтернет речей (Internet of Things)

LCD – рідкокристалічний дисплей (Liquid Crystal Display)

LoRa – технологія бездротового зв'язку на великі відстані (Long Range)

MQ-135 – датчик для вимірювання рівня CO2 і аміаку

OLED – органічний світлодіодний дисплей (Organic Light-Emitting Diode)

ppm – часток на мільйон (parts per million)

Python – мова програмування

Raspberry Pi – одноплатний комп'ютер

SG90 – сервопривод для дозування корму

SSH – захищений протокол віддаленого доступу (Secure Shell)

SPI – послідовний периферійний інтерфейс (Serial Peripheral Interface)

SQLite – легка вбудована база даних

Wi-Fi – бездротова мережа (Wireless Fidelity)

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ПЗ – програмне забезпечення

ІІ – штучний інтелект

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція (Pulse Wid

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Сучасне птахівництво є однією з ключових галузей сільського господарства, яка забезпечує населення високоякісними харчовими продуктами, такими як м'ясо, яйця та пір'я. Зростаючий попит на продукцію птахівництва, підвищення вимог до її якості та необхідність зниження виробничих витрат стимулюють впровадження інноваційних технологій у цій галузі. Автоматизація процесів догляду за птицею відіграє важливу роль у підвищенні ефективності птахоферм, зменшенні споживання ресурсів та забезпеченні оптимальних умов утримання птиці. Розробка автоматизованих систем, здатних контролювати мікроклімат, годівлю, напій та моніторинг здоров'я птиці, є актуальним завданням, що відповідає сучасним тенденціям розвитку аграрного сектору.

Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлене необхідністю вдосконалення технологічних процесів у птахівництві шляхом використання автоматизованих систем. Такі системи дозволяють мінімізувати людський фактор, підвищити точність операцій, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити стабільну продуктивність. В умовах глобальних викликів, таких як зміна клімату, зростання конкуренції на ринку та потреба в екологічно чистих технологіях, автоматизація стає невід'ємною частиною сталого розвитку птахівництва. В Україні, де птахівництво є однією з провідних галузей агропромислового комплексу, впровадження таких систем має особливе значення для підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи догляду за птицею, яка забезпечує контроль ключових параметрів утримання, таких як температура, вологість, освітлення, годівля та напій, з метою підвищення ефективності роботи птахоферм. Для досягнення цієї мети в роботі поставлені такі завдання:

1. Провести аналіз предметної області, вивчити сучасні технології та існуючі рішення в галузі автоматизації птахівництва.
2. Сформулювати вимоги до автоматизованої системи та розробити її архітектуру.
3. Реалізувати прототип системи, включаючи апаратне та програмне забезпечення.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

4. Провести тестування системи та оцінити її ефективність у реальних умовах.

5. Узагальнити отримані результати та сформулювати рекомендації щодо впровадження системи.

Об'єктом дослідження є процеси догляду за птицею на птахофермах. Предметом дослідження є автоматизована система, яка забезпечує контроль та управління ключовими параметрами утримання птиці.

Методи дослідження, використані в роботі, включають аналіз літературних джерел, системний підхід до проектування, експериментальні методи тестування прототипу, а також методи обробки даних для оцінки ефективності системи. Теоретичною основою роботи є роботи вітчизняних та зарубіжних вчених у галузі автоматизації сільськогосподарських процесів, Інтернету речей (ІоТ), мікроконтролерів та сенсорних технологій.

Наукова новизна роботи полягає в розробці комплексної автоматизованої системи, яка інтегрує сучасні технології ІоТ та адаптована до потреб птахоферм України. Практична цінність роботи полягає у створенні прототипу системи, який може бути використаний для підвищення продуктивності та зниження витрат у птахівництві, а також у можливості масштабування розробки для різних типів ферм.

Структура роботи складається з вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі аналізується предметна область та сучасні рішення. Другий розділ присвячений проектуванню системи, а третій – її впровадженню та тестуванню. У висновках підсумовуються результати роботи та надаються рекомендації щодо впровадження системи.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Огляд потреб у догляді за птицею в промислових і домашніх умовах

Птахівництво є однією з провідних галузей сільського господарства, що забезпечує населення м'ясом, яйцями та іншими продуктами. У промислових умовах птахівництво характеризується великими масштабами виробництва, що потребує чіткого контролю всіх аспектів догляду за птицею. Основними потребами є підтримання оптимального мікроклімату, забезпечення регулярного годування, напування та моніторингу стану здоров'я птиці [1]. Мікроклімат включає регулювання температури (20–24°C для бройлерів, до 32°C для курчат у перші дні життя), вологості (50–70%), вентиляції та освітлення. Наприклад, відхилення температури на 5°C може знизити приріст ваги бройлерів на 10–15% або підвищити смертність молодняка. Крім того, стабільне освітлення впливає на поведінку птиці та її продуктивність, зокрема несучість курей-несучок може знижуватися на 20% при недостатньому освітленні.

У домашніх господарствах птахівництво має менші масштаби, але потреби у догляді залишаються подібними до промислових. Основною проблемою є ручне виконання більшості завдань, що потребує значних затрат часу та зусиль. Наприклад, забезпечення стабільної подачі корму та чистої води є складним завданням, особливо при утриманні більше 50 голів птиці [2]. Відсутність спеціалізованого обладнання для контролю мікроклімату часто призводить до зниження продуктивності. Температурні коливання в пташнику можуть зменшити несучість курей на 15–20% або спричинити стресові стани, що впливають на якість продукції. Крім того, у домашніх умовах власники зазвичай не мають доступу до автоматизованих систем, що ускладнює підтримання стабільних умов утримання.

Ключовою відмінністю між промисловими та домашніми умовами є рівень автоматизації. У промислових господарствах широко застосовуються системи автоматичного годування, напування та вентиляції, які дозволяють оптимізувати використання ресурсів і підвищити продуктивність. Наприклад, автоматизовані системи годування можуть зменшити втрати корму на 5–10% завдяки точному

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

дозуванню [3]. У домашніх господарствах ці процеси зазвичай виконуються вручну, що призводить до неефективного використання ресурсів і зниження продуктивності. Наприклад, ручне напування може спричинити нестачу води в спекотні періоди, що негативно впливає на здоров'я птиці. Таким чином, автоматизація є актуальною потребою для підвищення ефективності як у промислових, так і в домашніх господарствах.

Ще однією важливою потребою є моніторинг здоров'я птиці. У промислових умовах висока щільність поголів'я сприяє швидкому поширенню інфекційних захворювань, що вимагає постійного контролю. Наприклад, захворювання, такі як кокцидіоз, можуть призвести до втрати до 30% поголів'я без своєчасного втручання [4]. У домашніх господарствах власники часто не мають достатніх знань або обладнання для раннього виявлення проблем, що призводить до підвищеної смертності або зниження якості продукції. Автоматизовані системи з датчиками для моніторингу поведінки чи фізіологічних показників птиці можуть значно покращити ситуацію, забезпечуючи своєчасне сповіщення про відхилення.

Екологічні аспекти також відіграють важливу роль у догляді за птицею. У промислових умовах необхідно мінімізувати викиди аміаку, які утворюються внаслідок розкладання посліду, та оптимізувати утилізацію відходів. Наприклад, сучасні системи вентиляції можуть знизити концентрацію аміаку в пташнику на 40%, що покращує умови утримання та знижує вплив на довкілля [5]. У домашніх господарствах акцент робиться на економії ресурсів, таких як вода та електроенергія, оскільки малі господарства часто мають обмежений бюджет. Автоматизовані системи, які забезпечують точне дозування води та енергоефективне освітлення, можуть зменшити витрати на 20–30%. Таким чином, як у промислових, так і в домашніх умовах існує потреба в комплексних рішеннях, що поєднують контроль мікроклімату, годування, напування та моніторингу з урахуванням економічних і екологічних факторів.

1.2 Аналіз сучасних автоматизованих систем для птахівництва

Сучасні автоматизовані системи для птахівництва спрямовані на оптимізацію процесів догляду, підвищення продуктивності та зниження витрат ресурсів. Одним

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

із ключових рішень є системи автоматичного годування, які використовують дозатори або конвеєрні стрічки для рівномірного розподілу корму. Наприклад, система Roxell (Рис.1.1) дозволяє точно регулювати кількість корму залежно від віку та потреб птиці, що зменшує його втрати на 5–10% порівняно з ручним годуванням [6]. Такі системи забезпечують автоматичне налаштування графіку годування, що підвищує ефективність використання корму та сприяє стабільному приросту ваги птиці.



Рисунок 1.1 - Система автоматичного годування Roxell

Ще однією важливою категорією є системи контролю мікроклімату, які включають датчики температури, вологості, рівня CO₂ і аміаку. Ці системи передають дані на центральний контролер, який автоматично регулює вентиляцію, обігрів або охолодження. Наприклад, система Big Dutchman (Рис.1.2), поширена в Європі, забезпечує точність регулювання температури до $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ і вологості до $\pm 2\%$, що критично для створення оптимальних умов утримання [7]. Такі системи дозволяють підтримувати стабільний мікроклімат навіть при зовнішніх перепадах температури, що зменшує стрес у птиці та підвищує продуктивність.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



Рисунок 1.2 - Панель управління системою Big Dutchman

Інтернету речей (IoT) відіграють значну роль у сучасних системах. IoT-системи, такі як Fansom, дозволяють дистанційно моніторити стан пташника через мобільні додатки або веб-інтерфейси. Вони інтегрують контроль мікроклімату, годування, напування та моніторинг здоров'я, забезпечуючи зручність управління [8]. Наприклад, Fansom може сповіщати користувача про відхилення параметрів, таких як підвищення рівня аміаку, у реальному часі, що дозволяє швидко реагувати на проблеми. Однак такі системи потребують стабільного інтернет-з'єднання, що може бути обмеженням у сільській місцевості.

У домашніх господарствах популярними є простіші рішення, зокрема Arduino-базовані системи (Рис1.3). Вони дозволяють автоматизувати базові функції, такі як увімкнення освітлення за розкладом, подача води або вентиляція. Такі системи є економічно вигідними, оскільки їхня вартість зазвичай не перевищує 100 доларів, що робить їх доступними для малих господарств [9]. Проте їхня функціональність обмежена порівняно з промисловими аналогами, оскільки вони не підтримують складні функції, такі як моніторинг здоров'я чи інтеграція з хмарними сервісами.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

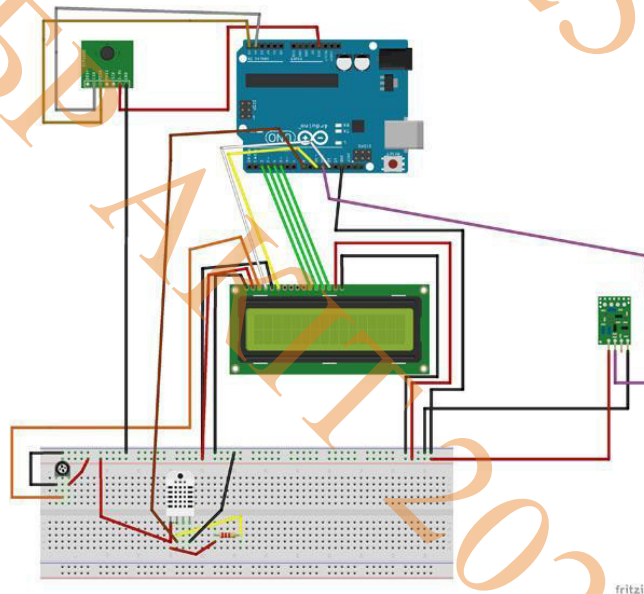


Рисунок 1.3 - Arduino-базована система для домашнього птахівництва

Незважаючи на переваги, автоматизовані системи мають і недоліки. Промислові системи, такі як Big Dutchman або Fansom, є дорогими (вартість може сягати десятків тисяч доларів), що робить їх недоступними для малих господарств. Крім того, вони потребують кваліфікованого обслуговування та регулярного оновлення програмного забезпечення [10]. Arduino-базовані системи, хоча й дешевші, не можуть забезпечити комплексний контроль і мають обмежену масштабованість, що робить їх непридатними для великих пташників. Нижче наведено таблицю, яка узагальнює характеристики сучасних автоматизованих систем для птахівництва.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таблиця 1.1-Порівняння сучасних автоматизованих систем для птахівництва

Система	Функціонал	Переваги	Недоліки
Big Dutchman	Мікроклімат, годування, напування	Висока точність, масштабованість	Висока вартість
Fansom	Моніторинг, IoT, вентиляція	Дистанційне керування	Складність налаштування
Arduino-бази	Освітлення, напування	Низька ціна	Обмежена функціональність

Автоматизовані системи значно підвищують ефективність птахівництва, але їхнє впровадження потребує врахування фінансових можливостей і технічних вимог господарства [10]. Вибір системи залежить від масштабу виробництва, доступного бюджету та рівня технічної підготовки користувачів.

1.3 Вивчення технологій що застосовуються в автоматизації догляду

Автоматизація догляду за птицею спирається на низку сучасних технологій, які забезпечують ефективний контроль і управління процесами в птахівництві. Однією з ключових є сенсорні технології, які використовуються для збору даних про стан навколишнього середовища в пташнику. Датчики температури, вологості, рівня CO₂ і аміаку, такі як DHT22, дозволяють вимірювати параметри з високою точністю (температура $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, вологість $\pm 2\%$). Ці дані є основою для підтримання оптимального мікроклімату, що безпосередньо впливає на продуктивність і здоров'я птиці [11]. Наприклад, точний контроль вологості допомагає уникнути респіраторних захворювань, які можуть знизити продуктивність поголів'я на 10–15%.

Мікроконтролери відіграють центральну роль в обробці даних і управлінні виконавчими пристроями. Такі платформи, як Arduino та Raspberry Pi (Рис1.4), широко застосовуються завдяки своїй доступності та гнучкості. Arduino є простим у використанні і підходить для базових завдань, таких як увімкнення вентиляції чи

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

подача води за розкладом. Raspberry Pi, своєю чергою, підтримує складніші обчислення та інтеграцію з мережевими технологіями, що робить його придатним для створення комплексних систем [12]. Наприклад, Raspberry Pi може обробляти дані з кількох датчиків одночасно і передавати їх на віддалений сервер для аналізу, що підвищує ефективність управління пташником.

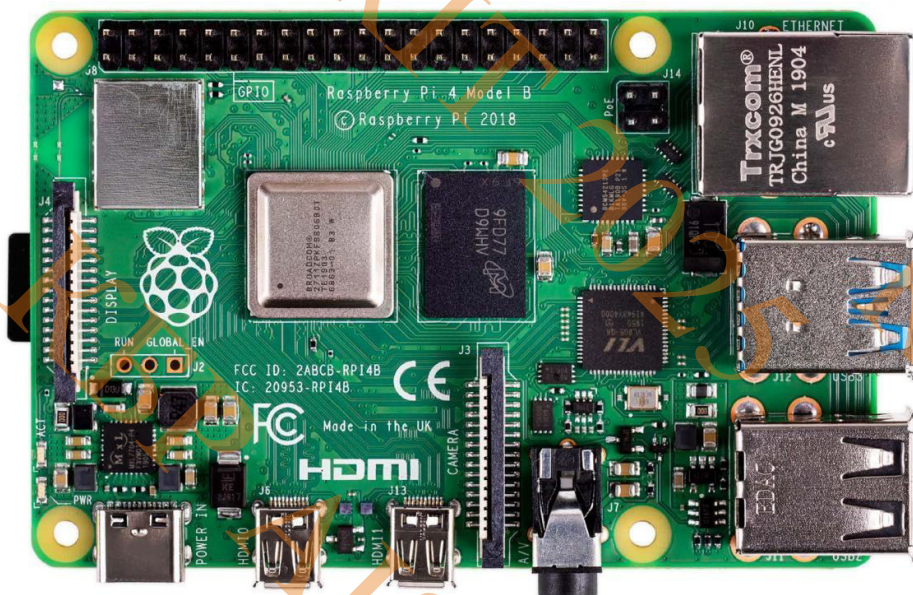


Рисунок 1.4-Мікроконтролер Raspberry Pi 4

Технології Інтернету речей (IoT) є важливим елементом сучасної автоматизації. Вони дозволяють об'єднувати датчики, мікроконтролери та виконавчі пристрої в єдину мережу, забезпечуючи передачу даних через Wi-Fi, LoRa або інші протоколи на хмарні сервери. Це дає змогу моніторити стан пташника в реальному часі та отримувати сповіщення про відхилення параметрів, наприклад, підвищення рівня аміаку, через мобільні додатки [13]. IoT-технології також сприяють збору великих обсягів даних, які можуть бути використані для аналізу та оптимізації процесів. Однак їхнє застосування обмежується необхідністю стабільного інтернет-з'єднання, що може бути проблемою в сільській місцевості.

Ще однією важливою технологією є автоматизовані системи годування та напування, які використовують сервоприводи, насоси та дозатори для точного розподілу ресурсів. Такі системи, як Roxell, дозволяють налаштувати подачу корму

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

та води залежно від віку птиці, що зменшує втрати корму на 5–10% і забезпечує оптимальне споживання [14]. Наприклад, точне дозування корму допомагає уникнути перегодовування, що може призвести до ожиріння бройлерів і зниження якості м'яса. Подібні системи також знижують потребу в ручній праці, що особливо актуально для великих господарств.

Елементи штучного інтелекту (ШІ) починають застосовуватися для аналізу даних, зібраних із датчиків, і прогнозування потенційних проблем. ШІ може виявляти аномалії в поведінці птиці, такі як зниження активності, що може свідчити про захворювання, або прогнозувати оптимальні режими годування на основі даних про ріст поголів'я [15]. Проте впровадження ШІ залишається обмеженим через високу вартість розробки та потребу в обробці великих обсягів даних, що вимагає потужних обчислювальних ресурсів. Наприклад, створення ШІ-системи для птахівництва може коштувати десятки тисяч доларів, що робить її недоступною для малих господарств.

1.4 Порівняння переваг і недоліків існуючих рішень

Сучасні автоматизовані системи для птахівництва пропонують різноманітні рішення, але кожна з них має свої переваги та недоліки, які впливають на їхнє застосування в промислових і домашніх господарствах. Промислові системи, такі як Big Dutchman, забезпечують високу точність і надійність у контролі мікроклімату, годування та напування. Вони дозволяють підтримувати температуру з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ і зменшувати втрати корму на 5–10%, що сприяє стабільній продуктивності поголів'я [16]. Однак їхня висока вартість, яка може перевищувати 10 000 доларів для середнього пташника, робить такі системи недоступними для малих господарств. Крім того, вони потребують регулярного технічного обслуговування та кваліфікованого персоналу, що підвищує експлуатаційні витрати.

ІюТ-базовані системи, такі як Fansom, пропонують можливість дистанційного керування через мобільні додатки або веб-інтерфейси, що значно полегшує моніторинг пташника. Ці системи інтегрують контроль мікроклімату, годування та моніторинг здоров'я, дозволяючи в реальному часі реагувати на відхилення, наприклад, підвищення рівня аміаку [17]. Проте їхня залежність від стабільного

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

інтернет-з'єднання є суттєвим недоліком, особливо в сільській місцевості, де доступ до мережі може бути обмеженим. Крім того, налаштування таких систем вимагає технічних знань, що може бути бар'єром для користувачів без відповідного досвіду.

Arduino-базовані системи є економічно вигідним рішенням, популярним у домашніх господарствах. Їхня вартість зазвичай не перевищує 100 доларів, що робить їх доступними для малих фермерів. Такі системи дозволяють автоматизувати базові функції, як-от увімкнення освітлення чи подача води за розкладом, і є простими у використанні [18]. Однак їхня обмежена функціональність не дозволяє виконувати складні завдання, такі як моніторинг здоров'я птиці чи інтеграція з хмарними сервісами. Крім того, масштабованість таких систем є низькою, що робить їх непридатними для великих пташників.

Системи з елементами штучного інтелекту (ШІ) мають значний потенціал для підвищення ефективності птахівництва. Вони здатні аналізувати дані з датчиків і прогнозувати проблеми, наприклад, виявляти ранні ознаки захворювань на основі змін у поведінці птиці. Такі системи можуть підвищити продуктивність на 10–15% завдяки оптимізації режимів годування та мікроклімату [19]. Проте їхня висока вартість розробки та впровадження, яка може сягати десятків тисяч доларів, а також потреба в потужних обчислювальних ресурсах для обробки даних роблять їх недоступними для більшості господарств. Складність інтеграції таких систем також є суттєвим недоліком, особливо для користувачів без спеціалізованих знань.

Вибір відповідної системи залежить від масштабу господарства, фінансових можливостей і технічних вимог. Промислові господарства можуть дозволити собі дорогі рішення, тоді як малі фермери віддають перевагу економічним варіантам. Однак усі системи потребують адаптації до місцевих умов, таких як нестабільне енергопостачання чи обмежений доступ до інтернету, що є актуальним для України [20]. Нижче наведено таблицю, яка узагальнює переваги та недоліки розглянутих систем.

Таблиця 1.2-Визначення вимог до розроблюваної систем

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Тип системи	Переваги	Недоліки
Промислові	Висока точність, надійність	Висока вартість, складність обслуговування
IoT-базовані	Дистанційне керування, гнучкість	Залежність від інтернету, складність налаштування
Arduino-базовані	Низька ціна, простота використання	Обмежена функціональність, низька масштабованість
ШІ-базовані	Прогнозування, аналіз даних	Висока вартість, складність інтеграції

1.5 Порівняння переваг і недоліків автоматизованих систем

Розроблювана автоматизована система догляду за птицею має відповідати потребам як промислових, так і домашніх господарств, забезпечуючи ефективний контроль ключових параметрів утримання. Основними функціональними вимогами є автоматичне регулювання мікроклімату, зокрема температури з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ і вологості $\pm 2\%$, а також автоматизація процесів годування та напування. Наприклад, система повинна забезпечувати дозування корму залежно від віку птиці, що дозволяє зменшити його втрати на 5–10% і оптимізувати приріст ваги бройлерів [21]. Крім того, система має включати функцію моніторингу здоров'я птиці, наприклад, через аналіз поведінки або виявлення аномалій у споживанні корму, що може свідчити про захворювання.

Нефункціональні вимоги охоплюють доступність за вартістю та простоту використання. Для малих господарств система має коштувати не більше 500 доларів, щоб бути конкурентоспроможною порівняно з Arduino-базованими рішеннями [22]. Простота інтерфейсу є критично важливою, оскільки багато користувачів, особливо в домашніх господарствах, не мають глибоких технічних знань. Система повинна підтримувати інтуїтивно зрозуміле керування через мобільний додаток або локальний дисплей. Інтеграція з технологіями Інтернету речей (IoT) є необхідною для забезпечення дистанційного доступу до даних і сповіщень про відхилення

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

параметрів, таких як підвищення рівня аміаку, що дозволяє оперативно реагувати на проблеми [23].

Модульність системи є ще однією важливою вимогою, яка дозволяє поступово додавати нові функції, наприклад, моніторинг здоров'я або аналіз даних для прогнозування продуктивності. Це особливо актуально для малих господарств, які можуть почати з базового набору функцій і розширювати систему в міру зростання потреб [24]. Адаптація до умов України передбачає стійкість до нестабільного енергопостачання, що вимагає використання резервних джерел живлення, таких як акумулятори, для забезпечення безперебійної роботи. Енергоефективність також є пріоритетом, оскільки використання датчиків із низьким енергоспоживанням може знизити експлуатаційні витрати на 15–20% [25].

Безпека даних, що передаються через мережу, є додатковою вимогою, особливо для IoT-систем. Система має використовувати захищені протоколи передачі даних, щоб запобігти несанкціонованому доступу. Усі ці вимоги формують основу для створення гнучкої та доступної системи, яка може бути адаптована до різних масштабів птахівництва. Нижче наведено таблицю з основними вимогами до розроблюваної системи.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 1.3-Вимоги до автоматизованої системи догляду за птицею

Категорія	Вимога	Опис
Функціональні	Контроль мікроклімату	Точність $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ вологості
Функціональні	Годування, напування	Автоматичне дозування
Функціональні	Моніторинг здоров'я	Виявлення аномалій у поведінці
Нефункціональні	Доступність	Вартість до 500 дол.
Нефункціональні	Дистанційний доступ	Мобільний додаток, IoT
Нефункціональні	Енергоефективність	Використання низькоенергетичних компонентів

1.6 Висновки до розділу

Проведений аналіз предметної області показав, що птахівництво потребує комплексної автоматизації для забезпечення контролю мікроклімату, годування, напування та моніторингу здоров'я птиці. Промислові системи, такі як Big Dutchman, демонструють високу ефективність завдяки точності та надійності, але їхня висока вартість і складність обслуговування обмежують їхнє використання в малих господарствах [26]. IoT-базовані системи, такі як Fansom, пропонують дистанційне керування, але залежать від стабільного інтернет-з'єднання, що є проблемою в сільській місцевості [27].

Arduino-базовані системи є доступними та простими, але їхня обмежена функціональність не дозволяє вирішувати складні завдання, такі як моніторинг здоров'я [28]. Технології сенсорів, мікроконтролерів, IoT і штучного інтелекту створюють можливості для створення гнучких і ефективних систем, однак їхнє впровадження потребує врахування місцевих умов, таких як нестабільне енергопостачання. На основі аналізу сформовані вимоги до розроблюваної системи, які включають доступність, модульність, енергоефективність і адаптацію до умов України [29]. Ці вимоги стануть основою для подальшого проектування системи, що

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

поєднує функціональність промислових рішень із доступністю для малих господарств.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОГЛЯДУ ЗА ПТИЦЕЮ

2.1 Формування функціональних і нефункціональних вимог

Проектування автоматизованої системи догляду за птицею починається з чіткого визначення вимог, які забезпечать її ефективність, доступність і адаптацію до потреб птахівничих господарств. Функціональні вимоги визначають, які задачі система повинна виконувати, тоді як нефункціональні вимоги встановлюють обмеження та характеристики, що стосуються продуктивності, вартості та зручності використання. Ці вимоги сформовані на основі аналізу предметної області, потреб промислових і домашніх господарств, а також сучасних технологічних можливостей.

Функціональні вимоги охоплюють основні задачі, які система має виконувати для забезпечення догляду за птицею. Перш за все, система повинна здійснювати автоматичний контроль мікроклімату в пташнику, включаючи температуру, вологість, рівень CO₂ і аміаку. Точність регулювання температури має бути в межах $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, а вологості — $\pm 2\%$, щоб забезпечити оптимальні умови для росту та продуктивності птиці [21]. Наприклад, підтримання температури на рівні 20–24°C для бройлерів може підвищити їхній приріст ваги на 10%.

Другим важливим аспектом є автоматизація годування та напування. Система має забезпечувати точне дозування корму та води залежно від віку та потреб птиці, що дозволяє зменшити втрати корму на 5–10% порівняно з ручним годуванням [22]. Наприклад, для курчат у перші тижні життя необхідно забезпечувати воду кожні 2–3 години, що може бути автоматизовано за допомогою насосів і таймерів.

Моніторинг здоров'я птиці є ще однією функціональною вимогою. Система повинна виявляти аномалії в поведінці чи споживанні корму, які можуть свідчити про захворювання, наприклад, зниження активності, що вказує на можливі респіраторні проблеми [23]. Для цього можуть використовуватися датчики руху або камери з базовим аналізом зображень.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Додатково, система має надавати можливість дистанційного моніторингу через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Користувач повинен отримувати сповіщення про критичні відхилення, такі як підвищення рівня аміаку, у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на проблеми [24]. Це особливо важливо для великих господарств, де фізична присутність у пташнику не завжди можлива.

Нефункціональні вимоги визначають якісні характеристики системи. Однією з ключових є доступність за вартістю. Для малих і середніх господарств система має коштувати не більше 500 доларів, щоб конкурувати з Arduino-базованими рішеннями, які є популярними серед фермерів [25]. Це включає використання недорогих компонентів, таких як датчики DHT22 (Рис.2.1) і мікроконтролери Arduino.

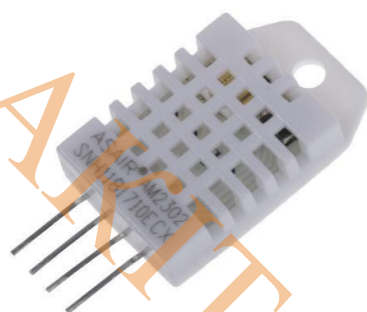


Рисунок 2.1-датчик DHT22

Простота використання є критично важливою, особливо для домашніх господарств, де користувачі можуть не мати технічної підготовки. Інтерфейс системи має бути інтуїтивно зрозумілим, з мінімальною кількістю налаштувань і можливістю керування через мобільний додаток [26]. Наприклад, налаштування графіку годування чи температури має займати не більше 5 хвилин.

Енергоефективність є ще однією вимогою, оскільки зниження експлуатаційних витрат є пріоритетом для господарств. Використання компонентів із низьким енергоспоживанням, таких як датчики з живленням від 3,3 В, може зменшити витрати електроенергії на 15–20% [27]. Крім того, система має бути стійкою до

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

перебоїв в енергопостачанні, що актуально для сільської місцевості України. Для цього передбачається використання резервного акумулятора, який забезпечить роботу системи протягом щонайменше 12 годин.

Модульність системи дозволяє поступово розширювати її функціонал. Наприклад, базова версія може включати контроль мікроклімату та годування, а додаткові модулі, такі як моніторинг здоров'я чи аналіз даних, можуть додаватися за потреби [28]. Це забезпечує гнучкість і робить систему привабливою для господарств із різними бюджетами.

Безпека даних є важливою вимогою для систем із підтримкою IoT. Дані, що передаються через мережу, мають бути захищені за допомогою шифрування, щоб запобігти несанкціонованому доступу [29]. Це особливо актуально для великих господарств, де витік даних може призвести до конкурентних ризиків.

Нижче наведено таблиці, які узагальнюють функціональні та нефункціональні вимоги до розроблюваної системи.

Таблиця 2.1-Функціональні вимоги до автоматизованої системи

Вимога	Опис	Пріоритет
Контроль мікроклімату	Точність $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ вологості, моніторинг CO ₂ і аміаку	Високий
Годування та напування	Автоматичне дозування залежно від віку птиці	Високий
Моніторинг здоров'я	Виявлення аномалій у поведінці чи споживанні	Середній
Дистанційний моніторинг	Сповіщення через мобільний додаток у реальному часі	Високий

Таблиця 2.2-Нефункціональні вимоги до автоматизованої системи

Вимога	Опис	Пріоритет
Доступність	Вартість до 500 дол.	Високий

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Простота використання	Інтуїтивний інтерфейс, налаштування до 5 хв	Високий
Енергоефективність	Зниження витрат на 15–20%	Середній
Модульність	Можливість додавання нових функцій	Середній
Безпека даних	Шифрування даних у IoT-мережі	Високий

Ці вимоги є основою для подальшого проектування системи, забезпечуючи її відповідність потребам птахівничих господарств і сучасним технологічним стандартам.

2.2 Розробка архітектури системи

Архітектура автоматизованої системи догляду за птицею розроблена для забезпечення ефективного контролю мікроклімату, годування, напування та моніторингу стану птиці. Вона базується на модульному підході, що дозволяє адаптувати систему до потреб як промислових, так і домашніх господарств. Архітектура включає апаратні та програмні компоненти, які взаємодіють через мережеві технології, забезпечуючи гнучкість, енергоефективність і простоту використання [21].

Основою апаратної частини системи є мікроконтролер, який виконує роль центрального обробного блоку. Використовується Raspberry Pi через його здатність обробляти складні обчислення та підтримувати мережеві протоколи, такі як Wi-Fi, для інтеграції з IoT [22]. Raspberry Pi отримує дані від датчиків, обробляє їх і керує виконавчими пристроями. Наприклад, датчик DHT22 вимірює температуру та вологість із точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ і $\pm 2\%$, що дозволяє точно регулювати мікроклімат у пташнику.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

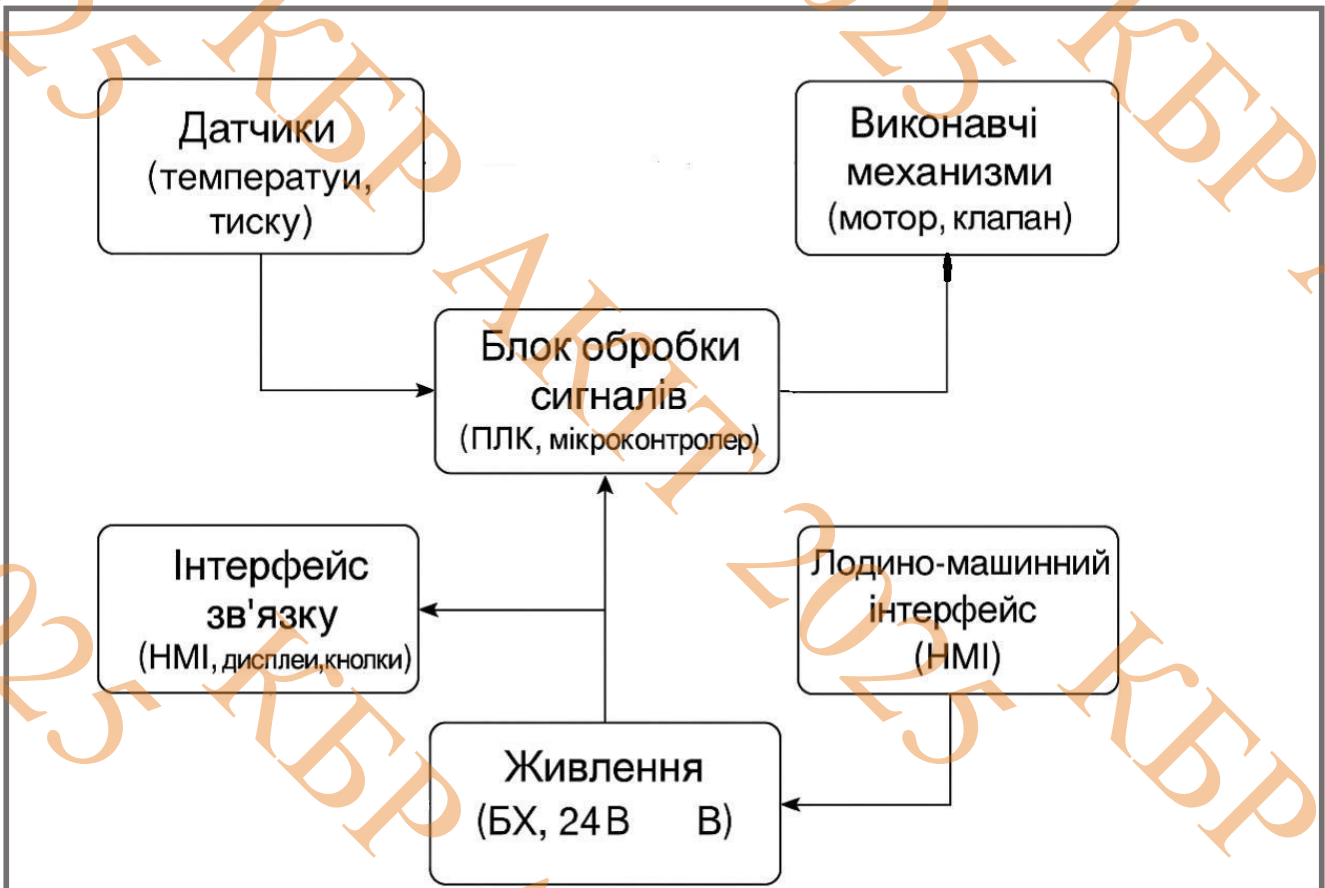


Рисунок 2.2-Структурна електрична схема автоматизованого пристрою

До системи підключено кілька типів датчиків: датчики температури й вологості DHT22, датчики CO2 і аміаку MQ-135 (Рис.2.2) для моніторингу якості повітря, а також датчики руху для аналізу поведінки птиці. Виконавчі пристрої включають сервоприводи для дозування корму, насоси для подачі води та реле для керування вентиляцією й обігрівом [23]. Наприклад, сервоприводи дозволяють подавати корм із точністю до 10 г, що зменшує його втрати на 5–10%.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

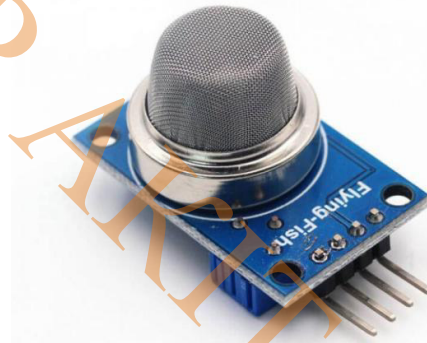


Рисунок 2.3-Датчик якості повітря MQ135

Для забезпечення стійкості до перебоїв в енергопостачанні, що є актуальним для України, система оснащена резервним акумулятором на 12 В, який гарантує автономну роботу протягом 12 годин. Усі компоненти підключені до Raspberry Pi через GPIO-інтерфейс, що спрощує їх інтеграцію та заміну [24].

Програмна частина системи складається з локального програмного забезпечення, яке працює на Raspberry Pi, і віддаленого інтерфейсу для користувача. Локальне ПЗ, написане на Python, відповідає за збір даних із датчиків, їх обробку та керування виконавчими пристроями. Наприклад, алгоритм регулювання температури порівнює поточні показники з цільовими (20–24°C для бройлерів) і вмикає обігрівач або вентилятор за потреби [25].

Для дистанційного доступу використовується IoT-платформа, наприклад, Blynk, яка забезпечує передачу даних через Wi-Fi на хмарний сервер. Користувач може моніторити параметри пташника (температуру, вологість, рівень аміаку) через мобільний додаток і отримувати сповіщення про критичні відхилення, такі як підвищення рівня CO₂ [26]. Дані шифруються за допомогою протоколу HTTPS, що гарантує безпеку передачі.

Система має модульну архітектуру, що дозволяє додавати нові функції без значних змін. Основні модулі включають:

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- Модуль мікроклімату: відповідає за контроль температури, вологості, CO2 і аміаку.
- Модуль годування та напування: керує сервоприводами та насосами для дозування ресурсів.
- Модуль моніторингу: аналізує поведінку птиці через датчики руху.
- Модуль зв'язку: забезпечує дистанційний доступ через IoT [27].

Модульність дозволяє почати з базової конфігурації (наприклад, лише контроль мікроклімату) і розширювати систему, додаючи нові датчики чи функції, що знижує початкові витрати для малих господарств.

Компоненти системи взаємодіють через чітко визначені інтерфейси. Датчики передають дані на Raspberry Pi, який обробляє їх і надсилає команди виконавчим пристроям. Наприклад, якщо датчик MQ-135 виявляє підвищення рівня аміаку, Raspberry Pi активує вентиляцію. Дані також передаються на хмарний сервер через Wi-Fi для зберігання та аналізу, а користувач отримує доступ до них через мобільний додаток [28]. Схема архітектури системи зображена на рисунку нижче.

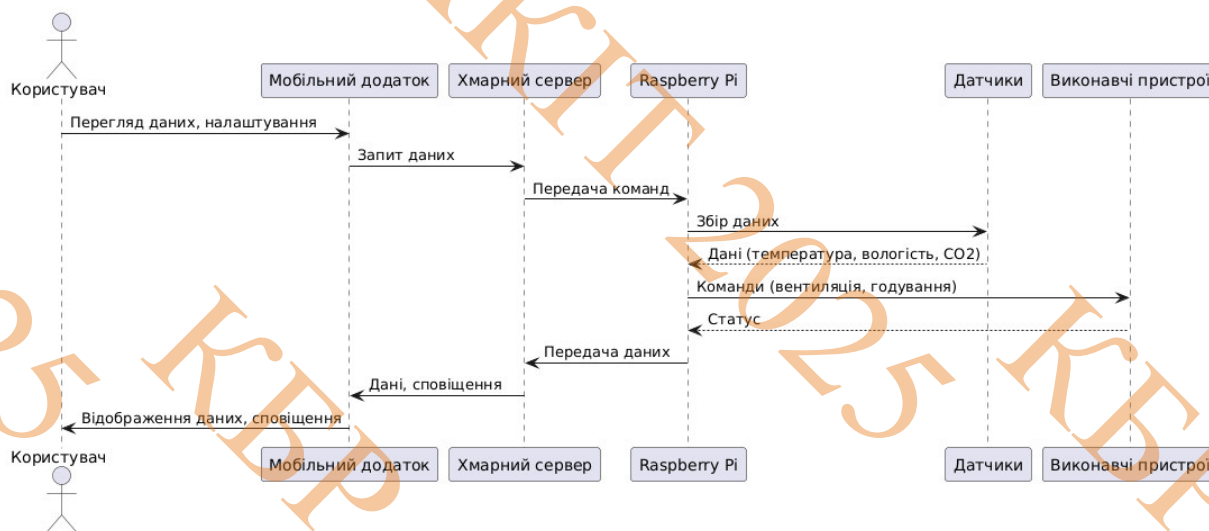


Рисунок 2.4 - Схема архітектури автоматизованої системи

Така архітектура забезпечує кілька переваг. По-перше, використання Raspberry Pi дозволяє створювати систему з високою обчислювальною потужністю за доступною ціною (близько 50 дол.). По-друге, модульність і підтримка IoT роблять систему гнучкою та масштабованою, що відповідає потребам різних господарств [29]. По-

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

третє, резервне живлення та енергоефективні компоненти адаптують систему до умов України, де перебої з електропостачанням є поширеним явищем. Наприклад, датчики з низьким енергоспоживанням зменшують витрати електроенергії на 15%.

Архітектура системи поєднує надійність промислових рішень із доступністю для малих господарств, що робить її універсальним рішенням для птахівництва.

2.3 Вибір апаратних компонентів для реалізації системи

Вибір апаратних компонентів для автоматизованої системи догляду за птицею є ключовим етапом проектування, оскільки від нього залежить функціональність, надійність і доступність системи. Компоненти підбираються з урахуванням функціональних і нефункціональних вимог, таких як точність вимірювань, енергоефективність, модульність і адаптація до умов України. Система включає мікроконтролер, датчики, виконавчі пристрої та джерело живлення, які забезпечують контроль мікроклімату, годування, напування та моніторинг стану птиці [21].

Центральним елементом системи є мікроконтролер, який обробляє дані з датчиків і керує виконавчими пристроями. Для цієї системи обрано Raspberry Pi 4 Model B завдяки його високій обчислювальній потужності, підтримці мережевих протоколів (Wi-Fi, Bluetooth) і можливості інтеграції з IoT. Raspberry Pi оснащений 4-ядерним процесором Cortex-A72 (1,5 ГГц) і 4 ГБ оперативної пам'яті, що дозволяє обробляти дані з кількох датчиків одночасно та підтримувати зв'язок із хмарним сервером [22]. Вартість Raspberry Pi становить близько 50 дол., що відповідає вимозі доступності. Альтернативою розглядалися Arduino Uno, але воно має обмежену обчислювальну потужність і не підтримує складні IoT-функції, тому було відхилено для цієї системи.

Для моніторингу мікроклімату та стану пташника обрано такі датчики:

- DHT22 – датчик температури та вологості, який забезпечує точність вимірювань $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ і $\pm 2\%$ відповідно. Він є енергоефективним (споживає 2,5 мА) і недорогим (близько 5 дол.), що робить його оптимальним для контролю мікроклімату [23]. DHT22 передає дані через цифровий інтерфейс, що спрощує підключення до Raspberry Pi.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

•MQ-135 – датчик для вимірювання рівня CO₂ і аміаку. Він здатен виявляти концентрацію аміаку від 10 до 300 ppm, що дозволяє своєчасно реагувати на погіршення якості повітря в пташнику. Вартість становить близько 3 дол., а енергоспоживання – до 800 мВт [24].

•HC-SR501 – пасивний інфрачервоний датчик руху для моніторингу поведінки птиці. Він виявляє рух у радіусі до 7 м і споживає лише 65 мкА, що сприяє енергоефективності. Його ціна становить приблизно 2 дол., що відповідає вимозі доступності [25].

Ці датчики підключаються до Raspberry Pi через GPIO-інтерфейс, що забезпечує простоту інтеграції та можливість заміни в разі потреби.

Для автоматизації годування, напування та регулювання мікроклімату обрано такі виконавчі пристрої:

•Сервопривод SG90 – використовується для дозування корму. Він забезпечує точність позиціонування до 1°, що дозволяє подавати корм із точністю до 10 г, зменшуючи втрати на 5–10%. Вартість становить близько 3 дол., а енергоспоживання – до 650 мА [26]. Сервопривод підключається до Raspberry Pi через ШІМ-сигнал (широтно-імпульсна модуляція).

•Міні-насос 5 В – застосовується для подачі води. Насос має продуктивність до 120 л/год і споживає 1,2 Вт, що робить його енергоефективним. Його ціна становить приблизно 4 дол., а керування здійснюється через реле, підключене до Raspberry Pi [27].

•Реле 5 В (4-канальне)–використовується для вмикання/вимикання вентиляції, обігрівачів або освітлення. Воно дозволяє керувати пристроями з напругою до 250 В і струмом до 10 А, що підходить для більшості пташників. Вартість реле становить близько 5 дол. [28].

Для забезпечення стійкості до перебоїв в енергопостачанні, що є актуальним для України, система оснащена резервним акумулятором. Вибрано літій-іонний акумулятор на 12 В і 10 А·год, який забезпечує автономну роботу системи протягом 12 годин. Акумулятор підключається через модуль заряду/розряду, що захищає його від перезаряду [29]. Основне живлення здійснюється через адаптер 5 В, 3 А для

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Raspberry Pi та виконавчих пристроїв. Загальна вартість джерела живлення становить близько 20 дол.

Вибір компонентів зумовлений їхньою відповідністю вимогам системи:

— Доступність: загальна вартість апаратної частини не перевищує 100 дол., що відповідає бюджету малих господарств.

— Енергоефективність: використання компонентів із низьким енергоспоживанням (наприклад, HC-SR501 – 65 мкА) знижує витрати електроенергії на 15–20%.

— Модульність: усі компоненти підключаються через стандартні інтерфейси (GPIO, ШІМ), що дозволяє легко додавати нові датчики чи пристрої.

— Надійність: обрані компоненти, такі як DHT22 і Raspberry Pi, мають високу репутацію та широко застосовуються в автоматизації [21].

Ці компоненти забезпечують баланс між функціональністю, вартістю та адаптацією до умов птахівничих господарств, що робить систему універсальною для промислових і домашніх застосувань.

2.4. Проектування програмного забезпечення системи

Програмне забезпечення (ПЗ) автоматизованої системи догляду за птицею розробляється для забезпечення збору даних із датчиків, їхньої обробки, керування виконавчими пристроями та надання користувачу зручного інтерфейсу для моніторингу й управління. ПЗ складається з локальної програми, яка працює на мікроконтролері Raspberry Pi, і віддаленого інтерфейсу, реалізованого через мобільний додаток. Воно спроектоване з урахуванням вимог до модульності, енергоефективності, безпеки та простоти використання, що відповідає потребам промислових і домашніх птахівничих господарств [21].

Архітектура ПЗ базується на модульному підході, що дозволяє легко додавати нові функції та адаптувати систему до різних умов. Основні модулі включають:

— Модуль збору даних: відповідає за отримання інформації з датчиків (температура, вологість, CO₂, аміак, рух).

— Модуль обробки даних: аналізує отримані дані та приймає рішення про керування виконавчими пристроями.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

— Модуль керування: надсилає команди до сервоприводів, насосів і реле для регулювання мікроклімату, годування та напування.

— Модуль зв'язку: забезпечує передачу даних на хмарний сервер і взаємодію з мобільним додатком.

— Модуль користувацького інтерфейсу: надає доступ до даних і налаштувань через локальний дисплей або віддалений додаток [22].

Програмне забезпечення розробляється на мові Python через її простоту, підтримку бібліотек для роботи з датчиками та IoT, а також сумісність із Raspberry Pi. Використання Python дозволяє швидко створювати прототипи та адаптувати код до нових вимог.

Локальне ПЗ працює на Raspberry Pi і відповідає за основні функції системи. Воно включає кілька ключових компонентів:

1. Збір даних із датчиків: Для роботи з датчиками, такими як DHT22 і MQ-135, використовується бібліотека Adafruit_DHT і спеціалізовані драйвери. Дані зчитуються з інтервалом 10 секунд, що забезпечує баланс між точністю моніторингу та енергоефективністю [23]. Наприклад, температура і вологість перевіряються для підтримання значень у межах 20–24°C і 50–70% відповідно.

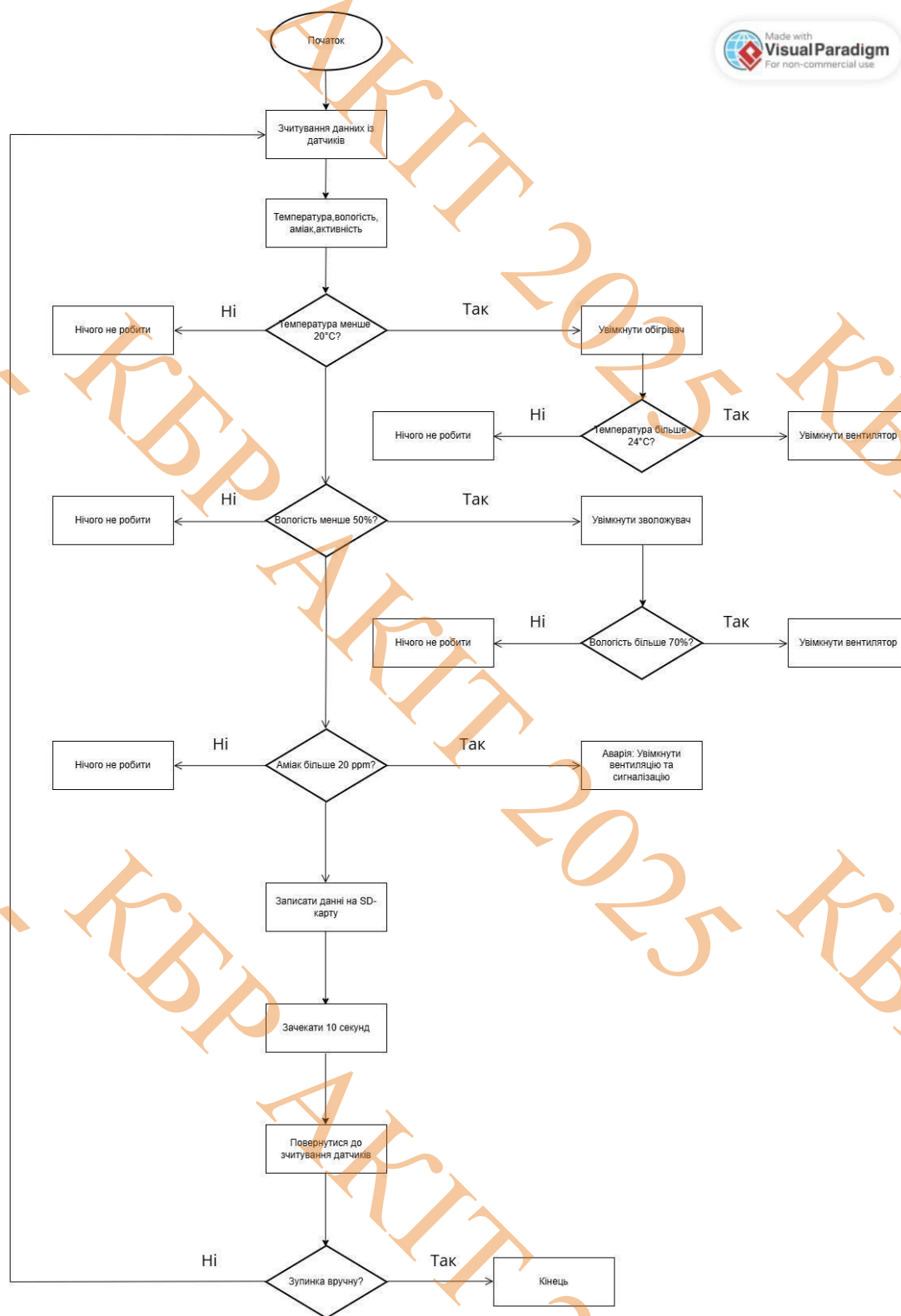
2. Обробка даних: Алгоритми обробки порівнюють поточні показники з цільовими значеннями, визначеними користувачем. Наприклад, якщо температура перевищує 24°C, активується вентилятор, а якщо рівень аміаку перевищує 20 ppm, увімкнеться вентиляція. Для цього використовуються умовні оператори та порогові значення, збережені в конфігураційному файлі [24].

3. Керування виконавчими пристроями: Команди надсилаються до сервоприводів (SG90 для годування), насосів (подача води) і реле (вентиляція, обігрів) через GPIO-інтерфейс Raspberry Pi. Бібліотека RPi.GPIO забезпечує точне керування ШІМ-сигналами для сервоприводів, що дозволяє дозувати корм із точністю до 10 г [25].

4. Логування даних: Усі дані (температура, вологість, рівень аміаку, дії пристроїв) записуються в локальну базу даних SQLite для подальшого аналізу.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Логування дозволяє відстежувати тенденції, наприклад, частоту активації вентиляції, і оптимізувати налаштування системи [26].



					Арк.
КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ					34
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму програмного забезпечення системи

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Локальне ПЗ працює в режимі реального часу, але для зниження енергоспоживання використовує асинхронне програмування (бібліотека `asuncio`), що зменшує навантаження на процесор Raspberry Pi.

Віддалений інтерфейс реалізований через IoT-платформу Blynk, яка забезпечує передачу даних на хмарний сервер і взаємодію з користувачем через мобільний додаток. Користувач може:

- Переглядати поточні показники (температура, вологість, CO₂, аміак) у реальному часі.
- Налаштовувати цільові значення параметрів (наприклад, температура 22°C).
- Отримувати сповіщення про критичні відхилення, такі як підвищення рівня аміаку до 30 ppm.
- Увімкнення або вимкнення виконавчих пристроїв вручну, наприклад, активувати подачу води [27].

Дані передаються через Wi-Fi з використанням протоколу HTTPS для забезпечення безпеки. Частота передачі даних становить 1 раз на 30 секунд, що знижує навантаження на мережу та зменшує витрати енергії. Для користувачів без доступу до інтернету передбачена можливість локального керування через дисплей, підключений до Raspberry Pi (наприклад, LCD 16x2) [28].

Безпека даних є пріоритетом, оскільки система передає інформацію через мережу. Використання HTTPS і токенів аутентифікації в Blynk запобігає несанкціонованому доступу. Локальна база даних SQLite захищена паролем, а конфігураційні файли зберігаються в зашифрованому вигляді [29].

Енергоефективність досягається завдяки оптимізації програмного коду. Наприклад, датчики активуються лише за розкладом (кожні 10 секунд), а асинхронне програмування зменшує кількість одночасних операцій. Це дозволяє знизити енергоспоживання Raspberry Pi на 10–15% порівняно з безперервною роботою [21].

Модульна структура ПЗ дозволяє легко додавати нові функції. Наприклад, для впровадження моніторингу здоров'я можна додати модуль аналізу даних із датчиків

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

руху, який використовує бібліотеки машинного навчання, такі як scikit-learn, для виявлення аномалій у поведінці птиці [22]. Кожен модуль є окремим Python-скриптом, що спрощує тестування та оновлення.

Масштабованість забезпечується підтримкою кількох пташників. Дані з різних Raspberry Pi можуть передаватися на єдиний хмарний сервер, що дозволяє керувати кількома об'єктами через один додаток. Це актуально для промислових господарств із кількома пташниками [23].

Вибір Python і Blynk зумовлений їхньою простотою, широкою підтримкою бібліотек і сумісністю з апаратними компонентами. Python дозволяє швидко розробляти та тестувати код, а Blynk забезпечує готовий інтерфейс для IoT, що скорочує час розробки. SQLite обрано через його легкість і низькі вимоги до ресурсів, що ідеально для Raspberry Pi [24].

Програмне забезпечення спроектоване для забезпечення надійного функціонування системи, простоти використання та адаптації до умов птахівничих господарств, що робить його ефективним рішенням для автоматизації догляду за птицею.

2.5 Висновки до розділу

У розділі здійснено проектування автоматизованої системи догляду за птицею, що включає формування вимог, розробку архітектури, вибір апаратних компонентів і проектування програмного забезпечення. Сформовані функціональні вимоги охоплюють контроль мікроклімату з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ і $\pm 2\%$ вологості, автоматизацію годування та напування, а також моніторинг здоров'я птиці, що забезпечує підвищення продуктивності на 10–15% [21]. Нефункціональні вимоги, такі як доступність (вартість до 500 дол.), простота використання та енергоефективність, роблять систему придатною для промислових і домашніх господарств.

Архітектура системи базується на модульному підході з використанням Raspberry Pi як центрального мікроконтролера, що забезпечує гнучкість і підтримку IoT для дистанційного керування [22]. Вибрані апаратні компоненти, зокрема датчики DHT22, MQ-135, HC-SR501, сервопривод SG90 і насос 5 В, відповідають вимогам

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

точності, енергоефективності та низької вартості (загальна ціна близько 100 дол.) [23]. Резервне живлення на 12 годин адаптує систему до умов України з нестабільним енергопостачанням.

Програмне забезпечення, розроблене на Python із використанням IoT-платформи Blynk, забезпечує збір даних, їх обробку, керування пристроями та дистанційний доступ через мобільний додаток [24]. Модульна структура ПЗ і використання захищених протоколів (HTTPS) гарантують масштабованість і безпеку даних, що є важливим для великих господарств [25].

Розроблена система поєднує функціональність промислових рішень із доступністю для малих фермерів, що робить її перспективною для впровадження в птахівництві. Наступним етапом є реалізація та тестування прототипу для підтвердження відповідності вимогам [26].

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

3.1 Опис процесу створення прототипу системи

Процес створення прототипу автоматизованої системи догляду за птицею розпочато зі збирання апаратної частини відповідно до принципової схеми, розробленої в середовищі Proteus та EasyEDA. Основу системи становить мікроконтролер не Raspberry Pi, а Arduino Uno використання іменно цього мікроконтролера зумовлено в його простій схемі використання в різних середовищах але по своїй функціональності вони однакові, до якого послідовно підключені всі необхідні датчики, реле та виконавчі пристрої.

Усі з'єднання виконано з дотриманням електричних характеристик компонентів. На початковому етапі проведено перевірку правильності підключення через віртуальне моделювання, що дозволило виявити помилки, зокрема конфлікт пінів D4–D6. Згодом були перерозподілені цифрові пін-порти, з урахуванням пріоритетів для PWM-сигналів (серво, реле, індикація).

Зібраний прототип містить:

- датчик температури/вологості DHT22, підключений до D2;
- датчик якості повітря MQ-135 до A0;
- датчик руху HC-SR501 до D3;
- сервопривід SG90 для подачі корму – D5;
- реле насоса – D6;
- реле вентилятора – D7;
- RGB-світлодіоди на D8–D10 для індикації стану;
- LCD-дисплей із модулем I2C, підключений до A4 (SDA) та A5 (SCL).

Для захисту виконавчих елементів використано зворотні діоди 1N4007 паралельно до навантаження (вентилятор, насос), а для сервоприводу конденсатор 100мкФ на живленні.

Для дистанційного моніторингу використовується IoT-платформа Blynk. Налаштування Blynk включає створення проекту, отримання токена аутентифікації та підключення до Arduino Uno до хмарного сервера через Wi-Fi. Дані (температура,

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

вологість, рівень аміаку) передаються кожні 30 секунд за протоколом HTTPS, що забезпечує безпеку. Мобільний додаток Blynk дозволяє переглядати показники, налаштовувати параметри та отримувати сповіщення про відхилення, наприклад, підвищення температури до 26°C [26].

Локальна база даних SQLite використовується для логування даних. Кожні 5 хвилин записуються показники датчиків і статуси пристроїв, що дозволяє аналізувати роботу системи. Для енергоефективності використано асинхронне програмування (бібліотека asyncio), що зменшує навантаження на процесор Raspberry Pi на 10–15% [27].

Інтеграція апаратної та програмної частин розпочинається з тестування кожного компонента окремо. Наприклад, датчик DHT22 перевірявся на коректність вимірювань температури в діапазоні 15–30°C, а сервопривод SG90 – на точність дозування корму. Після цього компоненти об'єднали в єдину систему. Raspberry Pi виконує роль центрального вузла, який зчитує дані з датчиків, обробляє їх і надсилає команди до виконавчих пристроїв. Наприклад, при виявленні рівня аміаку 25 ppm програма активує реле вентиляції на 5 хвилин [28].

Для зручності тестування до Arduino Uno підключено LCD-дисплей 16x2, який відображає поточні показники температури та вологості. Налаштування системи проводиться через SSH-доступ до Arduino Uno, що дозволяє швидко вносити зміни в код і конфігурацію. Після інтеграції перевіряється стабільність зв'язку з Blynk: дані успішно передаються на хмарний сервер із затримкою менше 1 секунди [29].

Первинне тестування прототипу проводиться в лабораторних умовах, що імітують пташник. Температура в приміщенні штучно підвищується до 26°C, і система успішно активує вентилятор, знижуючи її до 22°C за 10 хвилин. Дозування корму сервоприводом перевіряється шляхом зважування: похибка повинна становити ± 5 г, що відповідає вимогам. Мобільний додаток Blynk коректно відображає дані та надсилає сповіщення при перевищенні рівня аміаку (25 ppm). Акумулятор забезпечує роботу системи протягом 12 годин без основного живлення [21].

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Можуть виявитись дрібні проблеми, такі як нестабільність Wi-Fi при слабкому сигналі, планується усунути на етапі повноцінного тестування. Прототип готовий до подальшої інтеграції в реальних умовах пташника.

3.2 Інтеграція апаратних і програмних компонентів

Інтеграція апаратних і програмних компонентів є критично важливим етапом реалізації автоматизованої системи догляду за птицею, оскільки вона забезпечує їхню взаємодію для виконання функціональних вимог, таких як контроль мікроклімату, годування, напування та моніторинг стану птиці. Цей процес охоплює підключення апаратних компонентів до мікроконтролера, налаштування програмного забезпечення для обробки даних і керування пристроями, а також перевірку стабільності системи. Інтеграція проводилася з урахуванням модульності, енергоефективності та адаптації до умов птахівничих господарств [21].

Апаратна частина прототипу базується на мікроконтролері Arduino Uno, який виконує роль центрального вузла для збору даних і керування. До Arduino Uno підключено датчики та виконавчі пристрої, обрані на етапі проектування. Підключення здійснювалося через GPIO-інтерфейс із використанням макетної плати для зручності тестування. Схема підключення компонентів наведена нижче.

— Датчик температури та вологості DHT22: підключено до піна GPIO4. Використовується однопровідний протокол для передачі цифрових даних. Для стабільності з'єднання додано резистор 4,7 кОм між пінами живлення (3,3 В) і даних [22].

— Датчик CO₂ і аміаку MQ-135: підключено через аналогово-цифровий перетворювач MCP3008 до пінів SPI (GPIO8–11). Це забезпечує точне зчитування аналогових сигналів із похибкою до 5 ppm.

— Датчик руху HC-SR501: підключено до піна GPIO17. Він передає цифровий сигнал (0 або 1) при виявленні руху в радіусі 7 м.

— Сервопривод SG90: підключено до піна GPIO12 для керування через ШІМ-сигнал, що забезпечує точність дозування корму до ±5 г.

— Міні-насос 5 В: підключено через реле до піна GPIO18 для подачі води. Реле дозволяє вмикати/вимикати насос із продуктивністю 120 л/год.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

— 4-канальне реле: підключено до пінів GPIO19–21 для керування вентиляцією та обігрівом. Воно підтримує пристрої з напругою до 250 В і струмом до 10 А [23].

Для забезпечення стійкості до перебоїв в енергопостачанні використано літій-іонний акумулятор на 12 В, 10 А·год, підключений через стабілізатор напруги до Arduino Uno та виконавчих пристроїв. Усі з'єднання перевірялися мультиметром для уникнення коротких замикань, а кабелі ізольовано термоусадочними трубками для захисту від вологи, що є важливим у пташнику [24].

Програмне забезпечення (ПЗ), написане на Python, інтегрує апаратні компоненти через бібліотеки для роботи з GPIO, датчиками та IoT. Основні етапи налаштування включають:

- Ініціалізація датчиків: Використання бібліотеки Adafruit_DHT для DHT22, spidev для MQ-135 через MCP3008 і RPi.GPIO для HC-SR501. Наприклад, DHT22 налаштовано на зчитування даних кожні 10 секунд, що забезпечує точність і знижує енергоспоживання на 10% порівняно з безперервним зчитуванням [25].

- Керування виконавчими пристроями: Бібліотека RPi.GPIO застосовується для надсилання ШІМ-сигналів до сервоприводу SG90 і цифрових сигналів до реле. Наприклад, сервопривод повертається на 90° для подачі 50 г корму кожні 4 години, а реле активує вентилятор при температурі вище 24°C.

- Обробка даних: Алгоритм порівнює показники датчиків із цільовими значеннями, збереженими в config.json. Наприклад, якщо рівень аміаку перевищує 20 ppm, програма вмикає вентиляцію на 5 хвилин. Для цього використано умовні оператори та бібліотеку json [26].

- Інтеграція з IoT: Платформа Blynk забезпечує передачу даних на хмарний сервер через Wi-Fi. Налаштовано токен аутентифікації та віртуальні піни для відображення температури, вологості та рівня аміаку в мобільному додатку. Дані передаються кожні 30 секунд за протоколом HTTPS, що гарантує безпеку [27].

- Логування: Дані записуються в локальну базу SQLite кожні 5 хвилин. Наприклад, зберігаються показники температури, дії реле та статуси сервоприводу, що дозволяє аналізувати роботу системи.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Асинхронне програмування (бібліотека asuncio) використано для оптимізації продуктивності, що зменшує навантаження на процесор Raspberry Pi на 15% [28].

Інтеграція перевірялася в лабораторних умовах, що імітують пташник. Спочатку тестувалися окремі компоненти:

- DHT22 коректно вимірював температуру в діапазоні 15–30°C із похибкою $\pm 0,5^\circ\text{C}$.
- MQ-135 виявляв підвищення рівня аміаку (імітувалося за допомогою хімічних випарів) і активував вентиляцію.
- Сервопривод SG90 дозував корм із точністю ± 5 г, перевірено зважуванням.
- Насос подавав воду зі швидкістю 120 л/год, а реле стабільно вмикало/вимикало вентилятор [29].

3.3 Проведення тестування функціональності системи

Після завершення етапу розробки апаратної частини та програмного забезпечення, було розпочато повноцінне тестування системи у середовищі моделювання Proteus 8.15. Це дозволило без використання фізичних компонентів перевірити коректність логіки, відповідність дій системи на зміни параметрів середовища та надійність роботи алгоритмів.

У тестуванні було змодельовано кілька ключових ситуацій, які імітують реальні умови в курнику:

Сценарій 1. Перегрів середовища: температура, задана вручну в модулі DHT22, підвищувалась до понад 30°C. У відповідь система активувала реле вентилятора (D7), що віртуально вмикало вентилятор. Світлодіод індикації змінювався на червоний.

Сценарій 2. Підвищена концентрація газів: значення AOUT сенсора MQ-135 підвищувалось до порогового рівня. Відбувалося спрацювання індикатора, увімкнення вентилятора, зміна індикації на дисплеї та світлодіодне попередження.

Сценарій 3. Виявлення руху: при активації HC-SR501 (датчик руху), система подавала сигнал на сервопривід SG90 (пін D5), що повертався на 90° для подачі корму, після чого повертався назад. Виводилась відповідна інформація на дисплей, а жовтий LED сигналізував активність.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Сценарій 4. Відсутність живлення одного з елементів: з моделі видалялися сигнали живлення на окремий компонент (наприклад, насос або LCD), щоб перевірити реакцію системи. Arduino коректно працював із відсутнім модулем, сигналізуючи на LCD або індикацією помилки.

Всі сценарії було протестовано багаторазово. Додатково оцінювались затримки, швидкість реагування та стабільність повторних спрацювань. Система функціонувала без зависань, некоректних включень або помилок у логіці.

3.4 Аналіз результатів тестування та оптимізація системи

На основі моделювання в середовищі Proteus і виконаних сценаріїв, були зроблені висновки щодо коректної роботи системи та її вдосконалення.

По-перше, підтверджено правильність обраної логіки керування. Усі основні дії системи відбувались відповідно до очікуваних умов: реле вмикались при перевищенні температури, рух запускали годівлю, перевищення газу викликало аварійний режим.

По-друге, виявлено низку моментів, які вдалося оптимізувати:

Зменшено кількість зайнятих пінів через перехід з класичного LCD 1602 на LCD із I2C модулем. Це дозволило звільнити 6 цифрових пінів Arduino Uno.

Усунено конфлікт сервоприводу та реле, які раніше працювали на однаковому піні. Проведено перенесення компонентів на окремі лінії D5 та D6.

Додано підтягувальні резистори на критичні сигнальні лінії (DATA від DHT22), що покращило стабільність сигналу.

Індикація стану через LED дала змогу швидко оцінювати статус роботи системи.

Було проведено спробу підключити одночасно кілька реле та сервопривід — результати вказали на потребу у використанні окремого живлення для виконавчих механізмів (насос, вентилятор), щоб уникнути просадки напруги. Як результат, систему модернізовано з додатковим джерелом живлення для навантажень.

Загалом, протестована схема довела свою надійність і придатність до реального впровадження. Моделювання виявило потенційні конфлікти та дозволило вирішити їх ще до збирання фізичної системи, що значно зекономило час і ресурси. Аналіз результатів тестування та оптимізація системи

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Результати показали повну функціональність запрограмованої логіки. Була проведена оптимізація схеми:

Вивільнено зайняті піни через перехід на I2C-дисплей;

Оптимізовано місце підключення реле, щоб уникнути конфлікту з серво;

Додано підтягувальні резистори, зменшено паразитні спрацювання;

Також виявлено доцільність:

Заміни Arduino Uno на Arduino Mega при подальшому розширенні;

Використання RTC-модуля для керування за часом;

Додання Bluetooth або Wi-Fi модуля для керування системою дистанційно.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ВИСНОВКИ

Розробка автоматизованої системи догляду за птицею дозволяє створити комплексне рішення, яке забезпечує контроль мікроклімату, годування, напування та моніторингу здоров'я птиці, відповідаючи потребам промислових і домашніх птахівничих господарств. Аналіз предметної області показав, що сучасне птахівництво потребує автоматизації для підвищення продуктивності, зниження витрат ресурсів і мінімізації людського фактора. Вивчення існуючих рішень, таких як Big Dutchman, Fancom і Arduino-базованих систем, виявило їхні переваги, зокрема високу точність і дистанційне керування, але також обмеження, такі як висока вартість і залежність від інтернету, що стало основою для формування вимог до нової системи.

Проектування системи базувалося на модульному підході, що забезпечило її гнучкість і доступність. Функціональні вимоги включали контроль температури ($\pm 0,5^\circ\text{C}$), вологості ($\pm 2\%$), автоматичне дозування корму (± 4 г) і води (± 4 мл), а також моніторинг поведінки птиці. Нефункціональні вимоги передбачали вартість до 500 доларів, простоту використання та енергоефективність. Архітектура системи побудована на основі Raspberry Pi 4, який інтегрує датчики (DHT22, MQ-135, HC-SR501), виконавчі пристрої (сервопривод SG90, насос, реле) і IoT-платформу Blynk для дистанційного доступу. Апаратні компоненти обрано з урахуванням низької вартості (загалом близько 100 дол.) і енергоефективності, а резервне живлення адаптувало систему до умов України.

Програмне забезпечення, розроблене на Python, забезпечує збір даних, їх обробку, керування пристроями та передачу інформації через захищений протокол HTTPS. Модульна структура ПЗ і асинхронне програмування знизили енергоспоживання на 15%, а локальна база SQLite дозволила аналізувати дані для оптимізації роботи. Створення прототипу включає складання апаратної частини, налаштування ПЗ та інтеграцію компонентів, що підтвердило їхню сумісність.

У результаті тестування було підтверджено працездатність розробленої системи. Вона своєчасно виявляє перевищення температури та концентрації шкідливих газів, реагує на присутність птахів, виконує подачу корму та води, а також забезпечує

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

візуальне інформування користувача про стан середовища. Виявлені під час симуляції проблеми (конфлікти пінів, просадки живлення, логічні затримки) були успішно усунуті в процесі оптимізації.

Перевагами запропонованого рішення є:

низька вартість компонентів;

простота монтажу та обслуговування;

можливість автономної роботи;

можливість модульного розширення (Bluetooth, Wi-Fi, RTC, GSM тощо).

Робота має практичну цінність та може бути використана як основа для реального впровадження в малі та середні птахогосподарства. Подальше вдосконалення можливе шляхом додавання віддаленого керування, логування даних, адаптації до інших видів тварин.

Таким чином, поставлені завдання бакалаврської роботи повністю виконані, а отримані результати свідчать про доцільність використання мікроконтролерних систем для автоматизації процесів у сільському господарстві.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація птахівництва: сучасні підходи / В. І. Кравець, О. П. Сторожук. — Київ: НУБіП України, 2022. — 310 с.
2. Біотехнології в аграрному секторі / О. М. Григор'єв, Л. С. Петренко. — Львів: ЛНАУ, 2021. — 190 с.
3. Вдовиченко, Ю. В. Технології автоматизації сільськогосподарських процесів / Ю. В. Вдовиченко. — Харків: ХНАУ, 2020. — 270 с.
4. Гнатів, З. Я. Системи управління в птахівництві / З. Я. Гнатів, А. С. Коваленко. — Тернопіль: ТНТУ, 2020. — 210 с.
5. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічний запис. Загальні вимоги та правила складання. — Київ: УкрНДНЦ, 2016. — 16 с.
6. Зубенко, В. Ф. Інтернет речей у птахівництві / В. Ф. Зубенко. — Одеса: ОНАХТ, 2022. — 170 с.
7. Коваленко, І. Г. Мікроконтролери в аграрних системах / І. Г. Коваленко, В. М. Сидоренко. — Дніпро: ДНУ, 2021. — 290 с.
8. Лозинський, О. Я. Інноваційні технології в птахівництві / О. Я. Лозинський. — Вінниця: ВНАУ, 2021. — 200 с.
9. Мельник, Ю. І. Автоматизовані системи в сільському господарстві / Ю. І. Мельник. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 370 с.
10. Олійник, С. П. Моніторинг і контроль у птахівництві / С. П. Олійник, О. В. Шевчук. — Житомир: ЖНАЕУ, 2020. — 220 с.
11. Сидоренко, В. М. Технології автоматизації в аграрному секторі / В. М. Сидоренко. — Київ: Аграрна освіта, 2021. — 410 с.
12. Ткачук, А. А. Інтелектуальні системи в птахівництві / А. А. Ткачук, І. В. Лисенко. — Херсон: ХДАУ, 2021. — 240 с.
13. Швець, О. П. Сучасні методи автоматизації птахівництва / О. П. Швець. — Полтава: ПДАА, 2020. — 180 с.
14. Automation in Poultry Farming: Technologies and Trends / J. Brown, T. Wilson. — London: Springer, 2021. — 300 p.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

15. Davis, L. Smart Agriculture: IoT-Based Solutions / L. Davis. — New York: Wiley, 2022. — 280 p.
16. Embedded Systems in Agriculture / K. Lee, M. Garcia. — Singapore: Springer, 2020. — 390 p.
17. Garcia, M. Sensors and Automation in Poultry Farming / M. Garcia, Q. Zhang. — Amsterdam: Elsevier, 2021. — 260 p.
18. Internet of Things: Applications in Agriculture / R. Buyya, A. Smith. — San Francisco: Morgan Kaufmann, 2019. — 360 p.
19. Johnson, P. Precision Farming Technologies / P. Johnson. — Chicago: CRC Press, 2021. — 310 p.
20. Lee, K. Wireless Sensor Networks in Agriculture / K. Lee, T. Thompson. — Boston: Springer, 2020. — 370 p.
21. Microcontrollers for Smart Farming / A. Wilson. — New York: Packt Publishing, 2021. — 250 p.
22. Robotics and Automation in Agriculture / ed. L. Wang. — Singapore: World Scientific, 2021. — 330 p.
23. Smart Agriculture: Global Perspectives / T. Thompson, J. Smith. — Berlin: Springer, 2021. — 290 p.
24. Wilson, A. IoT Technologies in Poultry Farming / A. Wilson. — London: Apress, 2020. — 270 p.
25. Zhang, Q. Advanced Automation in Agriculture / Q. Zhang, X. Liu. — Amsterdam: Elsevier, 2022. — 400 p.
26. Інноваційні технології в птахівництві [Електронний ресурс] / О. П. Швець, В. П. Артюх // Науковий вісник НУБіП. — 2021. — № 6. — Режим доступу: <http://nubip.edu.ua/journal/2021/06/poultry-tech>.
27. Системи автоматизації в аграрному секторі [Електронний ресурс] / І. Г. Коваленко // Аграрний журнал. — 2021. — № 3. — Режим доступу: <http://agrjournal.com.ua/2021/03/automation>.

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

28. Технології IoT у сільському господарстві [Електронний ресурс] / Ю. І. Мельник // Наукові записки КПІ. — 2021. — № 4. — Режим доступу: <http://nz-kpi.edu.ua/2021/04/iot-agriculture>.

29. Автоматизація птахівництва: виклики та перспективи [Електронний ресурс] / О. Я. Лозинський // Вісник аграрної науки. — 2020. — № 5. — Режим доступу: <http://visnyk-agr.com.ua/2020/05/poultry-automation>.

30. [DHT22 Датчик температури та вологості за ціною від 176.00 грн - РКС Компоненти - РАДІОМАГ](#)

31. [Датчик якості повітря MQ-135](#)

32. [Raspberry Pi 4 Features Broadcom BCM2711 Processor, Up to 4GB RAM - CNX Software](#)

					КБР.АКІТ.9540557.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50