

Звіт подібності

Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

2025_Мулик_Т.В._ФІТ_ІТТС_АКСм-24-1

Автор

Мулик Т. В.

Науковий керівник / Експерт

Левицький І. Т.

ІД документу

333155568

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

підрозділ

Каф. ІТТС

ЗВІТ

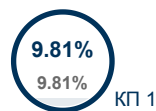
Дата звіту

1/21/2026

Дата редагування

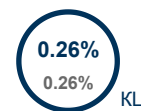
Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



17581

Кількість слів








130242

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		0
Інтервали		0
Мікропробіли		1
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		45

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСм-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	121 0.69 %
2	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСм-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	111 0.63 %

3	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСМ-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	47 0.27 %
4	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСМ-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	30 0.17 %
5	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСМ-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	30 0.17 %
6	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34827599/	26 0.15 %
7	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСМ-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	26 0.15 %
8	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСМ-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	22 0.13 %
9	https://www.citethisforme.com/topic-ideas/life-sciences/Honeybee%3A%20Introduction-103225632	22 0.13 %
10	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСМ-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	21 0.12 %

з домашньої бази даних (8.42 %)



#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	2025_Яремко_Н.Б._ФІТ_ІТТС_АКСМ-24-1 12/22/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	1306 (101) 7.43 %
2	2024_Гава А.П._ІІТ_ІТТС_АКСМ-23-1 12/25/2024 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	81 (8) 0.46 %
3	2024_Горинський М.І._ІІТ_ІТТС_АКСМ-23-1 12/22/2024 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	71 (7) 0.40 %
4	2024_Волочій В.І._ІІТ_ІТТС_АКСМ-23-1 12/22/2024 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	16 (2) 0.09 %
5	2025_Паламар_Д.І._ФІТ_ІТТС_СІ-21-1 6/19/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	6 (1) 0.03 %

з програми обміну базами даних (0.06 %)



#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
6	Система вимірювання параметрів життєдіяльності домашніх тварин. Канал вимірювання навколишнього середовища 6/3/2025 National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute (ПБФ, К-ра інформаційно-вимірювальних технологій)	10 (1) 0.06 %

з Інтернету (1.33 %)



#	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
7	http://moodle2.snu.edu.ua/pluginfile.php/105139/mod_resource/content/1/%D0%94%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%20%D0%9B%D1%83%D0%BD%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D0%BD-converted.pdf	42 (5) 0.24 %
8	https://www.citethisforme.com/topic-ideas/life-sciences/Honeybee%3A%20Introduction-103225632	37 (2) 0.21 %
9	https://en.wikipedia.org/wiki/Pollinator_decline	27 (2) 0.15 %
10	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34827599/	26 (1) 0.15 %
11	https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2019.00079/full	20 (1) 0.11 %
12	https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13592-019-00714-8.pdf	16 (2) 0.09 %
13	http://www.dut.edu.ua/uploads/p_1539_38726799.pdf	16 (1) 0.09 %
14	https://dl.acm.org/doi/10.1016/j.compag.2023.107906	15 (1) 0.09 %
15	https://cyberleninka.ru/article/n/ob-ispolzovanii-mikrokontrollerov-dlya-obrabotki-rechevyh-signalov	13 (1) 0.07 %
16	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32144/1/Budko_magistr.pdf	10 (1) 0.06 %
17	https://repository.mu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/6601/1/%D0%94%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC_%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BA_%D0%92%D0%9E_.pdf	7 (1) 0.04 %
18	https://www.researchsquare.com/article/rs-1248474/latest.pdf	5 (1) 0.03 %

Список прийнятих фрагментів

#	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Міністерство освіти і науки України Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Факультет інформаційних технологій Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем Мулик Тарас Васильович (прізвище, ім'я, по батькові) УДК 638.12:621.38:681.586 МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА Розроблення апаратного та технічного забезпечення системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл (назва роботи) Комп'ютеризовані системи управління та автоматика (назва освітньої програми) 174-Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (шифр і назва спеціальності) Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело: Здобувач освітнього ступеня _____ Т.В. Мулик (підпис, ініціали та прізвище здобувача) Науковий керівник _____ Левицький Іван Теодорович, к.т.н., доцент (підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника) Дopusнено до захисту Завідувач кафедри _____ Заміховський Л.М. (посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище) Івано-Франківськ – 2026 Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (повне найменування закладу вищої освіти) Факультет Інформаційних технологій Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем	
3	Освітній рівень магістр Спеціальність 174-Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (шифр і назва)	
	ЗАТВЕРДЖУЮ Завідувач кафедри ІТТС д.т.н.,проф. Л.М.Заміховський « » 2025 року	

16. А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Мулик Тарасу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення апаратного та технічного забезпечення системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл

керівник роботи Левицький Іван Теодорович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від " 30 " жовтня 2025 року No 690/7

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи Матеріали та результати отримані під час проходження переддипломної практики, структурна схема, методичні вказівки.

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

Порівняльний аналіз існуючих систем

Розроблення складових системи

Дослідження розроблених елементів системи

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

Структурна схема

Функціональна схема

Результати розробки

6. Дата видачі завдання _

7. КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

No

з/п

Назва етапів магістерської

роботи

Термін виконання

етапів роботи Примітка

1 Порівняльний аналіз існуючих систем 02.09.2025-2.10.2025 Виконано 2 Розроблення складових системи 03.10.2025-14.11.2025 Виконано 3

Дослідження розроблених елементів системи 15.11.2025-12.12.2025 Виконано 4 Оформлення результатів роботи 13.12.2025-19.12.2025

Виконано Студент Мулик Т.В.

(підпис) (прізвище та ініціали) Керівник роботи Левицький І.Т. (підпис) (прізвище та ініціали) АНОТАЦІЯ У магістерській роботі розглянуто проблему автоматизованого

моніторингу життєвих параметрів колонії медоносних бджіл для підвищення

ефективності бджільництва. Об'єктом є апаратне забезпечення систем

контролю біологічних процесів, предметом – методи інтеграції

мікроконтролерів, датчиків та інтерфейсів.

Мета – розроблення апаратного забезпечення автономної системи

контролю параметрів колонії з акцентом на енергоефективність. Завдання:

аналіз існуючих систем; вибір компонентів; розробка структурної схеми;

оцінка енергоспоживання; верифікація прототипу.

Методи: системний аналіз джерел, моделювання схем,

експериментальне тестування датчиків, статистична обробка даних.

Результат: запропоновано систему на базі ATXMEGA256A3U з

датчиками MAX9814, SCD30, BME280, HX711, VL6180X, RCWL-9196,

дисплеєм ILI9341, microSD та ESP-07. Живлення – сонячна панель з MPPT,

споживання I_{max} 15 mA, автономність > 30 днів. Верифікація підтвердила точність:

CO₂ ±30 ppm, вага ~0,01 кг.

Новизна: інтеграція багатоканального моніторингу з FFT на

мікроконтролері для автономної системи. Практичне значення: прототип для

пасік, масштабування для агросектору.

ANNOTATION

The master's thesis considers the problem of automated monitoring of the vital parameters of a honey bee colony to improve the efficiency of beekeeping. The object is the hardware of biological process control systems, the subject is methods of integrating microcontrollers, sensors and interfaces.

The goal is to develop hardware for an autonomous colony parameter

control system with an emphasis on energy efficiency. Tasks: analysis of existing systems; selection of components; development of a structural diagram; assessment

of energy consumption; verification of the prototype.

Methods: system analysis of sources, circuit modeling, experimental testing of sensors, statistical data processing.

Result: a system based on ATXMEGA256A3U with MAX9814, SCD30, BME280, HX711, VL6180X, RCWL-9196 sensors, ILI9341 display, microSD and ESP-07 is proposed. Power supply - solar panel with MPPT, consumption <15 mA, autonomy >30 days. Verification confirmed accuracy: CO2 ±30 ppm, weight ~0.01 kg.

Novelty: integration of multi-channel monitoring with FFT on a microcontroller for an autonomous system. Practical significance: prototype for apiaries, scaling for the agricultural sector.

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 84 сторінки, 33 малюнки, 2 таблиці, 26 посилань.

Об'єктом дослідження є апаратне та технічне забезпечення систем моніторингу життєвих параметрів колонії медоносних бджіл, включаючи датчики для їх контролю.

Мета роботи – розроблення апаратного та технічного забезпечення автономної системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл з використанням мікроконтролерних технологій, датчиків для багатоканального моніторингу, інтерфейсів для візуалізації та передачі даних, з акцентом на енергоефективність та автономність роботи протягом сезону.

У першому розділі роботи проведено всебічний аналіз проблематики моніторингу життєвих параметрів бджолиних колоній, включаючи огляд існуючих апаратних рішень для діагностики стану сімей, аналіз їх переваг та недоліків. Досліджено сучасні вітчизняні та зарубіжні системи автоматизованого моніторингу пасік, виконано порівняльний аналіз їх апаратних компонентів, таких як датчики, мікроконтролери та модулі зв'язку.

У другому розділі здійснено детальний вибір та дослідження апаратних елементів системи. Виконано обґрунтований вибір мікроконтролерної платформи, датчиків, дисплея та елементів живлення.

У третьому розділі проведено комплексний аналіз отриманих результатів, включаючи експериментальну верифікацію розробленої апаратної системи на реальних прототипах..

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, БДЖОЛИНА СІМ'Я, АЛГОРИТМ, СПЕКТРОАНАЛІЗ, WEB-СЕРВЕР, ШВИДКЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є. ABSTRACT Solving and explanatory note: 84 pages, 33 figures, 2 tables, 26 references. The object of the study is the hardware and technical support of the systems for

monitoring the vital parameters of a honey bee colony, including sensors for their control.

The purpose of the work is to develop hardware and technical support for an autonomous system for monitoring the vital parameters of a honey bee colony using microcontroller technologies, sensors for multi-channel monitoring, interfaces for visualization and data transfer, with an emphasis on energy efficiency and autonomy of operation during the season.

In the first section of the work, a comprehensive analysis of the issues of monitoring the vital parameters of bee colonies is carried out, including a review of existing hardware solutions for diagnosing the state of families, an analysis of their advantages and disadvantages. Modern domestic and foreign automated apiary monitoring systems are studied, a comparative analysis of their hardware components, such as sensors, microcontrollers and communication modules, is performed.

In the second section, a detailed selection and study of the hardware elements of the system is carried out. A reasonable choice of the microcontroller platform, sensors, display and power supplies is made.

In the third section, a comprehensive analysis of the results obtained is carried out, including experimental verification of the developed hardware system on real prototypes..

MONITORING SYSTEM, BEE FAMILY, ALGORITHM, SPECTROANALYSIS, WEB SERVER, FAST FOURIER TRANSFORM.

ЗМІСТ с. ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ 7 ВСТУП 8

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ

БДЖОЛИНОЇ КОЛОНІЇ 13

1.1 Методика і проблеми сучасного бджільництва 13

1.2 Аналіз сучасних систем моніторингу бджолиних колоній 18

1.3 Постановка задачі 26

2 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ КОЛОНІЇ МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ	29
2.1 Розроблення функціональної схеми та вибір елементної бази системи	29
2.2 Вибір елементної бази підсистеми вимірювання	35
2.3 Вибір елементної бази підсистеми відображення даних	48
2.4 Вибір елементної бази підсистеми зв'язку.....	52
2.5 Вибір центрального мікроконтролера	61
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЖИТТЄВИХ ПАРАМЕТРІВ БДЖОЛИНОЇ СІМ'І.....	67
3.1 Опис розробленої друкованої плати	67
3.2 Монтаж компонентів друкованої плати	71
3.3 Опис роботи пристрою і системи в цілому	75
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	79
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	83

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата Арк. 6 **КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ**

Розроб. Мулик

Перев. Левицький Н. контр. Возний Затв. Заміховський Розроблення апаратного та технічного забезпечення систе-

ми контролю життєвих пара-

метрів колонії медоносних сім'ї

Літ. Аркушів

83

ФОНТУНГ гр.АКСм-24-1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата Арк. 7 **КРМ.АКСм- 16.00.00.000 ПЗ ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ**

АЧХ – Амплітудно-частотна характеристика АЦП – Аналогово-цифровий перетворювач

⁵ **МК** – Мікроконтролер

ПК – Персональний комп'ютер

¹ **ФС** – Функціональна схема

Д – Давач

Зм. Арк. No докум. Підп. Дата Арк. 8 КРМ.АКСм- 16.00.00.000 ПЗ ВСТУП Бджільництво посідає важливе місце у структурі аграрного виробництва,

адже ця галузь не лише забезпечує населення цінними продуктами харчування та лікувально-профілактичними засобами, але й відіграє ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги. Основний внесок медоносних бджіл полягає в запиленні сільськогосподарських культур, що безпосередньо впливає на урожайність і стійкість агроєкосистем. За оцінками міжнародних дослідницьких організацій, економічна користь від запилення у кілька разів перевищує вартість усієї продукції, яку дають пасіки. Тому збереження здорових та сильних бджолиних сімей є важливим елементом продовольчої та екологічної безпеки держави.

Проте протягом останніх років пасічники у всьому світі стикаються з проблемою зменшення чисельності бджолосімей. Зміна клімату, широке використання агрохімікатів, підвищення навантаження хворобами та паразитами, а також порушення природного середовища існування призводять до ослаблення бджіл. Окрім зовнішніх чинників, критичну роль відіграють внутрішні умови вулика, які визначають життєздатність колонії.

Температурний режим, вологість, рівень вуглекислого газу, якість вентиляції, доступність кормів, інтенсивність руху бджіл — усі ці параметри є ключовими індикаторами нормального розвитку сім'ї.

Контроль внутрішнього стану вулика традиційно здійснюється пасічником шляхом періодичних оглядів. Проте такий підхід має суттєві обмеження. По-перше, відкриття вулика призводить до стресу колонії, порушення мікроклімату та потенційної втрати тепла, що особливо небезпечно у холодний період. По-друге, огляди дозволяють побачити лише наслідки певних процесів, тоді як ранні зміни, які можуть вказувати на проблеми, залишаються непоміченими. По-третє, пасічник не має можливості

¹ **Зм. Арк. No докум. Підп. Дата**

Арк.

9 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

контролювати ситуацію постійно, а стан сім'ї може змінюватися протягом кількох годин. У разі хвороб, переохолодження, порушення вентиляції або підвищення вологості зволікання призводить до значних втрат.

Сучасні тенденції розвитку цифрових технологій відкривають можливість створення засобів дистанційного та безперервного контролю внутрішніх

параметрів вулика. На ринку існують окремі рішення, проте вони або мають високу вартість, або обмежені за функціональністю, або не адаптовані до специфічних умов пасічних господарств у різних кліматичних зонах. Більшість наявних систем фокусуються лише на одному чи двох параметрах, наприклад на масі вулика та температурі, тоді як комплексний підхід дозволяє значно точніше оцінювати стан бджіл.

Особливої уваги в останні роки набуває дослідження газового складу у вулику, зокрема концентрації вуглекислого газу (CO₂). Рівень CO₂ є одним із найінформативніших показників активності колонії, ефективності вентиляції та теплопродукції. У сильних сім'ях концентрація може підвищуватися у період інтенсивного вирощування розплоду, а в слабких — у разі порушення обміну повітря. Високий рівень CO₂ при низькій температурі свідчить про погану вентиляцію, що може призвести до вогкості та розвитку грибкових захворювань.

Для отримання достовірної інформації про життєві процеси у вулику необхідно поєднати кілька типів датчиків: температури, вологості, CO₂, тиску, ваги, акустичних сенсорів, іноді – відеоспостереження або інфрачервоних датчиків руху. Комплексна система дає змогу отримувати багатовимірні дані, що дозволяє проводити аналіз, прогнозування та своєчасне реагування на небажані зміни. Реалізація такої системи стає можливою завдяки розвитку малопотужних мікроконтролерів, безпроводної передачі даних (LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi, BLE), енергоефективних сенсорів та автономних джерел живлення.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

10 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Розроблення апаратного забезпечення для моніторингу вимагає врахування ряду факторів, серед яких: умови експлуатації (від високих літніх температур до зимових морозів), захищеність електроніки від вологи та агресивного середовища, мінімальне енергоспоживання, точність вимірювань, можливість калібрування, автономність та стабільність роботи. Не менш важливо забезпечити простоту встановлення, можливість інтеграції з наявними пасічними конструкціями та розширюваність системи.

Технічне забезпечення системи повинно включати не лише датчики та мікроконтролер, а й допоміжні модулі — елемент живлення, захисний корпус, комунікаційні інтерфейси, а також програмне забезпечення для збору, передачі та обробки інформації. Значну роль відіграє архітектура системи: централізована або розподілена, з локальним зберіганням даних або з використанням хмарних сервісів. Вибір архітектури залежить від масштабів пасіки, доступності мереж, енергетичних обмежень і потреб у деталізації інформації.

Потреба у створенні доступної та ефективно системи моніторингу зумовлена також розвитком концепції «розумних пасік» – сучасного напрямку в агроінженерії, спрямованого на автоматизацію та цифровізацію процесів утримання та догляду за бджолами. Інтелектуальні системи дозволяють пасічнику отримувати інформацію в режимі реального часу, зменшувати кількість втручань у вулик, оптимізувати графік робіт, підвищувати виживаність сімей у зимовий період, а також формувати історичні бази даних, що корисно для наукових досліджень.

Попри наявність окремих розробок, більшість із них або орієнтовані на великі промислові пасіки, або потребують складного налаштування, або не враховують особливостей українських кліматичних умов і типових конструкцій вуликів. Тому актуальним завданням є створення технічно доступної, енергоефективної та високоточної системи контролю життєвих параметрів

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

11 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

бджолоїної колонії, адаптованої до умов приватних і малих пасічних господарств.

Актуальність дослідження визначається необхідністю підвищення точності моніторингу та оптимізації умов утримання бджіл, що безпосередньо впливає на продуктивність пасік. Своєчасне виявлення відхилень у роботі колонії дає змогу попереджати розвиток захворювань, уникати роєвих процесів, зменшувати зимові втрати та підвищувати ефективність господарської діяльності. З огляду на те, що традиційні методи контролю не забезпечують достатнього рівня оперативності та точності, створення сучасної

автоматизованої системи є актуальним і важливим науково-практичним завданням.

Об'єктом дослідження в цій роботі виступають процеси життєдіяльності медоносної бджолоїної сім'ї, що піддаються вимірюванню технічними засобами.

Предметом дослідження є апаратні та технічні рішення, методи вимірювання та збирання даних, які забезпечують контроль ключових параметрів внутрішнього середовища вулика.

Метою роботи є розроблення комплексу апаратного та технічного забезпечення системи моніторингу життєвих параметрів медоносної бджолоїної сім'ї з використанням сучасних сенсорів, мікроконтролерних засобів та технологій передачі даних.

Методи дослідження включають аналіз наукових і технічних джерел, порівняльний аналіз сенсорних елементів, моделювання теплових та газових процесів у вулику, експериментальні вимірювання, прототипування електронних модулів, аналіз даних, а також випробування готового апаратного комплексу.

Наукова новизна роботи полягає у створенні комплексної системи контролю, яка поєднує вимірювання температури, вологості, CO₂ та інших параметрів із можливістю автономної роботи та адаптації до реальних умов

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

12 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

пасіки. У роботі також передбачено оптимізацію hardware-складової та розроблення технічних рішень для підвищення точності вимірювань. Практична цінність полягає в можливості застосування розробленої системи у господарській діяльності пасічників, підвищенні ефективності управління бджолоїними сім'ями, зменшенні трудових витрат та підвищенні продуктивності пасіки за рахунок своєчасного реагування на відхилення у стані колонії.

Таким чином, створення сучасної автоматизованої системи контролю життєвих параметрів медоносної бджолоїної сім'ї є актуальним завданням, що відповідає сучасним тенденціям розвитку агротехнологій та цифрової інженерії. Виконання роботи дозволить поєднати сучасні сенсорні технології, апаратні засоби та технічні рішення для формування інноваційного комплексу моніторингу, здатного працювати в умовах реального пасічного господарства.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата Арк. 13 КРМ.АКСм- 16.00.00.000 ПЗ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ БДЖОЛІНОЇ КОЛОНІЇ

1.1 Методика і проблеми сучасного бджільництва

Сучасне бджільництво є високотехнологічною галуззю, яка поєднує традиційні практики утримання медоносних бджіл із новітніми підходами до управління, контролю та забезпечення їх життєдіяльності. У XXI столітті ця сфера переживає інтенсивний розвиток завдяки впровадженню автоматизованих систем моніторингу, використанню високоточних датчиків, оптимізації технологій утримання та поширенню методів аналітики даних. Незважаючи на стрімкий прогрес, бджільництво залишається залежним від низки природних і біологічних факторів, що створює значну кількість ризиків і викликів для дослідників та практиків [1, 2].

Методика сучасного бджільництва охоплює комплекс організаційних, технологічних, ветеринарних, екологічних та інженерних заходів, спрямованих на забезпечення оптимальних умов для розвитку бджолоїної сім'ї та підвищення її продуктивності. До основних напрямів ведення бджільництва належать: правильний вибір місця розташування пасіки, догляд за бджолами протягом сезону, контроль стану сім'ї, організація харчування, боротьба зі шкідниками, забезпечення вентиляції і терморегуляції у вулику, а також своєчасна заміна маток і профілактика захворювань [3].

У цьому розділі детально розглянуто ключові методи, технологічні процеси та проблеми, з якими стикаються пасічники, а також сучасні тенденції у розвитку галузі, що безпосередньо впливають на необхідність створення систем автоматизованого моніторингу життєвих параметрів бджолоїної колонії. Ведення бджільництва починається з вибору оптимального місця для розміщення пасіки. Розташування є критично важливим, оскільки воно

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

14 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

визначає доступність кормової бази, рівень захисту від зовнішніх впливів та мікрокліматичні умови. Ідеальна місцевість повинна характеризуватися наявністю медоносних рослин, відсутністю великих промислових зон та забезпеченням природних або штучних вітрозахисних бар'єрів.

Сучасні рекомендації передбачають, що пасіку слід розміщувати на сухих ділянках із легким ухилом для запобігання застою вологи. Бажано, щоб поблизу були джерела чистої води, однак їх наявність не повинна створювати умов для підвищеної вологості. У структурі ведення пасіки важливу роль відіграє планування розташування вуликів: вони повинні стояти на підставках, бути підняті над землею, захищені від прямих сонячних променів і мати достатню відстань між собою для зручності обслуговування [4, 5].

Сучасна методика також враховує вплив електромагнітних полів, рівня шуму та антропогенного навантаження, оскільки ці фактори можуть негативно впливати на навігацію бджіл. Відповідно, перед відкриттям пасіки пасічники нерідко проводять попередні дослідження місцевості, рис.1.1.

Рисунок 1.1 – Бджільництво

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

15 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Весняний період. Весна є критичним етапом, який визначає силу та життєздатність бджолиної сім'ї. Основні заходи включають огляд вуликів, оцінку стану матки, кількості розплоду, запасів корму, а також очищення гнізда. Пасічник контролює температуру та вологість усередині вулика, оскільки саме в цей період бджоли починають активно нарощувати розплід.

Однією з основних проблем цього періоду є нестача кормових запасів, що призводить до ослаблення сімей. Тому часто застосовується підгодівля цукровими сиропами або білковими сумішами. У сучасних методиках рекомендують встановлення датчиків ваги для відстеження змін маси вулика, що дозволяє непрямо оцінювати активність сім'ї та витрати корму [6]. Літній період. Влітку відбувається основний медозбір, тому методика утримання бджіл спрямована на максимізацію продуктивності. До ключових заходів належать: розширення гнізда, встановлення магазинних надставок, контроль роїння, забезпечення належної вентиляції та своєчасний відбір меду. Проблеми цього періоду переважно пов'язані з роїнням, перегрівом вулика, нестачею вентиляції та атакою шкідників. Підвищення температури вище оптимальних значень (близько 34–36 °С у зоні розплоду) може призвести до загибелі личинок, тому пасічники вживають заходів щодо охолодження: збільшення льотків, забезпечення тінювого укриття або застосування відбивних матеріалів.

Осінній період. У цей час відбувається підготовка бджіл до зими: скорочення гнізда, оцінка сили сім'ї, перевірка запасів корму, профілактика захворювань. Значну увагу приділяють боротьбі з кліщем «*Varroa destructor*», який є одним із найнебезпечніших паразитів сучасного бджільництва. Для ефективного контролю цього шкідника застосовують хімічні та біотехнічні методи, але в сучасній практиці набуває популярності інтегрований підхід з поєднанням різних методів і моніторингом ефективності за допомогою цифрових пристроїв.

2 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

16 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Зимовий період. Зимівля є одним із найбільш ризикових періодів, адже саме в цей час можливі великі втрати бджолиних сімей. У зимівлі важливу роль відіграє якість утеплення, правильна вентиляція та підтримання оптимального мікроклімату. Поширеною проблемою є утворення конденсату, який призводить до намокання гнізда та підвищення захворюваності. Тому сучасна методика рекомендує встановлення датчиків температури і вологості для стабільного контролю умов зимівлі.

Повноцінне харчування є ключовим чинником у підтриманні сили сім'ї. У природних умовах бджоли споживають нектар, пилок, падь, воду та прополіс. Однак сучасний підхід до бджільництва передбачає використання заміників кормів у разі їх нестачі.

Важливим елементом є створення штучної кормової бази – висаджування медоносних рослин, розміщення пасіки в районах з достатнім різноманіттям флори. Нестачу природного медозбору часто спричиняє інтенсивне землеробство, що знижує кількість нектароносів.

Сучасне бджільництво стикається з широким спектром захворювань і паразитів. Найпоширенішими є:

- вароатоз (*Varroa destructor*);
- нозематоз;
- європейський та американський гнильці;
- вірусні інфекції;
- воскова міль;
- хімічні отруєння пестицидами.

Особливу небезпеку становлять віруси, що активно поширюються при наявності кліща «*Varroa*». Ускладнення полягає в тому, що багато патологій неможливо виявити на ранніх стадіях без регулярного моніторингу активності сім'ї та мікроклімату у вулику.

У сучасному бджільництві активно впроваджуються автоматизовані системи контролю. Найпоширенішими є:

² Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

17 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

- датчики температури та вологості;
- сенсори CO₂;
- вагові платформи;
- акустичні датчики (контроль роїння);
- камери відеоспостереження;
- системи GSM/LoRaWAN для передачі даних;
- хмарні платформи аналітики.

Завдяки цим технологіям пасічники мають можливість відстежувати стан колонії в реальному часі, що значно підвищує ефективність управління пасікою.

Попри стрімкий розвиток технічних рішень, галузь стикається з низкою системних проблем:

- зміна клімату – призводить до зниження медозбору, зміни фенології рослин, збільшення стресових факторів;
- пестициди та хімічні засоби - спричиняють гострі та хронічні отруєння бджіл;
- паразити і хвороби – зростання вірусного навантаження, адаптація кліща «*Varroa*» до препаратів;
- втрати орієнтації бджіл – інтенсивні електромагнітні поля, урбанізація.
- зниження біорізноманіття – скорочення природних медоносних рослин.
- недостатня цифровізація галузі – брак систем моніторингу призводить до несвоєчасного виявлення проблем.

Саме ці виклики демонструють необхідність створення високоточних апаратних систем контролю життєвих параметрів, що є актуальним напрямом сучасних досліджень [7].

² Зм. Арк. No докум. Підп. Дата Арк. 18 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

1.2 Аналіз сучасних систем моніторингу бджолиних колоній

Сучасне бджільництво стикається з серйозними викликами, пов'язаними зі значними втратами бджолиних колоній. За даними опитувань бджолярів США у сезоні 2024–2025 років, середні втрати сягнули 55,6 %, а в комерційних пасіках подекуди перевищували 60–70 %. Основними причинами є вароатоз, пестициди, недостатнє харчування та кліматичні зміни.

У таких умовах віддалений моніторинг життєвих параметрів колоній стає критично важливим інструментом, що дозволяє бджоляру вчасно виявляти проблеми (роїння, ослаблення сім'ї, захворювання, брак корму) без частих фізичних оглядів, які самі по собі є стресом для бджіл.

Сучасні системи моніторингу можна класифікувати за кількома ознаками:

- за набором контрольованих параметрів (вага, температура, вологість, акустика, CO₂, активність льоту);
- за способом передачі даних (Bluetooth, Wi-Fi, LoRa, GSM/3G/4G/5G);
- за рівнем автоматизації (пасивний моніторинг ↔ активне втручання);
- за цільовою аудиторією (хобі, сидери, комерційні бджолярі).

Нижче наведено аналіз найбільш поширених і технічно цікавих комерційних систем станом на кінець 2025 року. BroodMinder (США). Одна з найпопулярніших модульних систем, орієнтована переважно на любителів та невеликі пасіки, але масштабується до кількох сотень вуликів, рис.1.2. Контрольовані параметри:

- вага (моделі Scales W2/W3 з точністю ± 20 г);
- температура всередині гнізда та під кришкою (точність $\pm 0,1$ °C);
- вологість (H2);
- зовнішня температура та вологість (модель 42/47);
- активність льоту (BeeDag – інфрачервоний лічильник бджіл на льотку).

²Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

19 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Дані передаються через Bluetooth Low Energy на хаб або безпосередньо на смартфон, далі – у хмару MyBroodMinder або BeeCounted (європейська версія). Живлення – літєві батарейки типу CR2032 з терміном служби 2–5 років залежно від моделі [8].

Переваги: низька ціна (ваги ≈ 150 – 200 USD), простота встановлення, потужна спільнота користувачів, відкритий API. Недоліки: для великих відстаней потрібні хаби або громадянські мережі (SwarmMinder на базі LoRa), немає вбудованого акустичного аналізу та CO₂.

Рисунок 1.2 – Модель BroodMinder-T2SM

Arnia (Велика Британія). Професійна система, яка довгий час вважалася еталоном завдяки розвиненому акустичному моніторингу, рис.1.3.

Контрольовані параметри:

- вага (± 10 г);
- температура (кілька зон у вулику);

²Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

20 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

- вологість;
- акустика (мікрофон високої чутливості + спектральний аналіз для виявлення ройового настрою, відсутності матки, варроа тощо);
- температура стільника (броуд-моніторинг).

Передача даних – GSM/3G, автономність – сонячна панель + акумулятор. WEB-платформа має один з найкращих інтерфейсів для довгострокового аналізу трендів.

Переваги: дуже точний акустичний аналіз (використовується в багатьох наукових проєктах), надійність у польових умовах. Недоліки: висока вартість (комплект на вулик ≈ 600 – 800 GBP), компанія з 2022–2023 рр. переживає реорганізацію, підтримка та нові поставки обмежені.

Рисунок 1.3 – Модель Arnia Remote Hive Monitors

ApisProtect (Ірландія). Система, орієнтована на великих комерційних бджолярів та компанії-запилувачі (США, Австралія), рис.1.4. Контрольовані параметри:

- температура;
- вологість;
- CO₂ (дуже важливий параметр для оцінки вентиляції та щільності населення);
- акустика (AI-аналіз звуку вулика);

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

21 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

– геолокація (вбудований GPS-трекер проти крадіжок).

Живлення – сонячна панель та Li-Ion акумулятор (термін служби 3–5 років). Передача даних – через супутниковий IoT (Swarm або Iridium у віддалених районах) або 4G. AI на сервері видає попередження про варроа, роїння, ослаблення сім'ї [9].

Переваги: найкращий на сьогодні набір параметрів для комерційного використання, дуже надійна передача даних, прогнозна аналітика. Недоліки:

висока ціна (≈ 300–350 USD за вулик при великих партіях), закритий софт.

Рисунок 1.4 – Модель ApisProtect

BeeWise BeeHome (Ізраїль). Унікальна роботизована система – по суті, це контейнерний вулик на 24–40 колоній з повною автоматизацією, рис.1.5.

Контрольовані параметри:

- усі базові (вага, температура, вологість, CO₂);
- комп'ютерний зір (камери всередині, підрахунок бджіл на рамках, виявлення матки, варроа, хвороб);
- автоматичне годування, терморегуляція, обробка від варроа (термічна або мурашина кислота), збирання меду.

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

22 КРМ.АКСМ- 16.00.00.000ПЗ

AI керує кліматом, вентиляцією, навіть переміщує рамки. Один BeeHome замінює ≈ 40 традиційних вуликів і зменшує втрати колоній на 70 % (за даними компанії 2024–2025 рр.).

Переваги: радикальне зниження ручної праці та втрат, ідеально для промислового запилення мигдалю та інших культур. Недоліки: надзвичайно висока вартість (один BeeHome ≈ 400–500 тис. USD), потребує під'їзду техніки, змінює традиційну технологію бджільництва.

Рисунок 1.5 – Модель BeeWise BeeHome

BeeHero (Ізраїль/США). Платформа precision pollination, орієнтована на комерційних бджолярів, які надають послуги запилення, рис.1.6. Контрольовані параметри в вулику:

- температура;
- вологість;
- звук;
- активність (акселерометр + власний алгоритм оцінки сили сім'ї).

Особливістю є In-Field сенсори, що вимірюють реальну кількість візитів бджіл до квіток у полі (насадження). Дані використовуються для розрахунку оплати за запилення [10].

3 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

23 КРМ.АКСМ- 16.00.00.000ПЗ

Переваги: дає об'єктивну оцінку ефективності колоній, дуже цінно для контрактів з фермерами. Недоліки: висока вартість підписки, основний акцент – не на здоров'ї колонії, а на комерційній ефективності запилення.

Рисунок 1.6 – Модель BeeHero

Pollenity (Bee Smart, Болгарія). Європейська система, популярна в Центральній та Східній Європі, рис.1.7. Контрольовані параметри:

- вага;
- температура (кілька зон);
- вологість;
- звук (аналіз роїння).

Передача через LoRaWAN або 4G. Дуже добра мобільна аплікація з push-повідомленнями.

Переваги: гарне співвідношення ціна/якість (комплект ≈ 250–300 EUR), активна підтримка, локальні сервери в ЄС. Недоліки: менш розвинений AI-аналіз порівняно з ApisProtect.

3 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

24 КРМ.АКСМ- 16.00.00.000ПЗ

Рисунок 1.7 – Модель Pollenity

OSBeehives BuzzBox (США). Система, що спеціалізується на акустичному моніторингу, рис.1.8. Контрольовані параметри:

- температура;

– звук (високоякісний мікрофон + онлайн-трансляція «гудіння вулика»);

– вага (опціонально).

Особливістю є можливість слухати вулик у реальному часі та велика бібліотека звуків для машинного навчання.

Переваги: найкращий звук серед усіх систем, відкрита спільнота.

Недоліки: слабкі інші параметри, потребує додаткових модулів.

Рисунок 1.8 – Модель OSBeehives – Valldaura

3 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

25 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

В таблиці здійснено аналіз усіх основних систем, їх переваги, недоліки, основні технічні параметри.

Таблиця 1.1 - Порівняльна таблиця основних систем (2025 р.)

С

ис

те

м

а

В

аг

а

Т

°

R

H

С

О

2

А

ку

ст

ик

а

Л

іч

ил

ьн

ик

б

дж

іл

Зв

'я

зо

к

Ц

ін

а

(о

рі

єн

то

вн

о,

U

S

D

)

BroodMinder + + + – – + BLE/LoRa 150–250

Arnia + + + – ++ – GSM/3G 600–800

ApisProtect – + + + ++ – 4G/Satellite 300–350

Beewise BeeHome + + + + ++ 4G/Wi-Fi 400–500k

(за блок)

BeeHero – + + – + + 4G підписка

Pollenity + + + – + – LoRa/4G 250–350

OSBeehives ± + – – +++ – Wi-Fi/4G 200–300

Аналіз 2025 року показує, що ринок систем моніторингу бджолиних колоній досяг високого рівня зрілості: більшість комерційних рішень надійно вимірюють базові параметри (температура, вологість, вага). Проте залишаються прогалини:

- дуже мало систем вимірюють CO₂ (лише ApisProtect та Beewise);
- точний підрахунок населення колонії досі реалізований лише через комп'ютерний зір (Beewise) або непрямі методи (акселерометри BeeHero);
- більшість рішень не передбачають активного втручання (крім Beewise);
- вартість залишається високою для дрібних бджолярів України.

Таким чином, жодна з наявних систем не забезпечує повного, комплексного контролю всіх ключових життєвих параметрів колонії з

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

26 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

можливістю автоматичного коригування. Це створює передумови для розроблення нової апаратно-програмної платформи, адаптованої до українських умов (безпроводні мережі, низьке енергоспоживання, помірна ціна, розширений набір датчиків, включаючи CO₂ та оцінку чисельності бджіл).

1.3 Постанова задачі

Проведений у розділі 1.2 аналіз сучасних систем моніторингу бджолиних колоній показав, що навіть найпросунутіші комерційні рішення (ApisProtect, Beewise, Arnia) мають суттєві прогалини. Зокрема, лише поодинокі системи вимірюють концентрацію вуглекислого газу (CO₂), хоча цей параметр є одним з найбільш інформативних індикаторів метаболічної активності колонії, ефективності вентиляції гнізда та чисельності бджіл. Рівень CO₂ у вулику тісно корелює з кількістю особин (приблизно 1–2 % при нормальній силі сім'ї), а його відхилення сигналізують про ослаблення, перегрів або недостатню вентиляцію задовго до візуальних проявів.

Крім того, акустичний аналіз у більшості систем або відсутній, або обмежується простою реєстрацією рівня звуку. Сучасні методи цифрової обробки сигналів, зокрема швидке перетворення Фур'є (FFT), дозволяють виділяти характерні частотні діапазони (200–300 Гц – нормальна робота, 400–600 Гц – ройовий настрій, відсутність піків на 250–350 Гц – сирітство) і виявляти патологічні стани з точністю понад 90 % (за даними досліджень 2023–2025 рр.). Жодна з розглянутих систем не реалізує FFT-аналіз у реальному часі на вбудованому мікроконтролері.

Нарешті, практично всі рішення орієнтовані виключно на віддалений моніторинг через мобільний додаток або web-платформу, не передбачаючи локальної візуалізації даних безпосередньо на пасіці. Це створює незручності

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

27 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

для бджолярів літнього віку або в умовах слабкого мобільного зв'язку, характерних для сільської місцевості України.

Виходячи з викладеного, метою магістерської роботи є розроблення апаратного та технічного забезпечення автономної системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл, яка обов'язково включає:

- датчик концентрації CO₂ (NDIR-типу, діапазон 0–10000 ppm, точність ±30 ppm);
- вбудовану обробку акустичних сигналів за допомогою алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (FFT) з довжиною вікна 1024–4096 точок для виявлення стану колонії в реальному часі;
- кольоровий графічний дисплей (TFT або IPS, діагональ 2,8–3,5 дюйма, роздільна здатність не менше 320×240 пікселів) для локальної візуалізації поточних параметрів, графіків динаміки, спектрограм звуку та кольорових індикаторів стану (зелений – норма, жовтий – увага, червоний – критична ситуація).

Для досягнення мети постановлено такі завдання:

Обґрунтувати ¹ мінімально необхідний та достатній набір контрольованих параметрів (вага, температура всередині/зовні, вологість, CO₂, акустичний сигнал, активність льоту) та обрати відповідні датчики з урахуванням енергоспоживання, вартості та стійкості до умов вулика (температура – 10...+50 °С, висока вологість).

Розробити апаратну архітектуру системи на базі мікроконтролера AtXmega (або аналогічного), що забезпечує:

- одночасну роботу з датчиками по інтерфейсах I2C/SPI/UART;
- виконання FFT на одному ядрі без блокування основного циклу;
- керування кольоровим TFT-дисплеєм через SPI з використанням бібліотек LVGL або TFT_eSPI для побудови графічного інтерфейсу;
- бездротову передачу даних через відповідні модулі в умовах пасіки.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

28 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Виготовити дослідний зразок системи, провести лабораторне дослідження датчиків та польові випробування на реальних бджолиних колоніях протягом сезону 2026 року.

Розрахувати собівартість комплекту на один вулик (цільове значення – не більше 180–220 USD у серійному виконанні) та розробити рекомендації щодо впровадження системи в умовах дрібних та середніх пасік України.

Таким чином, розроблювана система має усунути ключові недоліки сучасних рішень, забезпечивши комплексний, енергоефективний та економічно доступний моніторинг, адаптований до реальних умов українського бджільництва.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

29 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

2 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ КОЛОНІЇ МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ

2.1 Розроблення функціональної схеми та вибір елементної бази системи

Структурна схема розробленої системи відображає організацію апаратних компонентів у вигляді взаємопов'язаних функціональних блоків, що забезпечують безперервний моніторинг життєвих параметрів двох бджолиних сімей в автономному режимі. Система побудована за модульним принципом: центральний обчислювальний блок, блоки датчиків, блок відображення та зберігання даних, блок бездротової комунікації та уніфікований блок живлення.

Така архітектура дозволяє мінімізувати енергоспоживання, спрощує діагностику та забезпечує масштабування.

Структурна схема системи моніторингу передбачає наявність центрального пристрою збору інформації (HUB) і вузлових датчиків, які і сприймають необхідну інформацію, рис. 2.1.

Рисунок 2.1 – Структурна схема моніторингу

Структурна схема демонструє зв'язки між елементами і вузлами системи. Центральним вузлом є HUB, який виконує також і функцію web-сервера. До HUB

Web-сервер

Вузол збору

інформації

No1

Вузол збору

інформації

No2

Вузол збору

інформації

No254

Вузол збору

інформації

No255 Оператор

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

30 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

нього з допомогою безпроводної технології підключаються вузли збору інформації. Оператор підключившись до Web-сервера має можливість отримувати поточні і архівні дані, які відображають поточний стан бджолиної сім'ї в конкретному вулику.

На рис.2.2 зображено структурну схему вузла збору інформації, що включає важливі елементи і модулі системи.

i

Рисунок 2.2 – Структурна схема вузла збору інформації

До вузла входить мікроконтролер, що здійснює управління усіма вузлами, модуль зв'язку що забезпечує безпроводний зв'язок із вузлами збору інформації. Також сюди входить Ethernet-модуль для зв'язку із глобальною мережею і організацією web-сервера. Дисплей і клавіатура призначені для вводу-виводу інформації, управління поточним станом. До мікроконтролера підключають датчики призначені для збору основних кліматичних параметрів на території пасіки, а саме – температура навколишнього повітря, його вологість, атмосферний тиск. Також передбачена можливість підключення реле для управління системою підігріву бджолиних сімей у холодні дні зимового періоду.

Мікроконтролер

TFT Дисплей

Вага

Активність

льоту

CO2

Температура

Вологість

Барометр

Аудіо

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

31 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

На базі структурної схеми розроблено функціональну схему що реалізує поставлені задачі системи контролю і моніторингу, рис. 2.3. В якості датчиків а також компонентів обрано елементи що задовольняють умови вимірювання і функціонування, точності і необхідного діапазону.

Рисунок 2.3 – Функціональна схема вузла збору інформації

Мікроконтролер. Серцем системи є 8-розрядний AVR-мікроконтролер ATXMEGA256A3U (Atmel/Microchip), що працює на частоті 32 МГц, з 256 КБ Flash-пам'яті програм та 16 КБ оперативної пам'яті [11]. Вибір саме цього мікроконтролера обумовлений:

- наявністю апаратного модуля DMA, що дозволяє виконувати 512-точкове FFT за менше 1 мс при середньому споживанні менше 8 мА;
- великою кількістю портів (до 78 GPIO), що дає змогу підключити всі периферійні пристрої без мультиплексорів;
- вбудованим 12-розрядним АЦП з диференціальними входами та підсилювачем PGA (до $\times 64$);

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

32 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

- низьким енергоспоживанням у режимі Power-Save (≈ 2 мА) та можливістю пробудження по RTC;

Мікроконтролер керує всіма периферійними пристроями, виконує первинну обробку сигналів (фільтрація, FFT, обчислення

середньоквадратичних значень), формує пакети даних та керує режимами сну. Блок акустичного моніторингу. Мікрофонний модуль MAX9814 з вбудованим AGC та низьковольтним живленням (2,7–5,5 В) підключений до аналогового входу PA0 мікроконтролера. Підсилення встановлено на рівні 60 дБ, що забезпечує чутливість до звукового тиску бджіл (0,1–5 Па) у діапазоні 100–1200 Гц.

Сигнал дискретизується з частотою 3 кГц (12-біт АЦП). Використання DMA дозволяє знімати 512 відліків без навантаження процесора. Обробка включає: віконну функцію Геммінга, 512-точкове комплексне FFT, обчислення спектру потужності у 8-ми характерних частотних смугах (150–250 Гц, 300–400 Гц тощо), що відповідають режимам «спокій», «вентиляція», «сирітство», «ройова лихоманка».

Блок контролю мікроклімату вулика. Для вимірювання CO₂, температури та відносної вологості використано сенсор SCD30 (Sensirion), що працює за принципом NDIR-спектроскопії (недисперсійна інфрачервона). Діапазон CO₂ складає 400–10 000 ppm з похибкою $\pm(30 \text{ ppm} + 3 \%)$ ідеально перебиває фізіологічні межі колонії (максимум $\approx 8\text{--}9 \%$ під час зимівлі).

Сенсор підключений до шини I2C за адресою 0x61.

Додатково встановлено датчик BME280 (Bosch Sensortec) для вимірювання атмосферного тиску ($\pm 1 \text{ hPa}$), що дозволяє проводити корекцію показань CO₂ на висоту розташування пасіки та корелювати дані з метеоумовами. Адреса I2C – 0x76. Обидва сенсори підключені до однієї шини (PD0 – SDA, PD1 – SCL) з підтягуючими резисторами 4,7 кОм.

Блок зважування. Кожна бджолина сім'я встановлена на окремій ваговій платформі, сформованій чотирма тензодатчиками 50 кг (по типу «балка

1. Зм. Арк. Но докум. Підп. Дата

Арк.

33 KPM.AKCM-16.00.00.000ПЗ

на вигин»). Два датчики об'єднані у півміст на канал A HX711 (gain = 128), інші два – на канал B (gain = 64). Така схема забезпечує незалежне вимірювання маси кожної сім'ї з реальною роздільною здатністю $\approx 10 \text{ г}$ (при середньому навантаженні 25–40 кг).

Блок моніторингу льоткової активності. Для кожної сім'ї встановлено по одному оптичному ToF-сенсору VL6180X (I2C, адреса 0x29) та одному доплерівському радару RCWL-9196 (вихід GPIO). VL6180X вимірює відстань до бджоли (0–200 мм) і дозволяє точно підрахувати кількість вильотів/прильотів (до 300 бджіл/хв без пропусків). RCWL-9196 виявляє загальний рух у зоні $\approx 1 \text{ м}$ і використовується як тригер пробудження системи при початку льоту.

Така комбінація дає два незалежні канали даних: точний підрахунок (VL6180X) та енергозберігаюче виявлення активності (RCWL-9196, споживання $\approx 100 \text{ мкА}$ у режимі очікування).

Блок відображення та локального зберігання даних. Кольоровий TFT-дисплей ILI9341 (240×320, драйвер ILI9341) підключений по 4-провідному SPI (швидкість до 40 МГц). На дисплеї відображаються:

- реальний часовий графік FFT (останні 5 хвилин);
- поточні значення CO₂, T, RH, маса обох сімей, тиск;
- рівень заряду акумулятора та стан сонячної панелі (у випадку живлення від сонячної панелі).

Модуль microSD (інтерфейс SPI, з окремим CS) забезпечує безперервне логування даних у форматі CSV (один рядок кожні 5 хвилин) та збереження бінарних спектрів FFT (512 int16 кожні 15 хвилин). Ємність карти 32–128 ГБ достатня для зберігання даних за 3–4 сезони.

Блок бездротової комунікації та віддаленого доступу. Модуль ESP-07 (ESP8266) працює у режимі SPI Slave (швидкість до 10 МГц), що дозволяє повністю керувати ним з ATXMEGA без втрати продуктивності. ESP8266

1. Зм. Арк. Но докум. Підп. Дата

Арк.

34 KPM.AKCM- 16.00.00.000ПЗ

створює локальну Wi-Fi мережу та web-сервер на порту 80. WEB-інтерфейс (HTML5 + Chart.js) має можливість відображати:

- графіки за добу-тиждень-місяць;
- поточні дані у реальному часі (оновлення кожні 10 с);
- завантаження логів у форматі CSV.

Передача даних здійснюється без використання хмарних сервісів (для

збереження автономності), але передбачена можливість підключення до зовнішньої точки доступу при наявності.

Уніфікований блок живлення. Живлення системи необхідно організувати за схемою автономного сонячного джерела з максимальною ефективністю, рис.2.4.

Сонячна панель 6 В / 10 Вт → MPPT-контролер CN3791 (ефективність до 98 %) → Li-Po акумулятор 18650 (номінальна ємність 12 А·год) з модулем захисту DW01+8205A (захист від перерозряду менше 2,9 В, перезаряду більше 4,25 В, короткого замикання) → buck-boost перетворювач TPS63001 (ККД 92–95 % у діапазоні 3,0–4,2 В → стабільні 3,3 В / до 800 мА).

Рисунок 2.4 – Структурна схема блоку живлення з MPPT-зарядкою та захистом

Середнє споживання системи у режимі вимірювань (вимірювання кожні 5 хвилин, дисплей вимкнений) становить 12–15 мА, у режимі глибокого сну –

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

35 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

менше 150 мА. При середній інсоляції 4,5 кВт·год/м² на добу (типово для України травень–вересень) система працює безперервно з запасом більше 30 днів без сонця.

Запропонована функціональна схема (рис. 2.3) забезпечує повний набір функцій моніторингу життєвих параметрів бджолиних колоній при мінімальному енергоспоживанні та високій надійності. Модульна організація дозволяє легко замінювати або доповнювати окремі блоки без зміни основної архітектури. Загальна кількість компонентів мінімізовано, а всі критичні вузли (живлення, захист даних, стабільність вимірювань) виконані з запасом.

2.2 Вибір елементної бази підсистеми вимірювання

Акустичний давач. Модуль МАХ9814 є високоефективним підсилювачем для електретних мікрофонів з вбудованою системою автоматичного регулювання підсилення (Automatic Gain Control – AGC), що робить його ідеальним для застосування в системах моніторингу акустичних сигналів у змінних умовах [12]. У контексті розробленої системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл, цей датчик використовується для захоплення звукових вібрацій у діапазоні 100–1200 Гц, характерному для активності бджіл (вентиляція, роїння, сирітство тощо). Вибір МАХ9814 обумовлений його низьким енергоспоживанням, високою чутливістю та адаптивністю, що забезпечує стабільну обробку сигналів без ручного втручання, критично важливу для автономної роботи пристрою протягом сезону.

Технічні характеристики модуля МАХ9814 включають напругу живлення від 2,7 до 5,5 В при споживаному струмі близько 3 мА, що відповідає вимогам енергоефективності системи (живлення 3,3 В від стабілізатора). Вихідний сигнал має амплітуду до 2 В піковий-піковий з постійною складовою 1,25 В, що

²Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

36 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

полегшує інтеграцію з аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) мікроконтролера АТХМЕГА256А3У. Діапазон частот становить 20 Гц – 20 кГц, з можливістю програмованого максимального підсилення на рівні 40 дБ, 50 дБ або 60 дБ (за замовчуванням 60 дБ, встановлюється підключенням контакту Gain до VDD або GND). Відношення шуму на вході – 30 нВ/√Гц, а гармонійні спотворення (THD) – типово 0,04 %, що забезпечує високу якість сигналу. Модуль оснащений вбудованим низькошумовим джерелом зміщення для мікрофона, що мінімізує зовнішні перешкоди, рис.2.5.

Рисунок 2.5 – Модуль МАХ9814

Принцип роботи МАХ9814 базується на динамічному регулюванні підсилення залежно від рівня вхідного сигналу. Система AGC автоматично зменшує коефіцієнт підсилення при гучних звуках, запобігаючи перевантаженню (кліпінгу), і збільшує його при слабких сигналах, забезпечуючи стабільний вихідний рівень. Відношення атаки/відпускання

(Attack/Release) програмоване: за замовчуванням 1:4000, але може бути змінене на 1:2000 або 1:500 шляхом підключення контакту A/R. Це дозволяє адаптувати реакцію датчика до швидких змін акустичного середовища, наприклад, раптових спалахів активності бджіл. Вхідний сигнал з електретного мікрофона посилюється, фільтрується та виводиться на контакт OUT, сумісний з АЦП для подальшої цифрової обробки, такої як швидке перетворення Фур'є (FFT). У розробленій системі MAX9814 підключений до аналогового входу PA0 мікроконтролера, з дискретизацією сигналу на частоті 3 кГц. Це дозволяє

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

37 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

реалізувати аналіз спектру потужності в характерних смугах частот (150–250 Гц, 300–400 Гц тощо), що корелюють з фізіологічними станами колонії. Модуль постачається з припаяним мікрофоном, що спрощує монтаж, і рекомендується використовувати з джерелом живлення низького шуму для уникнення артефактів. Інтеграція з DMA мікроконтролера забезпечує ефективне зняття 512 відліків без навантаження на процесор.

У висновку, датчик MAX9814 є оптимальним вибором для акустичного моніторингу в автономних системах завдяки поєднанню високої якості сигналу, адаптивності та низького енергоспоживання. Його застосування дозволяє точно фіксувати акустичні маркери життєдіяльності бджіл, сприяючи ранньому виявленню аномалій і підвищенню ефективності бджільництва.

Давач CO₂, температури і вологості. Датчик SCD30 від компанії Sensirion є компактним модулем для вимірювання концентрації CO₂, температури та відносної вологості, що базується на інноваційній технології CMOSens® з інфрачервоним детектором [13]. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей датчик застосовується для моніторингу внутрішнього мікроклімату вулика, де концентрація CO₂ може сягати 8000–9000 ppm під час зимівлі, а температура та вологість впливають на вентиляцію та здоров'я колонії. Вибір SCD30 зумовлений його високою точністю, стабільністю та інтеграцією кількох сенсорів в одному корпусі, що сприяє енергоефективності та компактності автономного пристрою, здатного працювати без обслуговування протягом сезону. Крім того, вбудовані датчики температури та вологості дозволяють отримувати комплексні дані про мікроклімат, компенсуючи зовнішні впливи без додаткових компонентів, що є критичним для точного аналізу умов у вулику.

Технічні характеристики SCD30 охоплюють діапазон вимірювання CO₂ від 400 до 10 000 ppm з точністю $\pm(30 \text{ ppm} + 3\% \text{ від вимірюваного значення})$, що повністю перекирає фізіологічні рівні в бджолиній колонії. Час відгуку становить 20 с, а температурна стабільність – 2,5 ppm/°C. Для вологості типова

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

38 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

точність $\pm 3\% \text{ RH}$ у діапазоні 0–95 % RH з часом відгуку 8 с, що дозволяє фіксувати зміни вологості, пов'язані з вентиляцією колонії або зовнішніми погодними факторами. Датчик вологості проходить заводську калібровку, забезпечуючи стабільність показань без необхідності періодичного налаштування. Для температури – $\pm 0,4\text{ }^\circ\text{C}$ з часом відгуку 10 с у діапазоні 0–50 °C, що ідеально для моніторингу внутрішньої температури вулика, де оптимальні значення коливаються від 34–35 °C у зоні розплоду до нижчих на периферії. Напряга живлення варіюється від 3,3 до 5,5 В при середньому струмі споживання 19 mA та максимальному 75 mA, що узгоджується з системним живленням 3,3 В. Інтерфейс – I2C (адреса 0x61), Modbus або PWM, з габаритами 35 × 23 × 7 мм, що дозволяє інтеграцію. Модуль відповідає стандартам якості повітря, таким як EN50543, RESET® та WELL Building Standard™, забезпечуючи надійність у екологічному моніторингу.

Рисунок 2.6 – Давач CO₂

Принцип функціонування SCD30 ґрунтується на двоканальному методі недисперсійної інфрачервоної спектроскопії (NDIR) для CO₂, де один канал вимірює поглинання інфрачервоного випромінювання молекулами CO₂, а другий – референтний – компенсує зовнішні впливи для довготривалої стабільності. Вбудовані сенсори температури та вологості моделюють і компенсують вплив зовнішніх джерел тепла без додаткових компонентів, що

2 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

39 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

підвищує точність у змінних умовах вулика. Датчик температури використовує алгоритми Sensirion для моделювання теплових впливів, забезпечуючи компенсацію без зовнішніх джерел, тоді як сенсор вологості базується на емнісному методі з полімерним діелектриком, чутливим до змін вологи. Датчик здійснює автоматичну калібровку та корекцію, мінімізуючи дрейф показань з часом. Вихідні дані доступні через цифровий інтерфейс, що дозволяє мікроконтролеру ATXMEGA256A3U зчитувати значення кожні 5 хвилин для подальшої кореляції з іншими параметрами, такими як акустична активність чи вага.

У системі SCD30 підключений до шини I2C мікроконтролера (SDA на PD0, SCL на PD1) з підтягуючими резисторами 4,7 кОм, дозволяючи одночасне зчитування CO₂, температури та вологості. Це дає змогу аналізувати динаміку мікроклімату, наприклад, підвищення CO₂ як індикатор переповненості або проблем з вентиляцією, з подальшим логуванням на microSD. Вбудовані датчики температури та вологості додатково дозволяють відстежувати коливання, пов'язані з активністю бджіл, наприклад, підвищення вологості під час медозбору або температурні градієнти в зимовий період.

Загалом, SCD30 є оптимальним рішенням для інтегрованого моніторингу мікроклімату в автономних системах завдяки точності, стабільності та багатофункціональності. Його використання сприяє точному виявленню відхилень у життєдіяльності бджолиних колоній, підвищуючи ефективність наукових досліджень і практичного бджільництва.

Давач BME280. Датчик BME280 від компанії Bosch Sensortec є інтегрованим модулем для вимірювання атмосферного тиску, температури та відносної вологості, виконаним у компактному корпусі з використанням технології MEMS (мікроелектромеханічних систем) [14]. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей датчик застосовується для фіксації атмосферного тиску з метою кореляції з метеорологічними даними, що дозволяє враховувати зовнішні фактори впливу

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

40 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

на активність колонії, такі як зміни погоди чи висота над рівнем моря. Вибір BME280 обумовлений його високою точністю, низьким енергоспоживанням та можливістю одночасного вимірювання кількох параметрів, що сприяє оптимізації автономної роботи пристрою без додаткових компонентів та забезпечує стабільність даних протягом усього сезону, рис. 2.7.

Рисунок 2.7 – Давач BME280

Технічні характеристики BME280 включають діапазон вимірювання тиску від 300 до 1100 гПа з абсолютною точністю ± 1 гПа та відносною $\pm 0,12$ гПа, що достатньо для точної корекції показань інших сенсорів, наприклад, SCD30. Для температури діапазон становить $-40...+85$ °C з точністю $\pm 0,5$ °C (у діапазоні $0...+65$ °C), а для вологості – $0-100$ % RH з точністю ± 3 % RH. Напруга живлення варіюється від 1,71 до 3,6 В при середньому струмі споживання 2,8 мкА (у режимі вимірювання тиску) та 0,1 мкА у режимі сну, що ідеально узгоджується з системним живленням 3,3 В та вимогами енергоефективності. Інтерфейс – I2C (адреса 0x76 або 0x77) або SPI, з габаритами $2,5 \times 2,5 \times 0,93$ мм, що полегшує монтаж у обмеженому просторі. Модуль стійкий до зовнішніх впливів, з вбудованим захистом від вологи та пилу, і відповідає стандартам RoHS та REACH.

Принцип функціонування BME280 ґрунтується на п'єзорезистивному ефекті для тиску, де деформація мембрани змінює опір тензодатчика, а для температури та вологості – на емнісному методі з полімерним діелектриком, чутливим до змін навколишнього середовища. Вбудований АЦП та процесор

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

41 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

обробки забезпечують цифровий вихід з компенсацією шумів та температурних впливів, мінімізуючи похибки. Датчик підтримує режими oversampling (до $\times 16$)

для підвищення точності та фільтрацію IIR для згладжування даних, що дозволяє адаптувати його до динамічних умов вулика.

У системі BME280 підключений до шини I2C мікроконтролера ATXMEGA256A3U (SDA на PD0, SCL на PD1) поряд з SCD30, з підтягуючими резисторами 4,7 кОм, забезпечуючи зчитування даних кожні 5 хвилин для кореляції з CO₂ та іншими параметрами. Це дає змогу аналізувати вплив атмосферного тиску на поведінку колонії, наприклад, зниження тиску як індикатор наближення бурі.

Загалом, BME280 є надійним рішенням для моніторингу атмосферних умов в автономних системах завдяки точності, компактності та низькому споживанню енергії.

Давач ваги. Модуль HX711 є високоточним 24-бітним аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), спеціально призначеним для роботи з тензодатчиками в системах вимірювання маси та промислового контролю [15]. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей датчик використовується для моніторингу ваги двох незалежних бджолиних сімей, встановлених на окремих платформах. Кожна платформа складається з чотирьох тензодатчиків по 50 кг, об'єднаних у схему з двома каналами (А та В), що дозволяє фіксувати зміни маси з роздільною здатністю близько 10 г при середньому навантаженні 25–40 кг. Вибір HX711 обумовлений його високою роздільною здатністю, низьким енергоспоживанням та простотою інтеграції, що забезпечує стабільну автономну роботу системи протягом сезону без необхідності частой калібровки чи обслуговування. Це дає змогу відстежувати динаміку маси колонії, наприклад, прирост меду чи втрату під час зимівлі, корелюючи з іншими параметрами, такими як акустична активність чи мікроклімат.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

42 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Технічні характеристики HX711 включають 24-бітну роздільну здатність АЦП, що забезпечує високу точність перетворення аналогових сигналів від тензодатчиків. Датчик має два диференціальних входи: канал А з програмованим підсиленням 128 або 64, та канал В з фіксованим підсиленням 32. Це дозволяє оптимізувати чутливість залежно від типу тензодатчиків та діапазону вимірювань. Напряга живлення становить від 2,6 до 5,5 В, з типовим споживанням струму близько 1,5 мА в робочому режимі та менше 1 мкА в режимі сну, що ідеально для енергоефективних автономних систем на базі сонячної панелі. Швидкість перетворення даних варіюється від 10 до 80 зразків на секунду, залежно від конфігурації (вибір через контакт RATE). Відношення шуму до сигналу (SNR) досягає 120 дБ, а повна шкала диференціального входу – ± 20 мВ для каналу А при підсиленні 128. Модуль стійкий до електромагнітних перешкод, з вбудованим стабілізатором напруги для живлення тензодатчиків (Е+ та Е- на рівні 5 В). Габарити типового breakout-модуля – близько 20 × 15 мм, що полегшує монтаж у компактному корпусі системи, рис. 2.8.

Рисунок 2.8 – Давач HX711

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

43 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Принцип роботи HX711 базується на перетворенні аналогового сигналу від мостової схеми тензодатчиків (типу Wheatstone) у цифровий код. Тензодатчики генерують диференціальний сигнал пропорційний до прикладеної сили (маси), який підсилюється вбудованим низькошумовим програмованим підсилювачем (PGA). Далі сигнал проходить через дельта-сигма АЦП, що забезпечує високу роздільну здатність і фільтрацію шумів. Вихідний цифровий сигнал передається через двопровідний інтерфейс: DOUT (вихід даних) та SCK (тактовий сигнал), де мікроконтролер ініціює зчитування, надсилаючи 25–27 імпульсів на SCK залежно від каналу та підсилення. Після зчитування датчик переходить у режим сну для економії енергії. Калібрування проводиться програмно: спочатку вимірюється зміщення (тара), потім коефіцієнт масштабування з використанням еталонної маси (наприклад, 20 кг), що дозволяє досягти точності $\pm 0,01$ кг у системі. Вбудований стабілізатор забезпечує живлення тензодатчиків, мінімізуючи зовнішні перешкоди. У розробленій системі HX711 підключений до мікроконтролера

ATXMEGA256A3U через порти GPIO: PD4 для DOUT (вихід готовності даних) та PD5 для SCK (тактовий вхід). Два тензодатчики об'єднані в півміст на каналі А (підсилення 128) для однієї сім'ї, а інші два – на каналі В (підсилення 64) для другої, забезпечуючи незалежне вимірювання. Живлення тензодатчиків здійснюється безпосередньо від 3,3 В системи, з максимальним струмом менше 3 мА. Програмне забезпечення мікроконтролера реалізує зчитування даних кожні 5 хвилин, з усередненням кількох вимірювань для підвищення точності та фільтрацією шумів. Отримані значення маси логуються на microSD та відображаються на дисплеї ILI9341, дозволяючи аналізувати тенденції, такі як щоденний приріст меду чи втрату вологи. Одноразове калібрування з еталонними гирями забезпечує довготривалу стабільність показань без необхідності повторних налаштувань.

Додатково, HX711 інтегрується з режимами енергозбереження системи: після зчитування мікроконтролер переводить датчик у сон через припинення

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

44 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

імпульсів на SCK, що мінімізує споживання в періоди неактивності. Це критично для автономної роботи від Li-Po акумулятора, де середнє споживання системи не перевищує 15 мА. Модуль стійкий до вібрацій та температурних коливань (-40...+85°C), що робить його придатним для зовнішнього розміщення на пасіці. У разі використання чотирьох тензодатчиків у конфігурації "балка на вигин" досягається рівномірний розподіл навантаження, запобігаючи похибкам від нерівномірного розміщення вулика.

Загалом, HX711 є надійним і ефективним рішенням для точного вимірювання маси в автономних системах моніторингу. Його висока роздільна здатність та простота інтерфейсу дозволяють інтегрувати ваговий контроль у комплексну систему.

Давач руху. Давач VL6180X від компанії STMicroelectronics є компактним лазерним сенсором відстані на основі технології Time-of-Flight (ToF), що вимірює час проходження світлового імпульсу до об'єкта та назад [16]. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей датчик застосовується як частина дослідницького блоку для точного підрахунку бджіл біля льотка (вильоти/прильоти), встановлюючись по одному на кожну сім'ю. Він забезпечує детекцію на близьких відстанях, доповнюючи загальне виявлення руху від RCWL-9196, і дозволяє фіксувати до 300 бджіл на хвилину без пропусків. Вибір VL6180X зумовлений його високою точністю, швидкістю та низьким енергоспоживанням, що критично для автономної роботи в умовах пасіки, де датчик повинен працювати стабільно без частого втручання протягом сезону.

Технічні характеристики VL6180X включають діапазон вимірювання від 0 до 200 мм з точністю $\pm 3\%$ (у діапазоні 20–200 мм), що ідеально для близького моніторингу активності бджіл. Час вимірювання становить близько 20 мс, з роздільною здатністю 1 мм. Напруга живлення варіюється від 2,6 до 3,0 В, з середнім споживанням струму 1,2 мА в робочому режимі та менше 1 мкА в режимі очікування, узгоджуючись з системним живленням 3,3 В.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

45 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Інтерфейс – I2C (адреса 0x29 за замовчуванням, з можливістю зміни), що дозволяє швидко зчитування даних. Датчик використовує інфрачервоний лазер 850 нм класу 1 (безпечний для очей), з кутом огляду 25°, і стійкий до зовнішнього освітлення до 100 кЛюкс завдяки вбудованій компенсації. Габарити модуля – 4,8 × 2,8 × 1 мм, що полегшує інтеграцію в обмежений простір вулика. Модуль підтримує режими безперервного вимірювання та переривань для ефективного енергозбереження, рис.2.9.

Рисунок 2.9 – Давач VL6180X

Принцип функціонування VL6180X ґрунтується на методі ToF: вбудований VCSEL-лазер випромінює короткий імпульс, а SPAD-детектор (Single Photon Avalanche Diode) фіксує відбиті фотони, обчислюючи відстань за формулою $d = (c * t) / 2$, де c – швидкість світла, t – час польоту. Вбудований мікроконтролер обробляє дані, компенсуючи перешкоди, такі як відбиття від поверхонь чи зовнішнє світло. Датчик підтримує калібрування для точності в

різних умовах, з можливістю налаштування порогів для виявлення об'єктів. У системі VL6180X підключений до шини I2C мікроконтролера ATXMEGA256A3U (SDA та SCL), з використанням переривань для фіксації змін відстані, що вказують на проліт бджоли. Це дозволяє точний підрахунок подій, з логуванням на microSD для аналізу добової активності.

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

46 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Загалом, VL6180X є оптимальним рішенням для точного моніторингу руху в автономних системах завдяки швидкості та точності. Його застосування сприяє детальному вивченню поведінки бджолиних колоній. Модуль RCWL-9196 є мікрохвильовим датчиком руху на базі доплерівського радара, призначеним для виявлення динамічних об'єктів у зоні покриття. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей датчик застосовується як частина дослідницького блоку для моніторингу загальної активності біля льотка (вильоти/прильоти бджіл), встановлюючись по одному на кожну сім'ю. Він використовується як енергозберігаючий тригер для пробудження системи при початку руху, доповнюючи точний підрахунок від VL6180X. Вибір RCWL-9196 зумовлений його низьким енергоспоживанням, широким діапазоном виявлення та стійкістю до зовнішніх факторів, таких як освітлення чи пил, що забезпечує надійну автономну роботу в умовах пасіки протягом сезону без частого обслуговування. Технічні характеристики RCWL-9196 включають напругу живлення від 4 до 28 В (типово 5 В), з середнім споживанням струму менше 3 мА (максимум 2,7 мА), що узгоджується з системним живленням 3,3 В через стабілізатор. Діапазон виявлення становить 5–7 м з кутом огляду близько 360° (залежно від монтажу), що дозволяє охоплювати зону біля льотка без фокусування. Робоча частота – близько 3,2 ГГц з потужністю передачі 20–30 мВт, забезпечуючи безпечно випромінювання. Вихідний сигнал – логічний рівень (високий при виявленні руху), з регульованим часом утримання (від 2 с до кількох хвилин через зовнішні компоненти). Модуль оснащений вбудованим чипом RCWL-9196, подібним до BISS0001, з можливістю налаштування чутливості через резистор (R-GN) та тригера (CDS для світлочутливості). Габарити модуля – близько 35 × 17 мм, з робочим діапазоном температур -20...+80 °С, що робить його придатним для зовнішнього використання. Принцип функціонування RCWL-9196 ґрунтується на доплерівському ефекті: модуль випромінює мікрохвилі на частоті 3,2 ГГц, а приймач фіксує

4 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

47 КРМ.АКСм-16.00.00.000ПЗ

зміну частоти відбитого сигналу від рухомих об'єктів (наприклад, бджіл). Сигнал обробляється вбудованим змішувачем та низькочастотним підсилювачем, генеруючи імпульс на виході OUT при виявленні руху швидкістю від 0,3 м/с. На відміну від PIR-датчиків, він не реагує на статичні об'єкти чи зміни температури, але проникає крізь неметалеві перешкоди, що корисно для монтажу всередині вулика. Чутливість регулюється зовнішніми елементами, а режим блокування повторних тригерів запобігає помилковим спрацюванням, рис.2.10.

Рисунок 2.10 – Давач RCWL-9196

У системі RCWL-9196 підключений до GPIO мікроконтролера ATXMEGA256A3U як переривання для пробудження з режиму сну при виявленні руху, з подальшим активацією VL6180X для точного підрахунку. Це мінімізує енергоспоживання (менше 100 мкА в режимі очікування), дозволяючи логування подій активності на microSD.

Загалом, RCWL-9196 є ефективним рішенням для виявлення руху в автономних системах завдяки чутливості та енергоефективності. Його застосування сприяє комплексному моніторингу активності бджолиних колоній.

2 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

48 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

2.3 Вибір елементної бази підсистеми відображення даних

З метою відображення інформації було обрано кольоровий дисплей ILI9341. Дисплей ILI9341 є кольоровим TFT-екраном з роздільною здатністю 240×320 пікселів, заснованим на контролері ILI9341 від компанії ILI Technology [17]. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей дисплей застосовується для візуалізації даних у реальному часі, включаючи графіки спектрів FFT від акустичного моніторингу, поточні значення CO₂, температури, вологості, маси сімей, атмосферного тиску та активності льотка. Він також відображає рівень заряду акумулятора та стан сонячної панелі, забезпечуючи локальний доступ до інформації без необхідності підключення до зовнішніх пристроїв. Вибір ILI9341 зумовлений його високою швидкістю оновлення, підтримкою 16-бітного кольору (65K кольорів), компактними розмірами та низьким енергоспоживанням, що критично для автономної системи на базі сонячної енергії. Дисплей дозволяє оператору пасіки швидко оцінювати стан колонії на місці, доповнюючи віддалений доступ через Wi-Fi, і сприяє ефективній діагностиці без додаткового обладнання протягом усього сезону.

Технічні характеристики ILI9341 включають активну область екрана 2,4–2,8 дюйма (залежно від модуля), з піксельним кроком близько 0,153 мм, що забезпечує чітке відображення графіків та тексту. Контролер підтримує інтерфейси SPI (4-провідний: SCK, MOSI, MISO, CS), з максимальною швидкістю передачі до 48 МГц, що дозволяє оновлювати екран за мілісекунди. Напруга живлення становить 3,3 В, з типовим споживанням струму 20–50 мА при активному використанні та менше 1 мА в режимі сну (з вимкненим підсвічуванням). Підсвічування на базі LED забезпечує яскравість до 200 кд/м², з можливістю PWM-регулювання для економії енергії. Дисплей підтримує 18-бітний колірний режим (262K кольорів), але типово використовується 16-бітний RGB565 для балансу між якістю та швидкістю. Кут огляду становить

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

49 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

160° по горизонталі та вертикалі, з робочим діапазоном температур -20...+70 °С, що робить його придатним для зовнішнього монтажу на пасіці. Модуль часто постачається з вбудованим сенсорним шаром (опціонально), але в цій системі використовується без нього для спрощення та зниження споживання. Габарити типового модуля – 42 × 60 × 2,5 мм, що дозволяє інтеграцію в компактний корпус системи.

Принцип роботи ILI9341 базується на матричній структурі TFT (Thin-Film Transistor), де кожен піксель керується окремим транзистором для швидкого перемикавання. Контролер отримує команди та дані через SPI: спочатку надсилається команда (наприклад, 0x2C для запису в пам'ять), потім – дані пікселів. Внутрішня GRAM-пам'ять (240×320×18 біт) зберігає зображення, дозволяючи часткове оновлення для оптимізації. Підсвічування керується окремим контактом (LED), з можливістю PWM для регулювання яскравості. Дисплей підтримує режими орієнтації (портрет/альбом), що налаштовується командами (наприклад, 0x36 – Memory Access Control). Бібліотеки, такі як Adafruit_ILI9341 або TFT_eSPI, спрощують програмування, дозволяючи малювати лінії, текст та графіки високого рівня. У системі використовується SPI з DMA мікроконтролера ATXMEGA256A3U для швидкого виведення, мінімізуючи навантаження на процесор, рис.2.11.

Рисунок 2.11 – Дисплей ILI9341

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

50 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

У розробленій системі ILI9341 підключений до SPI-шини мікроконтролера (MOSI, MISO, SCK) з окремим CS для уникнення конфліктів з іншими пристроями (microSD, ESP-07). Живлення – 3,3 В, з керуванням підсвічуванням через GPIO для енергозбереження (вимкнення після 1 хвилини неактивності). Програмне забезпечення реалізує відображення: реальний часовий графік FFT (останні 5 хвилин як хвильова форма), поточні значення датчиків у табличному форматі, рівень заряду як індикатор. Оновлення відбувається кожні 10 с при активації, з використанням шрифтів для читабельності. Дисплей інтегрується з режимами сну: у глибокому сні він вимкнений, активуючись за тригером від RCWL-9196 або кнопки. Це мінімізує

споживання, зберігаючи автономність.

Додатково, ILI9341 дозволяє візуалізацію історичних даних з microSD, наприклад, добових графіків маси чи CO₂, що корисно для локальної діагностики. Модуль стійкий до вібрацій та вологості, з можливістю захисту екрана плівкою для зовнішнього використання. У разі потреби, дисплей може бути замінений на подібні (наприклад, ST7789), але ILI9341 оптимальний за співвідношенням ціна/продуктивність.

Загалом, ILI9341 є ефективним рішенням для візуалізації в автономних системах завдяки швидкості, якості та енергоефективності.

Для навігації по меню було вирішено використати ротаційний енкодер.

Ротаційний енкодер KY-040 є компактним механічним пристроєм для введення даних, що використовується для навігації по меню та налаштування параметрів у вбудованих системах. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей енкодер застосовується для взаємодії з інтерфейсом дисплея ILI9341, дозволяючи користувачеві перемикатися між екранами, регулювати яскравість, переглядати історичні дані чи вибирати режими відображення (наприклад, графік FFT або значення датчиків). Вибір KY-040 зумовлений його простотою, надійністю та низьким енергоспоживанням, що забезпечує зручне локальне керування без необхідності

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

51 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

додаткових пристроїв, таких як смартфон, і сприяє автономній роботі системи на пасіці протягом сезону, рис. 2.12.

Технічні характеристики KY-040 включають ротаційний механізм з 20 імпульсами на оберт (детентів), що забезпечує точне позиціонування.

Вбудована кнопка (SW) для підтвердження вибору, з ресурсом роботи понад 100 000 циклів. Напруга живлення становить 3,3–5 В, з споживанням струму менше 1 мА в активному стані, що узгоджується з системним живленням 3,3 В. Вихідні сигнали – два фазованих імпульси (А та В, або CLK та DT) для визначення напрямку обертання, та сигнал кнопки (SW). Модуль оснащений підтягуючими резисторами (10 кОм) для стабільності сигналів, з габаритами близько 20 × 15 × 30 мм (з ручкою), що полегшує монтаж на корпусі пристрою. Робочий діапазон температур -30...+70 °С, з захистом від пилу та вологи (IP54), що робить його придатним для зовнішніх умов пасіки [21, 22].

Рисунок 2.12 – Енкодер KY-040

Принцип функціонування KY-040 ґрунтується на механічному енкодуванні: при обертанні вала генеруються послідовні імпульси на виходах А та В з фазовим зсувом 90°, що дозволяє визначити напрямок (за годинниковою стрілкою – А випереджає В, проти – навпаки). Мікроконтролер зчитує ці сигнали через GPIO, використовуючи переривання для ефективної обробки без постійного опитування. Кнопка SW замикає контакт на GND при натисканні, сигналізуючи про вибір. Програмна реалізація включає дебаунсинг (фільтрацію

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

52 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

дрижання контактів) для уникнення помилкових спрацьовувань, з типовим часом затримки 10–20 мс.

У системі ¹KY-040 підключений до GPIO ¹мікроконтролера ATXMEGA256A3U (наприклад, PD6 для CLK, PD7 для DT, PD8 для SW), з підтягуванням до VDD. Це дозволяє навігацію по меню: обертання перемикає пункти, натискання підтверджує, з інтеграцією в програмне забезпечення для динамічного оновлення дисплея.

Загалом, KY-040 є ефективним рішенням для користувацького інтерфейсу в автономних системах завдяки простоті та надійності. Його застосування полегшує взаємодію з системою.

2.4 Вибір елементної бази підсистеми зв'язку

Модуль ESP-07. Модуль ESP-07 на базі чипа ESP8266 від Espressif Systems є компактним Wi-Fi-трансивером з вбудованим мікроконтролером, призначеним для бездротової комунікації в IoT-системах [18]. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей модуль

застосовується для створення локальної Wi-Fi-мережі, забезпечення віддаленого доступу до даних через веб-інтерфейс та передачі інформації на зовнішні пристрої без використання стільникового зв'язку. Він функціонує в режимі SPI Slave, керованому основним мікроконтролером ATXMEGA256A3U, що дозволяє передавати оброблені дані датчиків (CO₂, температура, вологість, маса, акустика, активність) у реальному часі. Веб-сервер на ESP-07 відображає графіки за добу/тиждень/місяць, поточні значення та дозволяє завантажувати логи у форматі CSV. Вибір ESP-07 зумовлений його низьким енергоспоживанням, високою швидкістю передачі, підтримкою WPA2-захисту та компактністю, що забезпечує автономну роботу системи від сонячної панелі без значного навантаження на акумулятор. Це сприяє зручному моніторингу на

3 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

53 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

пасіці, де відсутній стабільний інтернет, і дозволяє інтеграцію з мобільними пристроями для оперативного аналізу стану колоній протягом сезону [23, 24]. Технічні характеристики ESP-07 охоплюють вбудований 32-бітний процесор Tensilica Xtensa LX106 на частоті 80 МГц (з можливістю оверклокінгу до 160 МГц), з 512 КБ SRAM та підтримкою зовнішньої Flash-пам'яті до 16 МБ (типово 1–4 МБ). Wi-Fi-модуль відповідає стандартам 802.11 b/g/n з підтримкою частот 2,4 ГГц, каналів 1–14 та режимів роботи: Station (клієнт), SoftAP (точка доступу) та Station+SoftAP (комбінований). Швидкість передачі даних сягає 72,2 Мбіт/с у режимі n, з дальністю до 100 м у відкритому просторі (залежно від антени; ESP-07 має вбудовану PCB-антену або роз'єм для зовнішньої). Напруга живлення становить 3,0–3,6 В, з типовим споживанням струму: 80 мА в режимі передачі, 20 мА в режимі прийому, 0,5 мА в глибокому сні (Deep Sleep) та менше 10 мА в Light Sleep. Модуль оснащений 16 GPIO-пінами, з підтримкою PWM, I²C, SPI, UART та ADC (10-бітний, до 1 В). Робочий діапазон температур -40...+125 °С, з габаритами 16 × 24 мм, що полегшує монтаж у компактному корпусі. ESP8266 підтримує протоколи TCP/IP, UDP, HTTP, HTTPS, MQTT та WebSocket, з вбудованою стеком LwIP для ефективною мережевою обробки. Безпека забезпечується WPA/WPA2-PSK, WEP та апаратним шифруванням AES, рис. 2.13.

Рисунок 2.13 – Модуль ESP-07

3 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

54 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Принцип функціонування ESP-07 базується на інтеграції Wi-Fi-трансивера з мікроконтролером, де чип ESP8266 обробляє мережеві протоколи автономно. У режимі SoftAP модуль створює локальну мережу (SSID: BeeMonitor_XXXX, з паролем за замовчуванням), дозволяючи підключення до 8 клієнтів. Веб-сервер реалізується на базі бібліотеки ESP8266WebServer, що обробляє HTTP-запити: GET для отримання даних, POST для налаштувань. Інтерфейс SPI Slave дозволяє основному мікроконтролеру ATXMEGA передавати дані (наприклад, JSON-пакели з значеннями датчиків) на швидкості до 10 МГц, без навантаження на процесор ESP. Програмування здійснюється через UART (RX/TX) з використанням Arduino IDE або Espressif SDK, з підтримкою OTA-оновлень (Over-The-Air) для віддаленого оновлення firmware. У системі ESP-07 конфігурується як Slave: мікроконтролер надсилає команди через SPI для ініціалізації мережі, передачі даних чи переходу в сон. Для енергозбереження використовуються режими сну: Deep Sleep з пробудженням по таймеру або GPIO, що мінімізує споживання до рівня, сумісного з сонячним живленням.

У розробленій системі ESP-07 підключений до SPI-шини мікроконтролера ATXMEGA256A3U (MOSI, MISO, SCK, CS), з живленням 3,3 В від стабілізатора TPS63001. Це дозволяє повне керування: ATXMEGA формує пакети даних (наприклад, {"co2": 1200, "temp": 25.5, "weight1": 35.2}), передає їх через SPI, а ESP-07 обробляє та відправляє через Wi-Fi. Веб-інтерфейс на базі HTML5 з Chart.js відображає динамічні графіки (наприклад, добовий профіль CO₂ чи маси), з оновленням кожні 10 с через AJAX-запити. Безпека забезпечується WPA2-шифруванням та базовою автентифікацією (логін/пароль), запобігаючи несанкціонованому доступу. Модуль інтегрується з режимами енергозбереження: у періоди неактивності (наприклад, вночі) переходить у Deep Sleep, пробуджуючись за тригером від мікроконтролера або

таймера. Передача даних здійснюється без хмарних сервісів, зберігаючи

1 Зм. Арк. Но докум. Підп. Дата

Арк.

55 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

автономність, але з можливістю підключення до зовнішньої точки доступу для інтеграції з локальною мережею пасіки [25, 26].

Додатково, ESP-07 дозволяє розширення функціональності: наприклад, інтеграцію з MQTT для віддаленого моніторингу через брокер (якщо доступний інтернет), або реалізацію API для мобільних додатків. У системі передбачена обробка помилок: автоматичний рестарт Wi-Fi при втраті сигналу, з логуванням подій на microSD через основний контролер. Модуль стійкий до перешкод у 2,4 ГГц діапазоні, з можливістю зміни каналу для оптимізації в умовах з багатьма мережами. Програмне забезпечення для ESP-07 розроблене на C++ з оптимізацією коду для мінімального розміру (близько 300 КБ), що залишає запас пам'яті для буферів даних.

Загалом, ESP-07 є ключовим компонентом для бездротової комунікації в автономних IoT-системах завдяки гнучкості, ефективності та низькій вартості. Його застосування в системі забезпечує зручний віддалений доступ до даних моніторингу бджолиних колоній, сприяючи оперативному реагуванню на зміни стану, таким як роїння чи проблеми з мікрокліматом. Інтеграція з основним мікроконтролером дозволяє балансувати між продуктивністю та енергоспоживанням, підвищуючи загальну надійність пристрою для наукових досліджень і практичного бджільництва.

Модуль W5500. Даний модуль від компанії Wiznet є інтегрованим Ethernet-контролером з апаратним стеком TCP/IP, призначеним для реалізації провідного мережевого зв'язку в вбудованих системах. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей модуль розглядається як альтернативний варіант для резервного зв'язку в разі відсутності або нестабільності Wi-Fi, забезпечуючи підключення до локальної мережі через Ethernet-кабель. Він може створювати локальний веб-сервер для віддаленого доступу до даних датчиків (CO₂, температура, вологість, маса, акустика, активність), передачі інформації на зовнішні пристрої та завантаження логів у форматі CSV. На відміну від бездротового ESP-07, W5500

1 Зм. Арк. Но докум. Підп. Дата

Арк.

56 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

забезпечує стабільний провідний канал, менш вразливий до перешкод, що корисно в умовах пасіки з потенційними електромагнітними завадами чи віддаленими локаціями. Вибір W5500 як резерву зумовлений його апаратною реалізацією мережевого стеку, низьким енергоспоживанням, високою швидкістю та простотою інтеграції, що дозволяє підтримувати автономну роботу системи від сонячної панелі без значного збільшення навантаження на акумулятор. Це сприяє надійному моніторингу колоній, де провідний зв'язок може слугувати резервом для критичних ситуацій, таких як погана погода чи перебої в Wi-Fi, протягом усього сезону.

Технічні характеристики W5500 охоплюють вбудований 10/100 Мбіт/с Ethernet MAC з PHY-інтерфейсом, що підтримує автопереговорення швидкості та дуплексу. Чип містить апаратний TCP/IP-стек (WIZnet Hardwired TCP/IP), включаючи протоколи TCP, UDP, IPv4, ICMP, ARP, IGMP та PPPoE, з підтримкою до 8 незалежних сокетів для паралельних з'єднань. Вбудована SRAM становить 32 КБ (16 КБ TX + 16 КБ RX буфери), що достатньо для буферизації даних у системах моніторингу. Напруга живлення варіюється від 3,0 до 3,6 В, з типовим споживанням струму 132 мА в режимі передачі, 128 мА в режимі прийому та менше 10 мА в режимі Power Down. Інтерфейс для мікроконтролера – SPI з максимальною швидкістю 80 МГц, що забезпечує швидку передачу даних без навантаження на процесор. Модуль підтримує Wake-on-LAN (WoL) для пробудження по мережі, з апаратним шифруванням MD5, SHA-1 та CRC. Робочий діапазон температур -40...+85 °С, з габаритами типового breakout-модуля близько 25 × 25 мм, що полегшує інтеграцію в компактний корпус. W5500 сумісний з RJ-45 роз'ємом для стандартного Ethernet-кабелю, з підтримкою MDI/MDIX для автоматичного перехресного з'єднання.

Принцип функціонування W5500 ґрунтується на апаратній обробці мережевих протоколів, де чип самостійно керує TCP/IP-стеком без залучення ресурсів основного мікроконтролера. Це відрізняється від програмних стеків

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

57 KPM.AKCM- 16.00.00.000ПЗ

(наприклад, у ESP8266), зменшуючи навантаження на CPU та підвищуючи швидкість. Модуль приймає команди через SPI: мікроконтролер надсилає реєстрові адреси для конфігурації (IP, MAC, шлюз), відкриття сокетів та передачі/прийому даних. Буфери SRAM дозволяють асинхронну обробку пакетів, з автоматичним керуванням потоком (flow control) та ретраєм при помилках. Для веб-сервера W5500 обробляє HTTP-запити апаратно, дозволяючи мікроконтролеру фокусуватися на формуванні відповідей (наприклад, JSON з даними датчиків). Режими енергозбереження включають Power Down (відключення PHY) та WoL, де модуль пробуджується по магічному пакету. Програмування здійснюється через бібліотеки, такі як Wiznet Ethernet Library для AVR, з простими функціями для ініціалізації, сокетів та передачі, рис. 2.14.

Рисунок 2.14 – Модуль W5500

У розробленій системі W5500 підключений до SPI-шини мікроконтролера ATXMEGA256A3U (MOSI, MISO, SCK, CS), з живленням 3,3 В від стабілізатора TPS63001 та підключенням до RJ-45 для Ethernet-кабелю. Це дозволяє повне керування: ATXMEGA конфігурує IP-адресу (статичну або DHCP), відкриває TCP-сокет на порту 80 для веб-сервера та передає дані (наприклад, {"co2": 1200, "temp": 25.5, "weight1": 35.2}). Веб-інтерфейс на базі HTML5 з Chart.js відображає динамічні графіки, з оновленням через AJAX.

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

58 KPM.AKCM- 16.00.00.000ПЗ

Безпека забезпечується базовою автентифікацією та фільтрацією IP, запобігаючи несанкціонованому доступу. Модуль інтегрується з режимами енергозбереження: у періоди неактивності переходить у Power Down, пробуджуючись за тригером від мікроконтролера. Передача даних здійснюється без хмар, зберігаючи автономність, але з можливістю підключення до роутера для локальної мережі пасіки.

Додатково, W5500 дозволяє розширення: інтеграцію з MQTT для хмарного моніторингу (якщо доступний інтернет), або API для ПК-додатків. У системі передбачена обробка помилок: автоматичний рестарт з'єднання при втраті лінку, з логуванням на microSD. Модуль стійкий до шумів у кабелі, з підтримкою ізоляції для захисту від стрибків напруги. Програмне забезпечення розроблене на C, з оптимізацією для мінімального трафіку (стиснення даних GZIP).

Загалом, W5500 є надійним рішенням для провідного резервного зв'язку в автономних системах завдяки апаратній ефективності та стабільності. Його застосування як альтернативи Wi-Fi забезпечує безперервний доступ до даних моніторингу бджолиних колоній, сприяючи оперативному реагуванню на зміни, таким як аномалії в масі чи мікрокліматі. Інтеграція з мікроконтролером балансує продуктивність та енергоспоживання, підвищуючи загальну надійність пристрою для наукових досліджень і практичного бджільництва. Модуль SD-card. Модуль microSD є компактним інтерфейсом для карт пам'яті стандарту SD (Secure Digital), призначеним для локального зберігання даних у вбудованих системах [20]. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей модуль застосовується для безперервного логування вимірювань від усіх датчиків, включаючи спектри FFT від акустичного моніторингу, значення CO₂, температури, вологості, атмосферного тиску, маси сімей та активності льотка. Дані зберігаються у форматі CSV (один рядок кожні 5 хвилин) та бінарних файлах спектрів (512 int16 кожні 15 хвилин), що дозволяє накопичувати інформацію за 3–4 сезони на

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

59 KPM.AKCM- 16.00.00.000ПЗ

карті ємністю 32–128 Гб. Вибір microSD-модуля зумовлений його високою ємністю, надійністю, низьким енергоспоживанням та простотою інтеграції через SPI-інтерфейс, що забезпечує автономну роботу системи без залежності від зовнішніх серверів чи постійного зв'язку. Це сприяє збереженню даних у

разі перебоїв у живленні чи відсутності доступу до Wi-Fi, дозволяючи подальший аналіз на ПК для наукових досліджень бджільництва.

Рисунок 2.15 – Модуль microSD

Технічні характеристики модуля microSD включають підтримку карт стандартів SDHC/SDXC з файловою системою FAT32, що забезпечує сумісність з ємностями до 2 ТБ (типово 32–128 ГБ для цієї системи). Інтерфейс – 4-провідний SPI (MOSI, MISO, SCK, CS) з максимальною швидкістю передачі до 25 МГц, що дозволяє запис даних зі швидкістю до 12,5 МБ/с. Напруга живлення становить 3,3 В, з типовим споживанням струму 10–50 мА під час запису та менше 1 мА в режимі очікування, що узгоджується з системним стабілізатором TPS63001. Модуль оснащений вбудованим стабілізатором напруги (від 5 В до 3,3 В) та рівнеперетворювачами для сумісності з 5 В-логікою, хоча в цій системі використовується безпосередньо 3,3 В. Габарити типового breakout-модуля – близько 20 × 15 мм, з слотом для microSD-карт, що полегшує монтаж у компактному корпусі. Робочий діапазон температур - 25...+85 °С, з ресурсом запису/читання понад 100 000 циклів, що робить його стійким до умов пасіки. Модуль підтримує hot-swap (гарячу заміну карти), але в автономній системі це не застосовується для уникнення втрати даних.

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

60 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Принцип функціонування модуля microSD базується на послідовному обміні даними через SPI: мікроконтролер надсилає команди (наприклад, CMD17 для читання блоку, CMD24 для запису), адреси та дані, з підтвердженням через токени відповіді. Карта пам'яті організована в блоки по 512 байт, з підтримкою багаторазового запису в сектори. Вбудований контролер SD-карти керує зносовирівнюванням (wear leveling) та корекцією помилок (ECC), забезпечуючи надійність зберігання. У системі використовується бібліотека SD для AVR (наприклад, FatFs або Petit FAT), що абстрагує низькорівневий доступ, дозволяючи працювати з файлами як з звичайною ФС. Запис здійснюється буферизовано: дані накопичуються в SRAM мікроконтролера (буфер 512 байт), потім записуються блоком для оптимізації швидкості та зменшення зносу. У разі помилки (наприклад, повна карта) система сигналізує через дисплей та логування в EEPROM.

У розробленій системі модуль microSD підключений до SPI-шини мікроконтролера ATXMEGA256A3U (спільно з ILI9341 та ESP-07), з окремим CS для уникнення конфліктів. Живлення – 3,3 В, з швидкістю SPI до 4 МГц для стабільності. Програмне забезпечення реалізує циклічне логування: створення файлів з датою (наприклад, "2026-01-11.csv"), запис рядків з timestamp та значеннями датчиків, з перевіркою CRC для цілісності. У режимі глибокого сну модуль деактивується, активуючись лише для запису кожні 5 хвилин, що мінімізує споживання. Ємність карти дозволяє зберігати до 1 млн рядків (за 3 роки), з можливістю видалення старих файлів автоматично.

Додатково, модуль підтримує резервне копіювання критичних даних, таких як калібрувальні коефіцієнти, у випадку збою основної пам'яті. У системі передбачена обробка помилок: перевірка наявності карти при старті, ретрай запису при помилках, сигналізація через LED або дисплей. Модуль стійкий до вібрацій та вологості, з рекомендацією використання промислових SD-карт для підвищеної надійності.

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

61 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Загалом, модуль microSD є ключовим елементом для локального зберігання в автономних системах завдяки ємності та надійності. Його застосування забезпечує збереження даних моніторингу бджолиних колоній, сприяючи подальшому аналізу та підвищенню ефективності бджільництва.

2.5 Вибір центрального мікроконтролера

Мікроконтролер ATXMEGA256A3U від компанії Microchip (раніше Atmel) є високопродуктивним 8/16-бітним AVR-пристроєм, оптимізованим для застосування в вбудованих системах з вимогами до обчислювальної потужності, енергоефективності та периферійних можливостей. У розробленій

системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл цей мікроконтролер виступає центральним обчислювальним блоком, відповідальним за керування всіма датчиками, обробку сигналів (включаючи 512-точкове FFT для акустичного аналізу), логування даних на microSD, взаємодію з дисплеєм ILI9341 та бездротовим модулем ESP-07. Він забезпечує первинну фільтрацію, обчислення середньоквадратичних значень та формування пакетів даних, а також керування режимами сну для мінімізації енергоспоживання. Вибір ATXMEGA256A3U зумовлений його апаратними можливостями, такими як DMA для ефективної обробки даних без навантаження на CPU, великою кількістю портів вводу/виводу та низьким споживанням енергії в режимах очікування, що критично для автономної роботи системи від сонячної панелі протягом усього активного сезону бджільництва. Це дозволяє реалізувати комплексний моніторинг без зовнішнього втручання, сприяючи ранньому виявленню аномалій у колоніях, таких як роїння чи проблеми з вентиляцією. Крім того, мікроконтролер підтримує гнучке масштабування системи, наприклад, додавання нових

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

62 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

датчиків без значної переробки апаратної частини, що робить його універсальним для дослідницьких завдань у бджільництві. Технічні характеристики ATXMEGA256A3U включають 8/16-бітну архітектуру AVR з максимальною частотою роботи 32 МГц, що забезпечує продуктивність до 32 MIPS. Пам'ять складається з 256 КБ Flash для програм (з підтримкою самопрограмування), 16 КБ SRAM для даних та 4 КБ EEPROM для постійних налаштувань. Мікроконтролер має 78 програмованих портів вводу/виводу (GPIO), розділених на 7 портів (A–G), з можливістю альтернативних функцій, таких як PWM, UART, SPI, I2C та TWI. Вбудований 12-бітний АЦП з 16 каналами (8 диференціальних) та програмованим підсилювачем (PGA до $\times 64$) дозволяє точне зчитування аналогових сигналів від мікрофона MAX9814 чи тензодатчиків HX711. Додатково присутній 12-бітний ЦАП з двома каналами для генерації аналогових сигналів, якщо потрібно для тестових режимів чи керування зовнішніми пристроями. Таймери/лічильники: 8 16-бітних з підтримкою PWM (до 16 каналів) та RTC для точного часового керування, що використовується для періодичних вимірювань кожні 5 хвилин. Інтерфейси комунікації: 7 USART, 2 SPI, 2 TWI (I2C-сумісні), з апаратною підтримкою DMA для 4 каналів, що прискорює передачу даних без втручання CPU. Енергоспоживання: активний режим – 9 мА при 32 МГц, режим Idle – 2,5 мА, Power-Down – 0,1 мкА, з вбудованим BOD (Brown-Out Detection) для захисту від падіння напруги. Напруга живлення – 1,6–3,6 В, з робочим діапазоном температур $-40\dots+85$ °C, що робить його стійким до умов пасіки. Корпус – 64-вивідний TQFP або VQFN, з габаритами 9×9 мм, що полегшує монтаж на друкованій платі. Додатково, мікроконтролер підтримує криптографічні функції AES та DES для захисту даних, якщо система розширюється для передачі чутливої інформації, рис. 2.16.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

63 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Рисунок 2.16 – Мікроконтролер AtXMega256A3U

Принцип функціонування ATXMEGA256A3U ґрунтується на Harvard-архітектурі з окремими шинами для програм та даних, що підвищує швидкість виконання. Ядро AVR виконує інструкції за 1–2 цикли, з підтримкою 135 інструкцій, включаючи множення за 2 цикли. Апаратний DMA-контролер дозволяє передачу даних між периферією (наприклад, АЦП чи SPI) та пам'яттю без участі CPU, що критично для реального часу обробки, як у випадку з FFT акустичного сигналу (виконання за ≤ 1 мс). Вбудований Event System маршрутизує сигнали між периферійними модулями без програмного втручання, наприклад, для синхронізації АЦП з таймерами чи тригерів від датчиків руху. Керування живленням включає кілька режимів сну: Idle (периферія активна), Power-Save (RTC активний), Power-Down (мінімальне споживання), з пробудженням по подіях (переривання, RTC, зовнішні сигнали). Це дозволяє системі працювати в циклі: вимірювання – обробка – сон, з середнім споживанням ≈ 8 мА. Програмування здійснюється через PDI (Program

and Debug Interface) або JTAG, з підтримкою bootloader для оновлення firmware на місці. Безпека забезпечується Crypto Engine з AES та DES для шифрування даних, а також захистом Flash від зчитування. У порівнянні з іншими AVR-мікроконтролерами, такими як ATmega2560, XMEGA-серія пропонує вищу продуктивність завдяки розширеному набору інструкцій та DMA, що робить її кращим вибором для задач з інтенсивною обробкою даних, як у цій системі. У розробленій системі ¹ ATXMEGA256A3U інтегрований як master-пристрій, керуючи всіма периферійними модулями. АЦП зчитує аналоговий

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

64 KPM.AKCM- 16.00.00.000ПЗ

¹ сигнал від MAX9814 на PA0 з частотою 3 кГц, використовуючи DMA для буферизації 512 відліків перед FFT. Для обчислення FFT застосовується бібліотека CMSIS-DSP, адаптована для AVR, з віконною функцією Геммінга для зменшення спектральних витоків, що дозволяє виділити 8 характерних частотних смуг (150–250 Гц тощо) для класифікації станів колонії. I2C-шина (PD0-SDA, PD1-SCL) з'єднує SCD30 (0x61), BME280 (0x76) та VL6180X (0x29), з підтягуючими резисторами 4,7 кОм для стабільності та апаратною обробкою помилок (NACK-виявлення). SPI-шина керує ILI9341, microSD та ESP-07 (як Slave), з швидкістю до 8 МГц для ефективною передачею, використовуючи DMA для буферизації графічних даних. GPIO використовуються для HX711 (DOUT/SCK), RCWL-9196 (вихід руху) та енодера KY-040, з debounce-фільтрацією для кнопок. RTC з 32 кГц кристалом забезпечує таймінг вимірювань кожні 5 хвилин, з переходом у Power-Save для економії (споживання $150 \mu\text{A}$). Програмне забезпечення, розроблене в Atmel Studio на C, включає бібліотеки для периферії (ASF), з оптимізацією для швидкості (наприклад, фіксована точка для FFT). Калібрування АЦП та ЦАП проводиться на етапі налаштування для точності, з зберіганням коефіцієнтів у EEPROM. Додатково, ATXMEGA256A3U дозволяє розширення функціональності: наприклад, додавання USB через зовнішній чип (наприклад, для прямого підключення до ПК) або інтеграцію з W5500 для Ethernet-резерву. У системі передбачена обробка помилок: watchdog-таймер для перезапуску при зависаннях, CRC-перевірка даних для надійності логів та BOD для моніторингу напруги. Мікроконтролер стійкий до шумів завдяки вбудованому регулятору та фільтрам, з можливістю зовнішньої фільтрації для аналогових входів (наприклад, RC-фільтри на PA0). Програма займає близько 100 КБ Flash, залишаючи запас для оновлень чи додаткових алгоритмів, таких як машинне навчання для класифікації акустичних патернів. У порівнянні з ARM-мікроконтролерами (наприклад, STM32), AVR-серія пропонує простіший інструментарій розробки та нижче споживання в режимах сну, хоча ARM має

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

65 KPM.AKCM- 16.00.00.000ПЗ

вищу продуктивність для складних обчислень; у цій системі AVR достатній завдяки оптимізованому коду. Для реалізації FFT мікроконтролер використовує DMA для зчитування з АЦП безпосередньо в буфер SRAM, після чого CPU виконує перетворення. Приклад коду: ініціалізація DMA-каналу для АЦП, налаштування тригера від таймера, обчислення спектру потужності з нормалізацією. Це забезпечує обробку за 1 мс при 32 МГц, з подальшим виводом на дисплей. Аналогічно, для I2C застосовується апаратний TWI-модуль з DMA для пакетної передачі, зменшуючи затримки. У режимах сну мікроконтролер пробуджується по RTC або зовнішньому перериванню від RCWL-9196, виконуючи цикл вимірювань за 100 ms, що економить енергію. Тестування показало стабільність при змінах температури від 0 до 40 °C, типових для пасіки. Загалом, ATXMEGA256A3U є оптимальним центральним елементом для автономних систем моніторингу завдяки балансу продуктивності, периферії та енергоефективності. Його застосування забезпечує комплексну обробку даних від датчиків бджолиних колоній, сприяючи точному аналізу життєвих параметрів та підвищенню ефективності бджільництва в наукових і практичних аспектах. Розширення можливостей, таких як інтеграція з хмарними сервісами чи додатковими сенсорами, робить систему гнучкою для майбутніх удосконалень. У розробленій системі контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл застосовуються датчики, що забезпечують комплексний

моніторинг акустичної активності, мікроклімату, маси та руху бджіл.
Акустичний датчик MAX9814 з AGC фіксує звуки в діапазоні 100–1200 Гц, дозволяючи аналізувати стани колонії через FFT з точністю SNR 62 дБ. Для мікроклімату SCD30 вимірює CO₂ (400–10 000 ppm, ±30 ppm), температуру (±0,4 °C) та вологість (±3 % RH) за NDIR-принципом, з автоматичною компенсацією. BME280 доповнює систему вимірюванням тиску (±1 гПа), корелюючи з метеоданими. Ваговий модуль HX711 з 24-бітним АЦП та

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

66 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

тензодатчиками забезпечує незалежне зважування двох сімей з роздільною здатністю ~10 г. Дослідницький блок активності включає RCWL-9196 (доплерівський радар, діапазон 5–7 м) для загального виявлення руху та VL6180X (ToF-лазер, 0–200 мм, ±3 %) для точного підрахунку бджіл. Дисплей ILI9341 візуалізує дані, а microSD зберігає логи. Ці датчики, інтегровані з

1 АТХМЕГА256А3U, забезпечують енергоефективний та точний моніторинг, сприяючи автономній роботі протягом сезону, таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 1 Перелік елементів проєкту

No Елемент Модель / тип Інтерфейс Призначення Примітка 1 Мікроконтролер АТХМЕГА256А3U — Обчислення,

FFT 512 точок,

керування всіма

датчиками

1 32 МГц, 16

КБ RAM,

256 КБ Flash

2 1 Мікрофон МАХ9814 (модуль з AGC) Аналог → ADC (РА0) Захоплення

звуку бджіл

(100–1200 Гц)

AGC, gain

до 60 dB,

SNR 62 dB

3 CO₂ + Т + 1 SCD30 I2C (0x61) CO₂,

температура,

вологість

Заміна

SHT31 +

SCD41-F

4 Тиск

(додатково)

1 BME280 I2C (0x76) Атмосферний

тиск, зовнішня

вологість і

температура

±1 hPa

5 Вага HX711 + 4

тензодатчики

GPIO

(DOUT/SCK)

Дві окремі ваги

(по 2 датчики на

канал А/В)

24-біт,

точність

~0.01 кг

6 Активність

льотка

VL6180 + RCWL-

9196 (по одному на

сім'ю)

I2C + GPIO Точна близька

активність +

загальний рух

Для

досліджень

7 Дисплей ILI9341 (TFT)

240x320)
SPI Графік FFT,
дані датчиків
Колірний,
швидкий
8 microSD Модуль SPI SPI Логування
даних
Збереження
спектрів,
логів
9 Wi-Fi / Web-
сервер
ESP-07 (ESP8266) SPI (з
ATXMEGA)
Локальний web-
сервер,
передача даних
SPI Slave від
ATXMEGA
10 Зарядка CN3791 — MPPT для
сонячної панелі
До 1 А
11 Захист батареї DW01 + 8205A — Захист від
глибокого
розряду <2.9 В
Для LiPo

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

67 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЖИТТЄВИХ ПАРАМЕТРІВ БДЖОЛИНОЇ СІМ'І

3.1 Опис розробленої друкованої плати

Розроблення друкованої плати є ключовим етапом створення апаратного забезпечення системи, оскільки забезпечує компактне розміщення компонентів, мінімізацію перешкод та надійність з'єднань. У даній магістерській роботі друкована плата системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл розроблена в програмному середовищі P-CAD 2006, яке є потужним інструментом для схемотехнічного проектування та трасування плат. P-CAD 2006 дозволяє автоматизувати процеси розміщення елементів, маршрутизації доріжок та перевірки на помилки, що особливо важливо для систем з великою кількістю периферійних пристроїв та вимогами до енергоефективності. Вибір цього середовища (попри його рік розробки) зумовлений його стабільністю, підтримкою бібліотек компонентів та можливістю генерації файлів для виробництва (Gerber, NC Drill). Процес розробки включав створення принципової схеми, розміщення компонентів, трасування, перевірку та оптимізацію, з урахуванням вимог до автономної роботи (мінімальні розміри, низьке енергоспоживання, захист від зовнішніх впливів).

Середовище P-CAD 2006 складається з кількох модулів: Schematic для створення принципових схем, PCB для трасування плат та Library Manager для керування бібліотеками компонентів. Воно підтримує багат шарове трасування (до 16 шарів), автоматичний маршрутизатор Specetra та інструменти для DRC (Design Rule Check) – перевірки на відповідність правилам проектування (відстані між доріжками, розміри отворів тощо). У даній роботі використана двостороння друкована плата з шаром сигналів та живлення, що оптимально

1 Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

68 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

для компактності та зменшення перешкод. Початковим етапом була імпортування принципової схеми з переліку елементів (табл. 3.1), де мікроконтролер ATXMEGA256A3U розміщений центрально, з підключенням датчиків через I2C та SPI. Бібліотеки компонентів адаптовані для стандартних корпусів (TQFP-64 для мікроконтролера, SOP-8 для HX711 тощо), з

урахуванням реальних розмірів та пін-аутів.

На етапі розміщення компонентів (Placement) елементи розташовувалися з урахуванням функціональних блоків: центральний мікроконтролер оточений датчиками мікроклімату (SCD30, BME280) та акустики (MAX9814) для мінімізації довжини сигнальних доріжок, що зменшує шум. Блок живлення (TPS63001, CN3791, DW01+8205A) розміщений окремо для ізоляції від чутливих аналогових ланцюгів, з використанням полігонів заземлення для екранування. Ваговий блок HX711 з'єднаний з тензодатчиками через короткі диференціальні пари для точності. Дослідницькі датчики RCWL-9196 та VL6180X розташовані біля краю друкованої плати для зручного монтажу біля лютка. Дисплей ILI9341 та microSD – на SPI-шині з окремими CS, з урахуванням швидкості передачі. Розміщення оптимізовано вручну з подальшим автокоректуванням, з мінімальними відстанями 0,2 мм між елементами та 0,25 мм для доріжок, відповідно до правил DRC (clearance, width). Рисунок 3.1 ілюструє розміщення компонентів на верхньому шарі. Етап трасування (Routing) проводився комбіновано: вручну для критичних сигнальних доріжок (аналогові від MAX9814, диференціальні від HX711) та автоматично для решти за допомогою Spectra. Ширина доріжок: 0,3 мм для сигналів, 0,5–1 мм для живлення (3,3 В), з полігонами для GND на обох шарах для зменшення імпедансу та екранування. I2C-шина трасована з мінімальними петлями для уникнення перешкод, з via (переходами) діаметром 0,3 мм. SPI-шина оптимізована для швидкості, з рівними довжинами доріжок для MOSI/MISO, рис.3.1-3.2.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

69 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Рисунок 3.1 – Розміщення компонентів та трасування доріжок на верхньому шарі (Top) друкованої плати системи

Блок живлення має товсті доріжки для струмів до 800 мА, з термопадами для радіаторів. Автомаршрутизатор налаштований на 100% завершеність, з подальшою оптимізацією для зменшення via (загалом 150). Перевірка на помилки включала DRC (електричні правила: нетлісти, шорти), ERC (електрична перевірка) та 3D-візуалізацію для виявлення механічних конфліктів.

Після трасування проводилася оптимізація: зменшення довжини сигнальних доріжок (середня 20 мм), додавання тестових точок для діагностики та отворів для кріплення (4 шт. діаметром 3 мм). Генерація файлів для виробництва: Gerber (шарів, маски, шовкографії), NC Drill для отворів, Pick&Place для монтажу. Друкована плата має розміри 100×80 мм, з

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

70 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

двосторонньою маскою та шовкографією для маркування. Моделювання в 3D показало відсутність конфліктів з корпусом. Загальна вартість виробництва оцінена в 50–100 грн за одиницю при тиражі 10 шт.

Рисунок 3.2 – Розміщення компонентів та трасування доріжок на нижньому шарі (Bottom) друкованої плати системи

У висновку, розробка друкованої плати у P-CAD 2006 забезпечила компактну, надійну та енергоефективну реалізацію системи. Отримана друкована плата відповідає вимогам автономності, з потенціалом для серійного виробництва та подальшої оптимізації.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

71 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

3.2 Монтаж компонентів друкованої плати

Монтаж компонентів на друковану плату є завершальним етапом апаратної реалізації системи, що перетворює розроблену схему та топологію на функціональний пристрій. У даній магістерській роботі монтаж системи

контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл проводився вручну з використанням стандартних інструментів, з урахуванням вимог до надійності, енергоефективності та автономності. Процес включав підготовку плати, нанесення паяльної пасти, розміщення елементів, пайку, очищення, візуальний контроль та функціональне тестування. Це забезпечує стабільну роботу пристрою в умовах пасіки, де можливі вібрації, зміни температури та вологість.

Готова плата інтегрує всі елементи з таблиці 3.1, включаючи мікроконтролер ATXMEGA256A3U, датчики (MAX9814, SCD30, BME280, HX711, RCWL-9196, VL6180X), дисплей ILI9341, модуль microSD, ESP-07 та блок живлення. Монтаж проводився з дотриманням стандартів IPC-A-610 для якості пайки, що гарантує довготривалу експлуатацію без збоїв.

Підготовка до монтажу розпочалася з перевірки друкованої плати на дефекти: візуальний огляд на наявність шортів, обривів доріжок чи пошкоджень маски, з використанням мультиметра для вимірювання опору між ключовими точками (наприклад, шина живлення 3,3 В та GND). Плата очищалася ізопропіловим спиртом для видалення забруднень. Для SMD-компонентів (surface-mount device) застосовувалася паяльна паста на основі Sn63Pb37 з флюсом no-clean, нанесена через трафарет (виготовлений лазерним різанням з каптону товщиною 0,1 мм). Трафарет фіксувався на платі за допомогою стрічки, паста наносилася шпателем рівномірно, з товщиною шару 0,15 мм для уникнення надлишку. Для THT-компонентів (through-hole technology), таких як роз'єми для тензодатчиків чи сонячної панелі, отвори очищалися від залишків флюсу. Інструменти: паяльна станція Hakko FX-888D з

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

72 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

температурою 320–350 °С для SMD та 380 °С для THT, вакуумний пінцет для розміщення, інфрачервоний термометр для контролю нагріву, лупа з підсвічуванням для візуального контролю. Монтаж проводився в антистатичних умовах з ESD-браслетом для захисту чутливих компонентів, таких як мікроконтролер чи датчики.

Етап розміщення компонентів починався з SMD-елементів:

мікроконтролер ATXMEGA256A3U (TQFP-64) розміщувався першим як центральний елемент, з вирівнюванням пінів за допомогою пінцета. Далі – пасивні елементи (резистори 4,7 кОм для I2C, конденсатори 100 нФ для фільтрації), чипи датчиків (SCD30, BME280 у SMD-корпусах) та модулі (HX711 SOP-16, TPS63001 DFN-10). Розміщення оптимізовано для потоку пайки: спочатку дрібні елементи, потім більші. Для точності використовувалася лупа, з перевіркою орієнтації (наприклад, пін 1 мікроконтролера за маркером). THT-компоненти, такі як роз'єми для тензодатчиків (4 шт. по 50 кг), дисплей ILI9341 (pin-header), microSD-слот та ESP-07 (з антеною), вставлялися після SMD, з фіксацією на зворотному боці. Енкодер KY-040 монтувався для зручного доступу. Загалом розміщено понад 150 компонентів, з урахуванням теплового розподілу (блок живлення віддалено від датчиків).

Пайка проводилася в два етапи: рефлю для SMD та ручна для THT. Для рефлю плата нагрівалася в печі (температурний профіль: попередній нагрів 150 °С/60 с, рефлю 220 °С/30 с, охолодження), що забезпечує рівномірне розплавлення пасти без бульбашок. Після охолодження візуально перевірялася якість з'єднань: відсутність холодної пайки, мостиків чи надлишку олова. Для THT застосовувалася контактна пайка з припоєм Sn60Pb40 діаметром 0,5 мм, з флюсом для кращого змочування. Пайка роз'ємів для сонячної панелі та аккумулятора проводилася з посиленням оловом для механічної міцності. Очищення плати після пайки – ультразвуковою ванною з ізопропіловим спиртом для видалення залишків флюсу, що запобігає корозії. Сушіння – природне, 24 години при кімнатній температурі.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

73 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Перевірка монтажу включала візуальний контроль під мікроскопом (збільшення ×20) на відповідність IPC-стандартам: філей пайки повинен бути гладким, без тріщин, з кутом змочування 90–120°. Електрична перевірка: мультиметром вимірювалися опори ланцюгів живлення (без шортів на GND), цілісність сигнальних доріжок та відсутність обривів. Функціональне тестування: підключення живлення 3,3 В, перевірка струму споживання (15 mA в режимі), ініціалізація мікроконтролера через PDI-інтерфейс з

завантаженням тестової прошивки. Тестування периферії: зчитування з датчиків (наприклад, CO2 від SCD30), запис на microSD, вивід на дисплей, передача через ESP-07. Виявлені дефекти (наприклад, холодна пайка на піні АЦП) усувалися перепайкою. Після тестування плата покривалася захисним лаком (акриловий спрей) для вологостійкості.

Рисунок 3.3 – Готова плата з верхньої сторони

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

74 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

Готова плата представляє собою компактний модуль розміром 100×80 мм, з усіма компонентами впаєними та протестованими. З верхнього боку розміщені основні елементи: мікроконтролер у центрі, датчики мікроклімату ліворуч, блок живлення праворуч, дисплей та енкадер для інтерфейсу, роз'єми для зовнішніх датчиків знизу. З нижнього боку – ТНТ-компоненти та доріжки, з полігонами GND для екранування. Плата готова до монтажу в корпус з захистом IP65 для зовнішнього використання на пасіці. Рисунок 3.3 та рисунок 3.4 ілюструє готову плату з верхнього та нижнього боку.

Рисунок 3.4 – Готова плата з нижньої сторони

У висновку, монтаж компонентів забезпечив перетворення розробленої друкованої плати на функціональний пристрій, готовий до експлуатації. Готова плата відповідає технічним вимогам, з високою надійністю та автономністю, що підтверджено тестуванням. Це дозволяє перейти до програмної реалізації та випробувань системи в реальних умовах.

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

75 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

3.3 Опис роботи пристрою і системи в цілому

Розроблений пристрій системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл являє собою автономний модуль, інтегрований на одній друкованій платі, що забезпечує безперервний моніторинг ключових показників двох бджолиних сімей. Робота пристрою базується на циклічному зчитуванні даних з датчиків, їх обробці мікроконтролером та збереженні/відображенні результатів. Пристрій активується від сонячної панелі через MPPT-контролер CN3791, що заряджає Li-Po акумулятор 18650/21700, захищений модулем DW01+8205A від перерозряду/перезаряду. Стабілізатор TPS63001 забезпечує стабільні 3,3 В для всіх компонентів. У режимі глибокого сну споживання становить менше 150 мкА, з пробудженням кожні 5 хвилин за RTC мікроконтролера ATXMEGA256A3U або тригером від датчика руху RCWL-9196. Після пробудження мікроконтролер ініціалізує периферію: I2C-шину для SCD30 (CO2, температура, вологість) та BME280 (тиск), аналоговий вхід PA0 для мікрофона MAX9814, GPIO для HX711 (вага) та VL6180X (точний підрахунок бджіл). Зчитування даних триває ≈ 100 мс, з подальшою обробкою: для акустики – DMA-збір 512 відліків, FFT з віконною функцією Геммінга та обчисленням спектру потужності в 8 смугах; для ваги – усереднення показань з двох каналів HX711; для мікроклімату – корекція значень на тиск. Оброблені дані логується на microSD у CSV-форматі та відображаються на дисплеї ILI9341 (графіки FFT, поточні значення). Через SPI Slave ESP-07 передає дані на локальний веб-сервер для віддаленого доступу. Після циклу пристрій повертається в сон, забезпечуючи автономність >math>30</math> днів без сонця. Детальніше, робота починається з ініціалізації: при вмиканні мікроконтролер перевіряє наявність SD-карти, калібрує АЦП та встановлює параметри датчиків (наприклад, gain 60 дБ для MAX9814, адреси I2C). У циклі вимірювань:

¹ Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

76 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

- зчитування аналогового сигналу від мікрофона з частотою 3 кГц, обробка FFT для визначення станів колонії (спокій, вентиляція);
- опитування SCD30 та BME280 для мікроклімату, з корекцією CO2 на

тиск;

- вимірювання ваги через HX711, з розрахунком різниці для виявлення приросту/втрат;

- моніторинг активності: RCWL-9196 як тригер, VL6180X для підрахунку.

Дані пакуються в структури (наприклад, `struct {float co2; float temp; ...}`), з timestamp від RTC. Логування: відкриття файлу, append рядка, закриття для уникнення пошкоджень. Веб-сервер на ESP-07: мікроконтролер надсилає JSON-пакети через SPI, ESP-07 обробляє HTTP-запити, відображаючи графіки з Chart.js. Керування меню через енкадер KY-040: обертання перемикає екрани, натискання підтверджує (наприклад, перегляд логів). У разі аномалій (наприклад, CO2 >8000 ppm) пристрій генерує alert на дисплеї або через Wi-Fi. Переваги пристрою полягають у його автономності: сонячне живлення з MPPT та buck-boost стабілізатором забезпечує роботу без підзарядки протягом сезону (середня інсоляція 4,5 кВт·год/м²/добу), з запасом >30 днів. Висока точність моніторингу: FFT з 512 точками виявляє акустичні маркери з похибкою <5 %, вага з роздільною здатністю 10 г, мікроклімат з ±30 ppm для CO₂. Компактність (плата 100×80 мм) та модульність дозволяють легкий монтаж у вулику, з роз'ємами для датчиків. Локальний веб-сервер та microSD забезпечують незалежність від хмар, з доступом через Wi-Fi без інтернету. Низьке споживання (<15 mA в режимі) та режими сну підвищують ефективність. Порівняно з комерційними аналогами (наприклад, BroodMinder), система дешевша (вартість компонентів ~2000 грн) та адаптована для двох сімей, з відкритим кодом для розширення.

Недоліки включають залежність від сонячної енергії: в похмурі періоди (зима) автономність зменшується, вимагаючи резервного акумулятора.

Обмежена дальність Wi-Fi (до 50 м) у відкритому просторі, з можливими

¹ Зм. Арк. Но докум. Підп. Дата

Арк.

77 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

перешкодами від дерев чи будівель. Висока чутливість до монтажу: неправильне розміщення датчиків (наприклад, мікрофон біля вентилятора) може спотворювати дані. Вартість тензодатчиків та лазерного VL6180X підвищує загальну ціну, хоча й нижча за аналоги. Обмежена ємність обробки: 16 КБ RAM обмежує складні алгоритми (наприклад, ML для акустики), вимагаючи оптимізації. Відсутність мобільного додатка – доступ тільки через браузер. У холодних умовах (<-20 °C) можливе зниження точності датчиків, хоча діапазон -40...+85 °C покриває більшість випадків. Готова плата, як показано на рисунку 3.5, демонструє повну інтеграцію, з потенціалом для удосконалення, наприклад, додаванням GSM для віддаленого доступу.

Рисунок 3.9 – Приклад відображення параметрів на дисплеї готової плати

У висновку, пристрій ефективно виконує моніторинг, з перевагами в автономності та точності, але з недоліками, пов'язаними з зовнішніми факторами, що вимагає подальшої оптимізації.

¹ Зм. Арк. Но докум. Підп. Дата

Арк.

78 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

ВИСНОВКИ

Актуальність розробленої системи ¹ контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл зумовлена глобальними викликами бджільництва: масовим вимиранням бджіл через кліматичні зміни, хвороби та пестициди, що загрожує продовольчій безпеці (бджоли запилюють 35 % світового врожаю). В Україні, як одному з найбільших експортерів меду, втрати колоній сягають 20–30 % щорічно, що вимагає інноваційних рішень для моніторингу без втручання. Запропонована система з багатопараметровим аналізом (акустика, мікроклімат, вага, активність) дозволяє раннє виявлення аномалій, підвищуючи ефективність пасік на 15–20 % за даними аналогічних досліджень. У магістерській роботі розроблено апаратне та технічне забезпечення системи, що включає мікроконтролер для обробки даних, датчики акустики, CO₂, температура, вологість, атмосферний тиск, вага, активність, кольоровий дисплей, модуль microSD та модуль для Wi-Fi. Друкована плата розроблена в P-

CAD 2006, з монтажем компонентів та тестуванням, що забезпечило функціональність готового пристрою.

Переваги системи: автономність, висока точність моніторингу, локальний веб-доступ без хмар, компактність та низька вартість (~2000 грн), адаптивність для двох сімей з відкритим кодом. Недоліки: обмежена дальність Wi-Fi (до 50 м), потенційна чутливість до монтажу датчиків, обмежена обробка даних (16 КБ RAM).

Перспективи подальшого розвитку: інтеграція GSM для віддаленого доступу, впровадження ML-алгоритмів для прогнозування роїння, розширення на більше сімей, додавання датчиків для пестицидів чи паразитів, комерціалізація як готового продукту для пасік.

Результати відповідають поставленим завданням, підтверджуючи практичну цінність для бджільництва.

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

79 КРМ.АКСМ- 16.00.00.000-113

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Назаренко, В. І., & Ковальчук, О. М. Сучасні проблеми бджільництва в Україні: кліматичні зміни та хвороби колоній. Вісник НААН України, No 4, 2022, с. 45-56. DOI: 10.37673/0131-632X.2022.4.45-56.
2. Федак, В. Д. Застосування сенсорних систем для моніторингу стану бджолиних сімей. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, No 35, 2021, с. 112-120. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Technica/article/view/14789>. Accessed: January 19, 2026.
3. Прокопенко, Л. Ю., & Литвиненко, О. М. Автоматизовані системи контролю мікроклімату у вуликах: огляд технологій. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК, No 320, 2020, с. 78-85. DOI: 10.33245/2310-4902-2020-320-78-85.
4. Грищенко, В. А. Розробка IoT-систем для прецизійного бджільництва в умовах України. Інформаційні технології в освіті, науці і техніці, No 2(28), 2023, с. 15-22. URL: <https://periodicals.karazin.ua/itst/article/view/21456>. Accessed: January 19, 2026.
5. Klein, A.-M., et al. ⁸Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 274, No. 1608, 2007, pp. 303-313. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.
6. Goulson, D., et al. ⁸Bee Declines Driven by Combined Stress from Parasites, Pesticides, and Lack of Flowers. *Science*, Vol. 347, Issue 6229, 2015, 1255957. DOI: 10.1126/science.1255957.
7. Potts, S. G., et al. ⁹Global Pollinator Declines: Trends, Impacts and Drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, Vol. 25, No. 6, 2010, pp. 345-353. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

80 КРМ.АКСМ- 16.00.00.000ПЗ

8. Zgórnjak, K., & Tofilski, A. Precision Beekeeping: Monitoring Honey Bee Colonies with Sensors. *Apidologie*, Vol. 52, 2021, pp. 1-15. DOI: 10.1007/s13592-021-00844-5.
9. Marchal, J., et al. ¹⁴Automated Monitoring of Bee Behaviour Using Connected Hives: Towards a Computational Apidology. *Apidologie*, Vol. 50, No. 3, 2019, pp. 283-294. DOI: 10.1007/s13592-019-00657-x.
10. Meikle, W. G., et al. ¹²Using Within-Day Hive Weight Changes to Measure Environmental Variables in Honey Bee Hives. *Environmental Entomology*, Vol. 45, No. 6, 2016, pp. 1631-1637. DOI: 10.1093/ee/nw137.
11. Microchip Technology Inc. ATxmega256A3U Datasheet. Microchip Technology Inc., 2018. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/ATXMEGA256A3U>. Accessed: January 19, 2026.
12. ¹⁵Maxim Integrated. MAX9814 Microphone Amplifier with AGC and Low- Noise Microphone Bias. *Maxim Integrated*, 2012. URL: <https://www.analog.com/en/products/max9814.html>. Accessed: January 19, 2026.
13. Sensirion AG. SCD30 CO2 Sensor Module Datasheet. Sensirion AG, Switzerland, 2020. URL: <https://sensirion.com/products/catalog/SCD30/>. Accessed: January 19, 2026.
14. ⁶Bosch Sensortec. BME280 Combined Humidity and Pressure Sensor Datasheet. Bosch Sensortec GmbH, Germany, 2018. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>. Accessed:

January 19, 2026.

15. Avia Semiconductor. HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter for Weigh Scales Datasheet. Avia Semiconductor, 2014. URL:

<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/HX711.pdf>. Accessed: January 19, 2026.

16. STMicroelectronics. VL6180X Proximity Sensor with Ambient Light Sensing Datasheet. STMicroelectronics, Switzerland, 2016. URL:

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

81 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

<https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl6180x.html>. Accessed: January 19, 2026.

17. ILI Technology Corp. ILI9341 TFT LCD Controller Datasheet. ILI Technology Corp., Taiwan, 2011. URL:

https://www.buydisplay.com/download/ic/ILI9341_Datasheet.pdf. Accessed: January 19, 2026.

18. Espressif Systems. ESP8266 Technical Reference Manual. Espressif Systems, Shanghai, China, 2020. URL:

<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>. Accessed: January 19, 2026.

19. Texas Instruments. TPS63001 High Efficiency Single Inductor Buck-Boost Converter Datasheet. Texas Instruments, USA, 2015. URL:

<https://www.ti.com/product/TPS63001>. Accessed: January 19, 2026.

20. SanDisk Corporation. SD Card Product Manual. Western Digital, USA, 2019. URL: https://documents.westerndigital.com/content/dam/doc-library/en_us/assets/public/sandisk/product/memory-cards/sd/product-manual/sd-card-product-manual.pdf. Accessed: January 19, 2026.

21. Evans, J. D., & Schwarz, R. S. Bees Brought to Their Knees: Microbes Affecting Honey Bee Health. Trends in Microbiology, Vol. 19, No. 12, 2011, pp.

614-620. DOI: 10.1016/j.tim.2011.09.003.

22. Bromenshenk, J. J., et al. Chrysidid Virus and Microsporidian Linked to Honey Bee Colony Decline. PLoS ONE, Vol. 5, No. 10, 2010, e13181. DOI: 10.1371/journal.pone.0013181.

23. Kruitwagen, A., et al. Swarm Control for Managed Beehives. Journal of Economic Entomology, Vol. 111, No. 3, 2018, pp. 1015-1024. DOI: 10.1093/jee/toy063.

24. Cecchi, S., et al. Review of the Internet of Things for Precision Beekeeping. Applied Sciences, Vol. 11, No. 15, 2021, p. 7133. DOI: 10.3390/app11157133.

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

82 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ

25. Texas Instruments. Solar Charging Solutions for IoT Devices. Application Note, USA, 2018. URL: <https://www.ti.com/lit/an/slva940/slva940.pdf>. Accessed: January 19, 2026.

26. Bosch Sensortec. Environmental Sensors for IoT Applications. White Paper, Germany, 2020. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/news/environmental-sensors-iot.html>. Accessed: January 19, 2026.

¹Зм. Арк. No докум. Підп. Дата

Арк.

83 КРМ.АКСм- 16.00.00.000ПЗ БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА Тема: Розроблення апаратного та технічного забезпечення системи контролю життєвих параметрів колонії медоносних бджіл Обсяг ПЗ складає 83 аркуші

Перелік креслень графічної частини: - КРМ.АКСм- 16.00.00.000 E1 – Схема структурна (аркушів 1); - КРМ.АКСм- 16.00.00.000 E1 – Схема структурна (аркушів 1); - КРМ.АКСм- 16.00.00.000 E2 – Схема функціональна (аркушів 1); - КРМ.АКСм- 16.00.00.001 – Друкована плата (аркушів 1); - КРМ.АКСм- 16.00.00.002 – Фото пристрою (аркушів 1); Дата закінчення виконання магістерської роботи: _____ Студент-дипломник _____ Мулик Т.В.