

Міністерство освіти і науки України
Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)
відділення інформаційних технологій, менеджменту, туризму та підготовки іноземних
громадян
(назва відділення)
циклова комісія комп'ютерної інженерії
(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

з дисципліни «Мікропроцесорні системи»

на тему: Розробка системи автоматичного контролю клімату у вулику

Виконав: студент IV курсу, групи KI-406
напряму підготовки (спеціальності)

123 «Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Коваль О.Р
(підпис/прізвище та ініціали)

Перевірів Недошитко А.Г.
(підпис/прізвище та ініціали)

Оцінка _____

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ»**

Відділення **інформаційних технологій, менеджменту, туризму
та підготовки іноземних громадян**

Циклова комісія **комп'ютерної інженерії**

Освітньо-професійний ступінь **фаховий молодший бакалавр**

Освітньо-професійна програма: **Обслуговування комп'ютерних систем і мереж**

Спеціальність: **123 Комп'ютерна інженерія**

Галузь знань: **12 Інформаційні технології**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії
комп'ютерної інженерії

Андрій ЮЗЬКІВ

“30” березня 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ковалю Остапу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка системи автоматичного контролю клімату у вулику

керівник роботи **Недошитко Андрій Григорович**
(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом Відокремленого структурного підрозділу «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя» від 27.03.2026р № 4/9-167.

2. Строк подання студентом роботи: 15 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: контрольовані параметри мікроклімату, технічні описи елементної бази; протокол передачі даних RS-485; платформа Blynk IoT; стандарти ЄСКД (ДСТУ ГОСТ 2.701:2008, 2.702, 2.710); документація Arduino IDE та бібліотек програмного забезпечення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Загальний розділ. Розробка технічного та робочого проєкту. Спеціальний розділ. Економічний розділ. Охорона праці та безпека життєдіяльності.

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

- структурна схема системи;
- функціональна схема;
- алгоритм роботи пристрою;
- таблиця техніко-економічних показників.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Богдана МАРТИНЮК викладач		
Охорона праці та безпека життєдіяльності	Володимир ШТОКАЛО викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	01.04	
2	Збір і узагальнення інформації	08.05	
3	Написання першого розділу	15.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	22.05	
5	Написання спеціального розділу	28.05	
6	Розрахунок економічної частини	1.06	
7	Написання розділу охорони праці	3.06	
8	Виконання графічної частини	8.06	
9	Оформлення проєкту	10.06	
10	Погодження нормоконтролю	11.06	
11	Попередній захист роботи	12.06	
12	Захист кваліфікаційної роботи		

7. Дата видачі завдання: 31 березня 2026 року

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Коваль Остап

(ім'я та прізвище)

Андрій Недошитко

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка системи автоматичного контролю мікроклімату у вулику».

У даній кваліфікаційній роботі розробляється автоматизована система контролю мікроклімату у бджолиному вулику, яка забезпечує безперервний моніторинг температури та вологості повітря, автоматичне керування вентиляційними заслінками, а також дистанційний контроль параметрів через мобільний застосунок. Система спрямована на підтримання оптимальних умов життєдіяльності бджолиної сім'ї та підвищення ефективності бджільництва.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів.

У загальній частині наведено обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи та виконано аналітичний огляд існуючих засобів контролю мікроклімату у вуликах.

У другому розділі виконано аналіз технічного завдання, розроблено структурну та функціональну схеми системи, здійснено вибір та обґрунтування елементної бази, розроблено алгоритм роботи пристрою, а також мобільний інтерфейс моніторингу на платформі Blynk IoT.

У третьому розділі розроблено інструкцію з експлуатації електронного пристрою та методику перевірки його функціонування і працездатності.

Розрахунок вартості розробки системи автоматичного контролю мікроклімату у вулику наведено в економічній частині кваліфікаційної роботи.

Основні питання охорони праці, безпеки життєдіяльності та пожежної безпеки під час експлуатації електронної системи розглянуто у п'ятому розділі.

Обсяг пояснювальної записки становить ____ сторінок.

До складу кваліфікаційної роботи входить графічна частина, яка складається зі структурної схеми системи, функціональної схеми, алгоритму роботи пристрою та таблиці техніко-економічних показників, виконаних на окремих аркушах формату А1.

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи.....	8
1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень.....	9
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ	13
2.1 Аналіз технічного завдання КВР.....	13
2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	15
2.3 Розробка функціональної схеми пристрою	27
2.4 Розробка мобільного додатку для Android-пристроїв у середовищі Blynk IoT	29
2.5 Розробка алгоритму системи	32
2.6 Написання текстів програми.....	36
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою	39
3.2 Розробка методики перевірки функціонування електронного пристрою.....	41
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	44
4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР	44
4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи.....	45
4.3 Розрахунок матеріальних витрат	47
4.4 Розрахунок витрат на електроенергію.....	49
4.5 Визначення транспортних затрат	49
4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань	50
4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР.....	51
4.9 Розрахунок комерційної ціни продукту	52
4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень.....	52
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	54
5.1 Технічні заходи електробезпеки при тестуванні та монтажі низьковольтних мікроконтролерів під час польових випробувань системи	54

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка системи автоматичного контролю клімату у вулику Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Коваль О.Р.									
Перевір.		Недошитко А.Г									
Реценз.									ТФК ТНТУ КІ-406		
Н. Контр.		Приймак В.А.									
Затверд.											

5.2 Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.Способи їх контрол...	55
5.3 Пожежна безпека при застосуванні електронних компонентів керування в дерев'яних конструкціях	57
ДОДАТКИ.....	64
Додаток А. Код STM32.....	64
Додаток Б. Код ESP32.....	69

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Бджільництво є важливою галуззю сільського господарства, яка забезпечує отримання меду та інших корисних продуктів, а також сприяє запиленню рослин. Проте утримання бджіл пов'язане не лише з отриманням прибутку, але й з необхідністю постійного контролю умов у вулику. Наприклад, пасічники часто стикаються з проблемами перегріву або переохолодження, надмірної вологості чи її нестачі, що негативно впливає на стан бджолої сім'ї. У таких випадках виникає потреба у використанні сучасних засобів автоматичного контролю клімату у вулику.

Існують різні способи контролю мікроклімату у вулику, наприклад, ручне регулювання вентиляції або утеплення конструкції. Проте такі методи мають свої недоліки, оскільки вимагають постійної присутності пасічника та не забезпечують точного контролю параметрів середовища.

Ще одним способом є використання окремих датчиків температури або вологості, які дозволяють отримувати інформацію про стан вулика. Однак цей підхід також має обмеження, адже не передбачає автоматичного реагування на зміну умов і потребує ручного втручання для їх коригування.

У цього підходу теж є недоліки, оскільки відсутність автоматизації може призводити до запізнілої реакції на критичні зміни мікроклімату. Найбільш ефективним рішенням є створення системи автоматичного контролю клімату у вулику, яка здатна самостійно підтримувати оптимальні умови для життєдіяльності бджіл.

Використання датчиків температури, вологості дозволяє в режимі реального часу відстежувати стан середовища. Як тільки показники виходять за допустимі межі, система активує відповідні механізми — вентиляцію, що забезпечує стабільний мікроклімат у вулику та сприяє підвищенню продуктивності бджолої сім'ї.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи контролю клімату у вулику.

У сучасному бджільництві важливу роль відіграє створення оптимальних умов для життя бджолої сім'ї, адже від температури, вологості та вентиляції залежить її розвиток, продуктивність та виживання. Підтримання стабільного мікроклімату у вулику є складним процесом, який потребує постійного контролю з боку пасічника. Автоматизована система контролю клімату дозволяє значно спростити цей процес та підвищити ефективність догляду за бджолами.

Однією із основних проблем, з якою стикаються пасічники, є різкі зміни температури та вологості, особливо в періоди міжсезоння або при несприятливих погодних умовах. Недостатній контроль цих параметрів може призвести до ослаблення бджолої сім'ї, зниження продуктивності або навіть її загибелі. Автоматизована система дозволяє безперервно відстежувати ці показники та оперативно реагувати на їх зміни.

Розроблена система складається з декількох взаємопов'язаних компонентів, зокрема мікроконтролерів, датчиків температури та вологості, а також виконавчих механізмів. Зчитування даних відбувається в режимі реального часу, після чого інформація обробляється та передається користувачу. У разі відхилення параметрів від норми система може автоматично регулювати мікроклімат за допомогою сервоприводів, що забезпечують вентиляцію або інші дії.

Крім того, система забезпечує віддалений моніторинг за допомогою бездротового модуля, що дозволяє передавати дані на мобільний пристрій та надсилати сповіщення через мережу Інтернет. Це значно зменшує

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

необхідність постійної фізичної присутності пасічника біля вулика та дозволяє оперативно реагувати на критичні ситуації.

Існує багато допоміжних пристроїв для бджільництва, таких як електронні ваги для вуликів, системи підігріву, автоматичні годівниці та інші рішення. Однак більшість з них виконують лише окремі функції і не забезпечують комплексного контролю мікроклімату.

1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень

Серед сучасних пристроїв автоматизації у бджільництві можна виділити наступні:

1) Система моніторингу вуликів ApisProtect

ApisProtect^[1] є сучасною системою моніторингу стану бджолиних сімей, яка використовує технології Інтернету речей (IoT) та машинного навчання. Основною метою системи є забезпечення постійного контролю за станом вулика без необхідності частого фізичного втручання пасічника.

На рисунку 1.1 зображено ApisProtect



Рисунок 1.1 – Система ApisProtect

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Особливістю даної системи є використання сенсорних модулів, які встановлюються всередині вулика та безперервно збирають дані про температуру, вологість, активність і навіть звукові характеристики бджіл.

До основних переваг системи можна віднести:

- Безперервний моніторинг стану вулика;
- Виявлення проблем на ранніх стадіях;
- Передача даних через бездротові канали;

Система дозволяє пасічнику отримувати сповіщення про критичні зміни стану бджолиної сім'ї та оперативно реагувати на них, що сприяє зменшенню втрат колоній та підвищенню продуктивності.

Недоліком є висока вартість та орієнтація переважно на професійні пасіки.

2) Інтелектуальна система IntelliBeeHive

IntelliBeeHive^[3] є інноваційною системою моніторингу бджолиних вуликів, яка використовує методи комп'ютерного зору та машинного навчання. Основна особливість системи полягає у встановленні камери на вході до вулика, що дозволяє аналізувати поведінку бджіл.

На рисунку 1.2 зображено IntelliBeeHive



Рисунок 1.2 – Система IntelliBeeHive

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Принцип роботи системи базується на автоматичному розпізнаванні бджіл, визначенні їх активності, аналізі збору пилку та виявленні паразитів, таких як кліщ Varroa. Обробка даних здійснюється за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, що забезпечує високу точність аналізу.

Основні характеристики системи:

- Моніторинг активності бджіл у режимі реального часу;
- Виявлення шкідників та хвороб;
- Використання алгоритмів штучного інтелекту.

Перевагою є глибокий аналіз стану бджолиної сім'ї без втручання у внутрішній простір вулика.

Недоліком є складність реалізації, великі розміри та висока вимогливість до обчислювальних ресурсів.

3) Система BroodMinder

BroodMinder^[4] є однією з найбільш поширених систем моніторингу вуликів, яка орієнтована як на аматорів, так і на професійних пасічників. Вона представляє собою модульну систему датчиків та програмного забезпечення для збору та аналізу даних.

На рисунку 1.3 зображено BroodMinder



Рисунок 1.3 – Система BroodMinder

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Система дозволяє вимірювати основні параметри вулика, такі як температура, вологість та вага, що дає змогу оцінювати стан бджолої сім'ї та її розвиток. Дані передаються на мобільний додаток або веб-платформу для подальшого аналізу.

Основні переваги системи:

- Модульність та гнучкість налаштування;
- Віддалений доступ до даних;
- Аналіз стану пасіки в цілому;
- Можливість роботи з декількома вуликами.

Система також дозволяє відстежувати динаміку змін параметрів та планувати огляди вуликів більш ефективно.

Недоліком є те, що система переважно виконує функцію моніторингу і не забезпечує активного регулювання мікроклімату у вулику.

Таким чином, аналіз існуючих рішень показав, що сучасні системи автоматизації у бджільництві в основному спрямовані на моніторинг стану бджолої сім'ї та збір даних. Проте більшість із них не мають функцій автоматичного керування мікрокліматом. Це підтверджує доцільність розробки системи, яка не лише контролює параметри середовища, але й активно впливає на них, що і реалізовано у даній кваліфікаційній роботі.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ

2.1 Аналіз технічного завдання КВР

Розроблювана система призначена для автоматичного контролю мікроклімату у вулику та дистанційного моніторингу його стану. Вона вимірює температуру й вологість, передає дані між модулями та керує виконавчими механізмами для підтримання оптимальних умов утримання бджіл. Основою є два контролери: Виконавчий контролер для збору даних і локального керування та контролер бездротового зв'язку для Wi-Fi, й віддаленого моніторингу.

Система живиться від акумуляторного блока Li-ion, а стабілізація напруги здійснюється через перетворювач напруги. Для вимірювань використовується датчик температури та вологості, а обмін даними між вузлами реалізовано через кабель комунікації. Керування вентиляційними отворами здійснює система вентиляції, яка автоматично регулює потік повітря залежно від температури чи вологості.

На рисунку 2.1 зображена структурна схема мікропроцесорної системи

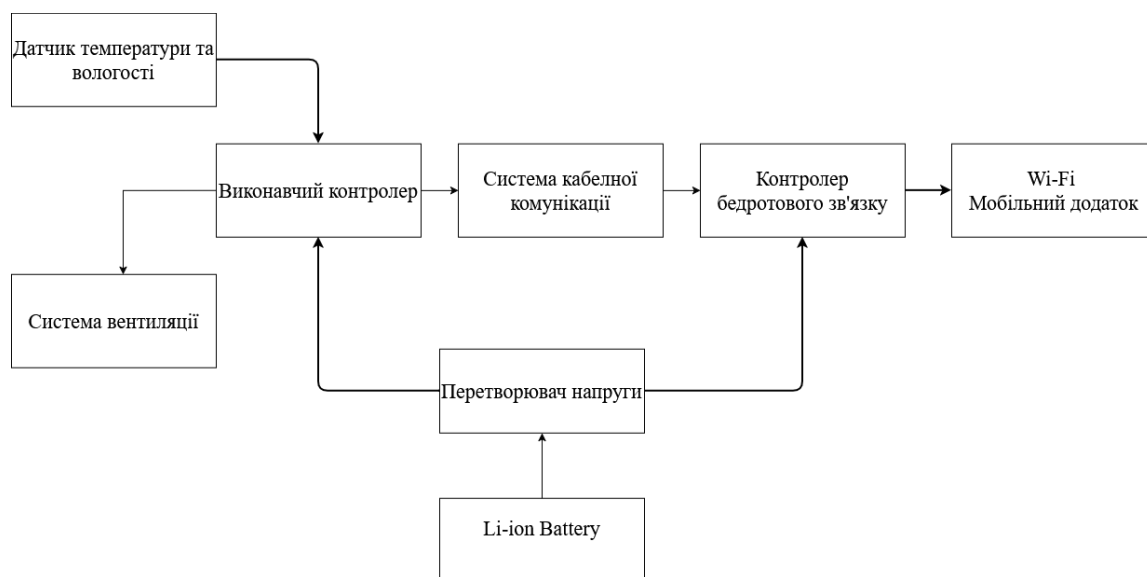


Рисунок 2.1 - Структурна схема мікропроцесорної системи

Виконавчий контролер забезпечує:

- зчитування даних із датчика температури та вологості;
- обробку отриманих значень;
- формування керуючих сигналів для системи вентиляції ;
- обмін даними через кабель комунікації.

Контролер бездротового зв'язку та дистанційного моніторингу забезпечує:

- передачу даних через Wi-Fi;
- прийом команд від користувача;
- відображення стану системи у мобільному застосунку.

Датчик температури та вологості:

- використовується для контролю мікроклімату всередині вулика.

Стстема кабелної комунікації забезпечує:

- надійний обмін даними між мікроконтролерами на великій відстані.

Система вентиляції:

- використовується для автоматичного керування вентиляційними заслінками.

Li-ion battery:

- акумуляторний блок для автономного живлення системи.

Перетворювач напруги забезпечує:

- стабілізацію напруги живлення електронних компонентів.

Робота пристрою

1. Нормальний режим роботи. Виконавчий контролер періодично зчитує показники температури та вологості із датчика. Отримані дані передаються кабель комунікації до контролера бездротового зв'язку, який надсилає інформацію користувачу через Wi-Fi.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

2. Автоматичне керування вентиляцією. У разі перевищення допустимого температурного порогу виконавчий контролер формує сигнал керування для системи вентиляції, який відкриває вентиляційні отвори вулика. Після нормалізації температури заслінки повертаються у початкове положення.

3. Передача даних та моніторинг. Контролер бездротового зв'язку забезпечує бездротову передачу інформації до мобільного додатка, де користувач може переглядати актуальні параметри системи.

Для вимкнення системи необхідно вимкнути її в застосунку або від'єднати її від джерела живлення.

Основні вимоги до системи

До проектованої системи висуваються такі вимоги:

- Забезпечення автоматичного контролю температури та вологості у вулику.
- Бездротовий моніторинг та передача повідомлень через Wi-Fi.
- Автономна робота системи від акумуляторного живлення.
- Стабільне живлення електронних компонентів.
- Захист електронних компонентів від впливу навколишнього середовища за допомогою герметичного корпусу.

2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Виконавчий контролер

В якості виконавчого контролера використовується - STM32 Blue Pill^[5]. Це 32-бітний мікроконтролер сімейства STM32, що базується на архітектурі ARM Cortex-M3. Він широко використовується у вбудованих системах, автоматизації та навчальних проєктах завдяки оптимальному співвідношенню продуктивності, енергоспоживання та вартості. Мікроконтролер STM32 працює на тактовій частоті до 72 МГц та має приблизно 64 КБ оперативної пам'яті (SRAM) і 64 КБ Flash-пам'яті. Цього достатньо для реалізації задач

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

реального часу, обробки даних із датчиків та керування виконавчими пристроями. Плата підтримує широкий набір периферійних інтерфейсів, зокрема UART, I2C, SPI, CAN та PWM, що дозволяє легко підключати різноманітні сенсори та модулі. Також доступні аналогові входи (ADC, 12-біт) для вимірювання аналогових сигналів. STM32F103C8T6 відзначається високою стабільністю роботи в задачах реального часу та точним керуванням периферією, що робить його зручним для систем, де важлива детермінованість виконання коду. Завдяки своїй архітектурі ARM Cortex-M3, мікроконтролер забезпечує ефективну обробку даних при низькому енергоспоживанні, що особливо важливо для автономних або акумуляторних систем.

У таблиці 2.1 вказані характеристики плати STM32.

Таблиця 2.1 – Характеристики STM32

Параметр	Опис
1	2
Архітектура	ARM Cortex-M3
Розрядність	32-bit
Максимальна тактова частота	72 МГц
Flash-пам'ять	64 КБ (іноді 128 КБ у сумісних версіях)
SRAM	20 КБ
Робоча напруга	2.0 – 3.6 В
GPIO	до 37–48 ліній (залежно від корпусу/плати)
Цифрові інтерфейси	UART, I2C, SPI, CAN, USB FS
ADC	2 × 12-bit, до 16 каналів
Таймери	до 7 (16-bit та 32-bit)
DMA	7 каналів
RTC	Є (з окремим живленням VBAT)
Debug інтерфейс	SWD / JTAG

Продовження таблиці 2.1

1	2
USB	USB type - C
CAN	Так (1 модуль)
Захист / функції	PVD, POR, BOR, CRC, UID

Основною задачею STM32 є робота з периферією та датчиками, зокрема отримання даних через інтерфейси I2C, UART та OneWire, а також обробка аналогових сигналів через вбудований АЦП. Це дозволяє контролювати параметри системи з високою точністю та мінімальною затримкою.

Керування виконавчими елементами реалізується через цифрові виходи та таймери, що забезпечують формування PWM-сигналів для сервоприводів та інших пристроїв. STM32 відповідає за стабільну роботу системи в режимі реального часу, де важлива точність та детермінованість виконання команд. Таким чином, STM32F103C8T6 виконує роль низькорівневого контролера, який забезпечує надійне керування сенсорами та виконавчими пристроями, тоді як ESP32 використовується для бездротової комунікації та віддаленого моніторингу

На рисунку 2.2 - зображено зовнішній вигляд плати STM32 та її виводи.

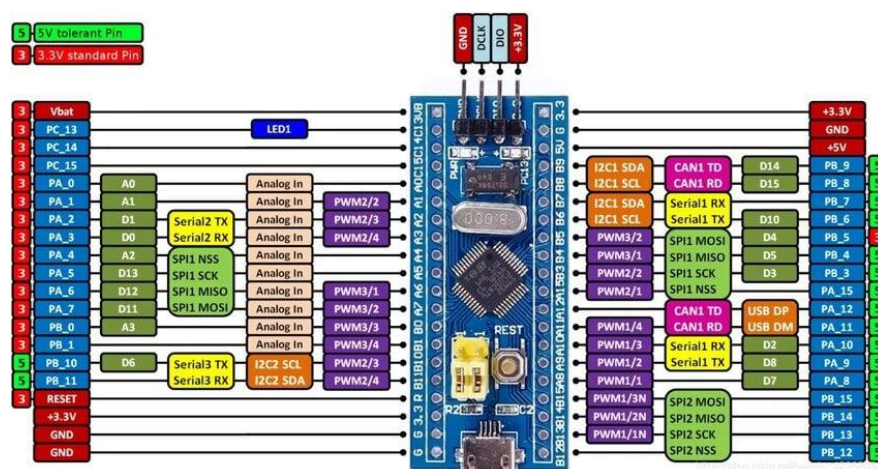


Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд плати STM32

На рисунку 2.3 - зображено умовне позначення STM32 .

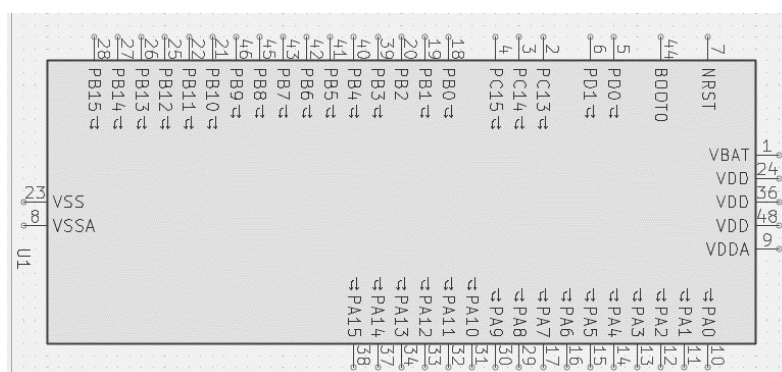


Рисунок 2.3 - Умовне позначення STM32

Контролер бездротового зв'язку

В якості контролера бездротового зв'язку використовується - ESP32 DevKit V1^[6]. Це відладочна плата на базі модуля ESP32-WROOM-32, призначена для розробки вбудованих та IoT-систем. Вона поєднує у собі високопродуктивний мікроконтролер, широкий набір периферійних інтерфейсів та вбудовані бездротові модулі, що робить її універсальним рішенням для задач автоматизації, моніторингу та віддаленого керування. Плата ESP32 DevKit V1 побудована на основі модуля ESP32-WROOM-32 і містить близько 30 виводів GPIO, які можуть бути налаштовані як цифрові входи або виходи. Частина з них підтримує додаткові функції, такі як PWM, I2C, SPI та UART. Також доступні аналогові входи (ADC), що дозволяє зчитувати сигнали з аналогових датчиків.

Мікроконтролер ESP32 базується на 32-бітному двоядерному процесорі Tensilica LX6, який працює на частоті до 240 МГц. Система має приблизно 520 КБ оперативної пам'яті (SRAM) та до 4–16 МБ флеш-пам'яті (залежно від конкретної версії модуля). ESP32 підтримує бездротові технології Wi-Fi (802.11 b/g/n) та Bluetooth (Classic і BLE), що дозволяє використовувати його для підключення до хмарних сервісів, мобільних застосунків та систем

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

дистанційного керування. Аналогові можливості включають до 18 каналів ADC (12-бітні перетворювачі), розділені між ADC1 та ADC2, що дозволяє підключати різні датчики для вимірювання напруги, температури або інших фізичних величин. Завдяки поєднанню обчислювальної потужності, великої кількості інтерфейсів та вбудованого Wi-Fi/Bluetooth, ESP32 DevKit V1 широко використовується як центральний або комунікаційний модуль у сучасних IoT-системах.

У таблиці 2.2 вказані характеристики плати ESP32.

Таблиця 2.2 – Характеристики ESP32

Параметр	Опис
Число пінів	30 пінів
Тактова частота	160 MHz (можна розігнати до 240 MHz)
Пам'ять	512 KB Flash, 320 KB SRAM
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth 4.2 (Classic та BLE)
Напруга живлення	3.3 V (рекомендується стабільне джерело)
Інтерфейси	SPI, I2C, UART, PWM, ADC, DAC
Цифрові піни	До 30 пінів для введення/виведення, включаючи SPI, I2C, PWM
Аналогові входи	12 каналів ADC
Аналогові виходи	2 каналів DAC
Розміри	52 mm × 25.5 mm
Інтерфейс підключення	Micro USB
Операційна система	Підтримка FreeRTOS та бібліотек ESP-IDF і Arduino

На рисунку 2.4 - зображено зовнішній вигляд плати ESP32 та її виводи.

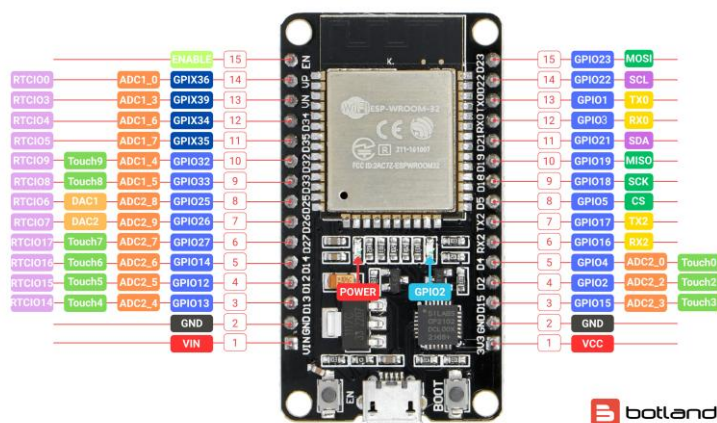


Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд плати ESP32

На рисунку 2.5 - зображено умовне позначення ESP32 .

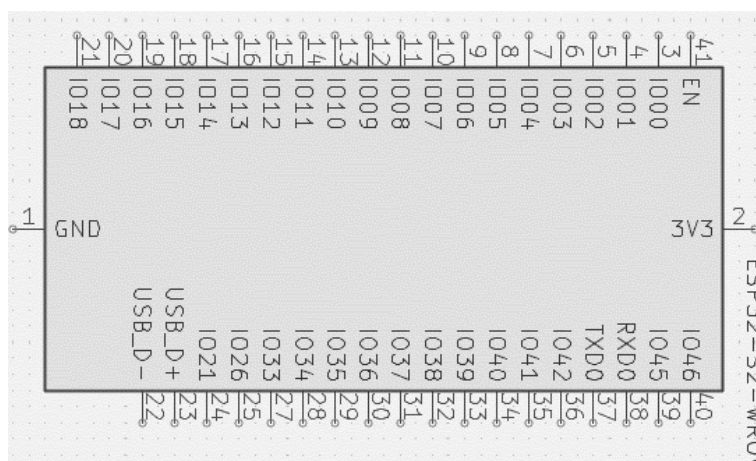


Рисунок 2.5 - Умовне позначення ESP32

Датчик температури та вологості

В якості датчика температури та вологості використовується - SHT30^[7]. Це цифровий датчик температури та вологості, який використовує інтерфейс зв'язку I2C для обміну даними з мікроконтролером STM32. Датчик забезпечує високу точність вимірювання параметрів навколишнього

середовища та має низьке енергоспоживання, що робить його придатним для автономних мікропроцесорних систем.

Інтерфейс I2C: Для передачі даних використовуються лише дві сигнальні лінії - SDA та SCL, що дозволяє підключати декілька пристроїв до однієї шини та зменшує кількість необхідних виводів мікроконтролера.

В таблиці 2.3 наведено основні характеристики SHT30.

Таблиця 2.3 – Характеристики SHT30

Інтерфейс	I2C
Діапазон вимірювання температури	-40 ... +125 °C
Точність вимірювання температури	±0.3 °C
Діапазон вимірювання вологості	0 ... 100 % RH
Точність вимірювання вологості	±2 % RH
Напруга живлення	2.4 - 5.5 V

На рисунку 2.6 - зображено зовнішній вигляд SHT30.

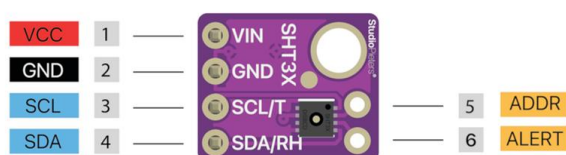


Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд SHT30

Це оптимальний компонент для контролю мікроклімату у системі автоматичного керування вуликом. Датчик дозволяє постійно контролювати температуру та вологість усередині вулика, а отримані значення використовуються мікроконтролером для аналізу стану середовища та керування вентиляцією. Завдяки використанню інтерфейсу I2C датчик займає

лише два виводи мікроконтролера, залишаючи достатньо вільних пінів для підключення інших периферійних пристроїв.

На рисунку 2.7 - зображено умовне позначення SHT30.

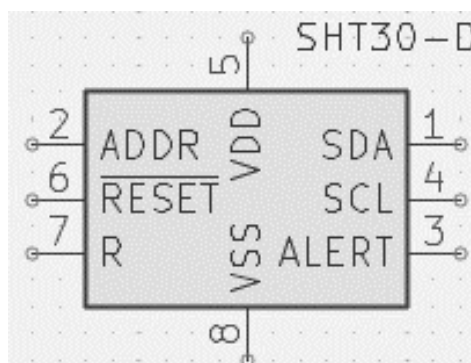


Рисунок 2.7 - Умовне позначення SHT30

Система вентиляції

В якості системи вентиляції використовується - MG90S 360° Metal Gear Micro Servo^[8]. Це компактний сервопривід безперервного обертання, призначений для керування механічними елементами в автоматизованих мікропроцесорних системах. Завдяки металевому редуктору сервопривід характеризується підвищеною міцністю, надійністю та стійкістю до механічних навантажень порівняно зі стандартними моделями із пластиковими шестернями. Пристрій широко застосовується в робототехніці, системах автоматизації та пристроях дистанційного керування.

Керування сервоприводом здійснюється за допомогою PWM-сигналу (широтно-імпульсної модуляції), який формується мікроконтролером STM32. На відміну від стандартних сервоприводів із фіксованим кутом повороту, модель MG90S 360° забезпечує безперервне обертання вала. Залежно від параметрів PWM-сигналу змінюється напрямок та швидкість обертання сервопривода.

В таблиці 2.4 наведено характеристики MG90S.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.4 – Характеристики MG90S

Робоча напруга	4.8-6 В
Тип двигуна	DC Servo
Кут повороту	360°
Керування	PWM-сигналом
Крутний момент	до 2.2 кг·см

У розробленій системі сервопривід використовується для автоматичного керування вентиляційними заслінками вулика. При підвищенні температури мікроконтролер формує PWM-сигнал, який відкриває вентиляцію, а після нормалізації температури заслінка повертається у початкове положення.

На рисунку 2.8 зображено зовнішній вигляд MG90S Micro Servo.



Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд MG90S Micro Servo

На рисунку 2.9 зображено умовне позначення MG90S Micro Servo.

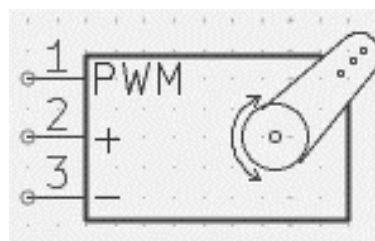


Рисунок 2.9 - Умове позначення MG90S Micro Servo

Система кабелної комунікації

В якості системи кабелної комунікації використовується - MAX485^[9] та кабель крученої пари. MAX485 це мікросхема-приймач та передавач інтерфейсу RS-485, призначена для організації надійного обміну даними між мікроконтролерами на значних відстанях. Модуль забезпечує перетворення сигналів UART у стандарт RS-485, що дозволяє передавати інформацію по двопровідній лінії зв'язку з високою завадостійкістю. Інтерфейс RS-485: Передача даних здійснюється диференціальним способом через лінії А та В, що значно зменшує вплив електромагнітних завад та дозволяє використовувати довгі кабельні лінії без втрати якості сигналу.

В таблиці 2.5 наведено характеристики MAX485.

Таблиця 2.5 – Характеристики MAX485

Інтерфейс	UART ↔ RS-485
Напруга живлення	3 В
Швидкість передачі даних	до 2.5 Мбіт/с
Можливість передачі даних на великі відстані	Так
Підтримка багатоточкового підключення	Так

На рисунку 2.10 зображено зовнішній вигляд MAX485.

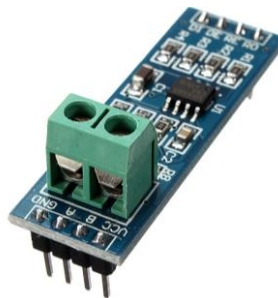


Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд MAX485

На рисунку 2.11 зображено умовне позначення MAX485.

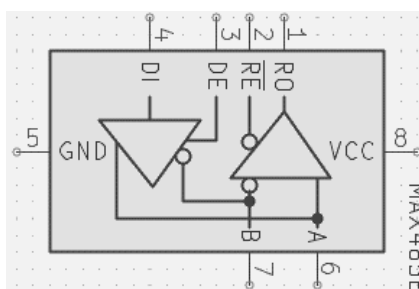


Рисунок 2.11 - Умовне позначення MAX485

Перетворювач напруги

В якості перетворювача напруги використовується - LM2596^[10]. Це імпульсний понижуючий DC-DC перетворювач (buck converter), який використовується для стабілізації та зниження напруги живлення у мікропроцесорних та електронних системах. Він забезпечує ефективне перетворення енергії з мінімальними втратами та широко застосовується у автономних пристроях. Принцип роботи: LM2596 працює за принципом імпульсного перетворення напруги, використовуючи високочастотний ШІМ-контролер, що дозволяє зменшувати напругу з високим ККД без значного нагріву елементів.

В таблиці 2.6 наведено характеристики LM2596.

Таблиця 2.6 – Характеристики LM2596

Тип	DC-DC перетворювач
Вхідна напруга	4–40 В
Вихідна напруга	регульована (зазвичай 1.25–35 В)
Робоча частота	~150 кГц
Низькі пульсації вихідної напруги	Так

У розробленій системі LM2596 використовується для формування стабільної напруги живлення для мікроконтролерів та периферійних пристроїв із акумуляторного блоку. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу системи навіть при зміні рівня заряду батареї. Завдяки високому ККД та простоті використання LM2596 є оптимальним рішенням для живлення вбудованих систем із автономним живленням.

На рисунку 2.12 зображено зовнішній вигляд LM2596.



Рисунок 2.12- Зовнішній вигляд LM2596

На рисунку 2.11 зображено умовне позначення LM2596.

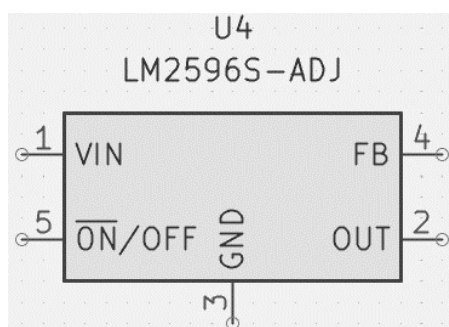


Рисунок 2.11 - Умовне позначення LM2596

2.3 Розробка функціональної схеми пристрою

Функціональна схема являється одним з основних проектних документів, що визначають функціональну структуру системи, яка проектується та її окремих модулів.

Дана схема призначена для відображення детальної структури пристрою, його основних блоків, вузлів, частин із вказанням зв'язків між ними. З функціональної схеми має бути зрозуміло як підключаються і взаємодіють їхні складові частини.

На рисунку 2.12 - зображена функціональна схема пристрою.

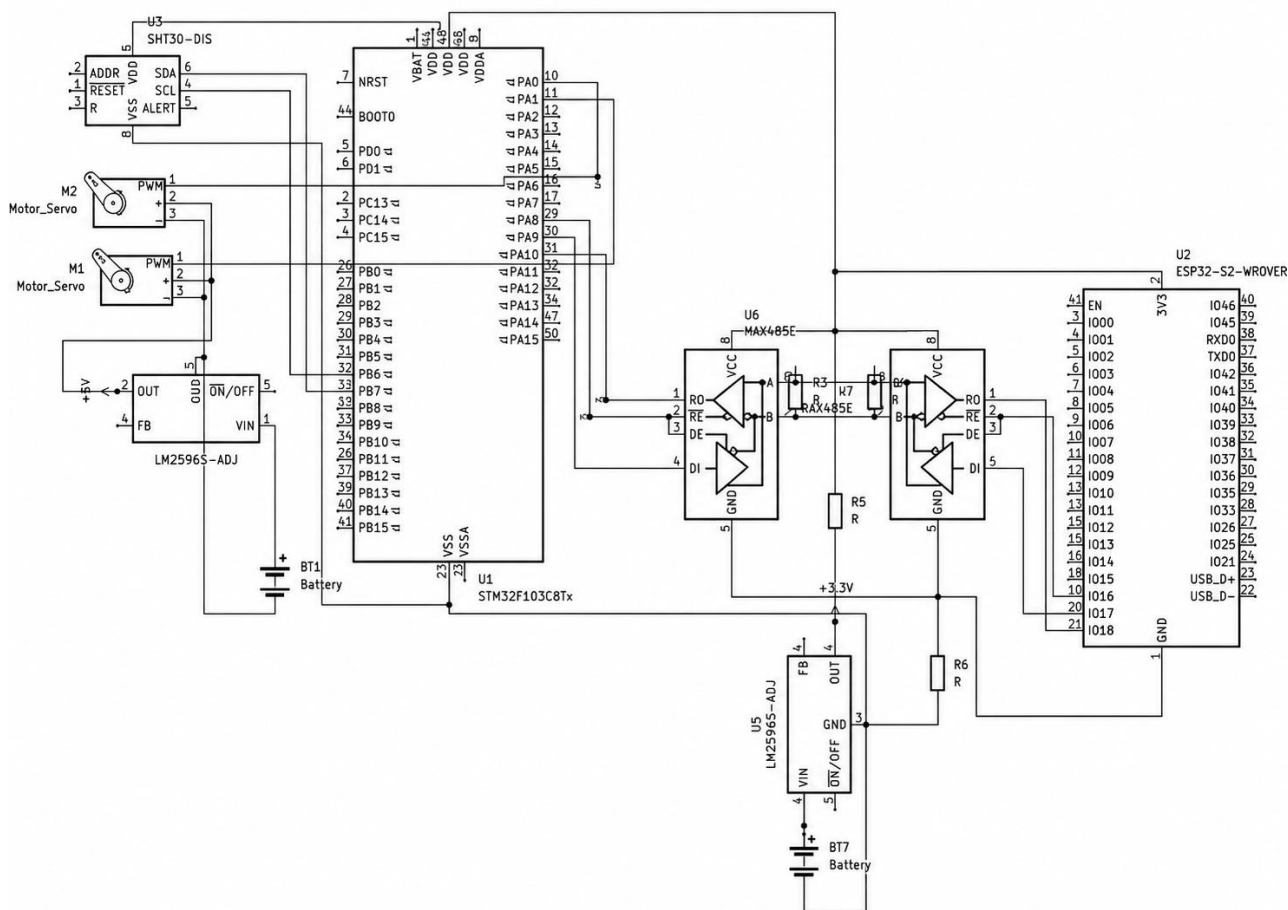


Рисунок 2.12 - Функціональна схема пристрою

U1 (STM32F103C8T6) — Центральний локальний контролер системи: Виконує обробку даних із сенсорів, керує сервоприводами та забезпечує обмін даними з модулем ESP32 через інтерфейс RS-485. Контролер реалізує основну логіку автоматичного керування мікрокліматом у вулику.

U2 (ESP32-WROVER) — Модуль бездротового зв'язку та віддаленого моніторингу: Забезпечує підключення системи до Wi-Fi мережі, передавання даних мобільний додаток, а також прийом команд користувача. ESP32 виконує функції дистанційного контролю та моніторингу системи.

U3 (SHT30-DIS) — Датчик температури та вологості: Цифровий сенсор, підключений до STM32 через інтерфейс I2C. Використовується для вимірювання температури та вологості всередині вулика з подальшою передачею даних на мікроконтролер.

U6, U7 (MAX485E) — Модулі інтерфейсу RS-485: Виконують перетворення UART-сигналів у стандарт RS-485 та забезпечують надійний обмін даними між обома STM32 і ESP32 через диференціальну лінію зв'язку. Використання RS-485 підвищує завадостійкість системи та дозволяє передавати дані на значні відстані.

M1, M2 (Motor_Servo) — Сервоприводи керування механізмами: Сервоприводи типу MG90S використовуються для автоматичного керування вентиляційними заслінками або іншими рухомими елементами конструкції вулика. Керування здійснюється PWM-сигналами від STM32.

U4, U5 (LM2596S-ADJ) — Понижуючі DC-DC перетворювачі: Призначені для стабілізації напруги живлення електронних компонентів системи. Перетворювачі забезпечують отримання стабільної напруги +5 В та +3.3 В із акумуляторного джерела живлення.

BT1 (Battery) — Акумуляторний блок живлення: Забезпечує автономне живлення системи під час роботи у польових умовах. Акумулятор використовується для живлення мікроконтролерів, сенсорів та виконавчих елементів системи.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

R1, R2 — Підтягувальні резистори шини I2C: Забезпечують коректну роботу ліній SDA та SCL під час обміну даними між STM32 та датчиком SHT30.

R5, R6 — Резистори лінії RS-485: Використовуються для стабілізації та узгодження сигналів інтерфейсу RS-485, що забезпечує надійну передачу даних між контролерами.

2.4 Розробка мобільного додатку для Android-пристроїв у середовищі Blynk IoT

Для забезпечення віддаленого моніторингу та керування системою автоматичного контролю мікроклімату у вулику було розроблено мобільний додаток для Android-пристроїв із використанням платформи Blynk IoT. Дана платформа призначена для створення IoT-систем та дозволяє реалізувати обмін даними між мікроконтролерами та мобільними пристроями через мережу Internet.

Blynk IoT^[11] забезпечує просте створення графічного інтерфейсу без необхідності розробки окремого Android-додатку мовами програмування Java або Kotlin. Взаємодія з системою здійснюється через мобільний застосунок Blynk, у якому користувач може переглядати показники датчиків, отримувати повідомлення та керувати виконавчими пристроями.

Для роботи із системою необхідно створити обліковий запис на платформі Blynk IoT та встановити мобільний застосунок Blynk на Android-пристрій.

Створення проєкту у Blynk IoT

Для початку роботи необхідно перейти на сайт Blynk IoT та пройти авторизацію або створити новий обліковий запис. Після входу у систему відкривається веб-інтерфейс керування проєктами.

Створення нового проєкту виконується у декілька етапів:

- натиснути кнопку “New Template”;

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- вказати назву проєкту;
- обрати тип апаратної платформи ESP32;
- обрати тип підключення Wi-Fi;
- підтвердити створення шаблону.

Після створення шаблону система автоматично генерує Template ID, Device Name та Auth Token, які використовуються у програмному коді ESP32 для підключення до сервера Blynk.

Налаштування мобільного інтерфейсу

Після створення шаблону виконується налаштування інформаційної панелі (Dashboard), яка відображає параметри системи.

Для цього у застосунку додаються віджети:

- Gauge — для індикації рівня параметрів;
- Slider — для ручного керування вентиляцією;
- Button — для повного вимкнення системи.

Кожен віджет прив'язується до відповідного Virtual Pin (V0, V1, V2 та ін.), через які ESP32 передає або отримує дані.

Підключення ESP32 до Blynk IoT

Для забезпечення зв'язку між мікроконтролером та мобільним застосунком використовується вбудований Wi-Fi модуль ESP32. У програмному коді вказуються:

- назва Wi-Fi мережі;
- пароль доступу;
- Auth Token проєкту Blynk.

Після підключення ESP32 передає на сервер Blynk:

- температуру;
- вологість;
- стан вентиляції;
- службові повідомлення системи.

Передача даних виконується у реальному часі, що дозволяє користувачу контролювати стан вулика дистанційно.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Робота мобільного застосунку

Після запуску застосунку користувач отримує доступ до основних параметрів системи. На екрані відображаються:

- поточна температура;
- рівень вологості;
- стан вентиляційних заслінок;
- повідомлення про перевищення температури або вологості.

На рисунку 2.13 зображено зовнішній вигляд застосунку.

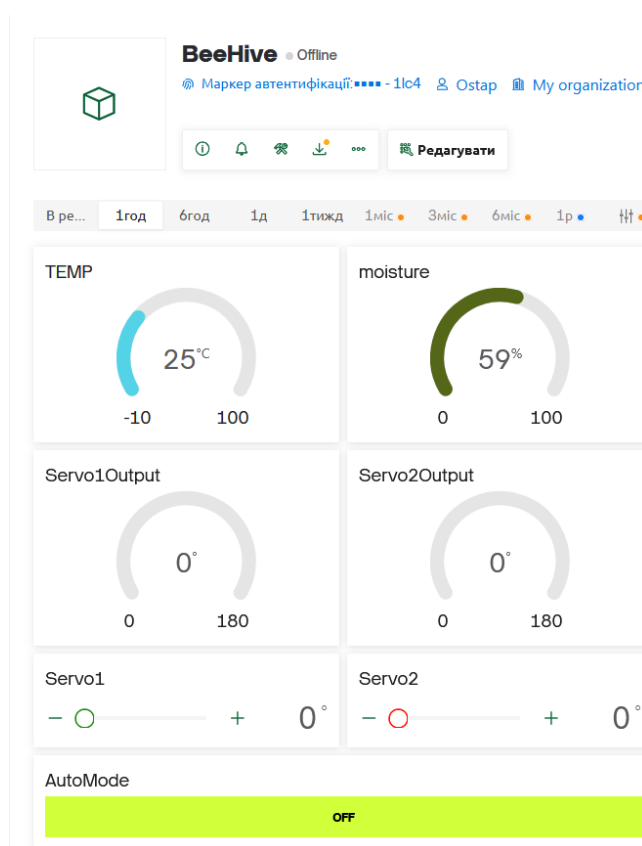


Рисунок 2.13 - зовнішній вигляд застосунку

Користувач також може вручну керувати системою через кнопки у застосунку. Наприклад:

- примусово відкрити вентиляцію;
- вимкнути автоматичний режи.

У разі виникнення аварійної ситуації система автоматично надсилає push-повідомлення на смартфон.

Переваги використання Blynk IoT

Використання платформи Blynk IoT у даному проєкті має такі переваги:

- швидке створення мобільного інтерфейсу;
- відсутність необхідності розробки окремого Android-додатку;
- підтримка ESP32;
- віддалений моніторинг у режимі реального часу;
- підтримка push-повідомлень;
- просте налаштування та масштабування системи;
- можливість роботи через Internet з будь-якого місця.

Таким чином, використання Blynk IoT дозволяє реалізувати зручну систему віддаленого моніторингу та керування мікрокліматом у вулику за допомогою Android-пристрою.

2.5 Розробка алгоритму системи

Алгоритм роботи системи автоматичного контролю мікроклімату у вулику побудований на безперервному циклі збору даних із датчиків, їх обробки мікроконтролерами та керування виконавчими механізмами. Система працює в автоматичному режимі та забезпечує підтримання необхідних параметрів температури і вологості всередині вулика.

Алгоритм роботи модуля моніторингу температури та вологості

1. Виконується запуск та ініціалізація мікроконтролерів STM32 і ESP32.
2. Проводиться перевірка працездатності датчика SHT30 та модулів зв'язку.
3. STM32 зчитує показники температури та вологості з датчика SHT30 через інтерфейс I2C.
4. Отримані дані обробляються та порівнюються із заданими пороговими значеннями.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

5. Якщо температура та вологість знаходяться у допустимих межах:
 - система продовжує моніторинг параметрів;
 - дані передаються до ESP32 для відображення у мобільному застосунку.
6. Якщо температура перевищує допустиме значення:
 - формується команда на відкриття вентиляції;
 - STM32 генерує PWM-сигнал для керування сервоприводом MG90S;
 - вентиляційна заслінка відкривається.
7. Якщо температура знижується до нормального рівня:
 - сервопривід повертає вентиляцію у початкове положення;
 - система переходить у режим спостереження.
8. Після завершення циклу виконується повторне зчитування даних із датчика.

Алгоритм роботи модуля обміну даними через RS-485

1. STM32 формує пакет даних із показниками температури та вологості.
2. Дані передаються через модуль MAX485 по шині RS-485.
3. ESP32 приймає дані та виконує перевірку правильності пакета.
4. Якщо пакет отриманий коректно:
 - дані обробляються;
 - параметри передаються у мобільний застосунок Blynk IoT.
5. Якщо зв'язок відсутній або пакет пошкоджений:
 - виконується повторна передача даних;
 - система переходить у режим очікування.
6. Після завершення передачі система повертається до режиму моніторингу.

Алгоритм роботи модуля мобільного моніторингу

1. ESP32 підключається до Wi-Fi мережі.
2. Виконується підключення до сервера Blynk IoT.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3. Показники температури та вологості передаються у мобільний застосунок.
4. Користувач переглядає:
 - температуру;
 - вологість;
 - стан вентиляції;
 - повідомлення системи.
5. У разі перевищення критичних значень:
 - система формує push-повідомлення;
 - інформація надсилається у застосунок користувача.
6. Після завершення передачі даних система переходить у режим постійного оновлення інформації.

Алгоритм роботи системи живлення

1. Система отримує живлення від акумуляторного блока 18650.
2. Напруга надходить на DC-DC перетворювачі LM2596.
3. Перетворювачі формують стабільні напруги:
 - +5 В для сервоприводів;
 - +3.3 В для STM32, ESP32 та датчиків.
4. Проводиться контроль стабільності живлення.
5. У випадку зниження напруги:
 - система передає повідомлення про низький заряд акумулятора;
 - виконується обмеження роботи допоміжних модулів.
6. Після нормалізації живлення система продовжує роботу у стандартному режимі.

Графічна схема алгоритму роботи системи автоматичного контролю клімату у вулику зображена на рисунку 2.14.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

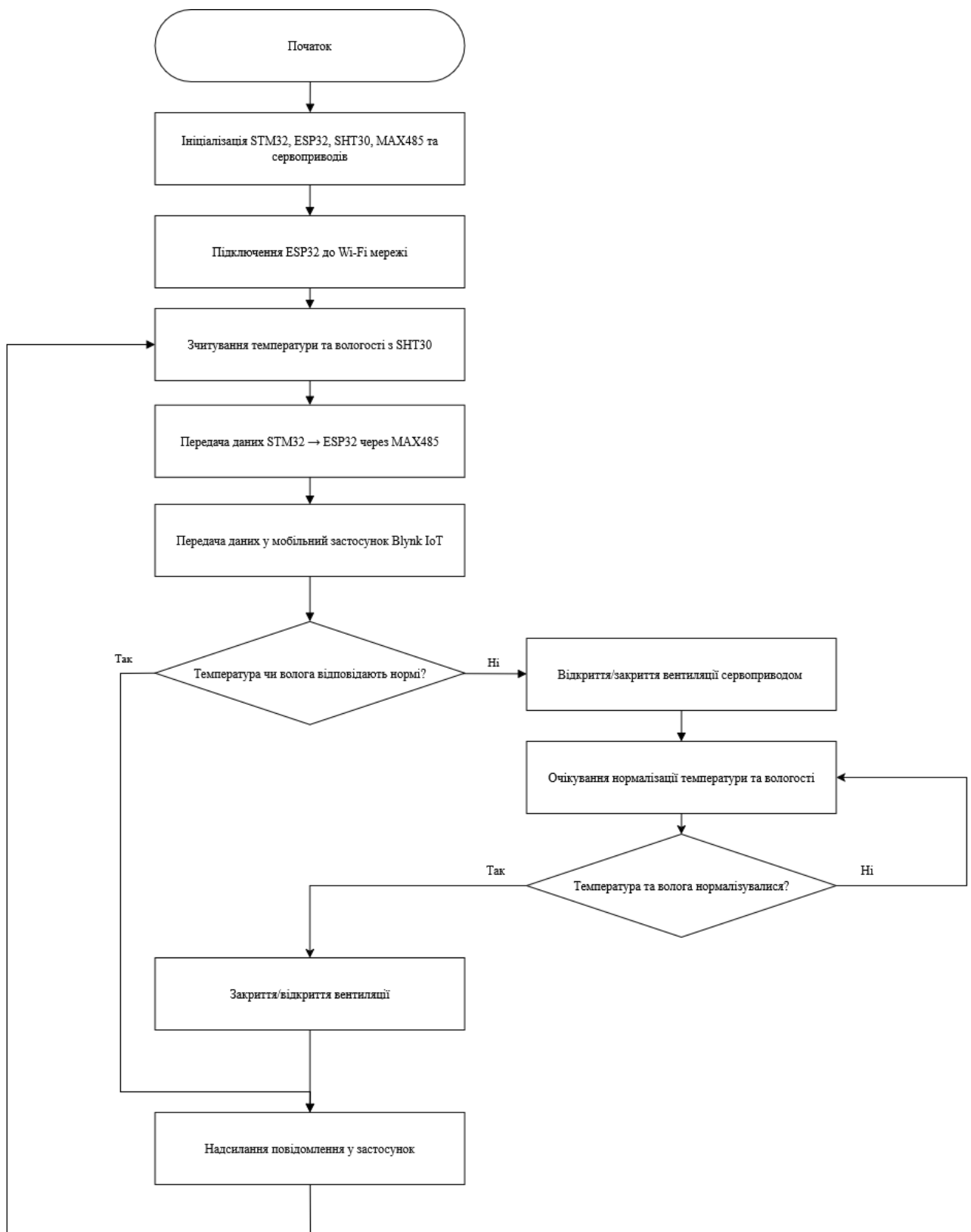


Рисунок 2.14 – Алгоритм роботи системи автоматичного контролю клімату у вулику

2.6 Написання текстів програми

Програмне забезпечення системи автоматичного контролю мікроклімату у вулику розроблено мовою програмування C++ у середовищі Arduino IDE. Для реалізації функціоналу використовуються дві мікроконтролерні плати: STM32F103C8T6 Blue Pill та ESP32 DevKit V1. Така архітектура дозволяє розділити задачі збору даних та бездротової передачі інформації, що підвищує надійність роботи всієї системи.

Для взаємодії між мікроконтролерами використовується інтерфейс RS-485 на базі модулів MAX485. Передача даних здійснюється у вигляді текстових пакетів, що містять інформацію про температуру, вологість та поточне положення вентиляційних заслінок.

У процесі розробки були використані програмні бібліотеки, наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Використані програмні бібліотеки

Бібліотека	Призначення
Wire.h	Робота з інтерфейсом I2C
Adafruit_SHT31.h	Зчитування даних із датчика SHT30
Servo.h	Керування сервоприводами MG90S
WiFi.h	Підключення ESP32 до бездротової мережі
BlynkSimpleEsp32.h	Передача даних у Blynk IoT
HardwareSerial.h	Організація обміну даними через UART та RS-485

Програмна логіка системи поділяється на три основні етапи.

1. Блок ініціалізації (setup)

На етапі запуску виконується налаштування всіх апаратних ресурсів мікроконтролерів. STM32 ініціалізує інтерфейс I2C для роботи з датчиком SHT30, налаштовує сервоприводи MG90S та інтерфейс UART для зв'язку через MAX485. Одночасно ESP32 встановлює підключення до локальної мережі Wi-Fi та сервера Blynk IoT, а також запускає обмін даними через RS-485.

Після успішної ініціалізації система переходить у режим безперервного моніторингу.

2. Блок збору та обробки даних (STM32)

Основна програма STM32 працює циклічно та виконує такі функції:

- зчитування температури та вологості з датчика SHT30;
- аналіз отриманих параметрів;
- визначення необхідного положення вентиляційних заслінок;
- керування сервоприводами MG90S;
- формування пакета даних для передачі на ESP32.

Алгоритм автоматичного керування вентиляцією реалізовано відповідно до оптимальних умов утримання бджолиної сім'ї.

Якщо температура нижча за 34 °C, вентиляційні отвори залишаються закритими. При підвищенні температури понад 36 °C заслінки відкриваються на 50 %. Якщо температура перевищує 38 °C, сервоприводи відкривають вентиляцію повністю. Додатково контролюється відносна вологість повітря. При перевищенні рівня 75 % вентиляція відкривається незалежно від температури для покращення повітрообміну.

Для уникнення частих перемикань використовується гістерезис. Після відкриття вентиляції її закриття відбувається лише після зниження температури нижче 34 °C та вологості нижче 70 %.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

3. Блок передачі та відображення даних (ESP32)

ESP32 виконує функцію шлюзу між системою моніторингу та хмарною платформою Blynk IoT.

Після отримання пакета від STM32 через інтерфейс RS-485 контролер виконує його обробку та передає отримані значення до мобільного застосунку.

У Blynk IoT відображаються такі параметри:

- температура повітря у вулику;
- відносна вологість;
- положення першої вентиляційної заслінки;
- положення другої вентиляційної заслінки.

Крім режиму моніторингу користувач має можливість дистанційного керування сервоприводами. Команди, сформовані у мобільному застосунку, передаються на ESP32, після чого через RS-485 надсилаються до STM32 для виконання.

Для ручного керування передбачений окремий режим роботи, який може бути активований через мобільний застосунок. У цьому випадку автоматичний алгоритм регулювання тимчасово вимикається, а положення сервоприводів визначається командами користувача.

Повний текст програмного забезпечення з детальними коментарями наведено у Додатку А та Додатку Б.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою

Розроблена система автоматичного контролю мікроклімату у вулику призначена для автоматичного моніторингу температури та вологості, а також керування вентиляцією за допомогою сервоприводів. Система забезпечує передачу даних у мобільний застосунок через Wi-Fi мережу та може працювати автономно від акумуляторного живлення.

Підготовка пристрою до роботи

Перед початком експлуатації необхідно:

- перевірити цілісність корпусу та з'єднувальних проводів;
- переконатися у правильності підключення акумуляторного блоку;
- перевірити надійність з'єднання датчика SHT30, модулів MAX485 та сервоприводів;
- встановити систему у захищене від прямого потрапляння води місце;
- переконатися у достатньому рівні заряду акумулятора.

Після подачі живлення система автоматично запускає ініціалізацію мікроконтролерів STM32 та ESP32. Після завершення запуску виконується підключення до Wi-Fi мережі та сервера Blynk IoT.

Порядок роботи пристрою

Після запуску система працює в автоматичному режимі та виконує:

- постійне зчитування температури та вологості;
- передачу даних через RS-485;
- обробку інформації центральним контролером ESP32;
- передачу параметрів у мобільний застосунок;
- автоматичне керування вентиляцією.

Якщо температура всередині вулика перевищує встановлене значення, сервопривід MG90S відкриває вентиляційні отвори. Після нормалізації температури вентиляція автоматично закривається.

Користувач може контролювати:

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- температуру;
- вологість;
- стан вентиляції;
- заряд акумулятора;
- аварійні повідомлення.

Уся інформація відображається у мобільному застосунку Blynk IoT.

Правила безпечної експлуатації

Під час використання системи необхідно дотримуватись таких вимог:

- не допускати короткого замикання акумуляторів;
- не використовувати пошкоджені Li-ion елементи;
- не експлуатувати пристрій без герметичного корпусу;
- уникати потрапляння води на друковані плати;
- не перевищувати допустиму напругу живлення модулів;
- не допускати механічного пошкодження сервоприводів та датчиків.

Під час обслуговування або ремонту системи необхідно повністю відключати живлення.

Технічне обслуговування

Для забезпечення стабільної роботи системи рекомендується:

- періодично перевіряти стан акумулятора;
- контролювати відсутність окислення контактів;
- очищати вентиляційні отвори від пилу та забруднень;
- перевіряти працездатність сервоприводів;
- контролювати стабільність передачі даних через RS-485.

Періодичність профілактичного огляду рекомендується не рідше одного разу на місяць.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

3.2 Розробка методики перевірки функціонування електронного пристрою

Методика перевірки призначена для контролю працездатності системи автоматичного контролю мікроклімату у вулику та підтвердження правильності роботи всіх функціональних вузлів.

Перевірка системи живлення

Перед початком тестування необхідно:

- перевірити рівень заряду акумуляторного блока;
- виміряти вихідну напругу LM2596;
- переконатися у відсутності перегріву компонентів;
- перевірити правильність полярності підключення.

Допустимі значення:

- живлення STM32 та ESP32 — 3.3 В;
- живлення сервоприводів — 5 В;
- допустиме відхилення напруги — не більше $\pm 5\%$.

Перевірка роботи датчика SHT30

Для перевірки датчика необхідно:

1. Увімкнути систему.
2. Дочекатися завершення ініціалізації.
3. Перевірити наявність показників температури та вологості у застосунку.
4. Порівняти показники із контрольним термометром та гігрометром.

Допустима похибка:

- температура — $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вологість — $\pm 2\% \text{ RH}$.

Перевірка зв'язку RS-485

Перевірка виконується у такій послідовності:

1. Підключити STM32 та ESP32 через MAX485.
2. Передати тестовий пакет даних.
3. Перевірити правильність прийому даних ESP32.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

4. Переконатися у відсутності помилок передачі.

У разі відсутності зв'язку необхідно:

- перевірити підключення А/В ліній;
- перевірити спільне підключення GND;
- перевірити термінуючі резистори 120 Ω .

Перевірка роботи сервоприводів

Для перевірки вентиляції необхідно:

1. Примусово підняти температуру чи вологість у пусьтому вулику.
2. Переконатися у повороті сервопривода.
3. Перевірити повернення заслінки після нормалізації температури.

Сервопривід повинен:

- працювати без ривків;
- не створювати сторонніх звуків;
- виконувати повний кут повороту.

Перевірка мобільного застосунку

Необхідно перевірити:

- підключення ESP32 до Wi-Fi;
- передачу даних у Blynk IoT;
- відображення температури та вологості;
- роботу push-повідомлень;
- оновлення даних у реальному часі.

Комплексне тестування системи

Комплексна перевірка включає:

- тестування всіх модулів одночасно;
- імітацію підвищення температури;
- перевірку роботи вентиляції;
- перевірку стабільності передачі даних;
- перевірку автономної роботи від акумулятора.

Система вважається працездатною, якщо:

- усі модулі працюють стабільно;

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- передача даних відбувається без помилок;
- вентиляція спрацьовує автоматично;
- параметри коректно відображаються у мобільному застосунку.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Метою економічної частини кваліфікаційної роботи є здійснення економічних розрахунків, спрямованих на визначення собівартості, кінцевої комерційної ціни та загальної економічної ефективності розробки готового автономного продукту — «Системи автоматичного контролю мікроклімату у вулику» — для його подальшого серійного продажу та індивідуального встановлення.

4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР

Для визначення загальної тривалості проведення науково-дослідної роботи (НДР) з проектування та створення готового пристрою всі етапи технологічного процесу зведено у таблицю. Повний цикл розробки, написання програмного забезпечення, збірки та тестування прототипу виконується безпосередньо одним розробником (інженером-програмістом).

В таблиці 4.1 наведено стадії створення комерційного продукту та витрати часу.

Таблиця 4.1 – Середній час виконання НДР та стадії технологічного процесу

№	Назва операції	Викона вець	Середній час виконання операції, год.
1	2	3	4
1.	Розробка принципової схемотехніки та проектування друкованої плати пристрою	інженер	20

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
2.	Написання та налагодження програмного забезпечення для STM32 та ESP32	інженер	24
3.	Монтаж електронних компонентів, пайка макетної плати та збірка пристрою в корпус	інженер	16
4.	Комплексне тестування готового виробу, калібрування датчиків мікроклімату	інженер	10
Разом			70

Загальний час, витрачений інженером на повну розробку, програмування та підготовку першого зразка пристрою до комерційної реалізації, становить 70 годин.

4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Основна заробітна плата розробника розраховується як добуток годинної тарифної ставки на кількість відпрацьованого часу за формулою 4.1:

$$Z_{\text{осн.}} = T_{\text{с}} \cdot K_{\text{г}} \quad (4.1)$$

де $T_{\text{с}}$ — годинна тарифна ставка інженера, грн/год (прийmemo стандартну ставку — 220 грн/год);

$K_{\text{г}}$ — кількість відпрацьованих годин на виконання робіт (70 год).

$$Z_{\text{осн.}} = 220 \cdot 70 = 15400,00 \text{ грн.}$$

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Додаткова заробітна плата передбачає додаткові виплати та приймається у розмірі 13% від суми основної заробітної плати. Вона обчислюється за формулою 4.2:

$$З_{\text{дод.}} = З_{\text{осн.}} \cdot K_{\text{допл.}} \quad (4.2)$$

де $K_{\text{допл.}}$ — коефіцієнт додаткових виплат працівникам (0,13).

$$З_{\text{дод.}} = 15400 \cdot 0,13 = 2002,00 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на оплату праці ($B_{\text{о.п.}}$) визначаються як сума основної та додаткової заробітної плати за формулою 4.3:

$$B_{\text{о.п.}} = З_{\text{осн.}} + З_{\text{дод.}} \quad (4.3)$$

$$B_{\text{о.п.}} = 15400 + 2002 = 17402,00$$

грн.

Відрахування на соціальні заходи (Єдиний соціальний внесок — ЄСВ) становлять 22% від загального фонду оплати праці.

Сума відрахувань обчислюється за формулою 4.4:

$$B_{\text{с.з.}} = B_{\text{о.п.}} \cdot 0,22 \quad (4.4)$$

$$B_{\text{с.з.}} = 17402 \cdot 0,22 = 3828,44 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки витрат на оплату праці єдиного розробника зведемо у таблицю 4.2.

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 4.2 – Розрахунки витрат на оплату праці розробника

Категорія працівників	Тарифна ставка, грн/год	К-сть відпрац. год.	Основна з/п, грн.	Додаткова з/п, грн.	Нарахування на ФОП (22%), грн.	Всього витрати з нарахув., грн.
Інженер-розробник	220	70	15400,00	2002,00	-	-
Разом	—	70	15400,00	2002,00	3828,44	21230,44

4.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати містять у собі вартість фізичних комплектуючих, радіодеталей та конструкційних матеріалів, необхідних для повної збірки одного готового виробу. Розрахунок витрат по кожному елементу виконується за формулою 4.5:

$$M_{Bi} = q_i \cdot p_i \quad (4.5)$$

де q_i — кількість витраченого матеріалу чи компоненту i -го виду;

p_i — ціна одиниці компоненту i -го виду.

Загальна сума матеріальних витрат обчислюється за формулою 4.6:

$$Z_{M.B.} = \sum M_{Bi} \quad (4.6)$$

Всі компоненти, що використовуються в системі, та їхні точні поточні ціни наведено у зведеній таблиці 4.3.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 4.3 – Зведені розрахунки матеріальних витрат на компоненти

№ п/п	Назва компоненту / деталі	Одиниці виміру	Кількіст ь	Ціна, грн.	Сума , грн.
1	Сервопривід (Servo)	шт.	2	136,00	272,00
2	Імпульсний понижуючий стабілізатор LM2596	шт.	2	40,00	80,00
3	Екранований кабель 2 жили (довжина 2м)	набір	1	70,00	70,00
4	Модуль інтерфейсу зв'язку MAX485	шт.	2	28,00	56,00
5	Мікроконтролер STM32	шт.	1	49,00	49,00
6	Програматор налагодження ST- Link V2	шт.	1	59,00	59,00
7	Модуль бездротового зв'язку ESP32 Wi-Fi/Bluetooth	шт.	1	119,00	119,00
8	Цифровий датчик температури та вологості SHT30	шт.	1	49,00	49,00
9	Батарейний відсік для 2 x Li-Ion 18650	шт.	1	25,00	25,00
10	Акумулятор Li-Ion 18650	шт.	2	150,00	300,00
11	Макетна плата для монтажу компонентів	шт.	1	27,00	27,00
12	Коробка розподільна (захисний корпус пристрою)	шт.	1	100,00	100,00
13	Набір фіксованих резисторів	набір	1	100,00	100,00
Разом матеріальних витрат					1306,00

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Загальна фіксована сума матеріальних витрат на повну комплектацію одного пристрою становить 1306,00 грн.

4.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Затрати на спожиту електроенергію комп'ютерного та вимірювально-паяльного обладнання під час активної розробки та збірки системи визначаються за формулою 4.7:

$$Z_e = W \cdot T \cdot S \quad (4.7)$$

де W — загальна сумарна потужність обладнання (робоча станція інженера + імпульсна паяльна станція) = 0,4 кВт;
 T — чистий час активного використання обладнання (прийmemo за 50 годин із загальних 70);
 S — стандартний діючий тариф на електроенергію в Україні = 15,94 грн за 1 кВт·год.

$$Z_e = 0,4 \cdot 50 \cdot 15,94 = 318,80 \text{ грн.}$$

4.5 Визначення транспортних затрат

Транспортні витрати на доставку радіоелектронних компонентів та корпусів логістичними компаніями прогнозуються та закладаються у розмірі 10% від загальної суми прямих матеріальних затрат за формулою 4.8:

$$T_B = Z_{\text{м.в.}} \cdot 0,10 \quad (4.8)$$

$$T_B = 1306,00 \cdot 0,10 = 130,60 \text{ грн.}$$

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Амортизація комп'ютерної техніки та спеціалізованого лабораторного інструменту розробника розраховується лінійним методом відповідно до часу використання обладнання за формулою 4.9:

$$A = \frac{B_B \cdot H_a}{150} \cdot T \quad (4.9)$$

де B_B — початкова балансова вартість використовуваного лабораторного обладнання та ПК (30000 грн);

H_a — норма амортизаційних відрахувань (0,04);

T — час безпосереднього використання техніки під час розробки даного проєкту (50 год).

$$- A = \frac{30000 \cdot 0,04}{150} \cdot 50 = 400,00 \text{ грн.}$$

4.7 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати (витрати на організацію робочого місця, дрібний інструмент, знос паяльного жала, витратні матеріали, такі як припій, каніфоль, флюс та ізоляційні матеріали) приймаються у розмірі 30% від суми загальних витрат на оплату праці розробника за формулою 4.10:

$$H_B = B_{\text{о.п.}} \cdot 0,3 \quad (4.10)$$

$$H_B = 17402,00 \cdot 0,3 = 5220,60 \text{ грн.}$$

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Повна виробнича собівартість (C_B) розробки та виготовлення першого повноцінного робочого прототипу системи розраховується як сума всіх попередніх статей витрат за формулою 4.11:

$$C_B = B_{\text{о.п.}} + B_{\text{с.з.}} + Z_{\text{м.в.}} + Z_e + T_B + A + H_B \quad (4.11)$$

Зведемо всі елементи виконаних економічних розрахунків у підсумковий кошторис витрат проєкту.

У таблиці 4.4 наведено підсумковий кошторис витрат розробки системи

Таблиця 4.4 – Підсумковий кошторис витрат розробки системи

Зміст статей витрат	Сума витрат, грн.	В % до загальної суми
Витрати на оплату праці розробника (основна і додаткова з/п)	17402,00	61,33
Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ 22%)	3828,44	13,5
Матеріальні витрати (фіксована вартість деталей)	1306,00	4,6
Витрати на спожиту електроенергію обладнанням	318,80	0,3
Транспортні витрати (доставка радіодеталей)	130,60	0,46
Амортизаційні відрахування обладнання	400,00	1,4
Накладні витрати виробництва	5220,60	18,4
Собівартість повної первинної розробки (прототипу)	28374,04	100

4.9 Розрахунок комерційної ціни продукту

Визначимо розрахункову вартість проєкту з урахуванням планового рівня рентабельності розробника $P_{рен} = 30\%$ та податку на додану вартість ПДВ = 20% за формулою 4.12:

$$Ц = C_B \cdot (1 + P_{рен}) \cdot (1 + \text{ПДВ}) \quad (4.12)$$

$$Ц = 28374,04 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 44263,50 \text{ грн.}$$

4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Для визначення ефективності продукту розраховують чисту теперішню вартість (ЧТВ) і термін окупності (ТОК).

$$\text{ЧТВ} = -K_B + \sum_{i=1}^t \frac{\Gamma_B}{(1+i)^t} \geq 0, \quad (4.13)$$

де K_B – затрати на проєкт;

Γ_B – грошовий потік за t -ий рік;

t - відповідний рік проєкту;

i – величина дисконтної ставки (10-15%).

$$\text{ЧТВ} = -28374,04 + \frac{15889,46}{1 + 0,1} + \frac{15889,46}{(1 + 0,1)^2} + \frac{15889,46}{(1 + 0,1)^3} = 11140,7 \text{ грн}$$

Якщо $\text{ЧТВ} \geq 0$, то проєкт може бути рекомендований до впровадження.

Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{OK} = T_{ПВ} + \frac{H_B}{\Gamma_{пр}} \quad (4.14)$$

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $T_{ПВ}$ – період до повного відшкодування витрат, років;

H_B – невідшкодовані витрати на початок року, грн.;

$G_{ПР}$ – грошовий потік на початку року, грн..

Отже, за формулою (3.14), термін окупності:

$$T_{OK} = 2 + \frac{797,29}{15889,46} = 2,1$$

Всі дані внесемо в зведену таблицю 4.5 економічних показників.

Таблиця 4.5 – Головні техніко-економічні показники проєкту

№п/п	Показник	Значення
1.	Собівартість, грн.	28374,04
2.	Плановий прибуток, грн.	15889,46
3.	Ціна, грн.	44263,50
4.	Чиста теперішня вартість	11140,7
5.	Термін окупності, рік	2,1

Висновок: Розроблена система автоматичного контролю мікроклімату є високорентабельним комерційним продуктом. За низької фіксованої собівартості апаратних компонентів (1306,00 грн), готовий виріб має високу додану вартість завдяки програмному забезпеченню для STM32 та ESP32. Продукт є повністю автономним, легко монтується та встановлюється однією людиною без попереднього дослідження локацій, та повністю окупається пасічником менш ніж за один бджолярний сезон експлуатації.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

5.1 Технічні заходи електробезпеки при тестуванні та монтажі низьковольтних мікроконтролерів під час польових випробувань системи

Під час розробки, монтажу та тестування системи автоматичного контролю мікроклімату у вулику використовуються низьковольтні електронні компоненти, які живляться від акумуляторного блока на основі Li-ion елементів 18650. Незважаючи на відносно невелику напругу живлення (3.3–12 В), під час роботи з електронними схемами існує небезпека короткого замикання, перегріву провідників, пошкодження мікроконтролерів та акумуляторів.

Основними джерелами потенційної небезпеки у системі є:

- акумуляторний блок Li-ion 18650;
- DC-DC перетворювачі LM2596;
- провідники та місця пайки;
- сервоприводи MG90SF, які можуть створювати короточасні стрибки струму;
- неправильне підключення полярності живлення.

Для забезпечення електробезпеки необхідно виконувати такі технічні заходи:

- монтаж і пайку елементів виконувати лише при повністю відключеному живленні;
- перед подачею напруги перевіряти правильність підключення проводів та полярності живлення;
- використовувати якісну ізоляцію провідників та термоусадкові трубки у місцях з'єднань;
- не допускати контакту оголених провідників із металевими або вологими поверхнями;

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- використовувати BMS-модуль для захисту акумуляторного блока від короткого замикання, перезаряду та глибокого розряду;
- встановлювати запобіжники або обмеження струму у колі живлення акумулятора;
- уникати механічного пошкодження Li-ion елементів;
- не допускати перегріву електронних компонентів під час тривалої роботи;
- виконувати польові випробування лише у сухих погодних умовах або використовувати герметичний корпус.

Під час роботи системи у вулику важливим фактором є підвищена вологість. Через це необхідно забезпечити надійний захист друкованих плат та контактів від конденсату й потрапляння вологи. Для цього рекомендується використовувати герметичні корпуси та додаткове покриття плат захисним лаком.

Оскільки система працює від акумуляторного живлення, ризик ураження людини електричним струмом значно менший порівняно з мережевими пристроями 220 В, однак небезпека перегріву та пошкодження електронних компонентів при короткому замиканні залишається актуальною.

5.2 Оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови. Способи їх контролю

Надійність роботи мікропроцесорної системи значною мірою залежить від умов навколишнього середовища. Електронні компоненти, датчики та акумулятори мають допустимі температурні режими експлуатації, перевищення яких може призвести до нестабільної роботи або виходу системи з ладу.

Для стабільної роботи системи рекомендуються такі параметри мікроклімату:

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- температура навколишнього середовища: від 0 °С до +40 °С;
- допустима температура роботи окремих компонентів: до +60 °С;
- відносна вологість повітря: 40–80 % без утворення конденсату;
- відсутність прямого потрапляння води та пилу на електронні компоненти.

Основними негативними факторами для системи є:

- перегрів мікроконтролерів та DC-DC перетворювачів;
- висока вологість усередині вулика;
- утворення конденсату;
- різкі перепади температур;
- забруднення пилом або воском.

Контроль мікрокліматичних параметрів у системі здійснюється за допомогою цифрового датчика SHT30, який постійно вимірює температуру та вологість усередині вулика. Дані з датчика надходять до STM32, після чого передаються до ESP32 для обробки та відображення у мобільному застосунку.

У разі перевищення допустимої температури мікроконтролер автоматично активує сервоприводи MG90S, які відкривають вентиляційні отвори для покращення циркуляції повітря. Після нормалізації температури вентиляційні елементи повертаються у початкове положення.

Для додаткового захисту системи рекомендується:

- використовувати герметичний корпус із вентиляційними отворами;
- встановлювати електроніку у верхній частині конструкції, де менша ймовірність накопичення вологи;
- забезпечити природну вентиляцію корпусу;
- уникати прямого впливу сонячного випромінювання на електронні модулі.

Постійний контроль температури та вологості дозволяє не лише забезпечити стабільну роботу електроніки, а й підтримувати оптимальні умови для життєдіяльності бджіл.

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

5.3 Пожежна безпека при застосуванні електронних компонентів керування в дерев'яних конструкціях

Оскільки система встановлюється всередині або поблизу дерев'яного вулика, важливим аспектом є забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації електронних компонентів.

Основними джерелами потенційної пожежної небезпеки є:

- акумулятори Li-ion 18650;
- короткі замикання у проводці;
- перегрів DC-DC перетворювачів LM2596;
- пошкодження ізоляції провідників;
- надмірне навантаження на електронні компоненти.

Для підвищення пожежної безпеки необхідно:

- використовувати провідники з достатнім перерізом;
- надійно ізолювати місця пайки;
- уникати контакту електронних компонентів із дерев'яними поверхнями без ізоляційних прокладок;
- не перевищувати допустимий струм навантаження LM2596;
- забезпечити охолодження компонентів із підвищеним тепловиділенням;
- використовувати герметичний або термостійкий корпус для електроніки;
- регулярно перевіряти стан акумуляторів та проводки.

Особливу увагу слід приділити захисту від коротких замикань у польових умовах, оскільки волога, металеві елементи або пошкодження ізоляції можуть спричинити перегрів провідників.

Для зменшення ризику займання рекомендується:

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- встановлювати систему на безпечній відстані від легкозаймистих матеріалів;
- не залишати пошкоджені акумулятори у системі;
- проводити періодичний огляд електронних компонентів;
- використовувати тільки справні та сертифіковані модулі живлення.

Дотримання вимог пожежної безпеки дозволяє забезпечити надійну та довготривалу роботу системи у дерев'яних конструкціях без ризику виникнення займання.

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було розроблено систему автоматичного контролю мікроклімату у вулику, призначену для моніторингу температури та вологості повітря, а також автоматичного керування вентиляційними заслінками з метою підтримання оптимальних умов для життєдіяльності бджолої сім'ї.

У загальній частині кваліфікаційної роботи було проведено обґрунтування актуальності теми, розглянуто особливості підтримання мікроклімату у бджолиних вуликах та виконано аналіз існуючих технічних рішень для автоматизації процесів контролю температури і вологості.

У спеціальній частині було виконано аналіз технічного завдання, здійснено вибір та обґрунтування елементної бази, розроблено структурну та функціональну схеми пристрою, алгоритм роботи системи, а також програмне забезпечення для мікроконтролерів STM32F103C8T6 та ESP32 DevKit V1. Реалізовано збір даних із датчика температури та вологості SHT30, передачу інформації між контролерами через інтерфейс RS-485 із використанням модулів MAX485 та дистанційний моніторинг параметрів за допомогою платформи Blynk IoT. Також розроблено інструкцію з експлуатації пристрою та методику перевірки його працездатності.

Економічна частина кваліфікаційної роботи містить розрахунок матеріальних витрат, витрат на електроенергію, амортизаційних відрахувань, накладних витрат, собівартості та економічної ефективності розробки. Проведені розрахунки підтвердили економічну доцільність впровадження розробленої системи.

У розділі «Охорона праці та безпека життєдіяльності» розглянуто технічні заходи електробезпеки під час монтажу та тестування низьковольтних мікроконтролерних систем, оптимальні та допустимі параметри мікроклімату робочого місця, а також питання пожежної безпеки

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

при використанні електронних компонентів у дерев'яних конструкціях вуликів.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було набуто практичних навичок розробки мікроконтролерних систем, створення електричних схем, програмування мовою C++ у середовищі Arduino IDE, роботи з цифровими датчиками, сервоприводами, інтерфейсом RS-485 та хмарними IoT-сервісами. Розроблена система може бути використана для автоматизації процесів контролю мікроклімату на пасіках та сприяти підвищенню ефективності бджільництва.

					2026.КВР.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Курс на eguru: <https://eguru1.tk.te.ua/course/view.php?id=333> (дата звернення: 07.06.2026).
2. ApisProtect: <https://agrostartup.pp.ua/agrostartups/apisprotect-prystroyi-dlya-zbilshennya-produktyvnosti-bdzhil> (дата звернення: 07.06.2026).
3. IntelliBeeHive: <https://bee.utrgv.edu/> (дата звернення: 07.06.2026).
4. BroodMinder: https://eu.broodminder.com/?srsltid=AfmBOoodt6JZ9iSX5KB7Lr-AGga9Dx_1WPYwSVrISBFIsyJsViVlZly (дата звернення: 07.06.2026).
5. STM32: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/stm32f103c8t6-board> (дата звернення: 08.06.2026).
6. ESP32: <https://arduino.ua/prod3990-wi-fi-modyl-devkit-v1-s-esp-32?srsltid=AfmBOorY2cGpr3wPED1ItsvuFjiZhRRw5OqNuNyoFCzxyAMJOtm5qPde> (дата звернення: 08.06.2026).
7. SHT30: <https://arduino.ua/prod4497-datchik-temperatyri-i-vlajnosti-sht30-i2c?srsltid=AfmBOorhUItCXjztVOjS7B38y2SryOk0FJEI3snvNpejs3Syv2ekKsHx> (дата звернення: 08.06.2026).
8. MG90S: <https://arduino.ua/prod7439-servoprivid-mg90s-micro-180?srsltid=AfmBOop87dlFshaV1nNpoKHxVQLGIe9fYHsW632DwSte2WSe4nEJfY-D> (дата звернення: 08.06.2026).
9. MAX485: <https://arduino.ua/prod1343-interfeisnii-modyl-max485-uart-rs485?srsltid=AfmBOorT-AU5p0DK2hzZsDQTocP1Q3ugEfDQyJYfIXqQ8eqq90mN1Ea8> (дата звернення: 08.06.2026).
10. LM2596: https://arduino.ua/prod650-dc-dc-ponijyuchii-konverter-lm2596-z-4-5-40v-do-3-35v?srsltid=AfmBOorv6BJ1lmK6JSquNfr_vx8BmqdqBcbEpbqcnSKy583NOFLuVMrl (дата звернення: 08.06.2026).
11. Blynk.Io: <https://www.blynk.io/> (дата звернення: 08.06.2026).

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

12. Курс з БЖД: <https://eguru1.tk.te.ua/course/view.php?id=1560> (дата звернення: 09.06.2026).
13. Техніка безпеки при електромонтажних роботах:
<https://studfile.net/preview/5247179/page:4/> (дата звернення: 09.06.2026).
14. LM2596 DC-DC перетворювач (datasheet та рекомендації щодо теплового режиму та навантаження): https://signal.net.ua/product/doc/device/lm2596_dc-dc.pdf (дата звернення: 09.06.2026).
15. Закон України «Про оплату праці» від 24.03.1995 р:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/108/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 09.06.2026).
16. Податковий кодекс України від 02.12.2010 р:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (дата звернення: 09.06.2026)
17. Постанова Кабінету Міністрів України «Про встановлення тарифів на електроенергію для населення»: <https://zakon.rada.gov.ua/> (дата звернення: 09.06.2026).
18. Монтаж електроніки — курс з техніки безпеки пайки та монтажу:
<https://prykhystok.gov.ua/courses/montazh-elektroniky> (дата звернення: 09.06.2026).
19. Загальні норми електробезпеки в Україні (ДСТУ, НАПБ):
<https://euroservis.com.ua/ua/bezopasnost-v-elektroenergetike/> (дата звернення: 09.06.2026).
20. Температура та вологість у вулику: детальний матеріал для бджолярів:
<https://bee.in.ua/temperatura-i-vlazhnost-v-ulie> (дата звернення: 09.06.2026).
21. Вплив температури на бджіл (наукова стаття):
http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/9436/1/Pasica_2018_8_12-13.pdf (дата звернення: 09.06.2026).
22. Оптимальні умови для бджолиних сімей (температура 32–35 °С, вологість):
<https://vashapasika.com.ua/zimivlja-bdzhil-u-primischenni/> та інші матеріали на бєє-форумах і сайтах українських пасічників. (дата звернення: 09.06.2026).

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

- 23.Безпека літій-іонних акумуляторів — протипожежні правила: <https://es-101.com/ua/lytyi-yonnye-akkumulatory-protyvopozharnaia-bezopasnost-y-pravy-la-khranenyia-v-sovremennykh-uslovyakh/> (дата звернення: 09.06.2026).
- 24.Пожежна безпека у побуті (рекомендації ДСНС щодо Li-ion): <https://bozhedarivska-selrada.gov.ua/news/1772522198/> (дата звернення: 09.06.2026).
- 25.Рекомендації ДСНС щодо акумуляторів: <https://kr.dsns.gov.ua/news/ostanni-novini/rekomendaciyi-shhodo-bezpeki-pri-vikoristanni-invertoriv-zariadnix-stancii-ta-akumulatoriv> (дата звернення: 09.06.2026).
- 26.Безпека праці при експлуатації акумуляторних систем: <https://oppb.com.ua/news/bezpeka-pratsi-pid-chas-ekspluatatsiyi-akumulyatornyh-system-zhyvlennya-u-prymishhennyah> (дата звернення: 09.06.2026).
- 27.ArduinoISE: <https://www.arduino.cc/en/software/> (дата звернення: 10.06.2026).

					2026.КВР.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ДОДАТКИ

Додаток А. Код STM32

```
#include <Wire.h>
#include <Servo.h>

#define SHT30_I2C_ADDR 0x44
#define SERVO_PIN PA1
#define RS485_DE_RE PA8
#define RS485Serial Serial1

#define SERVO_FWD 2000
#define SERVO_REV 1000
#define SERVO_STOP_US 1500
#define ROTATIONS_MS 36000UL

#define TEMP_CRITICAL 34.0f
#define TEMP_VENT_LOW 36.0f
#define HUM_HIGH 75.0f
#define HUM_NORMAL 70.0f

enum ServoState : uint8_t {
    ST_IDLE,
    ST_FWD_RUN,
    ST_WAIT_COOL,
    ST_REV_RUN
};

Servo servo1;
ServoState servoState = ST_IDLE;
unsigned long servoStartMs = 0;

float g_temp = 0.0f;
float g_hum = 0.0f;

unsigned long tmSensor = 0;
unsigned long tmSend = 0;
unsigned long tmCmd = 0;
const unsigned long T_SENSOR = 2000UL;
const unsigned long T_SEND = 2000UL;
const unsigned long T_CMD = 50UL;

bool manualMode = false;
String rxBuf = "";

// =====
void setup() {
```

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

```

Serial.begin(115200);

pinMode(PC13, OUTPUT);
digitalWrite(PC13, HIGH); // LED off

RS485Serial.begin(9600);
pinMode(RS485_DE_RE, OUTPUT);
digitalWrite(RS485_DE_RE, LOW);

// Start I2C
Wire.begin();
Wire.setClock(100000);

// Check if sensor is alive on boot
Wire.beginTransmission(SHT30_I2C_ADDR);
if (Wire.endTransmission() != 0) {
    while (true) { // Fast blink if sensor missing
        digitalWrite(PC13, LOW); delay(100);
        digitalWrite(PC13, HIGH); delay(100);
    }
}

// _____
//  STARTUP SERVO CHECKOUT ROUTINE
//  _____

servo1.attach(SERVO_PIN);

// 1. Test Forward Movement
servo1.writeMicroseconds(SERVO_FWD);
digitalWrite(PC13, LOW); // Turn LED on during test
delay(1500);

// 2. Test Reverse Movement
servo1.writeMicroseconds(SERVO_REV);
delay(1500);

// 3. Force Stop
servo1.writeMicroseconds(SERVO_STOP_US);
digitalWrite(PC13, HIGH); // Turn LED off
//  _____

rxBuf.reserve(64);
Serial.println(F("STM32 Core Ready. Checkout Complete."));
}

// =====
void loop() {
    unsigned long now = millis();

    // Heartbeat (Slow blink means code is running successfully)

```

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

```

static unsigned long tmHeartbeat = 0;
if (now - tmHeartbeat >= 1000UL) {
    tmHeartbeat = now;
    digitalWrite(PC13, !digitalRead(PC13));
}

// Poll sensor
if (now - tmSensor >= T_SENSOR) {
    tmSensor = now;
    readSHT30_Direct();
}

// Send data over RS-485
if (now - tmSend >= T_SEND) {
    tmSend = now;
    sendRS485();
}

// Process incoming manual commands
if (now - tmCmd >= T_CMD) {
    tmCmd = now;
    processIncomingCommands();
}

if (!manualMode) {
    updateServos();
}
}

// _____
// Direct register parsing to bypass STM32 Silicon Bug
// _____
void readSHT30_Direct() {
    Wire.beginTransmission(SHT30_I2C_ADDR);
    Wire.write(0x24);
    Wire.write(0x00);
    if (Wire.endTransmission() != 0) return;

    delay(20);

    if (Wire.requestFrom(SHT30_I2C_ADDR, 6) == 6) {
        uint8_t t_msb = Wire.read();
        uint8_t t_lsb = Wire.read();
        Wire.read(); // Skip Temp CRC

        uint8_t h_msb = Wire.read();
        uint8_t h_lsb = Wire.read();
        Wire.read(); // Skip corrupted Hum CRC

        uint16_t rawTemperature = (t_msb << 8) | t_lsb;
    }
}

```

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

```

uint16_t rawHumidity  = (h_msb << 8) | h_lsb;

g_temp = -45.0f + 175.0f * ((float)rawTemperature / 65535.0f);
g_hum  = 100.0f * ((float)rawHumidity / 65535.0f);
}
}

void updateServos() {
    bool ventNeeded = (g_temp >= TEMP_VENT_LOW) || (g_hum > HUM_HIGH);
    bool cooldownMet = (g_temp < TEMP_CRITICAL) && (g_hum < HUM_NORMAL);
    unsigned long now = millis();

    switch (servoState) {
        case ST_IDLE:
            if (ventNeeded) {
                servo1.writeMicroseconds(SERVO_FWD);
                servoStartMs = now;
                servoState = ST_FWD_RUN;
            }
            break;
        case ST_FWD_RUN:
            if (now - servoStartMs >= ROTATIONS_MS) {
                servo1.writeMicroseconds(SERVO_STOP_US);
                servoState = ST_WAIT_COOL;
            }
            break;
        case ST_WAIT_COOL:
            if (!ventNeeded && cooldownMet) {
                servo1.writeMicroseconds(SERVO_REV);
                servoStartMs = now;
                servoState = ST_REV_RUN;
            }
            break;
        case ST_REV_RUN:
            if (now - servoStartMs >= ROTATIONS_MS) {
                servo1.writeMicroseconds(SERVO_STOP_US);
                servoState = ST_IDLE;
            }
            break;
    }
}

void sendRS485() {
    String pkt = "TEMP:" + String(g_temp, 1) +
                ",HUM:" + String(g_hum, 1) +
                ",S1:" + stateStr(servoState) + "\n";

    digitalWrite(RS485_DE_RE, HIGH);
    delayMicroseconds(50);
    RS485Serial.print(pkt);
}

```

```

RS485Serial.flush();
delayMicroseconds(50);
digitalWrite(RS485_DE_RE, LOW);
}

const char* stateStr(ServoState s) {
    switch (s) {
        case ST_IDLE:    return "STOP";
        case ST_FWD_RUN: return "FWD";
        case ST_WAIT_COOL: return "WAIT";
        case ST_REV_RUN: return "REV";
        default:         return "UNK";
    }
}

void processIncomingCommands() {
    while (RS485Serial.available()) {
        char c = (char)RS485Serial.read();
        if (c == '\n') {
            rxBuf.trim();
            if (rxBuf.length() > 0) applyCommand(rxBuf);
            rxBuf = "";
        } else if (c != '\r') {
            rxBuf += c;
            if (rxBuf.length() > 64) rxBuf = "";
        }
    }
}

void applyCommand(const String &cmd) {
    if (cmd.startsWith("AUTO")) {
        manualMode = false;
        servoState = ST_IDLE;
        servo1.writeMicroseconds(SERVO_STOP_US);
        return;
    }
    if (cmd.startsWith("MANUAL")) {
        manualMode = true;
        int i1 = cmd.indexOf("S1:");
        if (i1 >= 0) {
            String v = cmd.substring(i1 + 3, i1 + 6);
            servo1.writeMicroseconds(dirMicros(v));
        }
    }
}

int dirMicros(const String &d) {
    if (d == "FWD") return SERVO_FWD;
    if (d == "REV") return SERVO_REV;
    return SERVO_STOP_US;
}

```

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

}

Додаток Б. Код ESP32

```
#include <WiFi.h>

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4_6njUDeY"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "BeeHive"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "qZqh2JS_T5LnQTyDJI09G1R0T8bK1Ic4"

#include <BlynkSimpleEsp32.h>

// =====
// НАЛАШТУВАННЯ
// =====

const char WIFI_SSID[] = "ForBlynk";
const char WIFI_PASS[] = "12345677";

// ----- Blynk Virtual Pins -----
#define VPIN_TEMP    V0
#define VPIN_HUM     V1
#define VPIN_S1_STATUS V2
#define VPIN_S2_STATUS V3
#define VPIN_S1_CTRL  V4
#define VPIN_S2_CTRL  V5
#define VPIN_MANUAL_BTN V6

// ----- RS-485 UART -----
HardwareSerial RS485Serial(2);
#define RS485_RX_PIN 16
#define RS485_TX_PIN 17
#define RS485_DE_PIN 4

// ----- Глобальні дані -----
float g_temperature = 0.0f;
float g_humidity    = 0.0f;
String g_s1Status   = "STOP";
String g_s2Status   = "STOP";

// ----- Ручний режим -----
bool manualMode     = false;
int  manualS1Cmd     = 0;
int  manualS2Cmd     = 0;

// ----- Таймери -----
unsigned long lastBlynkUpdate = 0;
unsigned long lastManualCmd    = 0;
unsigned long lastWiFiCheck    = 0;
unsigned long lastLinkCheck    = 0;
```

					2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

const unsigned long BLYNK_INTERVAL = 2000UL;
const unsigned long MANUAL_INTERVAL = 500UL;
const unsigned long WIFI_CHECK_INTERVAL = 10000UL;
const unsigned long LINK_CHECK_INTERVAL = 5000UL; // Перевірка зв'язку кожні 5 сек

// ----- ДІАГНОСТИКА ЗВ'ЯЗКУ -----
unsigned long lastRxTime = 0; // Час отримання останнього пакету від STM32
bool rs485Alive = false; // Прапорець активного зв'язку

// ----- Буфер прийому -----
String rxBuffer = "";

// =====
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  rxBuffer.reserve(256);

  // Ініціалізація RS-485
  RS485Serial.begin(9600, SERIAL_8N1, RS485_RX_PIN, RS485_TX_PIN);
  pinMode(RS485_DE_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RS485_DE_PIN, LOW);

  // WiFi + Blynk
  Serial.println(F("Підключення до WiFi..."));
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);

  unsigned long wifiStart = millis();
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - wifiStart < 15000UL) {
    delay(500);
    Serial.print('.');
  }

  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    Serial.print(F("\nWiFi підключено, IP: "));
    Serial.println(WiFi.localIP());
  } else {
    Serial.println(F("\nWiFi не підключено — автономний режим"));
  }

  Blynk.config(BLYNK_AUTH_TOKEN);
  Blynk.connect(3000);

  Serial.println(F("ESP32 Beehive Controller запущено"));
  Serial.println(F("[DIAGNOSTIC] Очікування перших даних від STM32..."));
  lastRxTime = millis(); // Точка відліку для ватчдога
}

// =====
void loop() {

```

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

```

unsigned long now = millis();

// WiFi Watchdog
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  if (now - lastWiFiCheck >= WIFI_CHECK_INTERVAL) {
    lastWiFiCheck = now;
    Serial.println(F("WiFi відсутній. Перепідключення..."));
    WiFi.disconnect();
    WiFi.reconnect();
  }
} else {
  Blynk.run();
}

// Читання RS-485
receiveRS485();

// --- БАТЧДОГ ПЕРЕВІРКИ ЗВ'ЯЗКУ RS-485 ---
if (now - lastLinkCheck >= LINK_CHECK_INTERVAL) {
  lastLinkCheck = now;

  // Якщо від STM32 не було даних більше ніж 5 секунд
  if (now - lastRxTime > 5000UL) {
    rs485Alive = false;
    Serial.println(F("\n[ERR] !!! RS-485 CONNECTION DOWN !!!"));
    Serial.println(F("[ERR] Причина: Немає даних від STM32. Перевірте:"));
    Serial.println(F("  1) Чи підключено ESP32 TX(17) -> MAX485 DI?"));
    Serial.println(F("  2) Чи підключено ESP32 RX(16) -> MAX485 RO?"));
    Serial.println(F("  3) Чи не переплутані лінії лінії А та В місцями?"));
    Serial.println(F("  4) Чи прошита та увімкнена плата STM32?"));
  }
}

// Оновлення Blynk
if (now - lastBlynkUpdate >= BLYNK_INTERVAL) {
  lastBlynkUpdate = now;
  updateBlynk();
}

// Ручні команди
if (manualMode && (now - lastManualCmd >= MANUAL_INTERVAL)) {
  lastManualCmd = now;
  sendManualCommand();
}

// =====
void receiveRS485() {
  while (RS485Serial.available()) {
    char c = (char)RS485Serial.read();
  }
}

```

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

```

// Якщо прийшов хоч один байт, оновлюємо таймер життя лінії
lastRxTime = millis();

if (c == '\n') {
    if (rxBuffer.length() > 0) {
        // Якщо раніше зв'язку не було, а зараз пакет прийшов успішно
        if (!rs485Alive) {
            rs485Alive = true;
            Serial.println(F("\n[OK] ---> RS-485 CONNECTION ESTABLISHED! RX/TX IS CORRECT <---"));
        }
        parseData(rxBuffer);
        rxBuffer = "";
    }
} else if (c != '\r') {
    rxBuffer += c;
    if (rxBuffer.length() > 256) rxBuffer = "";
}
}

// =====
void parseData(const String &data) {
    Serial.print(F("RX FROM STM32: ")); Serial.println(data);

    // TEMP
    int tIdx = data.indexOf("TEMP:");
    if (tIdx >= 0) {
        int commaIdx = data.indexOf(',', tIdx);
        String tStr = (commaIdx > 0) ? data.substring(tIdx + 5, commaIdx) : data.substring(tIdx + 5);
        g_temperature = tStr.toFloat();
    }

    // HUM
    int hIdx = data.indexOf("HUM:");
    if (hIdx >= 0) {
        int commaIdx = data.indexOf(',', hIdx);
        String hStr = (commaIdx > 0) ? data.substring(hIdx + 4, commaIdx) : data.substring(hIdx + 4);
        g_humidity = hStr.toFloat();
    }

    // S1
    int s1Idx = data.indexOf("S1:");
    if (s1Idx >= 0) {
        int commaIdx = data.indexOf(',', s1Idx);
        g_s1Status = (commaIdx > 0) ? data.substring(s1Idx + 3, commaIdx) : data.substring(s1Idx + 3);
        g_s1Status.trim();
    }

    // S2

```

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

```

int s2Idx = data.indexOf("S2:");
if (s2Idx >= 0) {
    g_s2Status = data.substring(s2Idx + 3);
    g_s2Status.trim();
}
}

// =====
void updateBlynk() {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED || !Blynk.connected()) return;

    Blynk.virtualWrite(VPIN_TEMP,    g_temperature);
    Blynk.virtualWrite(VPIN_HUM,     g_humidity);
    Blynk.virtualWrite(VPIN_S1_STATUS, g_s1Status);
    Blynk.virtualWrite(VPIN_S2_STATUS, g_s2Status);
}

// =====
void sendManualCommand() {
    String s1Dir = cmdToStr(manualS1Cmd);
    String s2Dir = cmdToStr(manualS2Cmd);
    String cmd = "MANUAL,S1:" + s1Dir + ",S2:" + s2Dir + "\n";

    digitalWrite(RS485_DE_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);

    RS485Serial.print(cmd);
    RS485Serial.flush();

    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(RS485_DE_PIN, LOW);

    Serial.print(F("TX CMD TO STM32: ")); Serial.print(cmd);
}

String cmdToStr(int cmd) {
    switch (cmd) {
        case 1: return "FWD";
        case 2: return "REV";
        default: return "STP";
    }
}

// =====
BLYNK_WRITE(VPIN_MANUAL_BTN) {
    manualMode = (param.asInt() == 1);

    if (!manualMode) {
        digitalWrite(RS485_DE_PIN, HIGH);
        delayMicroseconds(10);
    }
}

```

					2026.KBP.123.406.10.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

```

    RS485Serial.print("AUTO\n");
    RS485Serial.flush();
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(RS485_DE_PIN, LOW);
    Serial.println(F("Режим: AUTO"));
} else {
    Serial.println(F("Режим: MANUAL"));
}
lastManualCmd = 0;
}

BLYNK_WRITE(VPIN_S1_CTRL) {
    manualS1Cmd = param.asInt();
    if (manualMode) lastManualCmd = 0;
}

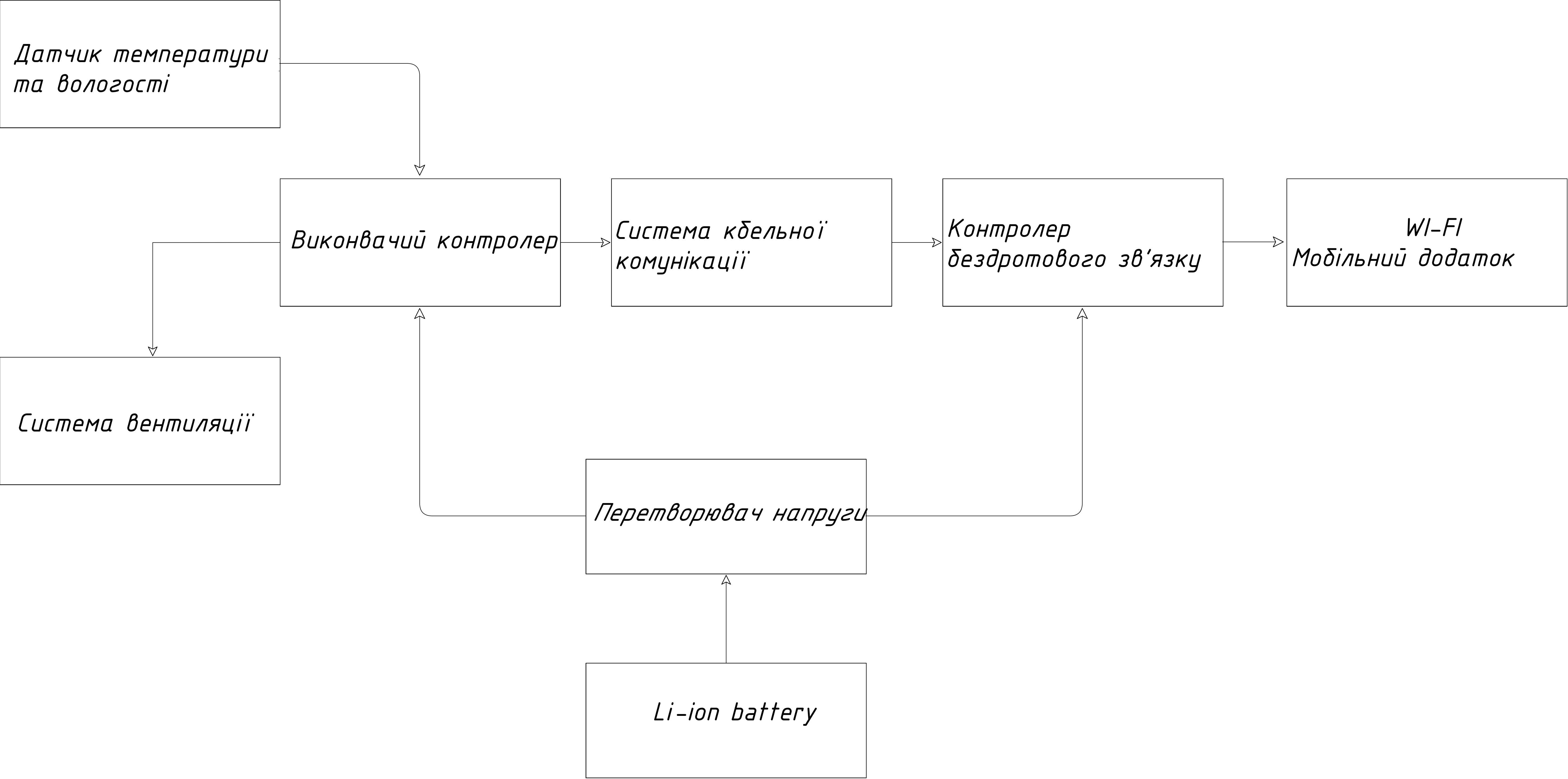
BLYNK_WRITE(VPIN_S2_CTRL) {
    manualS2Cmd = param.asInt();
    if (manualMode) lastManualCmd = 0;
}

BLYNK_CONNECTED() {
    Serial.println(F("Blynk підключено!"));
    Blynk.syncVirtual(VPIN_MANUAL_BTN, VPIN_S1_CTRL, VPIN_S2_CTRL);
}

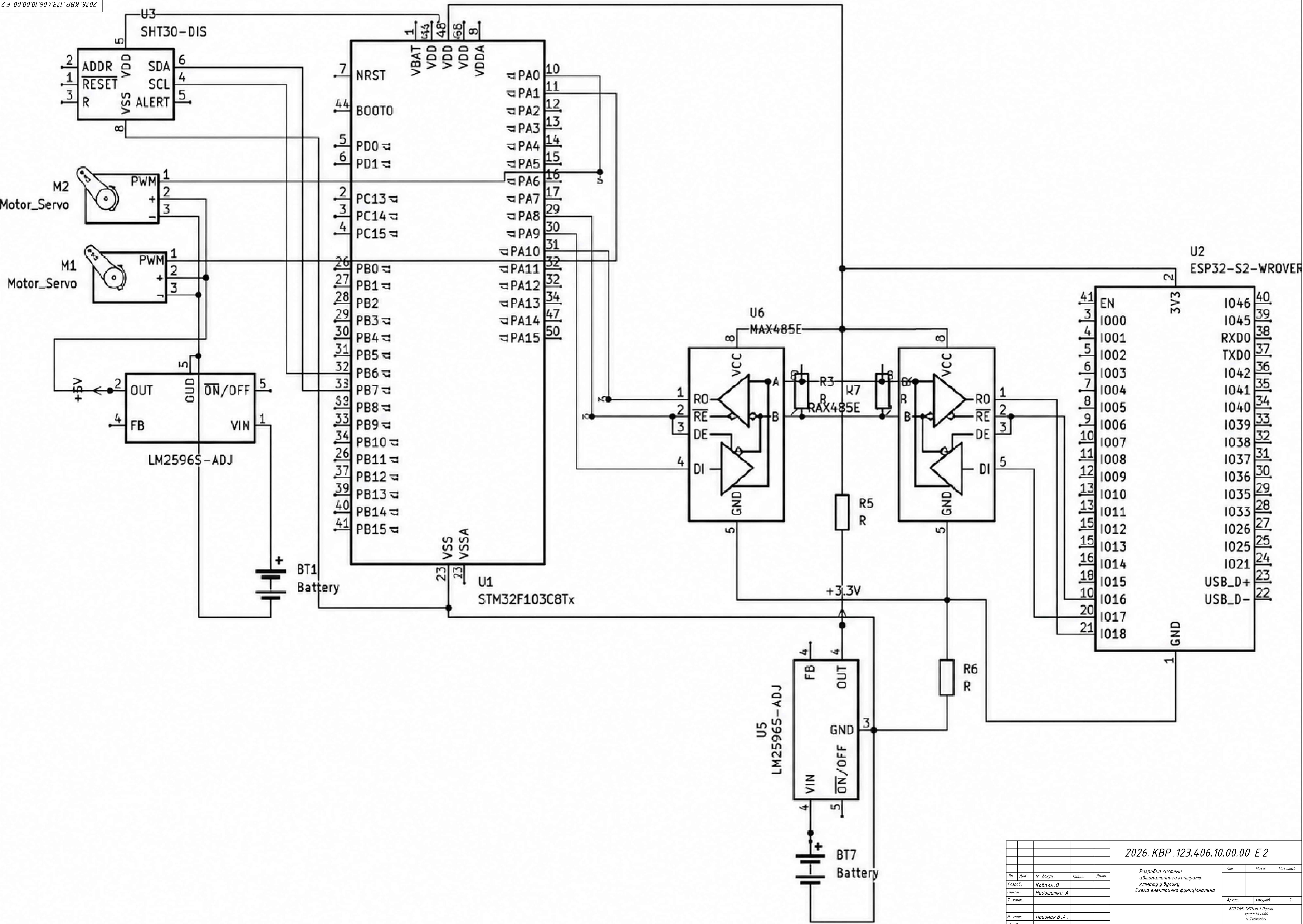
```

					2026.KBP.123.4 06.10.00.00 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

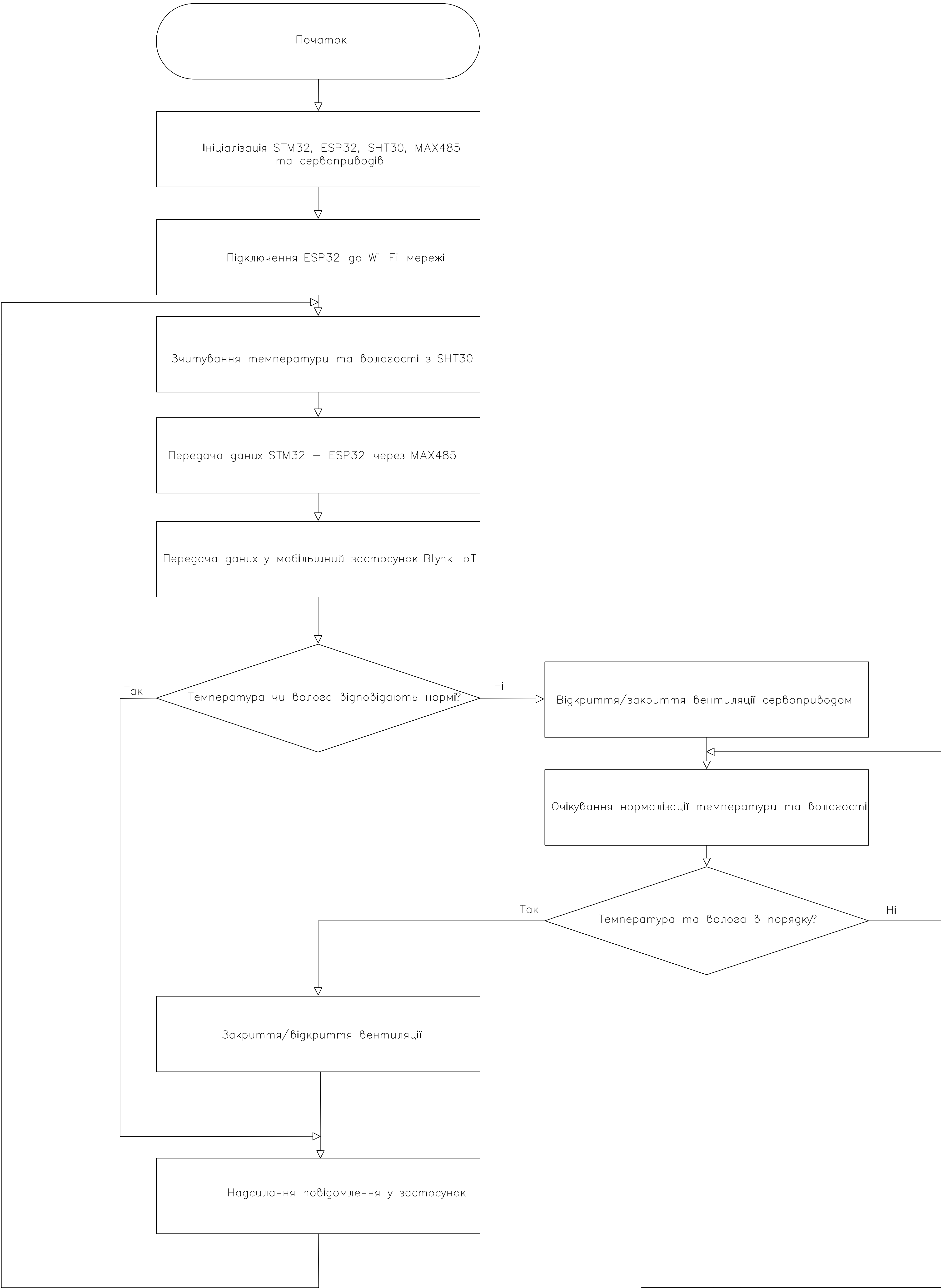
[illegible]



					2026.KBP.123.406.10.00.00 E1				
					Розробка системи автоматичного контролю клімату у вулику	Літ.	Маса	Масштаб	
Зм.	Док.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Коваль О.Р.							
Перевір.		Недошитко А.Г.							
Т. конт.					Схема електрична структурна	Аркуш	Аркушів	1	
Н. конт.		Приймак В.А.				ВСТ Так ТНТУ / м.і. Пулюя група КІ-406 м.Тернопіль			
Затв.									



					2026.KBP.123.406.10.00.00 E.2			
					Розробка системи автоматичного контролю клімату у вулиці. Схема електрична функціональна			
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб	
Розроб.	Коваль О.							
Перев.	Невошито А.				Архив	Архив	1	
Н. конт.	Приймач В. А.				ВСП ГЕО ТНТЗ ім. І. Пулює вул. 81-406 м. Тернопіль			
Затв.								



Таблиця техніко-економічних показників

№	Технічні		№	Економічні		
	Назва показника	Значення		Показник	Одиниці виміру	Значення
1	Мікроконтролер керування	STM32F103C8T6 (ARM Cortex–M3, 72 МГц)	1.	Собівартість	грн.	28374,04
2	Модуль бездротового зв'язку	ESP32 (Wi–Fi 2.4 ГГц)	2.	Плановий прибуток, грн.	грн.	15889,46
3	Датчик температури та вологості	SHT30	3.	Ціна, грн.	грн.	44263,5
4	Інтерфейс дротового зв'язку	RS–485 (MAX485)	4.	Чиста теперішня вартість	грн.	11140,7
5	Виконавчі механізми	2 сервоприводи (PWM–керування)	5.	Термін окупності, рік	грн.	2,1
6	Напруга живлення системи	Від акумуляторної батареї через DC–DC перетворювачі				
7	Вихідна напруга живлення	5 В (STM32, сервоприводи), 3.3 В (ESP32, RS–485)				
8	Інтерфейси керування	Wi–Fi, UART, I ² C, RS–485, PWM				