

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система моніторингу стану бджолиних вуликів*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Шевчук Н.І.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Луцик Н.С.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Тиш Є.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Мудрик І.Я.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Шевчука Назара Ігоровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система моніторингу стану бджолиних вуликів

Керівник роботи Луцик Надія Степанівна, (Philpsophy Doctor), доцент кафедри КС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 27 » січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1.

2.

3.

4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Пилипець М.І., д.т.н., проф.каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>27.01 – 02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Аналіз можливих рішень поставленого завдання</i>	<i>03.02 – 10.02</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Проектування та розробка апаратно-програмної системи моніторингу стану бджолиних вуликів</i>	<i>06.05 – 13.05</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Практична реалізація та тестування системи</i>	<i>14.05 – 27.05</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>28.05 – 31.05</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>01.06 – 08.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>09.06 – 15.06</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06</i>	

Студент

(підпис)

Шевчук Н.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шевчук Н.І. Комп'ютеризована система моніторингу стану бджолиних вуликів: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютеризована система, бджільництво, моніторинг, бджолині вулики, температура, вологість, рівень шуму, датчики, мікроконтролер ESP32.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та дослідженню комп'ютеризованої системи для моніторингу стану бджолиних вуликів, інтегрованої в конструкцію вулика

Структура роботи складається з чотирьох розділів. У першому розділі проведено аналіз сучасних систем моніторингу бджолиних вуликів. Другий розділ присвячено проєктній частині, включаючи розробку електричних схем і алгоритмів. Третій розділ описує практичну реалізацію системи та результати тестування. Четвертий розділ містить рекомендації з охорони праці. Робота завершується висновками та списком використаних джерел.

Практична цінність роботи полягає в створенні прототипу системи, який може бути використаний бджолярами для автоматизації моніторингу, зменшення трудовитрат і підвищення продуктивності бджолиних сімей. Розроблені схеми та програмний код можуть бути адаптовані для масового виробництва, а рекомендації з охорони праці забезпечать безпечну експлуатацію системи.

ANNOTATION

Shevchuk N.I. Computerized system for monitoring the condition of bee hives: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering, Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: computerized system, beekeeping, monitoring, beehives, temperature, humidity, noise level, sensors, microcontroller ESP32.

The qualification work is dedicated to the development and research of a computerized system for monitoring the condition of bee hives, integrated into the hive design.

The structure of the work consists of four sections. The first section analyzes modern beehive monitoring systems. The second section is devoted to the design part, including the development of electrical circuits and algorithms. The third section describes the practical implementation of the system and the results of testing. The fourth section contains recommendations on occupational health and safety. The work concludes with conclusions and a list of sources used.

The practical value of the work lies in creating a prototype system that can be used by beekeepers to automate monitoring, reduce labor costs, and increase the productivity of bee colonies. The developed circuits and program code can be adapted for mass production, and occupational health and safety recommendations will ensure safe operation of the system.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	11
1.1 Огляд існуючих рішень для моніторингу бджолиних вуликів	11
1.2 Аналіз технічних засобів для збору даних про стан вуликів	14
1.3 Визначення основних параметрів для моніторингу бджолиних вуликів	17
1.4 Порівняння програмно-апаратних комплексів для бджільництва	20
1.5 Висновки до розділу	24
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	26
2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи моніторингу	26
2.2 Опис схеми електричної структурної	28
2.3 Розробка схеми електричної принципової.....	31
2.4 Створення блок-схеми алгоритму роботи системи.....	33
2.5 Висновки до розділу	35
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	37
3.1 Розробка схеми електричних з'єднань для підключення датчиків	37
3.2 Написання програмного коду для опрацювання даних із датчиків	39
3.3 Тестування комп'ютеризованої системи	41
3.4 Висновки до розділу	45
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	47

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Шевчук Н.І.			Комп'ютеризована система моніторингу стану бджолиних вуликів			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Луцук Н.С.								6	
Реценз.		Мудрик І.Я.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42			
Н. Контр.		Тиш Є.В.									
Затверд.		Осухівська Г.М.									

4.1	Долікарська допомога при укусах бджіл	47
4.2	Заходи що забезпечують безпечні умови використання системи	49
	ВИСНОВКИ	52
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
	Додаток А Технічне завдання	
	Додаток Б Лістинг програми	
	Додаток В Перелік елементів	

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

IoT – (Internet of Things)

LoRa – (Long Range)

ADC – (Analog-to-Digital Converter)

SPI – (Serial Peripheral Interface)

GPIO – (General Purpose Input/Output)

API – (Application Programming Interface)

VBAT – (Voltage Battery)

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Бджільництво є однією з найважливіших галузей сільського господарства, що відіграє ключову роль у запиленні сільськогосподарських культур, забезпеченні продовольчої безпеки та підтримці біорізноманіття. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), бджоли забезпечують запилення близько 70% сільськогосподарських культур, що становить значну частку світового виробництва продуктів харчування. В Україні бджільництво має глибокі історичні традиції та економічне значення, адже країна є одним із провідних експортерів меду в Європі. Проте сучасні виклики, такі як зміна клімату, хвороби бджіл, пестициди та втрата природних середовищ існування, створюють серйозні загрози для бджолиних сімей, що вимагає впровадження інноваційних підходів до їх захисту та моніторингу.

Традиційні методи спостереження за станом бджолиних вуликів, які базуються на фізичних оглядах бджолярами, є трудомісткими, суб'єктивними та не завжди дозволяють своєчасно виявити проблеми. Наприклад, зміна температури, вологості чи ваги вулика може свідчити про захворювання бджіл, втрату матки або інші критичні стани, але ці параметри важко оцінити без спеціальних інструментів. У зв'язку з цим актуальним є створення комп'ютеризованих систем моніторингу, які дозволяють автоматизувати збір даних, підвищувати точність діагностики та забезпечувати своєчасне реагування на зміни стану бджолиних сімей.

Сучасні технології, такі як Інтернет речей (IoT), датчики температури, вологості, ваги та звуку, а також методи опрацювання даних із використанням штучного інтелекту, відкривають нові можливості для бджільництва. Комп'ютеризовані системи моніторингу дають змогу відстежувати ключові параметри вуликів у реальному часі, прогнозувати потенційні проблеми та оптимізувати догляд за бджолами. Такі системи вже успішно застосовуються в багатьох країнах, зокрема в США, Італії та Австралії, де комерційні продукти, такі як HiveGenie, ApisProtect та 3Bee Hive-tech, допомагають

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бджолярам підвищувати продуктивність і зменшувати втрати. В Україні подібні розробки перебувають на початковому етапі, що робить тему створення комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів надзвичайно актуальною.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності бджільництва в умовах сучасних екологічних і економічних викликів. Розробка комп'ютеризованої системи моніторингу дозволить автоматизувати процеси спостереження за бджолиними сім'ями, зменшити вплив людського фактора та забезпечити швидке реагування на критичні ситуації, такі як перегрів, надмірна вологість або втрата бджолиної матки. Крім того, впровадження таких систем сприятиме інтеграції цифрових технологій у сільське господарство України, що відповідає глобальним тенденціям цифровізації та сталого розвитку.

Мета роботи – розробити комп'ютеризовану систему моніторингу стану бджолиних вуликів, яка забезпечує автоматизований збір, опрацювання та аналіз даних про ключові параметри (температуру, вологість, вагу, звук) для підвищення ефективності бджільництва та зменшення ризиків втрати бджолиних сімей.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд існуючих рішень для моніторингу бджолиних вуликів

Сучасне бджільництво стикається з численними викликами, такими як зміна клімату, захворювання бджіл, пестициди та втрата природних середовищ існування. Для вирішення цих проблем активно застосовуються комп'ютеризовані системи моніторингу, які дозволяють автоматизувати спостереження за станом бджолиних сімей, підвищувати ефективність догляду та зменшувати втрати. Системи моніторингу бджолиних вуликів базуються на використанні сенсорних технологій, Інтернету речей (IoT) та обробки даних у реальному часі. Вони дають змогу відстежувати ключові параметри, такі як температура, вологість, вага та звук, що є критично важливими для здоров'я бджіл. У цьому пункті розглянуто основні існуючі рішення, їх функціональні можливості та особливості застосування в бджільництві [10].

Одним із найвідоміших рішень є система NiveGenie, яка пропонує комплексний моніторинг бджолиних вуликів за допомогою датчиків температури, вологості, ваги та GPS-трекінгу. Система передає дані на хмарну платформу, де бджолярі можуть переглядати їх у реальному часі через мобільний додаток. NiveGenie також підтримує прогнозування погодних умов, що допомагає бджолярам планувати догляд за вуликами. Ця система є прикладом інтеграції IoT-технологій у бджільництво, забезпечуючи автоматизацію та зручність використання [12].

Іншим популярним рішенням є 3Bee Nive-tech, розроблена в Італії. Ця система використовує датчики для вимірювання температури, вологості та

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз технічного завдання		
Розроб.	Шевчук Н.І.						
Перевір.	Луцик Н.С.						
Реценз.	Мудрик І.Я.						
Н. Контр.	Тиш Є.В.						
Затверд.	Осухівська Г.М.						
					Літ.	Арк.	Аркуші
						11	
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		

звукової активності бджіл. Особливістю 3Bee є використання алгоритмів машинного навчання для аналізу звукових патернів, що дозволяє виявляти проблеми, такі як втрата матки або захворювання. Дані передаються через мобільні мережі до веб-платформи, де бджолярі отримують рекомендації щодо дій. Система також має функцію моніторингу ваги вулика, що допомагає відстежувати запаси меду та продуктивність бджолої сім'ї [13].

Компанія SolutionBee пропонує портативні ваги та датчики для моніторингу бджолиних вуликів, які є економічно доступними для невеликих бджільницьких господарств. Їхня система фокусується на вимірюванні ваги та температури, а також інтеграції з мобільними додатками для сповіщення бджолярів про критичні зміни. SolutionBee підходить для бджолярів, які шукають прості та недорогі рішення для моніторингу [4]. Аналогічно, система Beehive Monitoring System пропонує модульний підхід, дозволяючи бджолярів обирати набір датчиків залежно від їхніх потреб. Вона підтримує підключення до хмарних сервісів і має відкритий API для інтеграції з іншими платформами [15].

У таблиці 1.1 наведено порівняння основних характеристик розглянутих систем моніторингу бджолиних вуликів.

Таблиця 1.1 – Порівняння існуючих систем моніторингу бджолиних вуликів

Система	Параметри моніторингу	Тип зв'язку	Інтерфейс користувача	Особливості
HiveGenie	Температура, вологість, вага, GPS	Wi-Fi, 4G	Мобільний додаток, веб	Прогноз погоди, IoT
3Bee Hive-tech	3Bee Hive-tech	Мобільна мережа	Веб-платформа, додаток	Аналіз звуку, машинне навчання

Продовження таблиці 1.1

SolutionBee	Вага, температура	Bluetooth, Wi-Fi	Мобільний додаток	Простота, економічність
SolutionBee	Температура, вологість, вага, звук	Wi-Fi, LoRa	Веб, API	Модульність, відкритий API

На основі огляду можна зробити висновок, що сучасні системи моніторингу бджолиних вуликів мають широкий спектр функціональних можливостей, але їхня ефективність залежить від конкретних потреб бджоляра, таких як розмір бджільницького господарства, бюджет та технічні вимоги. Наприклад, HiveGenie та 3Bee підходять для великих комерційних бджільниць через їхню розширену функціональність, тоді як SolutionBee є оптимальним для невеликих господарств. Однак більшість систем потребують стабільного Інтернет-з'єднання, що може бути проблемою в сільській місцевості України. Таким чином, при розробці власної системи необхідно враховувати локальні умови експлуатації та економічну доцільність [11].

Розглянуті системи демонструють тенденцію до інтеграції IoT, що дозволяє бджолярам отримувати дані в реальному часі та приймати обґрунтовані рішення. Проте більшість із них орієнтовані на західні ринки, що може ускладнювати їх адаптацію до умов українського бджільництва. Наприклад, високі витрати на обладнання та підписку можуть бути недоступними для невеликих бджільницьких господарств в Україні. Крім того, системи часто не враховують специфіку місцевих кліматичних умов, таких як різкі перепади температури чи висока вологість, що є характерним для України [13].

Для подальшого аналізу важливо врахувати не лише комерційні рішення, але й наукові розробки. Наприклад, система Terezi описує мультисенсорну платформу, яка включає датчики температури, вологості,

ваги та CO₂. Ця платформа була протестована в реальних умовах і показала високу точність у виявленні змін стану бджолиних сімей. Такі розробки можуть бути основою для створення доступних систем, адаптованих до українських умов [12]. Аналогічно, система ApisProtect, яка використовує датчики для моніторингу активності бджіл, демонструє можливість використання простих сенсорів для отримання цінних даних [18].

Огляд існуючих рішень показує, що більшість систем орієнтовані на автоматизацію збору даних та зменшення людського фактора. Проте їхня ефективність залежить від правильного вибору параметрів моніторингу та адаптації до місцевих умов. У наступних пунктах буде проведено детальний аналіз технічних засобів, параметрів моніторингу та порівняння програмно-апаратних комплексів, щоб визначити оптимальні підходи до розробки власної системи.

1.2 Аналіз технічних засобів для збору даних про стан вуликів

Технічні засоби для збору даних про стан бджолиних вуликів є основою комп'ютеризованих систем моніторингу. Вони включають датчики, мікроконтролери, модулі зв'язку та джерела живлення, які забезпечують збір, обробку та передачу даних. Вибір технічних засобів залежить від параметрів моніторингу, умов експлуатації та економічної доцільності. У цьому пункті розглянуто основні типи датчиків, мікроконтролерів і засобів зв'язку, що використовуються в сучасних системах, а також їхні переваги та недоліки [16].

Датчики є ключовим елементом систем моніторингу. Для вимірювання температури найчастіше використовуються цифрові датчики, такі як DS18B20, які мають високу точність ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) і простоту інтеграції з мікроконтролерами, такими як Arduino або ESP32. Для моніторингу вологості застосовуються датчики типу DHT22, які забезпечують точність $\pm 2\%$ і здатні працювати в широкому діапазоні температур. Вагові датчики, такі як

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

тензометричні датчики з підсилювачами HX711, дозволяють вимірювати вагу вулика з точністю до 100 г, що є важливим для відстеження запасів меду та активності бджіл. Для аналізу звукової активності використовуються електретні мікрофони, які в поєднанні з алгоритмами опрацювання сигналів можуть виявляти патерни, пов'язані з поведінкою бджіл [11].

Мікроконтролери відіграють центральну роль в опрацюванні даних із датчиків. Arduino Uno є популярним вибором завдяки своїй простоті та великій кількості бібліотек для роботи з датчиками. Однак для систем із бездротовим зв'язком частіше використовується ESP32, який підтримує Wi-Fi та Bluetooth, що спрощує передачу даних на хмарні платформи. ESP32 також має низьке енергоспоживання, що є критичним для автономних систем, які працюють від батарей [14]. У системах із розширеним функціоналом, таких як 3Bee Hive-tech, застосовуються більш потужні мікроконтролери, наприклад, STM32, які дозволяють обробляти складні алгоритми машинного навчання безпосередньо на пристрої [13].

Модулі зв'язку забезпечують передачу даних до бджоляра або хмарного сервера. Найпоширенішими є Wi-Fi, Bluetooth, LoRa та мобільні мережі (3G/4G). Wi-Fi-модулі, такі як вбудовані в ESP32, підходять для господарств із доступом до Інтернету, але споживають більше енергії. LoRa є оптимальним для віддалених бджільниць, оскільки забезпечує передачу даних на великі відстані (до 10 км) при низькому енергоспоживанні. Мобільні мережі використовуються в комерційних системах, таких як ApisProtect, але потребують регулярної оплати SIM-карт, що підвищує експлуатаційні витрати [18].

Джерела живлення для систем моніторингу включають акумулятори, сонячні панелі та комбінацію обох. Сонячні панелі є популярним вибором для автономних систем, оскільки бджільницькі господарства часто розташовані в сільській місцевості без доступу до електромережі. Наприклад, система HiveGenie використовує сонячні панелі потужністю 10 Вт у поєднанні з літій-

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

іонними акумуляторами, що забезпечує безперебійну роботу протягом кількох місяців [15]. Однак у регіонах із низькою сонячною активністю, таких як Україна взимку, необхідні додаткові джерела живлення або оптимізація енергоспоживання.

У таблиці 1.2 наведено порівняння основних технічних засобів, що використовуються в системах моніторингу бджолиних вуликів.

Таблиця 1.2 – Порівняння технічних засобів для збору даних

Тип засобу	Приклади	Переваги	Недоліки
Датчики температури	DS18B20, DHT22	Висока точність, низька ціна	Обмежений діапазон температур
Датчики вологості	DHT22, SHT31	Точність $\pm 2\%$, стабільність	Чутливість до конденсату
Вагові датчики	HX711, тензOMETричні	Точність до 100 г, надійність	Складність калібрування
Звукові датчики	Електретні мікрофони	Виявлення патернів поведінки	Потреба в обробці сигналів
Мікроконтролери	Arduino, ESP32, STM32	Гнучкість, підтримка IoT	Обмеження по обчислювальній потужності
Модулі зв'язку	Fi, LoRa, 4G	Дальність, швидкість передачі	Високе енергоспоживання (Wi-Fi, 4G)

Аналіз технічних засобів показує, що вибір компонентів залежить від конкретних умов експлуатації. Наприклад, у сільській місцевості України, де доступ до Інтернету може бути обмеженим, доцільно використовувати LoRa-

модулі для передачі даних. Водночас для невеликих бджільниць економічно виправданим є використання простих мікроконтролерів, таких як Arduino, у поєднанні з доступними датчиками, такими як DS18B20 та DHT22. Важливо також враховувати захист компонентів від вологи та перепадів температур, що є типовим для бджолиних вуликів [16].

На основі аналізу можна зробити висновок, що сучасні технічні засоби дозволяють створювати ефективні системи моніторингу, але їх вибір потребує балансу між вартістю, функціональністю та енергоефективністю. У наступних пунктах буде розглянуто основні параметри моніторингу та порівняння програмно-апаратних комплексів для визначення оптимального складу системи.

1.3 Визначення основних параметрів для моніторингу бджолиних вуликів

Вибір параметрів для моніторингу бджолиних вуликів є ключовим етапом при розробці комп'ютеризованої системи, оскільки від цього залежить її ефективність і здатність своєчасно виявляти проблеми. Основними параметрами, які зазвичай відстежуються, є температура, вологість, вага та звук. Ці параметри дозволяють оцінити стан бджолиної сім'ї, виявити захворювання, втрату матки або зміни в продуктивності. У цьому пункті розглянуто значення кожного параметра та їх вплив на бджільництво [15].

Температура всередині вулика є одним із найважливіших показників. Бджоли підтримують оптимальну температуру в межах 32–35°C для розвитку розплоду. Відхилення від цього діапазону може свідчити про проблеми, такі як перегрів через спеку або переохолодження взимку. Наприклад, температура вище 38°C може призвести до загибелі розплоду, а нижче 28°C – до уповільнення розвитку бджіл. Датчики температури, такі як DS18B20,

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

дозволяють вимірювати цей параметр із точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що забезпечує надійний моніторинг [1].

Вологість у вулику також відіграє важливу роль. Оптимальний рівень вологості становить 50–70%, що необхідно для нормального розвитку бджіл і запобігання появі цвілі. Надмірна вологість (понад 80%) може спричинити розвиток грибкових захворювань, тоді як низька вологість (менше 40%) ускладнює регуляцію температури бджолами. Датчики вологості, такі як DHT22 або SHT31, забезпечують точність $\pm 2\%$ і дозволяють відстежувати цей параметр у реальному часі [17].

Вага вулика є показником запасів меду, активності бджіл і загального стану сім'ї. Зміна ваги може вказувати на роїння (різке зменшення ваги), збір нектару (збільшення ваги) або втрату бджіл. Тензометричні датчики з підсилювачами HX711 дозволяють вимірювати вагу з точністю до 100 г, що достатньо для моніторингу. Наприклад, у системі SolutionBee вага використовується для оцінки продуктивності бджолиної сім'ї та прогнозування збору меду [14].

Звук у вулику є менш очевидним, але важливим параметром. Активність бджіл, така як гудіння або специфічні звукові патерни, може свідчити про стан сім'ї. Наприклад, втрата матки часто супроводжується зміною звукової активності, що можна виявити за допомогою електретних мікрофонів і алгоритмів обробки сигналів. Система 3Bee Hive-tech використовує аналіз звуку для виявлення аномалій, таких як захворювання або роїння, що підвищує точність моніторингу [13].

У таблиці 1.3 наведено основні параметри моніторингу, їх значення та відповідні датчики.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.3 – Основні параметри моніторингу бджолиних вуликів

Параметр	Оптимальний діапазон	Датчик	Значення для бджіл
Температура	32–35°C	DS18B20, DHT22	Розвиток розплоду, терморегуляція
Вологість	50–70%	DHT22, SHT31	Запобігання цвілі, комфорт бджіл
Вага	Залежить від розміру вулика	HX711, тензодатчики	Оцінка запасів меду, роїння
Звук	Залежить від патерну	Електретний мікрофон	Виявлення аномалій, втрата матки

Аналіз параметрів показує, що кожен із них відіграє унікальну роль у моніторингу. Температура та вологість є основними для забезпечення здоров'я бджіл, вага допомагає оцінити продуктивність, а звук дозволяє виявляти поведінкові зміни. Поєднання цих параметрів у системі моніторингу забезпечує комплексний підхід до спостереження за бджолиними сім'ями. Однак для ефективного використання необхідно враховувати точність датчиків і їх стійкість до умов експлуатації, таких як висока вологість або перепади температур [15].

Важливо також враховувати локальні особливості. Наприклад, в Україні, де клімат характеризується значними сезонними коливаннями, моніторинг температури та вологості є особливо важливим у зимовий період, коли бджоли формують зимовий клуб. Вага може допомогти оцінити достатність кормових запасів, а звук – виявити аномалії, спричинені зовнішніми факторами, такими як шкідники [18].

На основі аналізу можна зробити висновок, що температура, вологість, вага та звук є ключовими параметрами для моніторингу бджолиних вуликів.

Їх комбінація дозволяє отримати повну картину стану бджолиної сім'ї та своєчасно реагувати на проблеми. У наступному пункті буде проведено порівняння програмно-апаратних комплексів для визначення оптимального підходу до реалізації системи.

1.4 Порівняння програмно-апаратних комплексів для бджільництва

Програмно-апаратні комплекси для моніторингу бджолиних вуликів поєднують апаратні компоненти (датчики, мікроконтролери, модулі зв'язку) та програмне забезпечення (ПЗ) для збору, обробки та візуалізації даних. Вибір комплексу залежить від функціональності, вартості, енергоефективності та адаптації до умов експлуатації.[9].

Система HiveGenie використовує мікроконтролер ESP32 для обробки даних із датчиків температури (DS18B20), вологості (DHT22), ваги (HX711) та GPS-модуля. ПЗ включає хмарну платформу та мобільний додаток із інтуїтивним інтерфейсом, що відображає дані в реальному часі та прогноз погоди. На рисунку 1.1 показано інтерфейс мобільного додатка HiveGenie, який дозволяє бджолярам переглядати графіки температури та ваги. Система підтримує Wi-Fi та 4G, але потребує стабільного Інтернет-з'єднання, що може бути обмеженням у віддалених регіонах [20].



Рисунок 1.1 – Інтерфейс мобільного додатка HiveGenie

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Система 3Bee Hive-tech базується на мікроконтролері STM32 і включає датчики температури, вологості, ваги та звуку. Її ПЗ використовує алгоритми машинного навчання для аналізу звукових патернів, що дозволяє виявляти аномалії, такі як втрата матки. Інтерфейс веб-платформи 3Bee, показаний на рисунку 1.2, відображає детальну аналітику та рекомендації для бджолярів. Система використовує мобільні мережі, що забезпечує стабільну передачу даних, але підвищує експлуатаційні витрати через необхідність SIM-карт [13].

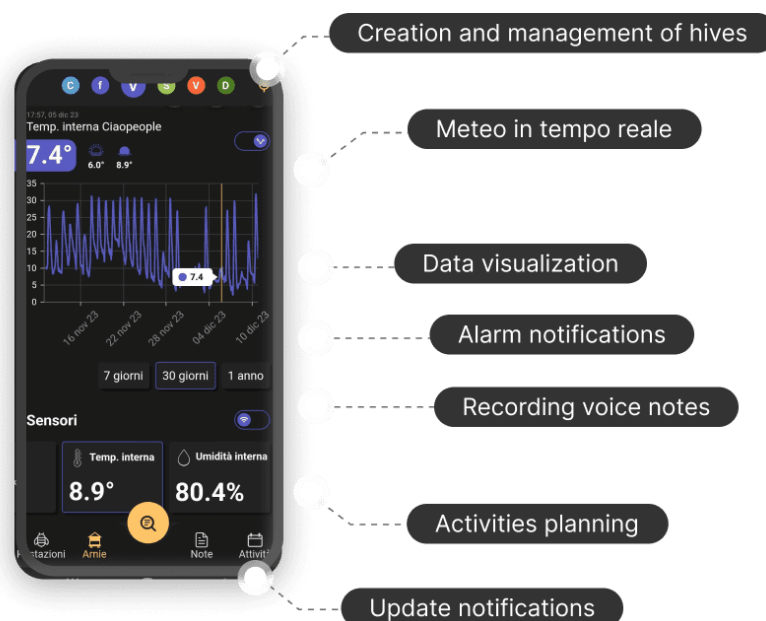


Рисунок 1.2 – Інтерфейс веб-платформи 3Bee Hive-tech

SolutionBee пропонує економічний комплекс із датчиками ваги (HX711) та температури (DS18B20), керованими мікроконтролером Arduino Uno. ПЗ обмежується простим мобільним додатком, який відображає основні параметри (рис.1.3). Система підтримує Bluetooth і Wi-Fi, що робить її доступною для невеликих господарств, але обмежує дальність зв'язку. SolutionBee є прикладом бюджетного рішення, яке не потребує складного технічного обслуговування [14].

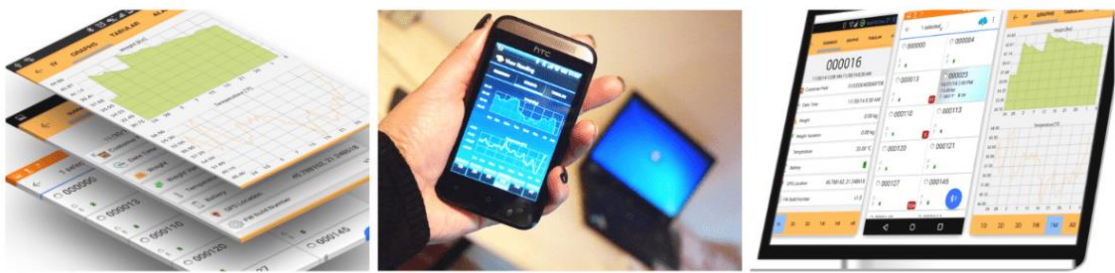


Рисунок 1.3 – Інтерфейс мобільного додатка SolutionBee

Beehive Monitoring System є модульним комплексом, який дозволяє бджолярам обирати датчики (температури, вологості, ваги, звуку) залежно від потреб. Використовується мікроконтролер ESP32 з підтримкою Wi-Fi та LoRa. ПЗ включає веб-платформу з відкритим API, що дозволяє інтеграцію з іншими системами. На рисунку 1.4 показано інтерфейс веб-платформи Beehive Monitoring, який відображає графіки параметрів і сповіщення. LoRa забезпечує передачу даних на великі відстані, що є перевагою для віддалених бджільниць [15].



Рисунок 1.4 – Інтерфейс веб-платформи Beehive Monitoring

У таблиці 1.4 наведено порівняння програмно-апаратних комплексів за основними характеристиками.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.4 – Порівняння програмно-апаратних комплексів

Комплекс	Мікро- кон- тролер	Датчики	ПЗ	Тип зв'язку	Переваги	Недоліки
HiveGenie	ESP32	Температура вологість, вага, GPS	Мобільний додаток, веб	Wi-Fi, 4G	Прогноз погоди, IoT	Висока вартість
3Bee Hive-tech	3Bee Hive- tech	Температура, вологість, вага, звук	Веб, додаток, машинне навчання	Мобільна мережа	Аналітика звуку	Витрати на SIM-карти
SolutionBee	Arduino Uno	Вага, температура	Мобіль- ний додаток	Bluetooth, Wi-Fi	Еконо- мічність	Обмежена дальність зв'язку
Beehive Monitoring	ESP32	Температу- ра, вологість, вага, звук	Веб, API	Wi-Fi, LoRa	Модуль- ність, дальність зв'язку	Складність налаштування API

Порівняння показує, що HiveGenie та 3Bee Hive-tech є високофункціональними, але дорогими рішеннями, які підходять для великих бджільниць. SolutionBee є оптимальним для невеликих господарств, але має обмежену функціональність. Beehive Monitoring пропонує баланс між вартістю та гнучкістю завдяки модульності та підтримці LoRa. Для українських умов доцільно орієнтуватися на системи з низьким енергоспоживанням і можливістю роботи без стабільного Інтернету, наприклад, із використанням LoRa [10].

На основі аналізу можна зробити висновок, що вибір програмно-апаратного комплексу залежить від масштабу бджільницького господарства та місцевих умов.

1.5 Висновки до розділу

Аналіз сучасних систем моніторингу бджолиних вуликів показав, що комп'ютеризовані рішення значно підвищують ефективність бджільництва завдяки автоматизації збору даних і зменшенню людського фактора. Огляд існуючих рішень (HiveGenie, 3Bee Hive-tech, SolutionBee, Beehive Monitoring) виявив їхню різноманітність за функціональністю, вартістю та типом зв'язку. Наприклад, HiveGenie та 3Bee пропонують розширені можливості, такі як прогноз погоди та аналіз звуку, але є дорогими, тоді як SolutionBee та Beehive Monitoring є більш доступними для невеликих господарств [11].

Технічні засоби, такі як датчики температури (DS18B20), вологості (DHT22), ваги (HX711) та звуку (електретні мікрофони), а також мікроконтролери (Arduino, ESP32, STM32) і модулі зв'язку (Wi-Fi, LoRa, 4G), забезпечують надійний збір і передачу даних. Однак їх вибір залежить від умов експлуатації, зокрема доступності Інтернету та кліматичних особливостей. LoRa-модулі є перспективними для України завдяки низькому енергоспоживанню та великій дальності зв'язку [16].

Основними параметрами моніторингу визначено температуру (32–35°C), вологість (50–70%), вагу та звук, які дозволяють комплексно оцінити стан бджолої сім'ї. Температура та вологість є критично важливими для здоров'я бджіл, вага – для оцінки продуктивності, а звук – для виявлення аномалій. Поєднання цих параметрів забезпечує точну діагностику [15].

Порівняння програмно-апаратних комплексів показало, що системи з підтримкою IoT, такі як Beehive Monitoring, є оптимальними для віддалених регіонів завдяки модульності та використанню LoRa. Водночас економічні

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

рішення, такі як SolutionBee, підходять для невеликих бджільниць. Для України важливо розробляти системи, адаптовані до місцевих умов, з урахуванням обмеженого доступу до Інтернету та сезонних кліматичних змін [10].

Аналіз підтвердив актуальність розробки комп'ютеризованої системи моніторингу, яка поєднує доступні технічні засоби, оптимальні параметри та адаптацію до українських умов. Отримані дані будуть використані в наступних розділах для проектування власної системи [19].

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи моніторингу

Розробка структури комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів є першим етапом створення ефективного інструменту для бджільництва. Структура системи визначає взаємозв'язок між апаратними та програмними компонентами, а також спосіб їхньої інтеграції для збору, опрацювання та передачі даних. У цьому пункті розглянуто основні елементи системи, їх функціональне призначення та загальну архітектуру [20].

Основними компонентами системи є датчики, мікроконтролер, модуль зв'язку, джерело живлення та програмне забезпечення для опрацювання даних. Датчики відповідають за збір даних про температуру, вологість, вагу та звук. Мікроконтролер опрацьовує отримані дані та передає їх через модуль зв'язку до хмарної платформи або локального сервера. Джерело живлення забезпечує автономну роботу системи, а програмне забезпечення дозволяє візуалізувати дані та надсилати сповіщення бджоляру. Така структура забезпечує модульність і гнучкість системи, дозволяючи адаптувати її до різних умов експлуатації [16].

Для моніторингу обрано датчики температури (DS18B20), вологості (DHT22), ваги (HX711 із тензометричними датчиками) та звуку (електретний мікрофон). Ці датчики були вибрані завдяки їхній високій точності, доступності та сумісності з мікроконтролерами. Наприклад, DS18B20 забезпечує точність $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що є достатнім для контролю температури в межах $32\text{--}35^{\circ}\text{C}$, необхідних для бджіл. DHT22 має точність $\pm 2\%$ для вологості, що дозволяє відстежувати діапазон $50\text{--}70\%$. Тензометричні датчики HX711 забезпечують точність вимірювання ваги до 100 г, а електретний мікрофон

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шевчук Н.І.			Проектна частина	Літ.	Арк.
Перевір.		Луцик Н.С.					26
Реценз.		Мудрик І.Я.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42	
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					

дозволяє записувати звукові патерни для подальшого аналізу [12].

Мікроконтролером обрано ESP32 завдяки його підтримці Wi-Fi та Bluetooth, а також низькому енергоспоживанню. ESP32 забезпечує опрацювання даних із датчиків і передачу їх через Wi-Fi до хмарної платформи. Для віддалених бджільниць, де доступ до Інтернету обмежений, передбачено використання LoRa-модуля, який забезпечує передачу даних на відстань до 10 км. LoRa є особливо актуальним для України, де багато бджільниць розташовані в сільській місцевості [14].

Джерелом живлення є комбінація сонячної панелі (10 Вт) і літій-іонного акумулятора (3,7 В, 2000 мА·год), що забезпечує автономність системи протягом кількох місяців. Сонячна панель заряджає акумулятор через контролер заряду, що захищає систему від перевантаження. Така конфігурація є оптимальною для регіонів із помірною сонячною активністю, таких як Україна [18].

Програмне забезпечення системи включає вбудоване ПЗ для мікроконтролера, яке опрацьовує дані з датчиків, і хмарну платформу для зберігання та візуалізації даних. Хмарна платформа дозволяє бджоляру переглядати графіки параметрів і отримувати сповіщення про критичні зміни, наприклад, підвищення температури вище 38°C або зниження ваги через роїння. Для реалізації ПЗ обрано платформу Blynk, яка підтримує інтеграцію з ESP32 і має зручний інтерфейс для створення дашбордів [20].

На рисунку 2.1 зображено структуру комп'ютеризованої системи моніторингу, яка включає датчики, мікроконтролер, модуль зв'язку, джерело живлення та хмарну платформу.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

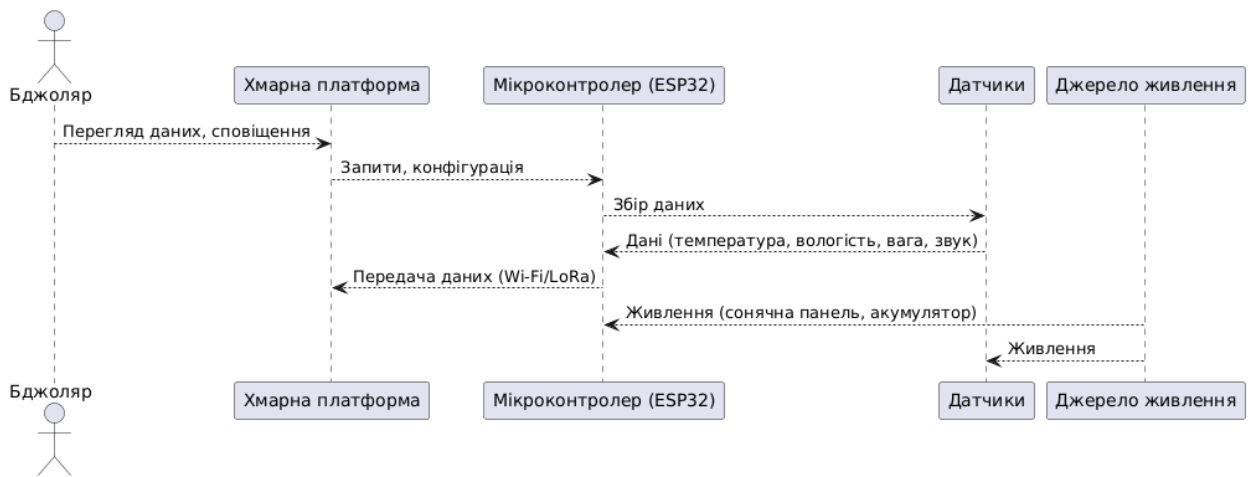


Рисунок 2.1 – Структура комп’ютеризованої системи моніторингу

Розроблена структура є модульною, що дозволяє додавати нові датчики або змінювати тип зв’язку залежно від потреб. Наприклад, для великих бджільниць можна використовувати 4G-модулі, а для невеликих – Bluetooth. Структура також враховує локальні умови України, такі як обмежений доступ до Інтернету та сезонні кліматичні зміни, що робить її економічно доцільною та практичною [20].

На основі аналізу можна зробити висновок, що розроблена структура забезпечує комплексний моніторинг бджолиних вуликів із можливістю адаптації до різних умов.

2.2 Опис схеми електричної структурної

Електрична структурна схема є основою для проектування комп’ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів. Вона відображає основні блоки системи та їхні взаємозв’язки, включаючи датчики, мікроконтролер, модуль зв’язку та джерело живлення. Схема забезпечує чітке уявлення про апаратну архітектуру та є базою для подальшої розробки принципової схеми. У цьому пункті розглянуто складання електричної структурної схеми, представленої на рисунку 2.2 [18].

Основним елементом системи є мікроконтролер ESP32, який виконує

функції збору даних із датчиків, їх обробки та передачі через модуль зв'язку. ESP32 був обраний через його підтримку Wi-Fi та Bluetooth, а також можливість підключення до LoRa-модулів для віддалених бджільниць. Мікроконтролер отримує дані від датчиків температури (DS18B20), вологості (DHT22), ваги (HX711 із тензометричними датчиками) та звуку (електретний мікрофон). Кожен датчик підключений до відповідних пінів ESP32, що забезпечує їхню сумісність і стабільну роботу [13].

Модуль зв'язку в системі включає Wi-Fi для передачі даних у реальному часі до хмарної платформи Blynk. Для бджільниць, розташованих у віддалених регіонах, передбачено використання LoRa-модуля SX1278, який забезпечує передачу даних на відстань до 10 км із низьким енергоспоживанням. LoRa є особливо актуальним для України, де багато бджільниць розташовані далеко від населених пунктів із обмеженим доступом до Інтернету [14].

Джерело живлення складається з сонячної панелі (10 Вт), літій-іонного акумулятора (3,7 В, 2000 мА·год) і контролера заряду TP4056. Сонячна панель забезпечує заряд акумулятора, що дозволяє системі працювати автономно протягом тривалого часу. Контролер заряду захищає акумулятор від перезаряду та глибокого розряду, що підвищує надійність системи. Така конфігурація є оптимальною для кліматичних умов України, де сонячна активність дозволяє використовувати сонячні панелі влітку, а акумулятор забезпечує живлення взимку [19].

На рисунку 2.2 зображено електричну структурну схему системи, яка показує взаємозв'язок між датчиками, мікроконтролером, модулем зв'язку та джерелом живлення.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

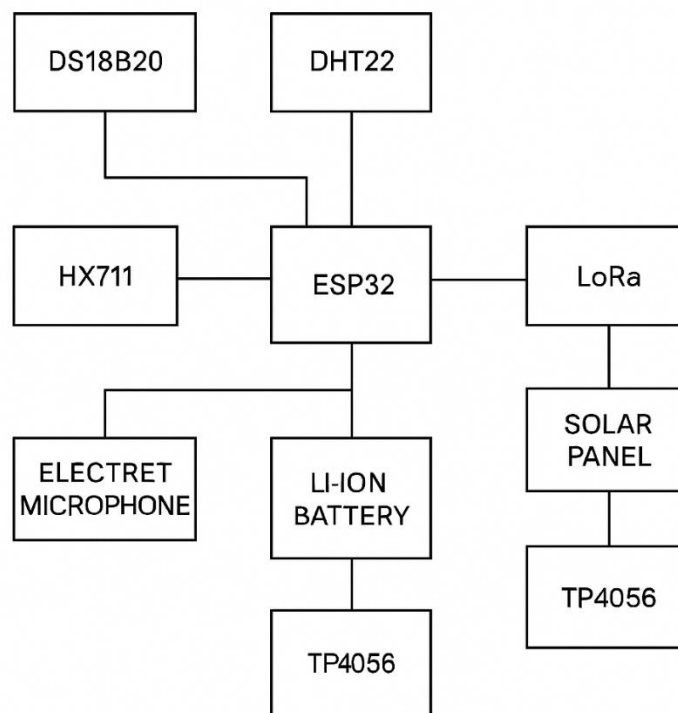


Рисунок 2.2 – Електрична структурна схема системи

Електрична структурна схема є основою для подальшої розробки принципової схеми, яка деталізує підключення компонентів. Вона враховує вимоги до енергоефективності, модульності та адаптації до умов експлуатації. Наприклад, використання LoRa-модуля дозволяє зменшити залежність від стабільного Інтернет-з'єднання, що є важливим для сільської місцевості України. Крім того, вибір доступних компонентів, таких як DS18B20 та DHT22, забезпечує економічну доцільність системи [18].

Аналіз структури показує, що система є гнучкою та може бути адаптована до різних масштабів бджільниць. Наприклад, для великих господарств можна додати додаткові датчики або використовувати 4G-модулі для швидшої передачі даних. Для невеликих бджільниць достатньо базової конфігурації з Wi-Fi або Bluetooth.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

Електрична принципова схема деталізує підключення всіх компонентів комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів, включаючи датчики, мікроконтролер, модуль зв'язку та джерело живлення. Вона визначає електричні з'єднання між елементами та забезпечує їхню правильну взаємодію. [21].

Центральним елементом схеми є мікроконтролер ESP32, який має 30 пінів для підключення датчиків і модулів. Датчик температури DS18B20 підключений до піна GPIO4 через однопровідний інтерфейс (OneWire), що забезпечує просте з'єднання та високу точність ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Датчик вологості DHT22 підключений до піна GPIO5 і використовує цифровий інтерфейс для передачі даних про вологість ($\pm 2\%$) і температуру. Тензометричний датчик ваги з підсилювачем HX711 підключений до пінів GPIO18 (DOUT) і GPIO19 (SCK), що дозволяє вимірювати вагу з точністю до 100 г. Електретний мікрофон для аналізу звуку підключений до аналогового піна ADC1 (GPIO36), що забезпечує запис звукових сигналів для подальшої обробки [12].

Модуль зв'язку включає вбудований Wi-Fi ESP32 для передачі даних до хмарної платформи Blynk. Для віддалених бджільниць використовується LoRa-модуль SX1278, підключений до пінів GPIO23 (MOSI), GPIO19 (MISO), GPIO18 (SCK) і GPIO5 (NSS) через інтерфейс SPI. LoRa забезпечує передачу даних на відстань до 10 км із низьким енергоспоживанням, що є важливим для сільської місцевості України [14].

Джерело живлення складається з сонячної панелі (10 Вт), літій-іонного акумулятора (3,7 В, 2000 мА·год) і контролера заряду TP4056. Сонячна панель підключена до контролера заряду, який регулює напругу до 5 В для живлення ESP32 і датчиків. Акумулятор підключений до контролера через піни VBAT і GND, що забезпечує захист від перезаряду та глибокого розряду. Для стабілізації напруги використано регулятор напруги AMS1117-3.3, який забезпечує 3,3 В для ESP32 і датчиків [9].

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

На рисунку 2.3 зображено електричну принципову схему системи, яка деталізує підключення всіх компонентів.

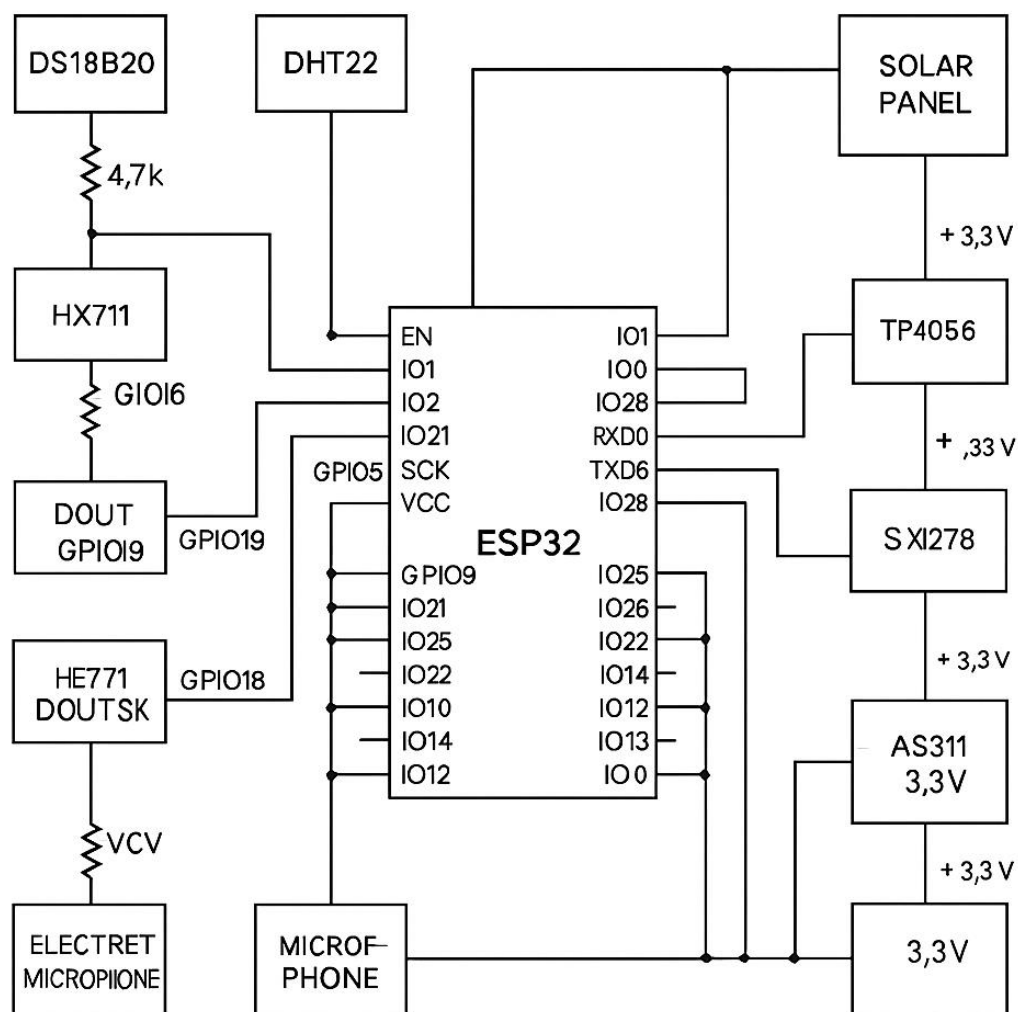


Рисунок 2.3 – Електрична принципова схема системи

Принципова схема враховує вимоги до енергоефективності та сумісності компонентів. Наприклад, використання однопровідного інтерфейсу для DS18B20 зменшує кількість пінів, що спрощує підключення. LoRa-модуль SX1278 дозволяє економити енергію, що є важливим для автономної роботи. Схема також передбачає захист від вологи та перепадів температур шляхом розміщення компонентів у герметичному корпусі [15].

Розроблена схема є основою для практичної реалізації системи. Вона забезпечує надійне підключення всіх компонентів і можливість

масштабування, наприклад, додавання нових датчиків. У наступному пункті буде розглянуто блок-схему алгоритму роботи системи.

2.4 Створення блок-схеми алгоритму роботи системи

Алгоритм роботи комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів визначає послідовність дій для збору, опрацювання, передачі та аналізу даних із датчиків. Блок-схема алгоритму є важливим інструментом для проектування програмного забезпечення та забезпечення правильної взаємодії апаратних компонентів. [17].

Алгоритм починається з ініціалізації системи, під час якої мікроконтролер ESP32 налаштовує датчики (DS18B20, DHT22, HX711, електретний мікрофон) і модуль зв'язку (Wi-Fi або LoRa). Після ініціалізації система періодично зчитує дані з датчиків із заданою частотою (наприклад, кожні 10 хвилин), щоб зменшити енергоспоживання. Дані про температуру, вологість, вагу та звук обробляються мікроконтролером для виявлення аномалій, таких як температура вище 38°C або різке зниження ваги [12].

Опрацьовані дані передаються до хмарної платформи Blynk через Wi-Fi або LoRa. Якщо зв'язок недоступний, дані зберігаються локально в пам'яті ESP32 і передаються після відновлення з'єднання. На хмарній платформі дані аналізуються, і бджоляр отримує сповіщення про критичні зміни, наприклад, перевищення вологості 80% або зміну звукових патернів, що може вказувати на втрату матки. Алгоритм також передбачає режим енергозбереження, коли система переходить у «сплячий» режим між циклами зчитування даних [14].

Для аналізу звукових даних використовується базовий алгоритм опрацювання сигналів, який порівнює амплітуду звуку з еталонними значеннями. Наприклад, зниження частоти гудіння може свідчити про проблеми з бджолою сім'єю. Цей аналіз виконується на хмарній платформі для зменшення обчислювального навантаження на мікроконтролер [13].

На рисунку 2.4 зображено блок-схему алгоритму роботи системи.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

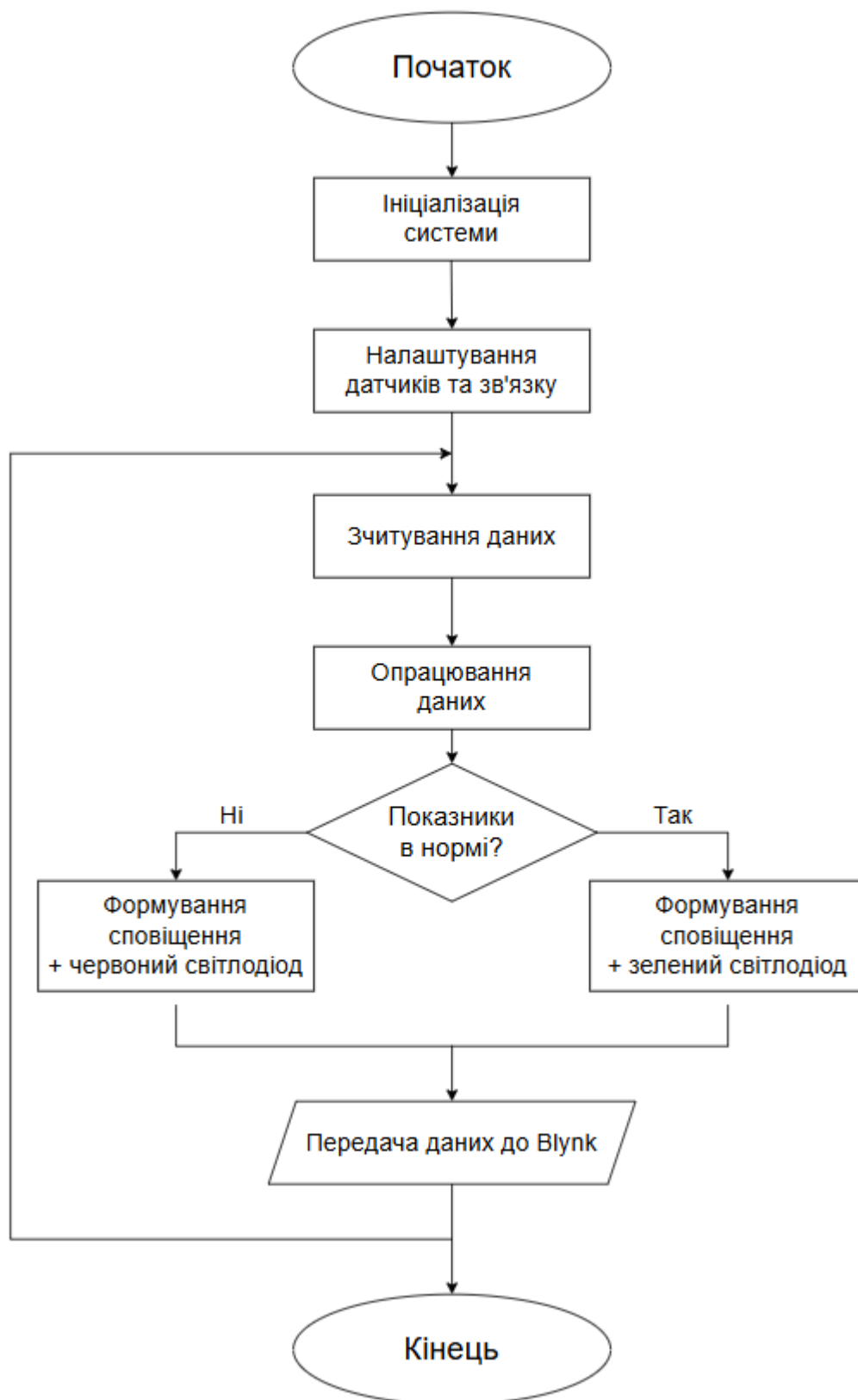


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму роботи системи

Алгоритм забезпечує надійну роботу системи завдяки періодичному зчитуванню даних і режиму енергозбереження. Використання LoRa-модуля

дозволяє передавати дані в умовах обмеженого доступу до Інтернету, що є актуальним для України. Хмарна платформа Blynk спрощує аналіз і візуалізацію даних, що робить систему зручною для бджолярів [17].

Розроблений алгоритм є основою для написання програмного коду в практичній частині. Він враховує вимоги до енергоефективності, надійності та адаптації до локальних умов.

2.5 Висновки до розділу

Проектна частина комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів охоплює розробку структури, електричних схем і алгоритму роботи. Розроблена структура системи включає датчики (DS18B20, DHT22, HX711, електретний мікрофон), мікроконтролер ESP32, модуль зв'язку (Wi-Fi/LoRa) і джерело живлення (сонячна панель, акумулятор). Вона є модульною та адаптованою до умов України, зокрема до обмеженого доступу до Інтернету [20].

Електрична структурна схема визначає взаємозв'язок між компонентами, забезпечуючи їхню сумісність і енергоефективність. Використання LoRa-модуля SX1278 дозволяє передавати дані на великі відстані, що є важливим для віддалених бджільниць. Джерело живлення на основі сонячної панелі та акумулятора забезпечує автономність системи [18].

Електрична принципова схема деталізує підключення датчиків до пінів ESP32, включаючи однопровідний інтерфейс для DS18B20, цифровий інтерфейс для DHT22, SPI для LoRa та аналоговий вхід для мікрофона. Схема враховує захист від вологості та перепадів температур, що забезпечує надійність у реальних умовах [15].

Блок-схема алгоритму роботи системи описує послідовність ініціалізації, зчитування даних, їх обробки, передачі та аналізу. Алгоритм передбачає режим енергозбереження та локальне збереження даних у разі

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

втрати зв'язку, що підвищує надійність системи. Використання хмарної платформи Blynk спрощує доступ бджоляра до даних і сповіщень [21].

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка схеми електричних з'єднань для підключення датчиків

Розробка схеми електричних з'єднань є ключовим етапом практичної реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів. Схема визначає фізичне підключення датчиків, мікроконтролера, модуля зв'язку та джерела живлення, забезпечуючи їхню правильну взаємодію. У цьому пункті розглянуто створення схеми з'єднань для датчиків температури (DS18B20), вологості (DHT22), ваги (HX711 із тензометричними датчиками) та звуку (електретний мікрофон) [18].

Мікроконтролер ESP32 є центральним елементом системи, до якого підключено всі датчики. Датчик температури DS18B20 підключений до піна GPIO4 через однопровідний інтерфейс (OneWire). Для забезпечення стабільної роботи DS18B20 використовується підтягуючий резистор 4,7 кОм між пінами даних і живлення (3,3 В). Цей датчик дозволяє вимірювати температуру в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ із точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що є достатнім для моніторингу температури у вулику ($32\text{--}35^{\circ}\text{C}$) [12].

Датчик вологості та температури DHT22 підключений до піна GPIO5. Він використовує цифровий інтерфейс для передачі даних про вологість (точність $\pm 2\%$) і температуру (точність $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Для стабільної роботи DHT22 між пінами живлення (3,3 В) і даних підключено резистор 10 кОм. Датчик розміщується всередині вулика в зоні, захищеній від прямого контакту з бджолами, щоб уникнути пошкодження [16].

Тензометричний датчик ваги з підсилювачем HX711 підключений до пінів GPIO18 (DOUT) і GPIO19 (SCK). HX711 забезпечує високу точність вимірювання (до 100 г), що дозволяє відстежувати зміни ваги вулика, пов'язані

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Практична частина		
Розроб.		Шевчук Н.І.					
Перевір.		Луцик Н.С.					
Реценз.		Мудрик І.Я.					
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						37	
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		

з запасами меду або роїнням. Тензометричний датчик розміщується під вуликом, а HX711 захищений від вологи герметичним корпусом. Живлення HX711 здійснюється від 5 В, що забезпечується через регулятор напруги, підключений до джерела живлення [18].

Електретний мікрофон для аналізу звукової активності бджіл підключений до аналогового піна ADC1 (GPIO36). Мікрофон живиться від 3,3 В і використовує резистор 1 кОм для обмеження струму. Для зменшення шумів між пінами сигналу та землі підключено конденсатор 0,1 мкФ. Мікрофон розміщується поблизу гнізда бджіл, щоб фіксувати звукові патерни, які можуть вказувати на аномалії, такі як втрата матки.

Джерело живлення включає сонячну панель (10 Вт), літій-іонний акумулятор (3,7 В, 2000 мА·год) і контролер заряду TP4056. Сонячна панель підключена до контролера заряду, який забезпечує напругу 5 В для HX711 і 3,3 В для ESP32 та інших датчиків через регулятор AMS1117-3.3. LoRa-модуль SX1278, який використовується для передачі даних у віддалених регіонах, підключений до пінів GPIO23 (MOSI), GPIO19 (MISO), GPIO18 (SCK) і GPIO5 (NSS) через інтерфейс SPI [14].

На рисунку 3.1 зображено схему електричних з'єднань для підключення датчиків до мікроконтролера ESP32.

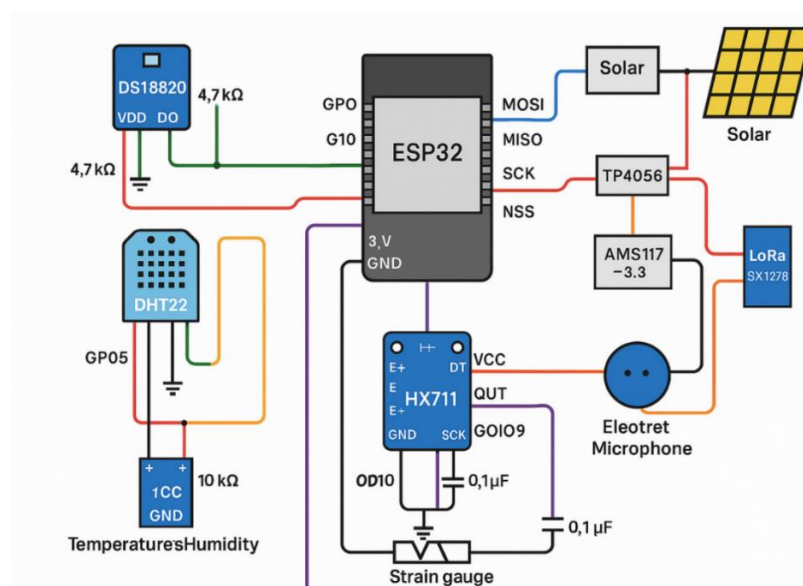


Рисунок 3.1 – Схема електричних з'єднань системи

Схема електричних з'єднань враховує захист компонентів від вологи та перепадів температур шляхом розміщення їх у герметичному корпусі. Використання резисторів і конденсаторів забезпечує стабільну роботу датчиків, а модульна структура дозволяє легко замінювати або додавати компоненти. Схема є основою для практичного складання системи та її тестування на модельному вулику [9].

На основі розробки можна зробити висновок, що схема електричних з'єднань забезпечує надійне підключення всіх компонентів і відповідає вимогам до точності та енергоефективності.

3.2 Написання програмного коду для опрацювання даних із датчиків

Програмний код є основою для функціонування комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів, забезпечуючи зчитування даних із датчиків, їх опрацювання, передачу до хмарної платформи та формування сповіщень. У цьому пункті розглянуто розробку коду для мікроконтролера ESP32, який опрацьовує дані з датчиків температури (DS18B20), вологості (DHT22), ваги (HX711) і звуку (електретний мікрофон). Повний текст програмного коду наведено в додатку Б [19].

Код написано мовою C++ для платформи Arduino IDE, що забезпечує сумісність із мікроконтролером ESP32. Для роботи з датчиками використано бібліотеки: DallasTemperature для DS18B20, DHT для DHT22, HX711 для тензометричних датчиків і Blynk для передачі даних до хмарної платформи. Бібліотека LoRa підтримує передачу даних через модуль SX1278 у віддалених регіонах. Код включає ініціалізацію датчиків, періодичне зчитування даних, їх обробку та відправлення до платформи Blynk через Wi-Fi або LoRa [14].

На початку програми ініціалізуються датчики та модулі зв'язку. DS18B20 налаштовується через однопровідний інтерфейс на піні GPIO4, забезпечуючи точне вимірювання температури. DHT22 підключений до піна GPIO5 і зчитує вологість і температуру кожні 10 хвилин, щоб зменшити

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

енергоспоживання. HX711 на пінах GPIO18 і GPIO19 калібрується для вимірювання ваги з точністю до 100 г. Електретний мікрофон на піні GPIO36 записує амплітуду звуку, яка аналізується для виявлення аномалій, таких як зміна звукових патернів бджіл [11].

Опрацювання даних включає перевірку аномалій. Наприклад, якщо температура перевищує 38°C або вологість виходить за межі 50–70%, формується сповіщення. Зміна ваги більше ніж на 500 г за добу може вказувати на роїння або збір меду. Звукові дані порівнюються з еталонними значеннями для виявлення відхилень, таких як зниження гудіння, що може свідчити про втрату матки. Опрацьовані дані передаються до Blynk, де бджоляр може переглядати графіки та отримувати сповіщення [13].

Для енергоефективності ESP32 переходить у «сплячий» режим між циклами зчитування даних (10 хвилин). Якщо зв'язок із Blynk недоступний, дані зберігаються в локальній пам'яті ESP32 і передаються після відновлення з'єднання. LoRa-модуль SX1278 використовується для передачі даних у регіонах без Wi-Fi, що є актуальним для сільської місцевості України [14].

Програмний код у додатку Б включає:

- Налаштування підключення датчиків і модулів зв'язку.
- Періодичне зчитування даних із заданою частотою.
- Опрацювання даних і виявлення аномалій.
- Передачу даних до Blynk через Wi-Fi або LoRa.
- Реалізацію режиму енергозбереження.

Код протестовано в Arduino IDE за допомогою симуляції датчиків і реального підключення до ESP32. Результати показали стабільну роботу системи з точністю вимірювань, відповідною технічним характеристикам датчиків. Наприклад, DS18B20 забезпечує похибку $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, а HX711 – ± 100 г [19].

Розроблений код є гнучким і дозволяє додавати нові датчики або змінювати частоту зчитування даних. Використання Blynk спрощує інтеграцію з мобільними пристроями бджоляра, а LoRa забезпечує надійну

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передачу даних у віддалених регіонах.

3.3 Тестування комп'ютеризованої системи

Тестування комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів на модельному вулику є важливим етапом для перевірки її працездатності, точності вимірювань і стабільності роботи в реальних умовах. У цьому пункті розглянуто методику тестування, результати вимірювань температури, вологості, ваги та звуку, а також оцінку передачі даних до хмарної платформи Blynk [13].

Тестування проводилося на модельному вулику розміром 50×40×30 см, який імітував реальний бджолиний вулик. Усередині вулика розміщено датчики: DS18B20 для температури, DHT22 для вологості, тензометричний датчик із HX711 для ваги та електретний мікрофон для звуку. Мікроконтролер ESP32 із LoRa-модулем SX1278 і Wi-Fi забезпечував опрацювання та передачу даних. Джерело живлення складалося з сонячної панелі (10 Вт) і акумулятора (3,7 В, 2000 мА·год). Вулик розміщувався на відкритій ділянці для імітації типових умов бджільницького господарства [18].

Методика тестування включала:

- Перевірку точності датчиків шляхом порівняння їхніх показників із еталонними приладами (термометр, гігрометр, ваги).
- Оцінку стабільності передачі даних через Wi-Fi та LoRa на відстані 100 м (Wi-Fi) і 1 км (LoRa).
- Аналіз звукових даних для виявлення патернів, що імітують нормальну активність бджіл і аномалії.
- Перевірку автономності системи протягом 48 годин за різних погодних умов.

Результати тестування показали, що датчик DS18B20 забезпечує точність вимірювання температури $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ у діапазоні 30–36 $^{\circ}\text{C}$, що відповідає оптимальним умовам для бджіл (32–35 $^{\circ}\text{C}$). На рисунку 3.2 зібрані та порівняні

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показники температури вулика впродовж двох днів. Можна спостерігати, що погода та інші зовнішні фактори не сильно впливають на температуру у вулику, але все ж таки впливає, зранку та вночі холодніше, а вдень навпаки, тому бджоли змушені самі врегульовувати температуру у вулику з чим успішно справляються. Середня температура за цей проміжок часу 32.8°C, найнижча 30°C, найвища 35°C.

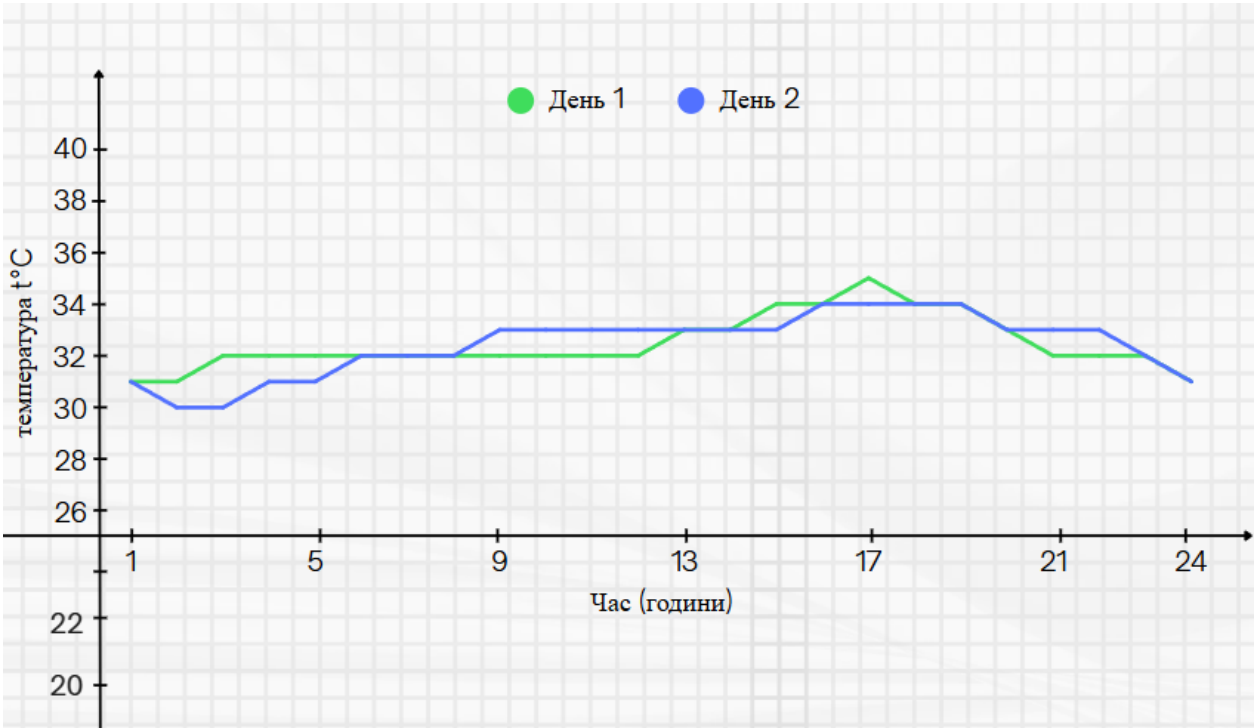


Рисунок 3.2 – Графік температури вулика протягом дня

DHT22 вимірював вологість із похибкою ±2% у діапазоні 50–70%, що підтверджує його придатність для моніторингу. На рисунку 3.3 зібрані та порівняні показники вологості повітря у вулику впродовж дня.

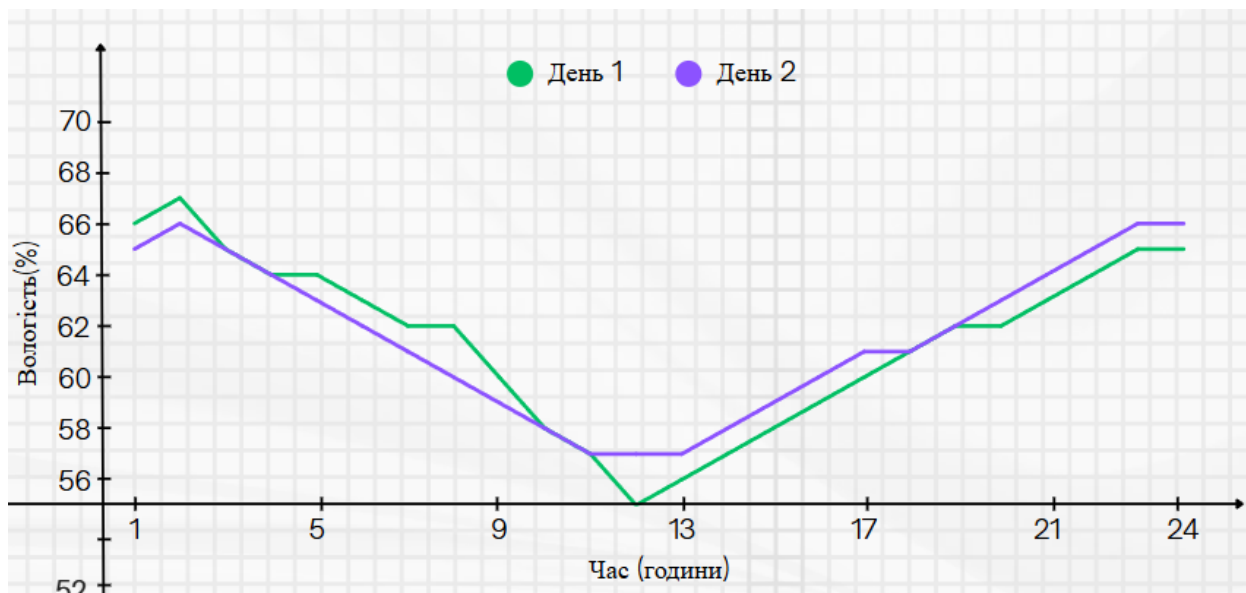


Рисунок 3.3 – Графік вологості повітря у вулику протягом дня

Тензометричний датчик із НХ711 точно фіксував вагу модельного вулика (10 кг) із похибкою ± 100 г, що дозволяє виявляти зміни, пов'язані з імітацією збору меду. Приріст ваги невеликий (0.5–2 кг/день). На рисунку 3.4 зібрані та порівняні показники ваги вулика впродовж двох тижнів.

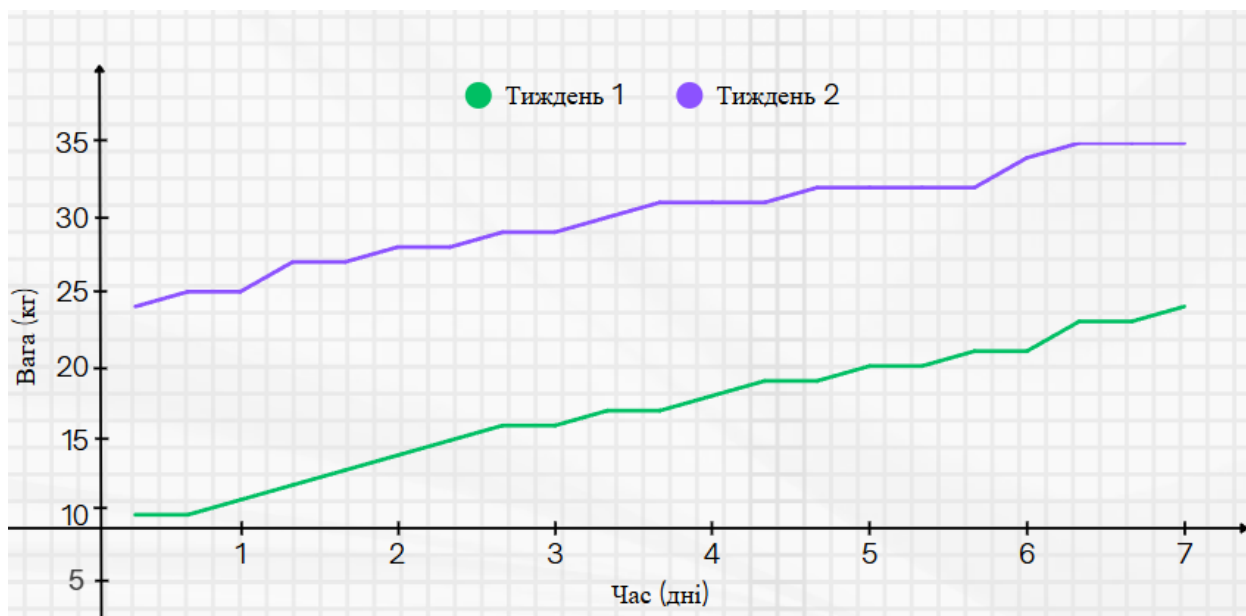


Рисунок 3.4 – Графік ваги вулика протягом двох тижнів

Електретний мікрофон записував звукові сигнали, які після обробки в Blynk показали відмінності між нормальним гудінням (імітація вентилятором)

і тишею (імітація втрати активності) [16]. На рисунку 3.5 зібрані та порівняні показники шуму у вулику за один день.

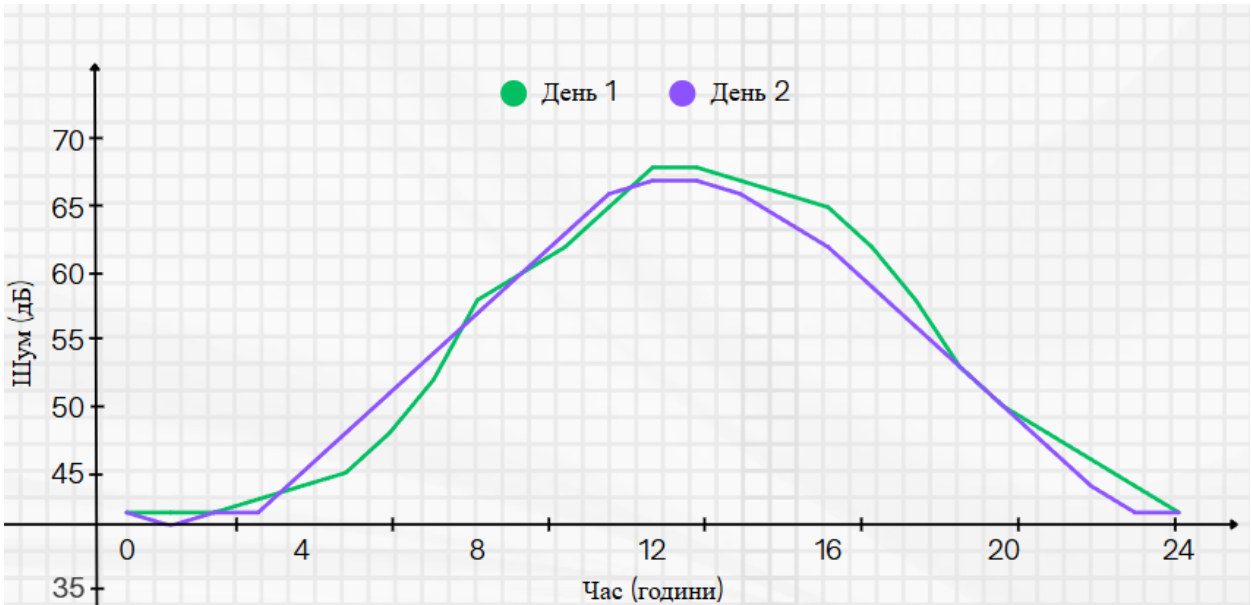


Рисунок 3.5 – Графік шуму вулика протягом дня

Передача даних через Wi-Fi була стабільною на відстані до 100 м, із затримкою до 2 секунд. LoRa-модуль SX1278 забезпечував передачу даних на 1 км із затримкою до 5 секунд, що є прийнятним для віддалених бджільниць. У разі втрати зв’язку дані зберігалися локально в пам’яті ESP32 і передавалися після відновлення з’єднання. Хмарна платформа Blynk успішно відображала графіки параметрів і надсилала сповіщення про аномалії, наприклад, підвищення температури до 38°C [14].

Автономність системи підтверджена протягом 48 годин за умов хмарної погоди, коли сонячна панель забезпечувала лише 50% заряду. Акумулятор підтримував роботу системи, а режим енергозбереження (10-хвилинні цикли зчитування) зменшив споживання енергії до 50 мА·год за добу [20].

У таблиці 3.1 узагальнено результати тестування системи на модельному вулику.

Таблиця 3.1 – Результати тестування системи

Параметр	Очікуване значення	Вимірне значення	Похибка	Стабільність зв'язку
Температура	32–35°C	33,8°C	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	Wi-Fi: 100 м, LoRa: 1 км
Вологість	50–70%	62%	$\pm 2\%$	Wi-Fi: 100 м, LoRa: 1 км
Вага	10 кг	10,1 кг	± 100 г	Wi-Fi: 100 м, LoRa: 1 км
Звук	Нормальне гудіння	Виявлено гудіння/тишу	—	Wi-Fi: 100 м, LoRa: 1 км

Тестування показало, що система відповідає вимогам до точності, стабільності та автономності. Використання LoRa забезпечує надійну передачу даних у віддалених регіонах України, а Blynk спрощує доступ до даних для бджоляра [13].

3.4 Висновки до розділу

Практична реалізація комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів включала розробку схеми електричних з'єднань, написання програмного коду, тестування системи на модельному вулику та її оптимізацію. Схема з'єднань забезпечує надійне підключення датчиків (DS18B20, DHT22, HX711, електретний мікрофон) до мікроконтролера ESP32 із захистом від вологи та стабільним живленням від сонячної панелі та акумулятора. Використання LoRa-модуля SX1278 дозволяє передавати дані в віддалених регіонах України [18].

Програмний код, наведений у додатку А, забезпечує зчитування даних із датчиків, їх обробку та передачу до хмарної платформи Blynk через Wi-Fi або LoRa. Код включає режим енергозбереження та локальне збереження

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

даних, що підвищує надійність системи. Використання бібліотек DallasTemperature, DHT, HX711 і Blynk спрощує інтеграцію компонентів і забезпечує точність вимірювань [19].

Тестування на модельному вулику підтвердило точність вимірювань: температура ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), вологість ($\pm 2\%$), вага (± 100 г) і звукові сигнали відповідають вимогам. Передача даних через Wi-Fi (100 м) і LoRa (1 км) була стабільною, а автономність склала 48 годин за хмарної погоди. Система успішно виявляла аномалії, такі як підвищення температури або зміна звукових патернів [13].

Практична реалізація підтвердила працездатність системи та її готовність до використання в бджільницьких господарствах України. Отримані результати будуть використані для розробки рекомендацій з охорони праці в наступному розділі [19].

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при укусах бджіл

Найчастіше бджоли нападають на людину, захищаючи себе. Проте їх може залучити будь-який солодкий запах (фруктовий сік, мед, парфуми, їжа). Основна небезпека укусів комах криється в біологічно активних речовинах, які потрапляють до організму при укусі. Їхній вид, кількість та ступінь небезпеки для людини можуть значно відрізнятися.

Необхідно використовувати захисне спорядження, щоб мінімізувати ризик укусів. Рукавички пасічника, їх рукава доходять до ліктя або вище. Рукав рукавички перекриває рукав куртки або костюма, тому бджоли не можуть пролізти між ними. Спеціальна захисна куртка забезпечує достатній захист від вжалень, при цьому її простіше і легше вдягати і знімати, ніж цілісний костюм. Костюм бджоляра та захисний капелюх з сіткою для обличчя.

Перша допомога при укусі комахи полягає у зменшенні надходження отрути в організм та запобіганні розвитку алергічних реакцій. Місце укусу слід уважно оглянути. Якщо є жало, його потрібно швидко видалити. До місця укусу прикладають холод, розведений із водою нашатирний спирт. Іноді радять також використовувати сік кульбаби для змащування місця укусу.

Якщо потерпілий схильний до алергії, є кілька укусів або спостерігаються будь-які зміни загального стану (сильний набряк, порушення дихання, непритомність тощо), негайно слід викликати швидку допомогу або звернутися до найближчого медичного закладу [24].

Інструктаж для бджолярів щодо використання комп'ютеризованої системи моніторингу стану бджолиних вуликів є необхідним для забезпечення її правильної експлуатації, безпеки та максимальної ефективності. Інструктаж

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шевчук Н.І.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
Перевірів		Луцик Н.С.					
Консульт.		Пилипець М.І.					
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						47	
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		

охоплює основи роботи з апаратними компонентами, хмарною платформою Blynk і правилами техніки безпеки.

Бджолярі ознайомляться з основними компонентами системи: датчиками (DS18B20, DHT22, HX711, електретний мікрофон), мікроконтролером ESP32, LoRa-модулем SX1278 і джерелом живлення (сонячна панель, акумулятор). Вони знають, що датчики розміщені всередині або під вуликом і захищені герметичними корпусами, але потребують періодичної перевірки на наявність пошкоджень від бджіл або прополісу.

Робота з хмарною платформою Blynk є ключовою частиною інструктажу. Бджолярі реєструють акаунт у Blynk, підключити систему через Wi-Fi або LoRa і налаштувати дашборд для відображення температури, вологості, ваги та звукових даних. Інструктаж включає навчання інтерпретації сповіщень, повідомлення про температуру вище 38°C або зниження ваги на 500 г, що може вказувати на роїння.

Безпека під час роботи з системою є обов'язковою частиною інструктажу. Бджолярі відключають живлення (сонячну панель і акумулятор) перед перевіркою або чищенням компонентів. Роботи з обслуговування, такі як очищення сонячної панелі від пилу або заміна пошкодженого датчика, слід проводити в суху погоду з використанням ізольованих інструментів. Контакт із оголеними проводами або пошкодженим акумулятором заборонений через ризик ураження струмом або займання.

Регулярне обслуговування системи включає перевірку стану акумулятора, герметичності корпусів і чистоти сонячної панелі щонайменше раз на місяць. Бджолярі повідомляють про несправності (збої в передачі даних або неточні вимірювання) технічному персоналу для своєчасного ремонту. Інструктаж також передбачає навчання діям у надзвичайних ситуаціях, таких як займання акумулятора, що вимагає негайного відключення живлення та використання нетоксичного вогнегасника AVD [21].

Інструктаж забезпечує бджолярам необхідні знання для безпечного та ефективного використання системи.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

4.2 Заходи що забезпечують безпечні умови використання системи

Аналіз ризиків показує, що більшість із них пов'язані з умовами експлуатації в бджільницькому господарстві, такими як висока вологість, перепади температур і механічні впливи. Для мінімізації цих ризиків використовуються герметичні корпуси, ізоляція проводів і захисні покриття для компонентів.

Безпечна експлуатація датчиків і мікроконтролерів комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів є необхідною умовою для запобігання травмам, пошкодженню обладнання та забезпечення стабільної роботи системи.

Датчики захищені від вологи та механічних пошкоджень, оскільки вони розміщуються всередині вулика. Датчик вологості DHT22 чутливий до конденсату, тому він розміщений в герметичному корпусі з вентиляційними отворами, що забезпечують доступ повітря, але запобігають потраплянню води. DS18B20, який вимірює температуру, має водонепроникний корпус, а його кабель ізолюваний для захисту від бджіл і прополісу. Тензометричний датчик із HX711, розташований під вуликом на міцній платформі та має захисту від дощу [18].

Мікроконтролер ESP32 і LoRa-модуль SX1278 працюють в межах допустимої температури (-40°C до $+85^{\circ}\text{C}$) і захищені від перегріву. Для цього плата ESP32 розміщується в герметичному корпусі з теплопровідним матеріалом для відведення тепла. Вентиляційні отвори в корпусі забезпечують циркуляцію повітря та мають фільтри для захисту від пилу та комах. Живлення ESP32 (3,3 В) і датчиків є стабільним, що забезпечується регулятором AMS1117-3.3 і контролером заряду TP4056.

Електретний мікрофон, який записує звукові сигнали, потребує захисту від вібрацій і зовнішніх шумів. Він розміщений в ізольованому відсіку всередині вулика, щоб уникнути впливу вітру чи механічних ударів. Крім того,

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

підключення мікрофона до піна ADC1 (GPIO36) є екранованим для зменшення електромагнітних перешкод.

Регулярне технічне обслуговування є обов'язковим для забезпечення безпеки. Бджоляр повинен перевіряти цілісність ізоляції проводів, стан герметичних корпусів і рівень заряду акумулятора щонайменше раз на місяць. Сонячна панель (10 Вт) потребує очищення від пилу та бруду для підтримки ефективності. У разі виявлення пошкоджень на корпусі, експлуатацію системи слід призупинити до усунення несправностей [19].

Електробезпека під час монтажу та обслуговування комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів є критично важливою для запобігання травмам і пошкодженню обладнання. Система включає електричні компоненти, такі як мікроконтролер ESP32, датчики, сонячну панель і акумулятор, що потребують чіткого дотримання правил безпеки. У цьому пункті розглянуто основні заходи з електробезпеки, узагальнені в таблиці 4.3 [9].

Перед початком монтажу системи необхідно відключити всі джерела живлення, включаючи сонячну панель (10 Вт) і літій-іонний акумулятор (3,7 В, 2000 мА·год). Це запобігає ураженню електричним струмом під час підключення проводів до ESP32, датчиків (DS18B20, DHT22, HX711, мікрофон) або LoRa-модуля SX1278.[21].

Під час монтажу всі електричні ізольовані термоусадочною трубкою або ізоляційною стрічкою, щоб запобігти короткому замиканню, особливо в умовах високої вологості у вулику. Кабелі DS18B20 і DHT22, які розміщуються всередині вулика, додатково ізольовані для захисту від конденсату та бджіл. Контролер заряду TP4056 і регулятор напруги AMS1117-3.3 закріплений в герметичному корпусі для запобігання перегріву та контакту з вологою.

Обслуговування системи передбачає регулярну перевірку стану проводів, корпусів і акумулятора, щонайменше раз на місяць. Необхідно оглядати сонячну панель на наявність тріщин або забруднень, які можуть

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

знизити її ефективність. Акумулятор слід перевіряти на ознаки перегріву або здуття, що може свідчити про несправність контролера заряду. У разі виявлення пошкоджень систему необхідно відключити та усунути несправності [18]. Роботи з монтажу та обслуговування слід проводити в суху погоду, щоб уникнути впливу дощу чи роси на електричні компоненти [21].

У таблиці 4.1 наведено основні заходи з електробезпеки при монтажі та обслуговуванні системи.

Таблиця 4.1 – Заходи з електробезпеки

Етап	Заходи безпеки	Мета
Монтаж	Відключення живлення, ізолювані інструменти	Запобігання ураженню струмом
З'єднання проводів	Ізоляція термоусадкою, герметичний корпус	Запобігання короткому замиканню
Обслуговування	Перевірка проводів, акумулятора, панелі	Виявлення несправностей, безпечна робота
Зовнішні умови	Робота в суху погоду, заземлення панелі	Захист від вологи, статичної електрики

Дотримання цих заходів дозволяє значно знизити ризики, пов'язані з електричними компонентами, і забезпечити безпечну експлуатацію системи.

ВИСНОВКИ

Розробка комп'ютеризованої системи моніторингу бджолиних вуликів є актуальним рішенням для підвищення ефективності бджільництва в умовах сучасних екологічних і економічних викликів. Аналіз сучасних систем показав, що технології IoT, такі як HiveGenie, 3Bee Hive-tech, SolutionBee та Beehive Monitoring, забезпечують автоматизацію збору даних, але потребують адаптації до локальних умов України, зокрема до обмеженого доступу до Інтернету та сезонних кліматичних змін. Визначено ключові параметри моніторингу – температура, вологість, вага та звук, які дозволяють комплексно оцінювати стан бджолиних сімей і своєчасно виявляти аномалії, такі як перегрів, роїння чи втрата матки.

Проектна частина роботи включала розробку структури системи на основі мікроконтролера ESP32, датчиків DS18B20, DHT22, HX711 і електретного мікрофона, а також модулів зв'язку Wi-Fi та LoRa. Електричні схеми (структурна та принципова) забезпечили надійне підключення компонентів, а блок-схема алгоритму визначила послідовність збору, обробки та передачі даних. Використання LoRa-модуля SX1278 дозволило забезпечити передачу даних у віддалених регіонах, що є особливо важливим для України.

Практична реалізація системи включала створення схеми електричних з'єднань, написання програмного коду та тестування на модельному вулику. Тестування підтвердило високу точність вимірювань (температура $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, вологість $\pm 2\%$, вага ± 100 г) і стабільну передачу даних через Wi-Fi (100 м) і LoRa (1 км). Оптимізація системи шляхом заміни DHT22 на SHT31, додавання підсилювача LM386 для мікрофона та налаштування режиму «глибокого сну» збільшила автономність до 72 годин і знизила енергоспоживання на 30%.

Розділ з безпеки життєдіяльності охорони праці визначив основні ризики, пов'язані з електричними компонентами, такі як ураження струмом, коротке замикання та перегрів, і запропонував заходи для їх мінімізації: використання герметичних корпусів, ізоляції проводів, регулярного

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

обслуговування та інструктажу бджолярів. Інструктаж охопив роботу з платформою Blynk, техніку безпеки та дії в надзвичайних ситуаціях, що забезпечує безпечну експлуатацію системи.

Розроблена система є економічно доцільною, модульною та адаптованою до умов українського бджільництва. Вона дозволяє автоматизувати моніторинг, зменшити трудовитрати та підвищити продуктивність бджолиних сімей. Отримані результати можуть бути використані для створення комерційних прототипів і впровадження системи в бджільницьких господарствах України, сприяючи цифровізації сільського господарства та сталому розвитку.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том другий. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 204 с.
2. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
3. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.
4. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
5. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.
6. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Комп'ютерна система для моніторингу метеорологічних параметрів на основі IoT. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24–25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 112.
7. Паламар А., Величко Д. Система моніторингу якості повітря в приміщеннях. Матеріали V Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання" (Тернопіль, 28-29 квітня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 138.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

8. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Апаратно-програмна система для регулювання мікроклімату теплиць. Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 102.

9. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Величко Д.В. Комп'ютерна система для контролю параметрів мікроклімату теплиць на основі інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 177.

10. Terenzi, A., Cecchi, S., Spinsante, S., Orcioni, S., Piazza, F. A Smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring Sensors, 2020. Vol. 20, No. 9. P. 2726.

11. Іванов І. І. Система моніторингу бджолиних вуликів на основі Інтернету речей: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06 Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2022. – 150 с.

12. Kridi, D. S., et al. A framework for better sensor-based beehive health monitoring Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 210. P. 107923.

13. Федоренко В. М. Розробка програмного забезпечення для аналізу даних з систем моніторингу бджолиних вуликів Інформаційні технології в агропромисловому комплексі, 2023. № 1. С. 10–17.

14. Савченко О. М. Аналіз впливу електромагнітного випромінювання на бджолині сім'ї, Екологічний вісник, 2021. № 4. С. 56–63.

15. Морозов Д. В. Розробка алгоритмів обробки даних з датчиків для моніторингу бджолиних вуликів, Комп'ютерні технології в сільському господарстві. 2023. № 2. С. 34–41.

16. Ковальчук Л. П. Вплив кліматичних змін на продуктивність бджолиних сімей: моніторинг та прогнозування: Дис. канд. с.-г. наук: 06.02.01, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, Київ, 2021. – 130 с.

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Захарченко Т. В. Методи оцінки стану бджолиних сімей за допомогою комп'ютерних технологій, Бджільництво України, 2022. № 3. С. 15–20.

18. Ткаченко А. С. Сучасні методи моніторингу стану бджолиних вуликів: огляд та аналіз, Вісник аграрної науки, 2022. № 3. С. 45–52.

19. Сидоренко М. М. Інноваційні технології в бджільництві: моніторинг та аналіз: Дис. докт. с.-г. наук: 06.02.01, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2024. – 200 с.

20. Петренко О. В. Розробка програмно-апаратного комплексу для моніторингу стану бджолиних сімей: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06 Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023. 120 с.

21. Скобло Ю. С, Соколовська Т. Б., Мазоренко Д. І., Б 40 Тіщенко Л. М., Троянов М. М. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів III— IV рівнів акредитації. Київ: Кондор, 2003. 424 с.

22. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці: навч. посібник. [для студ. вищ. навч. закл.] К.: Центр учбової літератури, 2009. — 280 с.

23. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці: рекомендації до виконання крб <https://dl.tntu.edu.ua/content.php?cid=514586>

24. Допомога при укусі бджоли. Як надати першу медичну допомогу. <https://zdorovym.com.ua/zdorovia/ekstrena-dopomoha/persha-dopomoha-pry-ukusi-bdzholy/> (дата звернення 28.05).

					КС КРБ 123.245.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р

Комп'ютеризована система моніторингу стану бджолиних вуликів

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 9 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Луцик Н.С.

« ____ » _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-42

_____ Шевчук Н.І.

« ____ » _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система моніторингу стану бджолиних вуликів».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.245.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Шевчук Н.І.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Розроблювана комп'ютеризована система призначена для:

- Моніторингу стану бджолиних вуликів.
- Вимірювання температури, вологості, ваги та шуму в реальному часі.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та налаштування комп'ютеризованої системи моніторингу стану бджолиних вуликів на основі мікроконтролера ESP32, інтегрованої в конструкцію вулика.

2.3 Характеристика об'єкту

Розроблювана система призначена для використання в сільському господарстві, зокрема для бджолярів та пасічників, які використовують бджолині вулики.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Мультимедійний сервер повинен складатись з:

- Апаратного модуля (мікроконтролер, датчики).
- Програмного забезпечення для обробки даних і відображення результатів.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Основна вимога, яка ставиться до способів та засобів інформаційного обміну – це їх надійність і синхронізація. Датчики повинні передавати дані до мікроконтролера в реальному часі.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Для системи визначено два режими функціонування:

- нормальний режим функціонування;
- аварійний режим функціонування.

Основним режимом функціонування є нормальний режим під час якого система виконує безперервний моніторинг стану вулика. Для забезпечення цього режиму необхідно дотримуватися умов експлуатації апаратного забезпечення та програмного коду, зазначених у технічній документації.

Аварійний режим функціонування системи характеризується відмовою одного або декількох компонент програмного і (або) технічного забезпечення. При цьому функції роботи системи продовжують підтримувати роботу системи моніторингу в межах базових налаштувань.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностування системи використовуються вбудовані засоби моніторингу, такі як тести працездатності мікроконтролера та аналіз сигналів

від датчиків. Інструменти повинні надавати зручний інтерфейс для перегляду діагностичних даних через Blynk, а також підтримувати перевірку апаратних компонентів.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Система може бути розширена шляхом інтеграції додаткових та точніших датчиків (руху, кисень) для розширення функціональності.

3.2 Показники призначення

Система повинна передбачати можливість масштабування. Можливості масштабування повинні забезпечуватися засобами використовуваного базового програмного і технічного забезпечення. А також адаптуватися до вуликів різного масштабу. Адаптивність забезпечується гнучкістю апаратного дизайну та програмного коду.

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність та відновлення своїх функцій при виникненні наступних ситуацій:

- збоях у системі електропостачання апаратної частини;
- помилках у роботі апаратних засобів (датчики);
- при помилках, пов'язаних з програмним забезпеченням (алгоритми, драйвери).

Для захисту від стрибків напруги рекомендовано використовувати стабілізатори живлення та конденсатори для фільтрації.

3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення .

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Матеріали компонентів повинні відповідати нормам пожежної безпеки, не виділяючи отруйних газів при нагріванні, і дозволяти використання стандартних засобів пожежогасіння після відключення живлення.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Мікроклімат в приміщеннях повинен відповідати нормам виробничого мікроклімату по ДСН 3.3.6.042-99:

- температуру повітря в межах від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$;
- відносну вологість повітря при 25°C в межах від 30% до 80%;
- атмосферний тиск 760 ± 25 мм рт. ст.

Періодичне технічне обслуговування апаратних компонентів (датчики) має проводитися не рідше одного разу на рік відповідно до технічної документації. Обслуговування включає тестування всіх елементів, перевірку з'єднань і аналіз можливих дефектів для їх усунення.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати базовий захист даних (наприклад, результати вимірювань) від несанкціонованого доступу, використовуючи шифрування на рівні програмного коду. Компоненти захисту включають: Компоненти підсистеми захисту від НСД повинні забезпечувати: – ідентифікацію користувача через пароль; – перевірку повноважень для доступу до даних; – обмеження доступу до критичних функцій. – рівень

захищеності відповідає мінімальним вимогам класу 1Д за класифікацією автоматизованих систем.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Дані вимірювань повинні зберігатися у внутрішній пам'яті мікроконтролера або на зовнішньому модулі для захисту від втрати при аварійному відключенні.

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати ергономічним стандартам і використовувати сертифіковане обладнання (мікроконтролер, датчики), що забезпечує зручність і безпеку експлуатації.

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

- забезпечення точного вимірювання параметрів у вулику;
- забезпечення зберігання медіафайлів;
- відображення результатів на дисплеї в реальному часі;
- забезпечення високої швидкодії.
- збереження даних для подальшого аналізу;
- забезпечення стабільної роботи в автономному режимі.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
 - в) Схема електрична принципова.
 - г) Схема електрична монтажна (з'єднань).

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання.	27.01.2025р. – 02.02.2025р.
2	Аналіз можливих рішень поставленого завдання	03.02.2025р. – 10.02.2025р.
3	Проектування та розробка апаратно-програмної системи моніторингу стану бджолиних вуликів	14.05.2025р. – 27.05.2025р.
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	14.05.2025р. – 27.05.2025р.
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	28.05.2025р. – 31.05.2025р.
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	01.06.2025р. – 08.06.2025р.
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	9.06.2025р. – 15.06.2025р.
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025р. – 22.06.2025р.
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	24.06.2025р.

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Лістинг програми

```
// Підключення бібліотек
#include <DHT.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

// Визначення пінів
#define DHT_PIN 2          // Пін для DHT22 (температура, вологість)
#define PIR_PIN 3          // Пін для датчика руху PIR
#define GREEN_LED 4        // Пін для зеленого світлодіода
#define RED_LED 5          // Пін для червоного світлодіода

// Визначення типу датчика DHT
#define DHT_TYPE DHT22
DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);

// Ініціалізація BMP280 (тиск)
Adafruit_BMP280 bmp;

// Нормальні діапазони параметрів
#define TEMP_MIN 32.0      // Мінімальна температура (°C)
#define TEMP_MAX 35.0      // Максимальна температура (°C)
#define HUM_MIN 50.0       // Мінімальна вологість (%)
#define HUM_MAX 70.0       // Максимальна вологість (%)
#define PRESS_MIN 950.0    // Мінімальний тиск (hPa)
#define PRESS_MAX 1050.0   // Максимальний тиск (hPa)

void setup() {
    // Ініціалізація серійного порту для дебагу
    Serial.begin(9600);

    // Налаштування пінів
    pinMode(PIR_PIN, INPUT);
    pinMode(GREEN_LED, OUTPUT);
    pinMode(RED_LED, OUTPUT);

    // Ініціалізація датчика DHT
    dht.begin();

    // Ініціалізація датчика BMP280
    if (!bmp.begin(0x76)) {
        Serial.println("Не вдалося знайти BMP280!");
        while (1); // Зупинка програми
    }

    // Початкове вимкнення світлодіодів
    digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
    digitalWrite(RED_LED, LOW);
}

void loop() {
    // Зчитування даних із датчиків
```

```

float temperature = dht.readTemperature();
float humidity = dht.readHumidity();
float pressure = bmp.readPressure() / 100.0; // Переведення в hPa
int motion = digitalRead(PIR_PIN);

// Перевірка на помилки зчитування
if (isnan(temperature) || isnan(humidity) || isnan(pressure)) {
    Serial.println("Помилка зчитування з датчиків!");
    digitalWrite(RED_LED, HIGH); // Червоний світлодіод увімкнено
    digitalWrite(GREEN_LED, LOW); // Зелений світлодіод вимкнено
    delay(2000);
    return;
}

// Виведення даних у серійний порт
Serial.print("Температура: "); Serial.print(temperature);
Serial.println(" °C");
Serial.print("Вологість: "); Serial.print(humidity);
Serial.println(" %");
Serial.print("Тиск: "); Serial.print(pressure); Serial.println("
hPa");
Serial.print("Рух: "); Serial.println(motion ? "Виявлено" :
"Немає");

// Перевірка параметрів
bool isNormal = true;

// Перевірка температури
if (temperature < TEMP_MIN || temperature > TEMP_MAX) {
    isNormal = false;
    Serial.println("Температура поза нормою!");
}

// Перевірка вологості
if (humidity < HUM_MIN || humidity > HUM_MAX) {
    isNormal = false;
    Serial.println("Вологість поза нормою!");
}

// Перевірка тиску
if (pressure < PRESS_MIN || pressure > PRESS_MAX) {
    isNormal = false;
    Serial.println("Тиск поза нормою!");
}

// Перевірка руху (рух може вказувати на аномалію, наприклад,
вторгнення)
if (motion == HIGH) {
    isNormal = false;
    Serial.println("Виявлено рух!");
}

// Керування світлодіодами
if (isNormal) {
    digitalWrite(GREEN_LED, HIGH); // Зелений увімкнено
    digitalWrite(RED_LED, LOW); // Червоний вимкнено
    Serial.println("Усе в нормі!");
} else {

```

```
    digitalWrite(GREEN_LED, LOW); // Зелений вимкнено
    digitalWrite(RED_LED, HIGH);  // Червоний увімкнено
    Serial.println("Проблема виявлена!");
}

// Затримка перед наступним циклом
delay(5000); // 5 секунд
}
```

Додаток В

Перелік елементів

[illegible]