

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

**фахового молодшого бакалавра**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Розробка системи моніторингу мікрокляму  
серверного приміщення**

Виконав: студент IV курсу, групи КІ-412

Спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Роман ВАНЖУЛА

(ім'я та прізвище)

Керівник

Андрій НЕДОШИТКО

(ім'я та прізвище)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

**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: **Мікропроцесорні ситеми**

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**

**Ванжুলі Роману Володимировичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи: **Розробка системи моніторингу мікроклімату  
серверного приміщення**

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: технічне завдання на проєктування, специфікації Datasheet мікроконтролера ESP32 та датчика DHT22, офіційна документація Telegram Bot API, а також стандарти ДСН 3.3.6.042-99 (мікроклімат) і ДСТУ EN 61140:2015 (електробезпека).

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
- Схема алгоритму роботи
- Функціональна схема
- 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	31.03	
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 проекту	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 )

Роман ВАНЖУЛА

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Андрій НЕДОШИТКО

(ім'я та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Ванжула Р.В. Розробка системи моніторингу мікроклімату серверного приміщення: кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-професійного ступеня фахового молодшого бакалавра, за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія. Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2026. - 85 с.

Метою даної роботи є розробка автономного апаратно-програмного комплексу для цілодобового моніторингу параметрів мікроклімату (температури та вологості) у телекомунікаційних і серверних приміщеннях. У рамках виконання проекту проведено аналіз технічного завдання та існуючих рішень, здійснено вибір сучасної елементної бази на основі мікроконтролера ESP32.

Розроблено структурну та функціональну схеми пристрою. Створено програмне забезпечення з використанням ОС FreeRTOS, реалізовано алгоритм інтерактивного навчання ІЧ-пульта та інтеграцію з Telegram Bot API для дистанційного керування й отримання тривожних сповіщень. Розроблено інструкцію з експлуатації та поетапну методику випробувань комплексу. Окрему увагу приділено економічному обґрунтуванню доцільності розробки, а також дотриманню санітарно-гігієнічних норм, вимог охорони праці та техніки безпеки при роботі поблизу діючого серверного обладнання.

Кваліфікаційна робота містить графічну частину, яка виконана на 4 аркушах формату А3, та пояснювальну записку, яка складається з 85 аркушів, містить 6 таблиць та 38 рисунків.

## ANNOTATION

Vanzhula R.V. Development of a microclimate monitoring system for a server room: qualification paper for the educational-professional degree of professional junior bachelor, specialty 123 Computer Engineering. Ternopil: VSP "TFK TNTU", 2026. - 85 p.

The aim of this work is to develop an autonomous hardware and software complex for round-the-clock monitoring of microclimate parameters (temperature and humidity) in telecommunication and server rooms. Within the scope of the project, an analysis of the technical task and existing solutions was conducted, and a modern component base utilizing the ESP32 microcontroller was selected.

The structural and functional diagrams of the device were developed. The software was created using the FreeRTOS operating system, an interactive algorithm for IR remote control learning was implemented, along with integration with the Telegram Bot API for remote control and receiving alarm notifications. An operating manual and a step-by-step testing methodology for the complex were developed. Special attention was given to the economic justification of the project's feasibility, as well as compliance with sanitary and hygiene standards, occupational health and safety requirements when working near active server equipment.

The qualification paper includes a graphical part executed on 4 A3 sheets, and an explanatory note consisting of 85 pages, containing 6 tables and 38 figures.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційного проєкту.....	9
1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень.....	10
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ .....	15
2.1 Аналіз технічного завдання КВР.....	15
2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	18
2.3 Розробка функціональної схеми пристрою.....	30
2.4 Алгоритм конфігурації ПЧ-пульта та захищеного скидання налаштувань.....	32
2.5 Реалізація інтерфейсу користувача на базі месенджера Telegram.....	33
2.6 Розробка алгоритму системи.....	35
2.7 Написання текстів програми.....	38
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	48
3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою.....	48
3.2 Розробка методики перевірки, функціонування (контролю, випробування) електронного пристрою.....	50
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	54
4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР .....	54
4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи.....	55
4.3 Розрахунок матеріальних витрат.....	57
4.4 Розрахунок витрат на електроенергію.....	58
4.5 Визначення транспортних затрат.....	59
4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань.....	59
4.7 Обчислення накладних витрат.....	60

					<i>2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ</i>							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Ванжула Р.В.			<i>Розробка системи моніторингу мікроклімату серверного приміщення</i>			Лім.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Недошитко А.Г.								5	85	
Реценз.								<b>ВСП ТФК ТНТУ КІ-412 м. Тернопіль</b>				
Н. Контр.		Юзьків А.В.										
Затверд.												
					<i>Пояснювальна записка</i>							

4.8	Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР.....	60
4.9	Розрахунок ціни НДР .....	61
4.10	Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних.....	62
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	64
5.1	Технічні заходи електробезпеки при монтажі кліматичних датчиків поблизу діючого серверного обладнання.....	64
5.2	Санітарно-гігієнічні норми щодо мікроклімату, вентиляції та кондиціонування серверних приміщень.....	66
5.3	Планування та контроль за виконанням заходів із безпеки праці під час обслуговування систем моніторингу.....	68
6	ВИСНОВКИ.....	72
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
	ДОДАТОК А - Код для ESP32.....	75

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Системи моніторингу мікроклімату серверних приміщень - це спеціалізовані апаратно-програмні комплекси, призначені для безперервного відстеження температурних показників та рівня вологості за допомогою високоточних цифрових датчиків. Фізичні зміни середовища, які неможливо миттєво та точно зафіксувати без спеціальних приладів, перетворюються на структуровані цифрові дані. Такі пристрої дозволяють у режимі реального часу контролювати теплові навантаження та розподіл повітряних потоків у комутаційних шафах або серверних стійках.

Простими словами: системи моніторингу дають змогу дистанційно бачити, наскільки ефективно працює охолодження, де виникають локальні зони перегріву обладнання та чи дотримуються норми експлуатації обчислювальної техніки. Вони застосовуються на всіх рівнях IT-інфраструктури: від великих комерційних дата-центрів до невеликих серверних кімнат у навчальних закладах чи офісах. Це можливість отримати об'єктивну картину стану приміщення без фізичної присутності адміністратора. Сучасний та своєчасний контроль мікроклімату допомагає зберегти техніку та дані так само ефективно, як системи резервного копіювання чи потужні джерела безперебійного живлення.

Такі комплекси володіють широкою сферою застосування. На великих підприємствах вони контролюють загальний тепловий баланс та допомагають оптимізувати витрати електроенергії на промислові кондиціонери. У невеликих організаціях їх найчастіше використовують для точкового стеження за критично важливими серверами та виявлення несправностей у штатних системах вентиляції. Величезне значення вони мають для запобігання аварійним ситуаціям: система здатна завчасно виявити підвищення температури через вихід з ладу кулера, що дозволяє усунути проблему до моменту аварійного вимкнення чи фізичного пошкодження кремнієвих кристалів у процесорах.

Пристрої контролю мікроклімату знайшли застосування скрізь, де працює чутлива до перегріву електроніка. В першу чергу їхнє призначення полягає в тому,

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб автоматизувати процес нагляду за середовищем експлуатації та виключити людський фактор із процесу збору телеметрії.

Дистанційний моніторинг стає найбільш актуальним, якщо планується забезпечення цілодобового та автономного контролю за ІТ-об'єктами. Запропоновані у кваліфікаційній роботі, рішення здатні розпізнавати критичні зміни мікроклімату та автоматично реагувати на них. Вони працюють безперервно, не залежать від графіку роботи персоналу, а інтеграція з сучасними каналами зв'язку (наприклад, месенджером Telegram) забезпечує миттєве інформування адміністраторів у будь-який час доби.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи

Головним завданням кваліфікаційної роботи є розробка автономної та інтелектуальної системи моніторингу мікроклімату на базі платформи ESP32.

Вона призначена для безперервного контролю температурного режиму та рівня вологості у серверних приміщеннях. Ідея полягає у створенні пристрою, який самостійно відстежує параметри середовища, оперативно реагує на загрози та не потребує постійного ручного контролю з боку персоналу.

Сучасна IT-інфраструктура є базою для роботи будь-якого підприємства, але вона надзвичайно вразлива до фізичних факторів. Вихід з ладу штатного кондиціонера або порушення вентиляції в комутаційній шафі за лічені хвилини призводить до перегріву процесорів. Наслідки цього - аварійне вимкнення серверів, фізична деградація компонентів і ризик безповоротної втрати критично важливих даних.

Запропоноване рішення комплексно усуває цю проблему. Спроектований апаратно-програмний комплекс виконує такі функції:

- Діє на випередження: програмні алгоритми фіксують відхилення показників від заданої норми і здатні автоматично ініціювати запуск резервних систем охолодження.
- Забезпечує пряму комунікацію: завдяки налаштованому програмному шлюзу система транслює телеметрію та автоматично відправляє тривожні сповіщення безпосередньо у месенджер Telegram.
- Мінімізує людський фактор: система працює як незалежний цифровий наглядач, що цілодобово береже ресурс серверного обладнання.
- Відповідно, актуальність цієї роботи полягає у створенні надійного та економічно доступного бар'єра між дорогою обчислювальною технікою та непередбачуваними змінами кліматичних умов.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практична новизна кваліфікаційної роботи полягає у використанні екосистеми ESP32 для створення гнучкого та незалежного вузла моніторингу. Система не просто збирає "сирі" дані, а локально аналізує температурні градієнти прямо на платі. Алгоритм безперервно опитує датчики, відфільтровує похибки вимірювань і гарантує відправку сповіщення адміністратору ще до того, як температура досягне критичної точки.

### 1.1 Аналітичний огляд існуючих рішень

Під час дослідження методів контролю мікроклімату в невеликих серверних приміщеннях було проаналізовано поточний стан ринку. На сьогодні адміністратори використовують три основні підходи для моніторингу температури, проте кожен із них має суттєві експлуатаційні або економічні обмеження:

На рисунку 1.1 - зображено типову побутову метеостанцію без мережевих функцій.



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд побутового цифрового термометра

Основна проблема такого підходу полягає у повній відсутності дистанційного контролю. Адміністратор має фізично знаходитися в приміщенні, щоб побачити перегрів. У випадку виходу з ладу кондиціонера вночі або у вихідний день, така система є абсолютно «сліпою». Вона не здатна вести журнал температурних змін (логування) і, тим більше, не може автоматично увімкнути резервне охолодження. Покладатися на візуальний моніторинг у середовищі, де

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунок до критичного перегріву йде на хвилини, є технічно неграмотним рішенням.

2. Промислові апаратні комплекси моніторингу. Для великих дата-центрів існують професійні рішення наприклад, системи класу APC NetBotz або апаратні зонди для Zabbix/Nagios. Вони забезпечують найвищий рівень надійності та можуть керувати живленням цілих серверних стійок.

На рисунку 1.2 - зображено промисловий блок моніторингу для стійки.



Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд промислового комплексу моніторингу

Незважаючи на ідеальний функціонал, використання таких комплексів у невеликих комунаційних приміщеннях або ліцеях має критичний недолік - надзвичайно високу вартість. Ціна базового комплексу стартує від кількох тисяч доларів. Крім того, ці системи вимагають розгортання окремого сервера для обробки баз даних, купівлі платних ліцензій на програмне забезпечення та залучення вузькопрофільних спеціалістів для налаштування. З економічної точки зору, встановлювати промисловий комплекс заради контролю двох-трьох серверів є вкрай нераціональним кроком.

Додатковою перешкодою є надлишковість функціоналу, який практично ніколи не буде використаний у масштабах малої серверної кімнати. Промислові рішення часто вимагають підведення спеціалізованих магістралей для передачі даних та окремих ліній живлення. Масштабність таких систем передбачає регулярне сервісне обслуговування сертифікованими інженерами, що генерує постійні експлуатаційні витрати. Також варто врахувати фізичні габарити обладнання: центральні контролери промислового класу займають цінні юніти (U)

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у телекомунікаційній шафі, які доцільніше було б використати для встановлення активного мережевого обладнання.

На рисунку 1.3 - зображено монтаж датчиків промислової системи у серверну стійку.



Рисунок 1.3 - Монтаж датчиків промислової системи у серверну стійку

3. Побутові екосистеми «Розумний дім». Третім популярним компромісом є використання готових Wi-Fi датчиків від споживчих брендів (наприклад, Xiaomi, Tuya або Aqara). Вони компактні, відносно недорогі та мають зручні мобільні додатки. Однак для захисту критичної інфраструктури вони не підходять через свою архітектурну закритість.

На рисунку 1.4 - зображено базову станцію та датчики екосистеми «Розумний дім».



Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд компонентів екосистеми «Розумний дім»

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільшою проблемою цих пристроїв є жорстка прив'язка до пропрієтарних хмарних серверів розробника. Датчик не передає інформацію напряму користувачу. Спочатку дані летять на сервери в іншу країну, обробляються там, і лише потім повертаються на смартфон. Якщо пропадає зв'язок із зовнішнім інтернетом або на серверах виробника стається збій, моніторинг повністю зупиняється.

На рисунку 1.5 - зображено інтерфейс закритого мобільного додатку розумного дому.

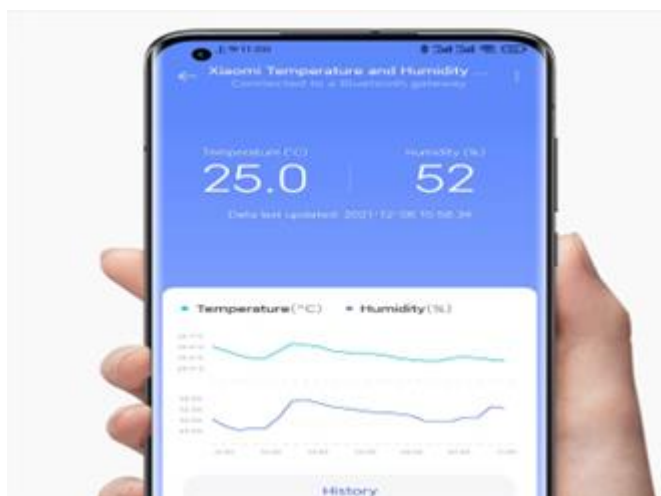


Рисунок 1.5 - Інтерфейс закритого мобільного додатку розумного дому

Крім того, закритий програмний код не дозволяє гнучко налаштувати логіку роботи пристрою або інтегрувати його у власні скрипти автоматизації. Такі системи важко синхронізувати з потужними реле для керування промисловими кондиціонерами. Більшість споживчих екосистем не надають відкритого доступу до API (Application Programming Interface), що унеможлиблює інтеграцію метрик у вже існуючі системи централізованого моніторингу закладу. Ще одним критичним аспектом є інформаційна безпека: передача телеметрії через сторонні іноземні сервери створює потенційні вразливості, що є неприпустимим для корпоративних мереж. Зрештою, затримки (пінги) у передачі команд через віддалену хмару можуть становити від кількох секунд до хвилин, що у ситуації з лавиноподібним нагріванням серверних процесорів є критично довгим часом реакції.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсумовуючи проведений аналіз, встановлено, що жоден із наявних на ринку масових варіантів не задовольняє повною мірою потреби малих серверних приміщень. Найкращим компромісом є розробка власної мікропроцесорної системи на базі архітектури ESP32. Вона позбавлена недоліків закритого коду, не залежить від сторонніх хмарних серверів розробників "розумного дому" і дозволяє реалізувати миттєву відправку критичних сповіщень. Запропонована розробка дозволить об'єднати економічну доступність побутових рішень із надійністю та автономністю промислових комплексів, використовуючи сучасні канали зв'язку та забезпечуючи пряме апаратне керування кондиціонером за допомогою інфрачервоного каналу.

Для наочної оцінки, порівняння техніко-економічних показників та систематизації переваг і недоліків розглянутих рішень, результати дослідження було зведено у єдину структуру.

У таблиці 1.1 - наведено порівняльний аналіз існуючих систем моніторингу мікроклімату та запропонованого в рамках роботи пристрою.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз систем моніторингу мікроклімату

Параметр порівняння	Побутові цифрові термометри	Промислові комплекси (АРС)	Системи «Розумний дім»
Вартість впровадження	Дуже низька	Дуже висока	Середня
Дистанційний моніторинг	Відсутній	Так (через веб-сервер)	Так (через додаток)
Залежність від хмарних серверів	Немає	Немає (локальний сервер)	Критично висока
Гнучкість налаштування логіки	Відсутня	Висока	Обмежена виробником
Керування охолодженням	Неможливо	Так	Лише малопотужні реле
Ведення журналу (логування)	Відсутнє	Так	Обмежене (тиждень/місяць)

# 1 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЄКТУ

## 2.1 Аналіз технічного завдання КВР

Розроблюваний апаратно-програмний комплекс призначений для безперервного моніторингу параметрів мікроклімату (температури та відносної вологості) у серверних приміщеннях. У штатному режимі система функціонує автономно: отримує живлення від стандартного мережевого адаптера (5 В), зчитує дані з сенсорів, виводить поточну статистику на локальний OLED-дисплей та порівнює фактичні показники із заданими цільовими значеннями.

Головним завданням пристрою є забезпечення гнучкого (автоматичного або ручного) керування системою охолодження (кондиціонером) для запобігання перегріву критично важливого обчислювального обладнання. Регулювання цільової температури здійснюється безпосередньо на місці за допомогою інфрачервоного пульта. Для дистанційного контролю реалізовано інтеграцію з месенджером Telegram.

На рисунку 2.1 зображена структурна схема мікропроцесорної системи моніторингу.

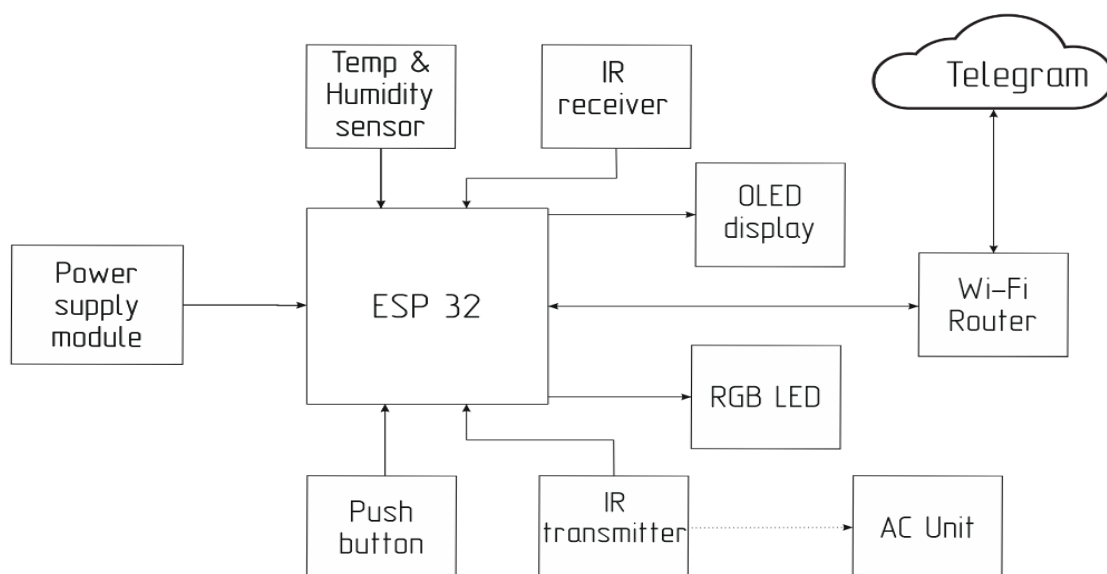


Рисунок 2.1 - Структурна схема мікропроцесорної системи моніторингу

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

## Центральний контролер:

- ESP32 - відповідає за збір даних від сенсорів, обробку логіки роботи та бездротову передачу інформації. Використовує двоядерну архітектуру з операційною системою FreeRTOS для розділення апаратних та мережевих процесів.
- Сенсори та моніторинг:
- Temp& Humidity sensor- цифровий датчик, що вимірює температуру та відносну вологість повітря в серверній кімнаті і передає показники до мікроконтролера.
- IR receiver- фіксує сигнали від пульта керування для зміни налаштувань цільової температури. Та може фіксувати сигнали після успішного проходження навчання оригінального пульта від кондиціонера для використання всього одного пульта.
- Керування та індикація:
- OLED display- локальний дисплей, що візуалізує поточну температуру,
- вологість, цільовий поріг та статус роботи системи охолодження.
- RGB LED - забезпечує візуальну багаторівневу сигналізацію станів системи (зелений, синій, жовтий, червоний).
- Push button- фізичний орган керування для активації функції ручного перехоплення.
- Виконавчі пристрої:
- IR transmitter - генерує пакети цифрових команд, імітуючи роботу оригінального пульта для безконтактного вмикання та вимикання кондиціонера та зміни його температури.

### Порядок роботи з пристроєм

Для початку роботи необхідно підключити мікроконтролерний вузол до джерела живлення 5В та 1А. Після ініціалізації система підключається до локальної мережі Wi-Fi, відображає анімацію завантаження на OLED-дисплеї та автоматично надсилає повідомлення про успішну активацію у Telegram-бот адміністратора.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Робота пристрою

1. Штатний режим. Після успішної ініціалізації система здійснює безперервний циклічний моніторинг кліматичних параметрів. За умови перебування показників у межах встановленої норми, поточна температура нижча за цільовий поріг, відносна вологість у межах 35–60 %, RGB-індикатор світиться зеленим кольором. На локальний OLED-дисплей виводяться актуальні дані телеметрії. Виконавчі алгоритми та кліматичне обладнання перебувають у стані очікування, а інфрачервоний приймач працює у фоновому режимі, очікуючи на команди коригування.

2. Режим активного охолодження При фіксації підвищення температури вище заданого цільового порогу контролер автоматично активує алгоритм стабілізації мікроклімату. Мікроконтролер зчитує з енергонезалежної пам'яті NVS[11] попередньо збережений ПЧ-код та генерує відповідний керуючий сигнал через інфрачервоний передавач для увімкнення кондиціонера. RGB-індикатор перемикається на синій колір, а на OLED-дисплеї оновлюється статус виконавчого вузла, сигналізуючи про активну роботу системи охолодження.

3. Режим ручного перехоплення. Для реагування на нештатні ситуації або превентивного (попереднього) охолодження приміщення перед візитом персоналу передбачено можливість ручного керування. Режим активується дистанційно командою /ac\_on через Telegram-бот або за допомогою фізичної кнопки на пристрої. У цьому стані логіка автоматичного температурного балансування блокується. Алгоритм ігнорує поточні показники датчиків і примусово утримує кліматичну техніку в активному стані до отримання команди на скасування /ac\_off або повторне натискання кнопки.

4. Аварійний режим. Активується при виході параметрів за встановлені межі безпеки. Якщо фіксується відхилення лише одного параметра, RGB-індикатор змінює колір на попереджувальний жовтий. Якщо обидва параметри одночасно досягають критичних значень. Наприклад, температура  $\geq 40$  °C з аномальною вологістю, активується червона індикація. Паралельно мережеве ядро TaskTelegram самостійно формує текстове тривожне повідомлення та відправляє

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

його у прив'язаний чат адміністратора. Для запобігання перевантаженню каналу зв'язку діє програмний антиспам-таймер, який обмежує частоту відправки сповіщень до одного разу на 60 секунд.

## 2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Функціональна схема мікропроцесорного вузла для моніторингу та керування мікрокліматом серверної кімнати базується на таких компонентах:

- ESP32 - центральний модуль керування, що здійснює збір, обробку даних та підтримання зв'язку з мережею Wi-Fi.
- Temp& Humidity sensor - інтелектуальний сенсор для прецизійного вимірювання температури та вологості повітря.
- OLED display - графічний модуль для візуалізації параметрів та системних статусів у реальному часі.
- IR receiver - спеціалізований ІЧ-приймач, що забезпечує зчитування команд дистанційного налаштування.
- IR transmitter - інфрачервоний випромінювач, призначений для імітації сигналів пульта керування кондиціонером.
- RGB LED - модуль багатоколірної індикації, що відображає поточний стан середовища за допомогою RGB-логіки.
- Push button - електромеханічна кнопка для фізичної активації режиму примусового охолодження.

### ESP32 - DevKit V1

У якості центрального керуючого вузла системи використовується плата ESP32 DevKit V1 на базі модуля ESP32-WROOM-32. Вона поєднує в собі потужний обчислювальний ресурс та інтегровані засоби бездротової передачі даних, що робить її оптимальним вибором для побудови автономних пристроїв Інтернету речей (IoT). Це вигідно відрізняє ESP32 від поширених плат сімейства Arduino, які потребують підключення окремих мережевих модулів (наприклад, шилдів Ethernet

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або плат ESP8266) для доступу до інтернету. Використання інтегрованого рішення спрощує функціональну схему, зменшує кількість фізичних з'єднань та підвищує загальну надійність апаратної частини.

На рисунку 2.2 - зображено зовнішній вигляд плати ESP32 та її виводи.

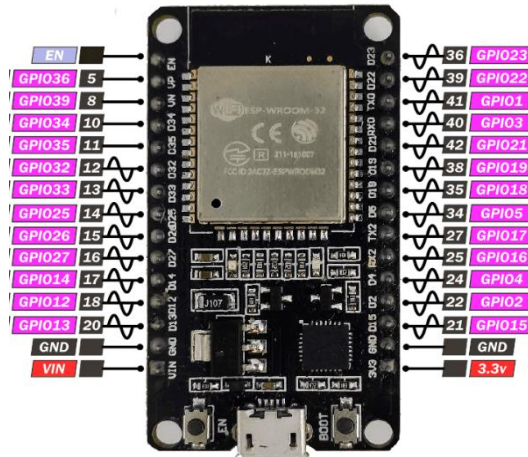


Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд плати ESP32 DevKit V1

Призначення основних виводів у розробленій системі:

- VIN / 5V - вхід живлення від зовнішнього джерела (адаптера);
- 3V3 - вихід вбудованого стабілізатора 3,3 В (використовується для живлення периферії);
- GND - спільна земля;
- GPIO 15 -лінія даних цифрового датчика температури та вологості DHT22;
- GPIO 13 - вхід від інфрачервоного приймача для забезпечення режиму навчання пульта;
- GPIO 12 - вихід на інфрачервоний передавач для генерації команд керування кондиціонером;
- GPIO 4 - вхід тактової кнопки для реалізації ручного перехоплення керування та апаратного скидання налаштувань;
- GPIO 5 - керування червоним каналом (RED) світлодіодного RGB-індикатора;

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- GPIO 18 - керування зеленим каналом (GREEN) світлодіодного RGB-індикатора;
- GPIO 19- керування синім каналом (BLUE) світлодіодного RGB-індикатора;
- GPIO 21 - (SDA), GPIO 22 - (SCL) - апаратна шина I2C для підключення локального OLED-дисплея.

Основні технічні характеристики:

- Процесор: двоядерний 32-бітний Tensilica LX6, тактова частота до 240 МГц;
- Оперативна пам'ять (SRAM): 520 КБ;
- Флеш-пам'ять: 4 МБ (з виділеним розділом NVS для енергонезалежного зберігання ІЧ-кодів);
- Бездротовий зв'язок: Wi-Fi 802.11 b/g/n (2,4 ГГц) та Bluetooth 4.2 + BLE;
- Інтерфейси: I2C, SPI, UART, ШІМ, АЦП;
- Напруга живлення логіки: 3,3 В.

Для відображення мікроконтролера на функціональній схемі використовується відповідний графічний елемент.

На рисунку 2.3 - зображено умовне позначення ESP32.

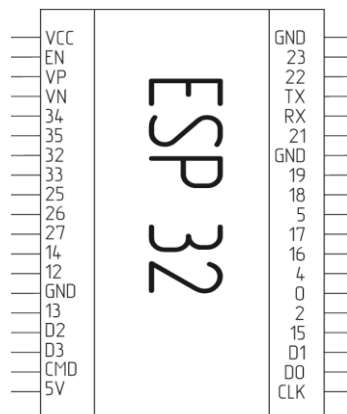


Рисунок 2.3 - Умовне позначення ESP32

Вибір мікроконтролера ESP32 зумовлений чіткими вимогами розробленого програмного алгоритму. Двоядерна архітектура дозволяє використовувати операційну систему реального часу (FreeRTOS) для розпаралелювання задач: одне ядро безперервно опитує датчик мікроклімату і генерує імпульси для ПЧ-передавача, а інше відповідає виключно за мережеву комунікацію. Крім того, обсяг оперативної пам'яті (520 КБ) є критично необхідним для підтримання ресурсомісткого зашифрованого SSL-з'єднання із серверами Telegram API та парсингу об'ємних JSON-пакетів, з чим мікроконтролери попередніх поколінь не справляються без суттєвих затримок основного циклу роботи.

### **Temp& Humidity sensor - DHT22**

Датчик DHT22 є цифровим сенсором [3], що використовує ємнісний елемент для вимірювання вологості та високоточний термістор для вимірювання температури. Пристрій містить власну 8-бітну мікросхему для перетворення аналогових сигналів у цифровий формат. Використання спеціалізованої однопровідної шини зв'язку забезпечує високу стійкість до електромагнітних завад при передачі даних до мікроконтролера. Кожен елемент проходить заводське калібрування, результати якого зберігаються у внутрішній незалежній пам'яті, що гарантує довгострокову стабільність показників.

На рисунку 2.4 - зображено зовнішній вигляд датчика DHT22.

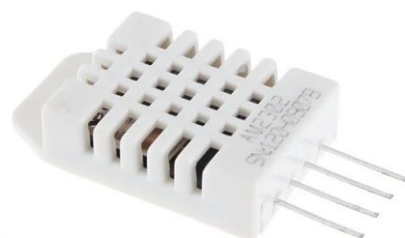


Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд датчика DHT22 (AM2302)

Основні технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання вологості: 0–100 % (похибка  $\pm 2$  %).
- Діапазон вимірювання температури: -40...+80 °C (похибка  $\pm 0.5$  °C).

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- Напруга живлення: 3.3–5.5 В.
- Тип вихідного сигналу: цифровий (однопровідний протокол).
- Максимальний струм споживання: 1.5 мА (під час вимірювання).

Призначення виводів: У розробленій системі використовується класична 4-контактна версія датчика.

Виводи мають таке призначення:

- Пін 1 (VCC) - живлення від стабілізатора +3,3 В;
- Пін 2 (DATA / SDA) - лінія передачі цифрових даних, яка підключається до виводу GPIO 15 мікроконтролера ESP32. Для стабільної роботи ця лінія апаратно підтягується до напруги живлення (VCC) через резистор номіналом 10 кОм;
- Пін 3 (NC) - не використовується у цій системі.
- Пін 4 (GND) - спільна земля.

Для відображення датчика на функціональній схемі використовується відповідний графічний елемент.

На рисунку 2.5 - зображено умовне позначення датчика DHT22.

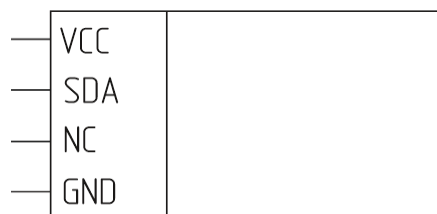


Рисунок 2.5 - Умовне позначення DHT22

Для серверних приміщень критично важлива висока точність вимірювання вологості, оскільки це дозволяє запобігти утворенню конденсату та накопиченню статичної електрики. Саме тому для системи обрано датчик DHT22, який є значно надійнішим і точнішим рішенням порівняно з базовою моделлю DHT11.

### **OLED display - SSD1306**

OLED-дисплей - це монохромний графічний модуль[4] , де кожен піксель є самостійним джерелом світла (органічним світлодіодом). Це дозволяє відмовитися

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від окремого блоку підсвічування, що суттєво знижує енергоспоживання та забезпечує високий рівень контрастності. Взаємодія з контролером реалізована через послідовну шину I2C за допомогою сигнальних ліній SDA та SCL. Завдяки роздільній здатності 128x64 точок модуль забезпечує чітке виведення поточних показників мікроклімату та статусів системи. Екран має кути огляду понад 160°, що гарантує відмінну читабельність інформації у повній темряві серверних шаф без виникнення додаткового тепловиділення.

На рисунку 2.6 - зображено OLED дисплей.



Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд OLED-дисплея 0.96"

Основні технічні характеристики:

- Роздільна здатність: 128x64 пікселів;
- Діагональ екрану: 0.96 дюйма;
- Кут огляду: понад 160°;
- Напруга живлення: 3.3–5 В;
- Споживана потужність: до 0.08 Вт (за умови світіння всіх пікселів);
- Інтерфейс: послідовна шина I2C (адреса за замовчуванням 0x3C).

Призначення виводів: Модуль підключається до мікроконтролера за допомогою чотирьох контактів:

- VCC - живлення від стабілізатора +3,3 В;
- GND - спільна земля;
- SCL - лінія тактування шини I2C, яка підключається до виводу GPIO 22 мікроконтролера ESP32;

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- SDA - лінія передачі даних шини I2C, яка підключається до виводу GPIO 21 мікроконтролера ESP32.

У межах розроблюваної системи OLED-дисплей виконує функцію базового локального інтерфейсу. На екран у режимі реального часу виводяться поточні показники температури й вологості, а також статус підключення мікроконтролера до мережі. Це дозволяє черговому персоналу миттєво оцінити мікроклімат безпосередньо біля серверної стійки, не чекаючи на повідомлення з віддалених каналів сповіщення. Додатково, у разі втрати зв'язку або позаштатних ситуацій, модуль слугує інструментом первинної діагностики, відображаючи системні помилки.

На рисунку 2.7 - зображено умовне позначення OLED дисплея.

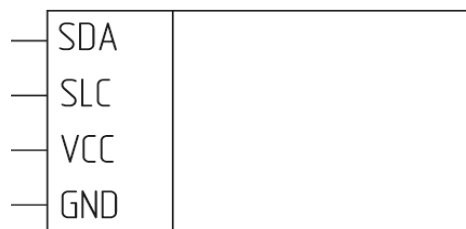


Рисунок 2.7 - Умовне позначення OLED дисплея

Вибір OLED-технології замість класичних LCD-екранів забезпечує відмінну читабельність інформації про параметри мікроклімату навіть у повній темряві закритих телекомунікаційних шаф. Крім того, мінімальне енергоспоживання та відсутність тепловиділення від екрана гарантують, що дисплей не впливатиме на точність показників розташованого поруч датчика температури.

### **IR receiver VS1838B**

Модуль VS1838B являє собою інтегрований інфрачервоний датчик [5], що містить у єдиному корпусі PIN-фотодіод, попередній підсилювач, смуговий фільтр та демодулятор. Він апаратно налаштований на роботу з несною частотою 38 кГц, що є стандартом для абсолютної більшості пультів дистанційного керування кліматичною технікою. Завдяки вбудованому фільтру модуль ефективно відсікає

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

оптичні завади від люмінесцентного або LED-освітлення серверної кімнати, забезпечуючи чистий прийом цифрового сигналу.

На рисунку 2.8 - зображено зовнішній вигляд приймача VS1838B.



Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд приймача VS1838B

Основні технічні характеристики:

- Робоча напруга живлення: 2.7–5.5 В;
- Робоча несна частота: 38 кГц;
- Кут прийому:  $\pm 45^\circ$ ;
- Дистанція впевненого прийому: до 18 м;
- Вихідний рівень: TTL/КМОН сумісний.

Призначення виводів: Для підключення модуля до мікроконтролера використовуються три контакти:

- VCC - живлення від стабілізатора +3,3 В;
- GND - спільна земля;
- DAT - вихід демодульованого цифрового сигналу, який підключається безпосередньо до виводу GPIO 13 мікроконтролера ESP32.

Для відображення приймача на функціональній схемі використовується відповідний графічний елемент. У межах розробленого комплексу цей приймач забезпечує роботу інтерактивного режиму навчання. Він захоплює інфрачервоні імпульси з оригінального пульта кондиціонера, які мікроконтролер за допомогою спеціалізованої бібліотеки декодує у 32-бітні значення та записує в енергонезалежну пам'ять (NVS) для подальшої автономної емуляції сигналів керування.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.9 - зображено умовне позначення приймача VS1838B.

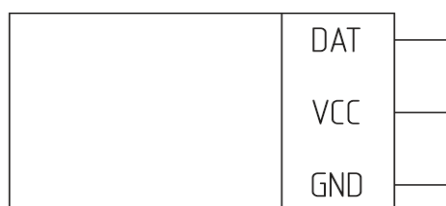


Рисунок 2.9 - Умовне позначення приймача VS1838B

Приймач дозволяє реалізувати гнучке налаштування системи без перепрошивки, використовуючи будь-який стандартний пульт для зміни температурних порогів.

### **IR transmitter - TSAL6200**

Модуль інфрачервоного передавача побудовано на базі потужного випромінюючого діода TSAL6200 [6], виготовленого за технологією AlGaAs на GaAs. Він призначений для передачі цифрових даних у невидимому для людського ока спектрі випромінювання. У розробленій системі цей компонент виконує роль «віртуального пульта», генеруючи модульовані сигнали (команди) керування кліматичною технікою на базі кодів, збережених у пам'яті контролера.

На рисунку 2.10 - зображено зовнішній вигляд світлодіода TSAL6200.



Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд світлодіода TSAL6200

Основні технічні характеристики:

- Довжина хвилі випромінювання: 940 нм;
- Максимальний прямиий струм: 100 мА;

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Пряма напруга: 1.35 В;
- Потужність випромінювання: 40 мВт/ср;
- Робоча частота модуляції: 38 кГц.

Призначення виводів: Елемент має два напівпровідникові контакти, підключення яких суворо регламентовано полярністю:

- Анод - позитивний контакт, який керується сигналом з виводу GPIO 12 мікроконтролера ESP32. Для досягнення максимального струму випромінювання та збільшення радіуса дії підключення було здійснено через резистор 220 Ом;
- Катод - негативний контакт (коротка ніжка або зріз на лінзі), що підключається до спільної шини землі (GND).

На рисунку 2.11 - зображено умовне позначення світлодіода TSAL6200.

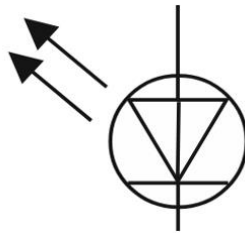


Рисунок 2.11 - Умовне позначення світлодіода TSAL6200

Використання ІЧ-діода дозволяє системі керувати кондиціонером абсолютно безконтактно, імітуючи роботу його штатного пульта. Таке архітектурне рішення має дві вагомні переваги: по-перше, воно виключає необхідність втручання у високовольтну силову частину (що зберігає цілісність проводки та заводську гарантію на обладнання серверної), а по-друге, позбавляє розроблену схему від масивних електромеханічних реле.

### **RGB LED - KY016**

KY-016 - це модуль індикації, що поєднує в собі три окремих світловипромінювальних кристали (червоний, зелений та синій) у єдиному корпусі [7]. Така конструкція дозволяє отримувати широкий спектр кольорів за допомогою

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратного змішування базових каналів. У розробленій системі цей модуль виконує функцію локальної візуальної сигналізації, дозволяючи інженеру миттєво оцінити стан мікроклімату без використання смартфона чи підключення до Telegram-бота.

На рисунку 2.12 - зображено модуль RGB-світлодіода KY-016.



Рисунок 2.12 - Зовнішній вигляд модуля RGB-світлодіода KY-016

Основні технічні характеристики:

- Тип підключення: спільний катод (Common Cathode);
- Робоча напруга: 3.3 В – 5 В;
- Струмообмеження: апаратне (модуль оснащений вбудованими SMD-резисторами на кожен колірний канал);
- Логіка керування: пряма (високий логічний рівень на вході запалює відповідний кристал).

Призначення виводів та особливості підключення: Оскільки модуль вже має інтегровані на платі струмообмежувальні резистори, він підключається до мікроконтролера ESP32 безпосередньо, що унеможлиблює перевантаження цифрових портів.

- Пін R (Red) - керування червоним каналом, підключено до виводу GPIO 5;
- Пін G (Green) - керування зеленим каналом, підключено до виводу GPIO 18;
- Пін B (Blue) - керування синім каналом, підключено до виводу GPIO 19;
- Пін GND (або «-») - спільний катод, підключається безпосередньо до шини землі пристрою.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для відображення модуля на функціональній схемі використовується умовне позначення триколірного світлодіода з виведеними лініями керування.

На рисунку 2.13 - зображено умовне позначення модуля КУ-016.

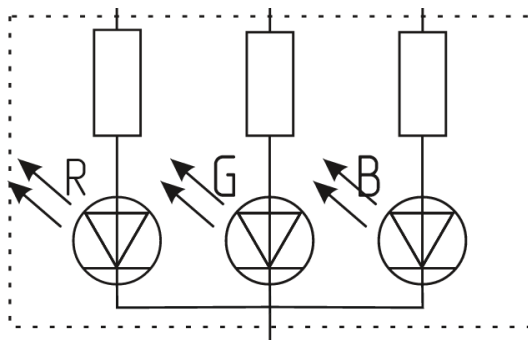


Рисунок 2.13 - Умовне позначення модуля КУ-016

Використання готового модуля КУ-016 із вбудованою обв'язкою SMD-резисторів суттєво спрощує схему та фізичний монтаж пристрою. Модуль забезпечує інтуїтивно зрозумілу індикацію: штатний стан очікування (зелений колір), активна робота кондиціонера (синій), попередження про відхилення (жовтий) та критична аварія (червоний).

### Push-button - В3F1000

Тактова кнопка серії В3F-1000 є стандартним комутаційним елементом [8], що забезпечує надійне замикання електричного кола при механічному натисканні. Вона відзначається чітким тактильним відгуком та високим ресурсом експлуатації. У розробленій системі цей елемент виконує функцію апаратного інтерфейсу для фізичної взаємодії інженера з пристроєм безпосередньо на місці встановлення.

На рисунку 2.14 - зображено тактову кнопку В3F1000.



Рисунок 2.14 - Зовнішній вигляд тактової кнопки В3F1000

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні характеристики:

- Тип контактів: нормально розімкнуті (NO - Normally Open);
- Максимальний комутований струм: 50 мА;
- Робоча напруга: до 24 В DC;
- Хід кнопки: 0.25 мм;
- Робоча температура: від -25 до +70 °С;
- Ресурс: не менше 100 000 циклів натискання.

Особливості підключення: На функціональній схемі елемент позначається як замикаючий контакт. Кнопка підключена безпосередньо між цифровим виводом GPIO 4 мікроконтролера ESP32 та шиною землі (GND).

Для забезпечення стабільного логічного рівня у відпущеному стані та уникнення хибних спрацьовувань від електромагнітних наведень серверного обладнання, використовується вбудований підтягувальний резистор мікроконтролера. Програмно цей вивід конфігурується у режимі INPUT\_PULLUP. При натисканні кнопки логічний рівень на піні змінюється на низький (LOW)

На рисунку 2.15 - зображено умовне позначення тактової кнопки.

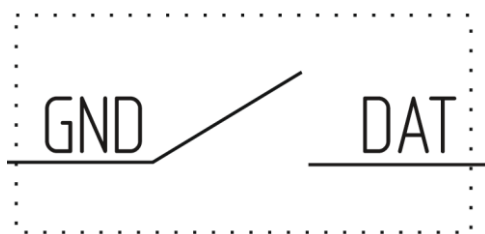


Рисунок 2.15 - Умовне позначення тактової кнопки

Кнопка забезпечує критично важливу функцію ручного перехоплення керування. У разі непередбачуваних мережових збоїв, відсутності зв'язку з Wi-Fi або падіння серверів Telegram, персонал може примусово активувати алгоритм охолодження звичайним фізичним натисканням.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1. Вузол живлення XS 1. Подає стабільні 5 В постійного струму від зовнішнього адаптера на загальну шину живлення плати. Далі вбудований лінійний стабілізатор модуля ESP32 знижує цю напругу до 3.3 В - базового логічного рівня, який є необхідним для безпечної роботи обчислювального ядра та підключеної периферії.

2. Центральний мікропроцесорний вузол DM 2. Відіграє роль головного обчислювального центру на базі контролера ESP32. Він циклічно опитує сенсори, звіряє фактичні показники мікроклімату з допустимими порогоми та розподіляє керуючі сигнали між виконавчими пристроями. Окремим фоновим процесом (на іншому ядрі) мікроконтролер підтримує захищене Wi-Fi з'єднання з Telegram-ботом для відправки тривожних сповіщень та прийому віддалених команд від адміністратора.

3. Вузол збору даних Відповідає за формування вхідних масивів інформації та обробку зовнішніх переривань:

- Блок контролю середовища DM 3: цифровий датчик DHT22. Зчитує поточні показники температури та вологості у серверній, передаючи їх по однопровідній шині даних.
- Блок прийому команд DM 1: інфрачервоний приймач. Використовується для забезпечення режиму навчання. Він захоплює інфрачервоні імпульси від фізичного пульта кондиціонера та конвертує їх у цифрові коди для подальшого збереження в енергонезалежну пам'ять системи.
- Блок ручного перехоплення SB 1: тактова кнопка. Формує апаратне переривання, що дозволяє екстрено запустити охолодження в обхід програмної автоматики.
- 4. Вузол індикації та керування Забезпечує візуальний зворотний зв'язок для персоналу та фізичний вплив на кліматичне обладнання:
- Блок локальної візуалізації DM 4: графічний OLED-дисплей. Транслює зібрану системну статистику (температуру, вологість, статус мережі) на екран через швидкісну шину I2C.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Блок статусної сигналізації (2): RGB-модуль. Активує відповідний колірний канал для наочної демонстрації поточного стану пристрою (зелений - штатна робота, синій - охолодження, жовтий або червоний - аварія).
- Блок керування кондиціонером (1): інфрачервоний передавач. Випромінює промодульовані сигнали на частоті 38 кГц, повністю імітуючи команди оригінального пульта для безконтактного керування охолодженням.

## 2.4 Алгоритм конфігурації ІЧ-пульта та захищеного скидання налаштувань

Для базової взаємодії користувача з мікроконтролером використовується компактний інфрачервоний пульт дистанційного керування. Призначення його основних клавiш у межах розробленого апаратно-програмного комплексу.

На рисунку 2.17 зображено зовнішній вигляд пульта та позначено розташування його основних функціональних клавiш.

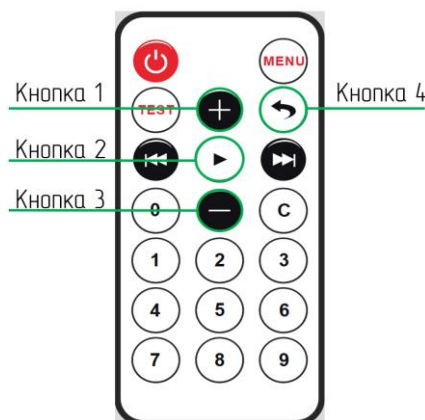


Рисунок 2.17 - Зовнішній вигляд та функціональні клавiші інфрачервоного пульта

Фізичний інтерфейс керування поділено на такі функціональні елементи: Клавiші 1 та 3 - забезпечують коригування температурного порогу забезпечують

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оперативне підвищення або зниження цільової межі спрацювання автоматики для адаптації мікроклімату в приміщенні без необхідності використання Telegram-бота чи підключення до ПК.

Клавіша 2 - ініціалізує режим навчання системи. Її натискання переводить пристрій у стан захоплення, дозволяючи адміністратору послідовно призначити три кнопки з оригінального пульта кондиціонера для подальшого керування кліматом

Клавіша 4 – скасування, відповідає за безпечне видалення збережених параметрів конфігурації. Клавіша програмно захищена від випадкових спрацювань і запускає повне очищення пам'яті лише після серії безперервних натискань. Процес захоплення керуючих сигналів Головна особливість алгоритму конфігурації, полягає в його асинхронності. Замість повного блокування роботи процесора в очікуванні команди від користувача, програма використовує змінні стану.

Навчання відбувається у три кроки:

1. Ініціалізація: при отриманні коду від клавіші «Play» система переходить у режим налаштування, а на OLED-дисплей виводиться повідомлення про очікування першої команди.
2. Захоплення даних: коли користувач натискає кнопку на оригінальному пульті, ПЧ-приймач зчитує її цифровий код. Цей сигнал миттєво записується у фізичну флеш-пам'ять ESP32 , після чого сесія запису закривається для уникнення конфліктів.
3. Зміна етапу: програма автоматично перемикається на очікування наступної команди (зменшення температури або живлення). Між кроками встановлено програмну паузу, яка захищає від помилкового подвійного зчитування.

## 2.5 Реалізація інтерфейсу користувача на базі месенджера Telegram

Для віддаленого керування системою моніторингу використовується месенджер Telegram. Це звільняє кінцевого користувача від необхідності встановлювати сторонні програми чи налаштовувати маршрутизатор. Уся комунікація проходить через захищені сервери месенджера.

Процес реєстрації бота та отримання токена Щоб підключити фізичну плату до Telegram, для неї потрібно створити окремого віртуального бота та отримати його унікальний цифровий ключ, API-токен. Цей процес виконується безпосередньо через месенджер за таким алгоритмом:

1. Пошук інструмента: у полі пошуку Telegram необхідно ввести назву @BotFather - це офіційний сервісний бот для створення інших ботів.
2. Запуск: у чаті з @BotFather треба надіслати команду /start. У відповідь бот надішле список усіх доступних команд.
3. Створення нового бота: необхідно відправити команду /newbot. Після цього системний бот попросить ввести назву для нового пристрою наприклад: Серверна Клімат Контроль. Це ім'я користувачі будуть бачити у списку контактів.
4. Призначення системного імені: далі потрібно ввести унікальне англійське ім'я користувача , за яким бота можна буде знайти в пошуку. Головна умова - воно обов'язково має закінчуватися на \_bot або Bot, наприклад: my\_server\_klimat\_bot.
5. Збереження ключа: якщо ім'я вільне, @BotFather надішле фінальне повідомлення з успішною реєстрацією та виведе на екран довгий рядок із цифр і латинських літер наприклад:123456789:ABCdefGhIJKlmNoPQ...
6. Цей рядок і є API-токеном, який слугує унікальним паролем для доступу до плати до телеграм бота.

Конфігурація та прошивка пристрою. Отриманий токен, а також назва локальної Wi-Fi мережі та пароль від неї, вносяться у код програми на етапі розробки. Ці параметри записуються як текстові константи на самому початку

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коду. Під час компіляції програми в середовищі розробки ці дані жорстко прошиваються в енергонезалежну пам'ять мікроконтролера ESP32.

Готовий комплекс не потребує складних налаштувань від користувача. Достатньо просто увімкнути плату в розетку. Контролер автоматично зчитує з пам'яті параметри, підключиться до вказаного wifі та встановить зв'язок із серверами Telegram через токен.

Фоновий моніторинг зв'язку У програмі закладено алгоритм безперервної перевірки інтернет-з'єднання. Якщо Wi-Fi роутер тимчасово вимкнеться або зникне інтернет, локальна автоматика не зупиниться. Опитування кліматичних датчиків, виведення температури на дисплей та керування кондиціонером через ІЧ-порт продовжуватимуть функціонувати в штатному режимі. Мережеве ядро у фоновому режимі буде періодично намагатися відновити з'єднання. Як тільки зв'язок з'явиться, Telegram-бот автоматично повернеться до роботи без потреби перезавантажувати пристрій по живленню.

## 2.6 Розробка алгоритму роботи системи

Розроблений програмний алгоритм системи моніторингу базується на використанні операційної системи реального часу FreeRTOS [10]. Це дозволяє розділити обчислювальні процеси на два незалежні потоки, кожен з яких закріплений за окремим ядром мікроконтролера ESP32. Такий підхід гарантує, що можливі затримки під час роботи з мережею Wi-Fi або серверами месенджера не вплинуть на безперервність опитування критично важливих датчиків та реакцію апаратної частини.

Алгоритм ініціалізації (Setup) При подачі живлення система проходить етап початкового налаштування.

Програмний алгоритм виконує таку послідовність дій:

- Ініціалізація енергонезалежної пам'яті (NVS) та вивантаження раніше збережених інфрачервоних кодів керування кондиціонером у змінні середовища; Конфігурація портів введення-виведення (GPIO) для

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- підключення RGB-індикатора, фізичної кнопки, ІЧ-приймача та передавача;
- Апаратний запуск цифрового датчика мікроклімату та OLED-дисплея по шині I2C;
  - Запуск процесу підключення до заданої мережі Wi-Fi. На дисплей виводиться анімована шкала завантаження (на процес виділяється 20 ітерацій);
  - У разі успішного з'єднання активується захищений клієнт і відправляється стартове повідомлення авторизованому користувачу в Telegram;
  - Створення та запуск двох паралельних задач: TaskHardware та TaskTelegram.

Апаратний алгоритм TaskHardware. Цей цикл виконується безперервно з інтервалом 100 мілісекунд і відповідає за фізичну взаємодію із середовищем.

Логіка роботи:

1. Обробка вхідних сигналів: система опитує ІЧ-приймач. Якщо активовано режим навчання, отримані коди захоплюються та зберігаються у флеш-пам'ять. У штатному режимі розпізнані команди від оригінального пульта змінюють цільовий температурний поріг або ініціюють накопичувальне скидання налаштувань.
2. Збір телеметрії: зчитування поточних показників температури та вологості з датчика DHT22.
3. Аналіз станів та індикація: отримані дані порівнюються з критичними порогами (температура  $\geq 40.0$  °C, вологість  $< 35.0$  % або  $> 60.0$  %). За результатами алгоритм керує RGB-світлодіодом:
  - Червоний: подвійна тривога, обидва параметри поза нормою;
  - Жовтий: вихід за межі одного з параметрів;
  - Синій: параметри в нормі, але поточна температура перевищує цільову, кондиціонер працює;
  - Зелений: штатний стан очікування кондиціонера.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Керування кліматом: алгоритм розраховує логічну змінну acState. Вона стає активною, якщо поточна температура перевищує цільову або активовано ручний режим..
2. Формування тривоги: у разі фіксації аварійного стану алгоритм перевіряє антиспам-таймер (60 000 мс). Якщо інтервал витримано, ядро формує текстове повідомлення, записує його у глобальний буфер pendingAlertMsg та підіймає прапорець hasPendingAlert.
3. Оновлення інтерфейсу: формується новий кадр з актуальною статистикою та виводиться на локальний OLED-дисплей.

Мережевий алгоритм (Ядро 1 – TaskTelegram) Цей цикл працює з інтервалом 1000 мілісекунд і відповідає виключно за комунікацію:

1. Трансляція тривоги: перевірка стану прапорця hasPendingAlert. Якщо він активний, алгоритм зчитує повідомлення з буфера, відправляє його через Telegram-бот та скидає прапорець. Це забезпечує безпечний між'ядерний обмін даними без ризику пошкодження пам'яті.
2. Обробка вхідних команд: система опитує сервери на наявність нових повідомлень.
3. Підтримується парсинг команд:
  - /start - виклик графічної клавіатури;
  - /status - генерація зведеного звіту;
  - /ac\_on та /ac\_off - дистанційне перехоплення керування;
  - /restart - апаратне перезавантаження контролера з попереднім очищенням черги запитів.

Застосування описаної двопотокової архітектури на базі FreeRTOS повністю усуває проблему блокування апаратних процесів мережевими затримками. Навіть у випадку нестабільного з'єднання Wi-Fi або тимчасової недоступності серверів Telegram, система продовжує локально керувати кліматом та індикацією в реальному часі. Такий алгоритмічний підхід гарантує високу відмовостійкість комплексу та безперервний фізичний захист серверного обладнання від перегріву.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.18 - зображено схему алгоритму роботи системи моніторингу.

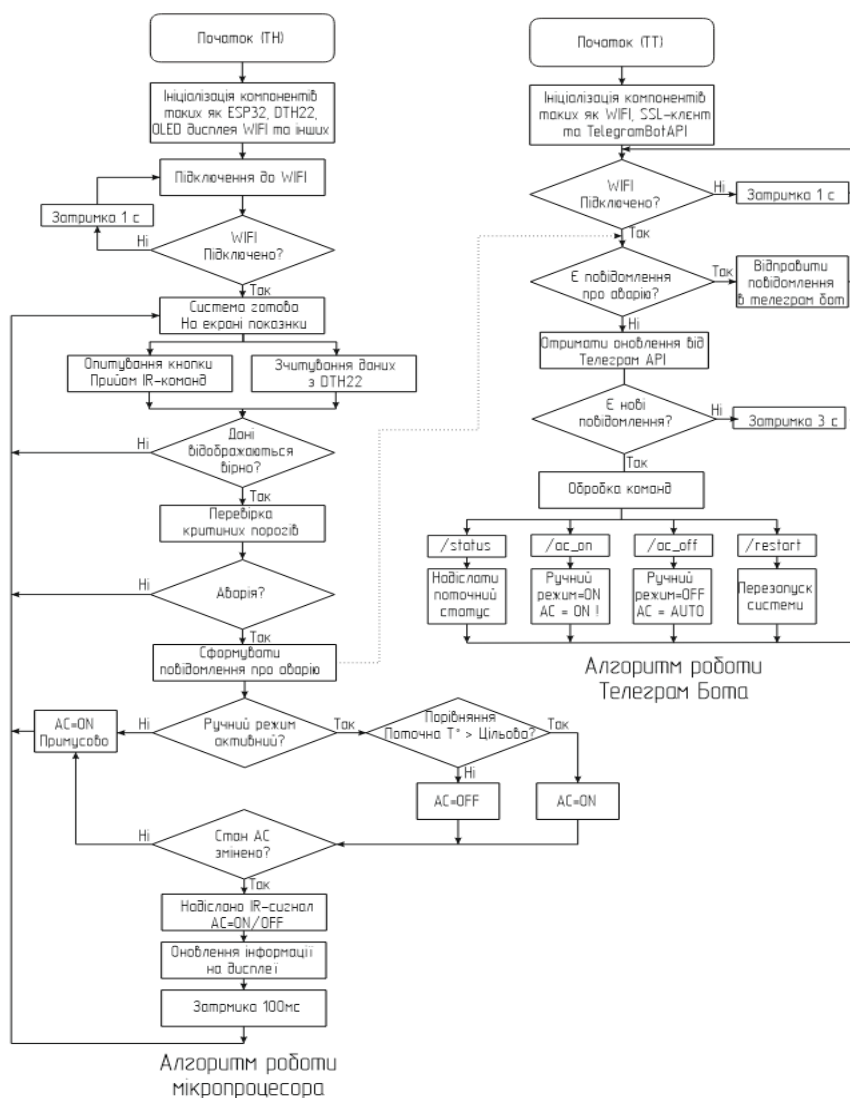


Рисунок 2.18 - Схема алгоритму роботи системи

Алгоритм роботи мікропроцесора Апаратний блок безперервно контролює мікроклімат, опитуючи датчики, локальну кнопку та ПЧ-пульт. При виявленні перегріву або ручній активації він самостійно вмикає кондиціонер і оновлює дані на дисплеї.

Алгоритм роботи Телеграм-бота Мережевий вузол працює паралельно через Wi-Fi, миттєво надсилаючи адміністратору тривожні сповіщення про аварійні стани. Також він приймає вхідні команди, дозволяючи дистанційно переглядати статистику, керувати охолодженням або перезавантажувати пристрій.

## 2.7 Написання текстів програми

Програмне забезпечення системи моніторингу мікроклімату розроблено у середовищі Arduino IDE з використанням мови програмування C++. Враховуючи необхідність паралельного виконання критичних завдань (опитування датчиків, керування кліматичною технікою та обмін даними з серверами Telegram), архітектура коду базується на використанні операційної системи реального часу FreeRTOS. Програма побудована за модульним принципом, де кожна логічна операція виділена в окрему задачу або функцію, що гарантує високу стабільність роботи та відмовостійкість.

Загальна структура вихідного коду відповідає стандартам розробки вбудованих систем і поділяється на такі етапи: підключення бібліотек, конфігурація констант, ініціалізація об'єктів, розробка обробників подій та реалізація ізольованих ядерних потоків.

### Підключення бібліотек

На початку коду виконується підключення всіх необхідних заголовних файлів для взаємодії з апаратною частиною та мережею. Базовий фреймворк забезпечується бібліотекою Arduino.h. Робота з інтегрованим радіомодулем та криптографічним протоколом реалізована через WiFi.h та WiFiClientSecure.h. Для десеріалізації відповідей серверів Telegram та формування команд використовується ArduinoJson.h у зв'язці з UniversalTelegramBot.h. Апаратна взаємодія по шині I2C забезпечується штатною бібліотекою Wire.h, а відтворення графічної інформації на OLED-матриці реалізовано методами Adafruit\_GFX.h та Adafruit\_SSD1306.h. Цифровий сенсор мікроклімату підключається через DHT.h.

Для приймання, декодування та генерації інфрачервоних сигналів управління кондиціонером інтегровано комплекс бібліотек IRremoteESP8266.h[12], IRrecv.h, IRsend.h та IRutils.h.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.19 – зображено фрагмент коду підключення бібліотек.

```
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <DHT.h>
#include <IRremoteESP8266.h>
#include <IRrecv.h>
#include <IRsend.h>
#include <IRutils.h>
#include <WiFiManager.h>
#include <Preferences.h>
```

Рисунок 2.19 – Фрагмент коду підключення бібліотек

### Оголошення констант та макросів

Після імпорту бібліотек здійснюється дефініція системних констант за допомогою директиви препроцесора `#define`. Цей підхід дозволяє оптимізувати використання оперативної пам'яті, оскільки макроси замінюються на конкретні значення ще на етапі компіляції. У цьому блоці задаються параметри авторизації в бездротовій мережі, унікальний токен доступу до Telegram-бота та ідентифікатор чату адміністратора. Далі виконується жорстка прив'язка периферійних модулів до GPIO-виводів мікроконтролера ESP32. Датчик DHT22 підключено до цифрового піна 15, ІЧ-приймач – до піна 13, а ІЧ-передавач – до піна 12. Для керування статусною індикацією використовуються піни 5, 18 та 19 (відповідно для червоного, зеленого та синього каналів RGB-діода).

На рисунку 2.20 – зображено фрагмент оголошення констант.

```
#define WIFI_SSID "Wokwi-GUEST"
#define WIFI_PASSWORD ""
#define BOT_TOKEN "8674908242:AAERxH6FUxz3_EJXtbt92rmiVpgQxEzZJc"
#define CHAT_ID "8674908242" |
#define DHTPIN 15
#define DHTTYPE DHT22
#define IR_RECV_PIN 13
#define IR_SEND_PIN 12
#define RED_PIN 5
#define GREEN_PIN 18
#define BLUE_PIN 19
#define MANUAL_BTN_PIN 4
#define IR_BUTTON_BACK 0xFF43BC
```

Рисунок 2.20 – Фрагмент оголошення констант та макросів

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Ініціалізація об'єктів та глобальних змінних

Створюються екземпляри класів для програмного керування апаратними вузлами. Об'єкт `display` ініціалізується з параметрами роздільної здатності 128x64 пікселі. Глобальні змінні з плаваючою крапкою (`float`) використовуються для збереження телеметрії: `currentTemp`, `currentHum`, а також порогових значень `targetTemp` (24.0 °C) та `criticalTemp` (40.0 °C). Для запобігання блокуванню API Telegram через занадто часті запити вводиться константа `alertInterval` зі значенням 60000 мс (1 хвилина), яка регулює періодичність відправки тривожних сповіщень.

На рисунку 2.21 – зображено фрагмент ініціалізації об'єктів.

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_SSD1306 display(128, 64, &Wire, -1);
IRrecv irrecv(IR_RECV_PIN);
IRsend irsend(IR_SEND_PIN);
decode_results results;

WiFiClientSecure secured_client;
UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, secured_client);

float currentTemp = 0.0;
float currentHum = 0.0;
float targetTemp = 24.0;
float criticalTemp = 40.0;
bool acState = false;
bool manualAcOverride = false;
```

Рисунок 2.21 – Фрагмент ініціалізації глобальних змінних

## Функція керування статусною індикацією

Для мінімізації дублювання коду розроблено допоміжну функцію `setLED()`, яка приймає три логічні аргументи, що відповідають за канали RGB-світлодіода. Функція використовує тернарний оператор `?` : для конвертації логічних значень `true/false` у відповідні апаратні рівні `HIGH/LOW`, які записуються у порти за допомогою `digitalWrite()`.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.22 – зображено функцію керування індикацією.

```
void setLED(bool r, bool g, bool b) {  
    digitalWrite(RED_PIN, r ? HIGH : LOW);  
    digitalWrite(GREEN_PIN, g ? HIGH : LOW);  
    digitalWrite(BLUE_PIN, b ? HIGH : LOW);  
}
```

Рисунок 2.22 – Функція керування RGB-індикацією

### Генерація інтерактивного меню Telegram (/start)

Обробка команд від користувача починається з перевірки текстового рядка. При отриманні команди /start система не лише відправляє привітальне повідомлення, але й формує JSON-структуру keyboardJson. Цей масив конструює кастомну клавіатуру (Reply Keyboard) безпосередньо в інтерфейсі месенджера. Метод sendMessageWithReplyKeyboard приймає цей JSON, забезпечуючи адміністратора зручними кнопками замість необхідності вводити команди вручну.

На рисунку 2.23 – зображено генерацію клавіатури бота.

```
if (text == "/start") {  
    String welcome = "Система КІ-412 готова. \nГібридне управління АС активоване.";  
    String keyboardJson = "[[\"/status\", \"/restart\"], [\"/ac_on\", \"/ac_off\"]]";  
    bot.sendMessageWithReplyKeyboard(chat_id, welcome, "", keyboardJson, true);  
}
```

Рисунок 2.23 – Створення інтерактивної клавіатури

### Обробка запитів телеметрії та віддаленого керування

Команда /status ініціює збір актуальних даних. Для економії оперативної пам'яті використовується конкатенація рядків (об'єкт String). Значення з плаваючою крапкою форматуються до двох знаків після коми String (currentTemp, 2). Статус кондиціонера визначається вкладеним тернарним оператором, який перевіряє, чи увімкнена система автоматично, чи перебуває в режимі примусового перехоплення. Команда /restart виконує апаратне перезавантаження процесора за допомогою виклику системної функції ESP.restart(), перед якою встановлено затримку 500 мс для гарантованої доставки повідомлення в чат.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.24 – зображено фрагмент обробки системних команд.

```
else if (text == "/status") {
    String msg = "📄 ПАРАМЕТРИ:\n";
    msg += "🌡️ Температура: " + String(currentTemp, 2) + "°C\n";
    msg += "💧 Вологість: " + String(currentHum, 2) + "%\n";
    msg += "🌡️ Попир: " + String(targetTemp, 2) + "°C\n";
    msg += "🏠 Стан АС: " + String(acState ? (manualAcOverride ? "ПРИМУСОВО" : "ПРАЦЮЄ") : "ОЧИСТУВАННЯ");
    bot.sendMessage(chat_id, msg, "");
}
else if (text == "/ac_on") {
    manualAcOverride = true;
    bot.sendMessage(chat_id, "🚨 АВАРІЙНЕ УВІМКНЕННЯ КОНДИЦІОНЕРА", "");
}
else if (text == "/ac_off") {
    manualAcOverride = false;
    bot.sendMessage(chat_id, "✅ ПЕРЕХІД В АВТОМАТИЧНИЙ РЕЖИМ", "");
}
else if (text == "/restart") {
    bot.sendMessage(chat_id, "🔄 Перезавануск...", "");
    delay(500);
    ESP.restart();
}
```

Рисунок 2.24 – Обробка запитів статусу та перезавантаження

### Аналіз натискань локальної кнопки та ІЧ-пульта

В межах апаратної задачі TaskHardware реалізовано алгоритм опитування тактової кнопки для зміни режиму роботи (Авто/Ручний). Використовується змінна lastBtnState для детектування фронту сигналу (натискання), що є програмною альтернативою апаратним перериванням. Додатково виконується опитування приймача irrecv.decode(). Якщо адміністратор використовує фізичний ІЧ-пульт, розпізнавання HEX-кодів 0xFF40BF (+) та 0xFF19E6 (-) дозволяє динамічно коригувати цільову температуру targetTemp з кроком 0.5 °C без необхідності перепрошивки пристрою.

На рисунку 2.25 – зображено алгоритм опитування локальних інтерфейсів.

```
if (irrecv.decode(&results)) {
    if (results.value == 0xFF40BF) targetTemp += 0.5;
    if (results.value == 0xFF19E6) targetTemp -= 0.5;
    irrecv.resume();
}
```

Рисунок 2.25 – Обробка локальної кнопки та ІЧ-пульта

### Алгоритм режиму навчання ІЧ-пульта та робота з NVS-пам'яттю

Однією з ключових особливостей програмної конфігурації є алгоритм інтерактивного навчання, що дозволяє системі клонувати сигнали оригінального пульта кондиціонера без зміни вихідного коду. Процес навчання ініціюється при

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отриманні спеціального HEX-коду 0xFF15EA і реалізується за принципом кінцевого автомата з використанням логічних прапорців isLearningUp, isLearningDown та isLearningPower. Пристрій покроково очікує від користувача натискання відповідних кнопок на фізичному пульті. Щойно приймач фіксує новий код, мікроконтролер записує його у виділений розділ енергонезалежної флеш-пам'яті за допомогою методів бібліотеки Preferences.h. Запис виконується атомарно: транзакція відкривається методом begin("ir\_codes", false), змінна зберігається через putUInt(), після чого транзакція негайно закривається end(). Це гарантує цілісність даних навіть у разі раптового зникнення живлення.

На рисунку 2.26 – зображено алгоритм навчання та запису ІЧ-кодів

```

if (rec == 0xFF15EA && !isLearningUp && !isLearningDown && !isLearningPower) {
    isLearningUp = true;
}
else if (isLearningUp && rec != 0xFF15EA) {
    codeAcTempUp = rec;
    preferences.begin("ir_codes", false);
    preferences.putUInt("codeUp", codeAcTempUp);
    preferences.end();
    isLearningUp = false; isLearningDown = true;
    vTaskDelay(300 / portTICK_PERIOD_MS);
}

```

Рисунок 2.26 – Алгоритм покрокового навчання та запису ІЧ-кодів

### Захищений механізм скидання налаштувань

Для забезпечення можливості переналаштування пристрою під іншу кліматичну техніку передбачено алгоритм апаратного скидання. Щоб уникнути випадкового видалення кодів, реалізовано захист від хибних спрацьовувань за допомогою лічильника resetCounter.

На рисунку 2.27 – Реалізація захищеного скидання налаштувань

```

if (rec != 0xFFFFFFFF && rec != 0) {
    if (rec == IR_BUTTON_BACK) {
        resetCounter++;
        if (resetCounter >= 10) {
            codeAcTempUp = 0; codeAcTempDown = 0; codeAcPower = 0;

            preferences.begin("ir_codes", false);
            preferences.clear();
            preferences.end();

            isLearningUp = false; isLearningDown = false; isLearningPower = false;
            resetCounter = 0;
            showAcChangeMsg = true;
            acChangeStr = "SETTINGS RESET!";
            acTempMsgTime = millis();
        }
    }
}

```

Рисунок 2.27 – Реалізація захищеного скидання налаштувань

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

## Динамічний рендеринг графічного інтерфейсу OLED-дисплея

Процес оновлення інформації на екрані SSD1306 здійснюється шляхом повної очистки відеобуфера `display.clearDisplay()`. Графічний інтерфейс має динамічну архітектуру та перемикається між трьома станами залежно від активного режиму роботи. У стандартному режимі виводиться статична телеметрія (поточні та цільові показники, статус системи). У режимі навчання інтерфейс повністю перебудовується, виводячи підказки для користувача («LEARN MODE: [1/3] Press button for: AC TEMP +»). Крім того, розроблено алгоритм асинхронних спливаючих повідомлень (Pop-ups). За допомогою відстеження системного часу `millis()`, при ручному перехопленні керування або отриманні команд з пульта, на екран поверх основного інтерфейсу виводиться текстове підтвердження («AC TEMP +1»), яке автоматично зникає через 1200 мілісекунд, повертаючи стандартний екран телеметрії. Вміст буфера переноситься на матрицю дисплея командою `display.display()`

На рисунку 2.28 – зображено блок рендерингу графіки.

```
    }
    else if (isLearningPower) {
        display.drawRect(0, 0, 128, 64, WHITE);
        display.setTextSize(1);
        display.setCursor(12, 12); display.print("LEARN MODE: [3/3]");
        display.setCursor(12, 32); display.print("Press button for:");
        display.setTextSize(2);
        display.setCursor(12, 45); display.print("AC POWER");
    }
    else if (showAcChangeMsg && (millis() - acTempMsgTime < 1200)) {
        display.drawRect(0, 0, 128, 64, WHITE);
        display.setTextSize(1);
        int16_t x1, y1;
        uint16_t w, h_txt;
        display.getTextBounds(acChangeStr, 0, 0, &x1, &y1, &w, &h_txt);
        display.setCursor((128 - w) / 2, 28);
        display.print(acChangeStr);
    }
    else {
        if (millis() - acTempMsgTime >= 1200) {
            showAcChangeMsg = false;
        }
        display.setTextSize(1);
        display.setCursor(0, 0);
        display.print("TGT: ");
        display.print(targetTemp, 1);
        display.print("C AC: ");
        display.print(acState ? "ON" : "OFF");
        display.drawLine(0, 10, 128, 10, WHITE);

        display.setTextSize(2);
        display.setCursor(0, 16);
```

Рисунок 2.28 – Фрагмент виведення телеметрії на локальний дисплей

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Логіка виявлення аварійних ситуацій

Після зчитування даних із сенсора DHT22 та їх перевірки функцією !isnan() формуються логічні маркери тривоги tempAlarm (температура понад 40 °C) та humAlarm (вихід вологості за межі 35-60%). На основі цих маркерів багатоступенева конструкція if-else керує кольором RGB-діода. Одночасна тривога вмикає червоний колір, одинична - жовтий (комбінація червоного та зеленого), а нормальний стан активує синій або зелений залежно від активності кондиціонера.

На рисунку 2.29 – зображено логіку виявлення тривоги.

```
bool tempAlarm = (currentTemp >= criticalTemp);
bool humAlarm = (currentHum > 60.0 || currentHum < 35.0);

if (tempAlarm && humAlarm) {
    setLED(true, false, false);
}
else if (tempAlarm || humAlarm) {
    setLED(true, true, false);
}
else {
    acState = manualAcOverride || (currentTemp >= targetTemp);
    if (acState) setLED(false, false, true);
    else setLED(false, true, false);
}
```

Рисунок 2.29 – Логіка керування індикацією на базі тривоги

## Генерація ІЧ-пакетів протоколу NEC

Алгоритм керування кондиціонером побудований із захистом від командами. Трансляція інфрачервоного пакета відбувається виключно за умови зміни поточного стану системи (acState != lastAcState). Це зберігає ресурс ІЧ-діода та запобігає зависанню мікропроцесора кондиціонера. При активації відправляється HEX-послідовність 0x00FFAA55 за протоколом NEC[13].

На рисунку 2.30 – зображено фрагмент керування кондиціонером.

```
// --- ВІДПРАВКА СИГНАЛУ НА КОНДИЦІОНЕР ---
if (acState != lastAcState) {
    if (acState) {
        // Код увімкнення кондиціонера
        irsend.sendNEC(0x00FFAA55, 32);
        Serial.println(">>> IR SIGNAL SENT: AC TURNED ON");
    } else {
        // Код вимкнення кондиціонера
        irsend.sendNEC(0x00FF55AA, 32);
        Serial.println(">>> IR SIGNAL SENT: AC TURNED OFF");
    }
    lastAcState = acState;
}
```

Рисунок 2.30 – Генерація ІЧ-команд для кліматичної техніки

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Буферизація тривожних сповіщень (Anti-Spam)

Для запобігання блокуванню бота з боку серверів Telegram через ліміти API реалізовано механізм затримки. Якщо зафіксовано тривогу, програма перевіряє системний таймер `millis()`. Повідомлення генерується лише за умови, що з моменту попередньої відправки минуло більше `alertInterval` (60 секунд). Сформований текст не відправляється одразу, а поміщається в буферну змінну `pendingAlertMsg`, після чого піднімається прапорець `hasPendingAlert`. Фактичною відправкою займається окрема мережева задача, що повністю розвантажує апаратне ядро 0.

На рисунку 2.31 – зображено фрагмент буферизації сповіщень.

```
if ((tempAlarm || humAlarm) && adminChatId != "") {
    if (lastAlertTime == 0 || millis() - lastAlertTime > alertInterval) {
        String alertMsg = "";
        if (tempAlarm && humAlarm) {
            alertMsg = " 🚨 ТРИВОГА! Температура: " + String(currentTemp, 1) + "°C\n 🚨 УВАГА! Вологість: " + String(currentHum, 1);
        } else if (tempAlarm) {
            alertMsg = " 🚨 ТРИВОГА! Температура: " + String(currentTemp, 1) + "°C";
        } else if (humAlarm) {
            alertMsg = " 🚨 УВАГА! Вологість: " + String(currentHum, 1) + "%";
        }
    }
}
```

Рисунок 2.31 – Алгоритм обмеження частоти тривожних сповіщень

## Мережева задача (TaskTelegram) у середовищі FreeRTOS

Функція `TaskTelegram` виконується як незалежний потік на Ядрі 1. У безкінечному циклі `for (;)` вона перевіряє наявність Wi-Fi з'єднання. Якщо апаратна задача підняла прапорець `hasPendingAlert`, мережевий потік вичитує буфер `pendingAlertMsg` та ініціює SSL-з'єднання з серверами Telegram для відправки. Після цього опитуються вхідні команди `bot.getUpdates()`. Наприкінці циклу обов'язково викликається функція `vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS)`, яка переводить задачу в стан блокування на 1 секунду, звільняючи процесорний час для системних потреб ОС.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.32 – зображено мережеву задачу FreeRTOS.

```
void TaskTelegram(void *pvParameters) {
    for (;;) {
        if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
            if (hasPendingAlert && adminChatId != "") {
                bot.sendMessage(adminChatId, pendingAlertMsg, "");
                hasPendingAlert = false;
            }
            int numNew = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
            if (numNew > 0) handleNewMessages(numNew);
        }
        vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
    }
}
```

Рисунок 2.32 – Код мережевого потоку TaskTelegram

### Функція ініціалізації та візуалізація підключення (setup)

У блоці setup() конфігуруються апаратні порти і запускаються екземпляри периферії (dht.begin(), irrecv.enableIRIn()). Особливістю даного блоку є реалізація динамічного інтерфейсу (Progress Bar) під час підключення до Wi-Fi. У циклі while, обмеженому 20 спробами, мікроконтролер намагається отримати IP-адресу. Ширина прямокутника завантаження розраховується за формулою  $(attempts * 100) / 20$  і виводиться методом fillRect(). Це забезпечує зворотний зв'язок для користувача при старті системи. Фінальним акордом setup() є запуск двох задач за допомогою xTaskCreatePinnedToCore, де кожній виділяється по 16 КБ пам'яті. З цього моменту керування передається планувальнику FreeRTOS, а стандартна функція loop() залишається порожньою.

На рисунку 2.33 – зображено графічний цикл підключення.

```
int attempts = 0;
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 20) {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(14, 15);
    display.print("Connecting Wi-Fi...");
    display.drawRect(14, 35, 100, 10, WHITE);
    int progressWidth = (attempts * 100) / 20;
    display.fillRect(14, 35, progressWidth, 10, WHITE);
    display.display();
    delay(500);
    attempts++;
}

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    display.clearDisplay();
    display.setCursor(14, 15);
    display.print("Wi-Fi Connected!");
    display.fillRect(14, 35, 100, 10, WHITE);
    display.display();
    delay(1000);

    bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "📡 Система активована.", "");
}

xTaskCreatePinnedToCore(TaskHardware, "HW", 16384, NULL, 1, NULL, 0);
xTaskCreatePinnedToCore(TaskTelegram, "Bot", 16384, NULL, 1, NULL, 1);
```

Рисунок 2.33 – Візуалізація підключення та запуск планувальника задач

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою

Розроблена система моніторингу мікроклімату призначена для цілодобової автономної роботи. У нормальному режимі пристрій не потребує втручання оператора. Взаємодія з системою необхідна лише для первинного налаштування, контролю статусу та ручного керування у позаштатних ситуаціях.

Ця інструкція визначає порядок підключення, візуального контролю та віддаленого керування пристроєм.

Підготовка до роботи та перше увімкнення

1. Закріпити базовий блок системи на стіні або у комутаційній шафі таким чином, щоб забезпечити вільну циркуляцію повітря біля сенсора DHT22.
2. Спрямувати інфрачервоний передавач у бік приймача штатного кондиціонера.
3. Підключити кабель живлення 5 В, мінімум 1 А, до роз'єму пристрою.
4. Після подачі живлення на OLED-дисплеї з'явиться індикатор завантаження - система ініціалізує модулі та підключається до заданої мережі Wi-Fi.
5. Режим навчання пульта: При першому запуску необхідно перенести команди оригінального пульта кондиціонера в пам'ять пристрою. Для цього направте пульт на ІЧ-приймач системи. На OLED-екрані з'являться покрокові підказки [1/3], [2/3], [3/3]. Згідно з підказками, по черзі натисніть кнопки: збільшення температури, зменшення температури та увімкнення/вимкнення. Після повідомлення «LEARN SUCCESS!» пристрій збереже коди і в Telegram-бот надійде стартове повідомлення.
6. У разі успішного підключення на екрані відобразяться поточні показники температури та вологості, а в Telegram-бот адміністратора надійде стартове повідомлення.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Візуальний контроль. Для швидкої оцінки стану системи без використання смартфона передбачено два рівні візуалізації: OLED-дисплей та статусна RGB-індикація.

OLED-дисплей працює в режимі реального часу та виводить наступну інформацію:

- Температура середовища (°C).
- Відносна вологість (%).
- Цільова задана температура охолодження.
- Статус мережі Wi-Fi та зв'язку із сервером.

RGB-індикатор дозволяє черговому інженеру миттєво визначити стан клімату в приміщенні:

- Зелений колір: Штатний режим. Усі показники в нормі.
- Синій колір: Режим активного охолодження. Поточна температура перевищила заданий поріг, система згенерувала команду на увімкнення кондиціонера.
- Жовтий колір: Попередження. Один із параметрів вийшов за межі норми.
- Червоний колір: Аварійний стан. Критичне відхилення одразу обох показників. Відправлено термінове повідомлення адміністратору.

3. Віддалене керування через Telegram-бот Основний інтерфейс взаємодії з системою реалізовано через захищений канал у месенджері Telegram. Доступ до бота має лише авторизований адміністратор.

Для керування використовуються наступні команди:

- /start - ініціалізація бота, виведення вітального повідомлення та головного меню.
- /status - запит на отримання повного звіту. Система генерує відповідь із поточними даними сенсорів, станом кондиціонера та часом безперервної роботи (Uptime).
- /ac\_on - примусове увімкнення кондиціонера (активація режиму Manual Override), незалежно від показників датчика.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- /ac\_off - примусове вимкнення кондиціонера, повернення системи в автоматичний режим моніторингу.
- /restart - програмне перезавантаження мікроконтролера у разі зависання мережевого модуля.

4. Апаратне ручне керування. У разі відсутності інтернет-з'єднання або недоступності сервера Telegram, оператор має можливість локально керувати системою за допомогою апаратних засобів:

- Тактова кнопка (Manual Override): Натискання кнопки на корпусі пристрою примусово перемикає стан кондиціонера (увімкнути/вимкнути). Інформація про ручне перехоплення керування фіксується і буде відправлена в лог при відновленні зв'язку.
- Зовнішній ПЧ-пульт: Система здатна приймати сигнали від універсальних пультів. Використовуючи відповідні кнопки на пульті, можна збільшувати або зменшувати цільову температуру в автоматичному алгоритмі з кроком 0.5 °С.

5. Технічне обслуговування Система не містить рухомих механічних частин і потребує мінімального обслуговування. Рекомендується один раз на 6 місяців проводити очищення корпусу датчика DHT22 від пилу для запобігання похибкам у вимірюваннях. Забороняється використання розчинників або агресивних миючих засобів при очищенні дисплея та корпусу пристрою.

### **3.2. Розробка методики перевірки функціонування (контролю, випробування) електронного пристрою**

Розроблена програма випробувань є обов'язковим етапом перед введенням апаратно-програмного комплексу в дослідну та промислову експлуатацію. Головна мета цього процесу - комплексне підтвердження заявлених технічних характеристик, перевірка стабільності роботи під навантаженням та виявлення можливих апаратних дефектів, допущених на етапі фізичного монтажу. Методика

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

базується на послідовному проходженні чотирьох етапів контролю, від базової електричної перевірки до тестування мережевих протоколів.

#### Етап 1. Попередній апаратний контроль (до подачі живлення)

1. Провести візуальний огляд контактних майданчиків ESP32 та периферійних модулів. Переконатися у відсутності залишків активного флюсу, холодних пайок та мікротріщин. Особливу увагу звернути на відсутність крапель припою між сусідніми виводами мікроконтролера, що може спричинити паразитні замикання.
2. За допомогою цифрового мультиметра в режимі прозвонки виміряти опір між основними шинами живлення (VCC та GND). Опір не повинен наближатися до нуля. Це гарантує відсутність прямого короткого замикання, яке могло б вивести з ладу блок живлення або стабілізатор мікроконтролера при першому запуску.
3. Подати тестову напругу 5 В від лабораторного джерела живлення з обмеженням струму. Заміряти рівень напруги на виході лінійного стабілізатора плати ESP32. Показник має знаходитись у межах від 3.25 В до 3.35 В. Також необхідно перевірити температурний режим стабілізатора тактильним методом - він не повинен надмірно нагріватися у стані спокою.

#### Етап 2. Ініціалізація та базове тестування (POST - Power-On Self-Test)

1. Увімкнути основне живлення системи. Зафіксувати коректну ініціалізацію OLED-дисплея по шині I2C. На екрані має з'явитися стартовий текст та індикатор завантаження без зміщення пікселів, мерехтіння чи графічних артефактів, що підтверджує цілісність відеобуфера.
2. Проконтролювати процес зчитування телеметрії з цифрового сенсора DHT22. Мікроконтролер має успішно виконати запит по протоколу 1-Wire та пройти перевірку контрольної суми (CRC). На екрані повинні відображатися адекватні показники кімнатної температури (у діапазоні 20-25 °C) та вологості повітря.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Перевірка режиму навчання пульта: Надіслати стартовий HEX-код на ПЧ-приймач. Переконалися, що інтерфейс дисплея перейшов у режим LEARN MODE [1/3]. Послідовно зімітувати натискання кнопок пульта і перевірити коректність запису кодів аж до повідомлення «LEARN SUCCESS!».
4. Тестування захисту та скидання: Знеструмити пристрій і увімкнути знову, щоб переконатися, що коди пульта збереглися у флеш-пам'яті. Зімітувати десятиразове натискання сервісної кнопки скидання. Перевірити виведення повідомлення «SETTINGS RESET!» та фактичне очищення пам'яті.
5. Оцінити роботу блоку статусної індикації. При нормальних стартових показниках мікроклімату система повинна подати логічну одиницю виключно на зелений канал RGB-світлодіода. Світіння має бути рівномірним і стабільним.

### Етап 3. Імітація критичних умов та перевірка логіки (Стрес-тест)

1. Штучно змодельовати аварійне підвищення температури біля сенсора DHT22. Для цього можна використати спрямований потік теплого повітря (наприклад, від термофена на мінімальній потужності), уникаючи прямого фізичного контакту з корпусом датчика. Температуру потрібно підняти вище встановленого в коді порогу спрацювання (наприклад, понад 28.0 °C).
2. Зафіксувати миттєву апаратну реакцію мікроконтролера на зміну середовища: RGB-індикатор повинен автоматично переключитися із зеленого кольору на синій (активація охолодження) або червоний (критична тривога), залежно від запрограмованої логіки.
3. Перевірити працездатність інфрачервоного каналу керування. Оскільки ПЧ-випромінювання працює на частоті 38 кГц і є невидимим для людського ока, необхідно навести на випромінювач камеру смартфона. У момент переходу температури через поріг на екрані смартфона має

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

фіксуватися чіткий фіолетовий або білий спалах, що підтверджує генерацію кодової посилки протоколу NEC для кондиціонера.

4. Протестувати систему апаратного переривання. Замкнути контакти тактової кнопки на землю. Програма має коректно відпрацювати алгоритм захисту від брязкання контактів (debounce) і миттєво перевести пристрій у режим ручного перехоплення, змінивши відповідний статус на локальному дисплеї.

#### Етап 4. Валідація мережевої взаємодії та криптографічного з'єднання

1. Проконтролювати етап авторизації в бездротовій мережі. Система має отримати IP-адресу по DHCP та відобразити статус на екрані.
2. З авторизованого акаунта адміністратора в Telegram відправити команду /status. Мікроконтролер повинен розшифрувати SSL-пакет і надіслати зворотне повідомлення з телеметрією.
3. Валідувати роботу тривожних сповіщень. При критичній температурі задача на Ядрі 1 має сформувати та надіслати екстрене текстове повідомлення в чат.
4. Надіслати команду /restart. ESP32 повинен коректно піти в програмне перезавантаження і самостійно відновити з'єднання з мережею.

Задля фіксації та систематизації отриманих результатів, хід виконання кожного етапу програми випробувань відображається у зведеному протоколі. Критерієм успішного проходження циклу перевірки є безвідмовна робота операційної системи реального часу FreeRTOS протягом 48 годин безперервного тестового прогону. Особлива увага при аналізі логів приділяється відсутності помилок десеріалізації JSON-пакетів при взаємодії з Telegram Bot API та стабільності утримання SSL-сесії. Під час випробувань також валідується часовий регламент неблокуючого опитування датчика мікроклімату: запити до сенсора DHT22 мають відбуватися з інтервалом не частіше ніж один раз на 2–3 секунди. Це виключає ефект самонагрівання внутрішнього кристала датчика та гарантує точність телеметрії.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку виявлення програмних чи апаратних збоїв (зависання Wi-Fi , помилки CRC шини 1-Wire або дефекти OLED-матриці ), процес випробувань зупиняється для діагностики, після чого весь цикл тестів запускається заново. Допустимі межі похибки розробленого комплексу не повинні перевищувати  $\pm 0.5$  °C для температури та  $\pm 2$  % для відносної вологості повітря. Затверджений за результатами перевірки акт підтверджує повну відповідність пристрою вимогам технічного завдання і є підставою для його введення в постійну експлуатацію в серверному приміщенні.

Успішне проходження всіх перелічених етапів тестування підтверджує високу надійність розробленої архітектури та є прямою підставою для фізичного монтажу апаратно-програмного комплексу в цільовому серверному приміщенні.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Головне завдання економічного розділу кваліфікаційної роботи полягає у проведенні фінансових обчислень, які дозволять оцінити економічну доцільність розробки системи моніторингу мікроклімату та обґрунтувати рішення щодо її подальшого впровадження у роботу.

### 4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР

Увесь комплекс робіт із проектування, складання та програмного забезпечення мікропроцесорної системи моніторингу належить до категорії науково-дослідних робіт (НДР). Задля точного планування термінів та оптимізації фінансових витрат технологічний процес розбивається на послідовні та взаємопов'язані стадії.

Організація розробки передбачає залучення трьох категорій виконавців: керівника проєкту, інженера та техника. Трудомісткість кожного етапу розраховується в годинах, виходячи з регламентованого обсягу завдань.

Детальний розподіл часу за стадіями технологічного процесу наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Середній час виконання НДР та стадії технологічного процесу

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1	2	3	4
1.	Передпроектний аналіз технічного завдання та вивчення документації	керівник проєкту	10
2.	Проектування функціональної, структурної та алгоритмічної схем	інженер	24
3.	Програмна розробка апаратної логіки (FreeRTOS, DHT22, OLED)	інженер	40
4.	Розробка мережевого стека та налаштування Telegram Bot API	інженер	24

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
5.	Фізичний монтаж, паяння компонентів та збирання блоку	технік	40
6.	Комплексне налагодження, усунення помилок та стрес-тестування системи	інженер	16
7.	Фінальне оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	керівник проекту	6
Разом			160

Загальний час виконання операцій технологічного процесу, які будуть виконуватись для проєктування системи моніторингу мікроклімату, становить 160 годин. Сумарна трудомісткість розподілена відповідно до кваліфікації та функціональних обов'язків кожного учасника розробки.

#### 4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Витрати на оплату праці відображають грошовий еквівалент вартості робочої сили, що виплачується задіяним спеціалістам за якісне виконання поставлених технологічних завдань. Загальний розмір цієї винагороди прямо залежить від підсумкових результатів реалізації проєкту, підлягає обов'язковому податковому регулюванню і не обмежується максимальними межами. Розрахунок основної заробітної плати здійснюється за базовою формулою 4.1:

$$Z_{\text{осн.}} = T_c \cdot K_f, \quad (4.1)$$

де  $T_c$  – погодинна тарифна ставка працівника, грн.;  $K_f$  – кількість фактично відпрацьованих годин.

Основна заробітна плата за категоріями виконавців становить:

1. Керівник проєкту:  $Z_{\text{осн1}} = 105,00 \cdot 16 = 1\,680,00$  грн.;
2. Інженер:  $Z_{\text{осн2}} = 90,00 \cdot 104 = 9\,360,00$  грн.;

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Технік:  $Z_{осн3} = 64,91 * 40 = 2\,596,40$  грн.

Сумарна основна заробітна плата за весь обсяг робіт становить:

$$Z_{осн} = 1\,680,00 + 9\,360,00 + 2\,596,40 = 13\,636,40 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата нараховується для покриття витрат на резерв відпусток та преміальні заохочення. Вона приймається у розмірі 15% від суми основної заробітної плати та обчислюється за формулою 4.2:

$$Z_{дод.} = Z_{осн.} \cdot K_{додл.}, \quad (4.2)$$

де  $K_{додл.}$  – коефіцієнт додаткових виплат працівникам (приймається на рівні 0,15).

Отже, додаткова заробітна плата по категоріях задіяних працівників становить:

1. Керівник проєкту:  $Z_{дод1} = 1\,680,00 * 0,15 = 252,00$  грн.;
2. Інженер:  $Z_{дод2} = 9\,360,00 * 0,15 = 1\,404,00$  грн.;
3. Технік:  $Z_{дод3} = 2\,596,40 * 0,15 = 389,46$  грн.

Сумарна додаткова заробітна плата по проєкту становить:

$$Z_{дод} = 252,00 + 1\,404,00 + 389,46 = 2\,045,46 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на оплату праці (Во.п.) визначаються за формулою 4.3:

$$В_{о.п.} = Z_{осн.} + Z_{дод.}, \quad (4.3)$$

$$В_{о.п.} = 13\,636,40 + 2\,045,46 = 15\,681,86 \text{ грн.}$$

Відрахування на обов'язкові соціальні заходи регулюються законодавством і становлять 22% від сформованого фонду. Сума відрахувань на соціальні заходи обчислюється за формулою 4.4:

$$В_{с.з.} = ФОП \cdot 0,22, \quad (4.4)$$

де ФОП – фонд оплати праці (що дорівнює загальним витратам Во.п.), грн.

$$В_{с.з.} = 15\,681,86 * 0,22 = 3\,450,01 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки витрат на оплату праці та обов'язкових нарахувань зведемо у таблицю 4.2.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Зведені розрахунки витрат на оплату праці

№ п/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додатк. зароб. плата, грн.	Нарахув. на ФОП, грн.	Всього витрати на оплату праці, грн.
		Тариф. ставка, грн.	К-сть відпр. год.	Факт. нарах. з/пл., грн.			
1	Керівник проекту	105,00	16	1680,00	252,00	-	-
2	Інженер	90,00	104	9360,00	1404,00	-	-
3	Технік	64,91	40	2596,40	389,46	-	-
Разом				13 636,40	2 045,46	3 450,01	19 131,87

Загальні витрати на оплату праці з урахуванням єдиного соціального внеску становлять 19 131,87 грн.

### 4.3 Розрахунок матеріальних витрат

Для створення фізичного прототипу системи моніторингу необхідно провести точну калькуляцію витрат на елементну базу. Ця стаття кошторису охоплює фінансові ресурси на закупівлю мікроконтролера, сенсорів та допоміжних монтажних деталей за поточними роздрібними цінами. Відповідно до економічної методики, матеріальні витрати визначаються за формулою 4.5 як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни:

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

де  $q_i$  – кількість витраченого матеріалу  $i$ -го виду;  $p_i$  – ціна матеріалу  $i$ -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати можна визначити за формулою 4.6:

$$Z_{м.в.} = \sum M_{Bi}, \quad (4.6)$$

Проведені розрахунки занесемо у таблицю 4.3.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3 – Зведені розрахунки матеріальних витрат

Обладнання	Одиниці виміру	Фактично витрачено матеріалів	Ціна одиниці, грн.	Загальна сума витрат, грн.
Мікроконтролерна плата ESP32 DevKit V1	шт.	1	280,00	280,00
Датчик температури та вологості DHT22	шт.	1	220,00	220,00
Графічний OLED-дисплей 0.96" I2C	шт.	1	140,00	140,00
ІЧ-приймач VS1838B	шт.	1	20,00	20,00
ІЧ-випромінювач TSAL6200	шт.	1	15,00	15,00
Модуль RGB-світлодіода KY-016	шт.	1	35,00	35,00
Тактова кнопка B3F-1000	шт.	1	5,00	5,00
Блок живлення 5В, 2А та кабель USB	шт.	1	250,00	250,00
Витратні матеріали (припій, флюс, макетна плата, дроти)	шт.	1	100,00	100,00
Разом				1065,00

Загальна сума матеріальних витрат становить 1065,00 грн.

#### 4.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Обсяг фінансових витрат на спожити під час розробки електроенергію обчислюється за допомогою формули 4.7:

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

де  $W$  – сумарна споживана потужність використовуваного обладнання, кВт;  
 $T$  – загальна тривалість експлуатації техніки, год.;  
 $S$  – діючий тариф за одну кіловат-годину електроенергії, грн.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Сумарна потужність комп'ютерного та монтажного обладнання становить 0,35 кВт, а загальний час виконання всіх етапів проєкту дорівнює 160 годинам. Розрахунок проводиться за діючим тарифом 15,94 грн за 1 кВт·год.

$$Z_e = 0,35 \cdot 160 \cdot 15,94 = 867,44 \text{ грн.}$$

#### 4.5 Визначення транспортних затрат

Транспортні витрати, пов'язані з доставкою необхідних комплектуючих та матеріалів, зазвичай прогнозують у розмірі 8-10 % від загальної суми матеріальних затрат. Транспортні витрати розраховуються за формулою 4.8:

$$T_B = Z_{\text{м.в.}} \cdot 0,08 \dots 0,1, \quad (4.8)$$

де  $T_B$  – транспортні витрати, грн;  $Z_{\text{м.в.}}$  – загальні матеріальні витрати.

Отже, транспортні витрати для даного проєкту будуть становити:

$$T_B = 1065,00 \cdot 0,08 = 85,20 \text{ грн.}$$

#### 4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Мінімально допустимі строки їх використання 2 роки. Для визначення амортизаційних відрахувань застосовуємо формулу 4.9:

$$A = \frac{B_B \cdot H_A}{100\%} \cdot T, \quad (4.9)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування за звітний період, грн;  $B_B$  – балансова вартість групи основних фондів на початок звітного періоду, грн;  $H_A$  – норма амортизації (0,04); 150 – середньомісячний фонд робочого часу, год;  $T$  – кількість годин роботи обладнання, год.

Враховуючи, що ПК використовується при роботі над даним проєктом 160 год., балансова вартість ПК – 32 860,55 грн, тому:

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = 32\,860,55 \cdot 0,04 / 150 \cdot 160 = 1402,05 \text{ грн.}$$

#### 4.7 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати являють собою додаткові видатки, які безпосередньо не пов'язані з технологічним процесом виготовлення пристрою, а утворюються під впливом чинників організації, загального управління та господарського обслуговування розробки.

Залежно від організаційно-правової форми діяльності підприємства, обсяг накладних витрат зазвичай закладається в межах 20–60 % від загального фонду оплати праці (суми основної та додаткової зарплати). Розрахунок здійснюється за формулою 4.10:

$$H_B = V_{o.p.} \cdot 0,2 \dots 0,6, \quad (4.10)$$

де  $H_B$  - накладні витрати, грн;  $V_{o.p.}$  - сумарні витрати на оплату праці, грн;  $K_{накл}$  - коефіцієнт накладних витрат (приймається на рівні 0,3).

Враховуючи раніше розрахований фонд оплати праці, підсумкова сума накладних витрат для проєкту становитиме:

$$H_B = 15\,681,86 \cdot 0,3 = 4\,704,56 \text{ грн.}$$

#### 4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Кошторис витрат являє собою зведений план усіх фінансових вкладень, необхідних для повноцінної реалізації проєкту розробки.

Результати проведених у попередніх підрозділах розрахунків зведемо до таблиці 4.4, де зазначено наступні види витрат: витрати на оплату праці, відрахування на соціальні заходи, матеріальні витрати, витрати на електроенергію, транспортні витрати, амортизаційні відрахування, накладні витрати.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.4 – Кошторис витрат НДР

Зміст витрат	Сума, грн.	В % до загальної суми
Витрати на оплату праці (основна і додаткова заробітна плата)	15 681,86	57,54
Відрахування на соціальні заходи	3 450,01	12,66
Матеріальні витрати	1 065,00	3,91
Витрати на електроенергію	867,44	3,18
Транспортні витрати	85,20	0,31
Амортизаційні відрахування	1 402,05	5,14
Накладні витрати	4 704,56	17,26
Собівартість	27 256,12	100

Загальну собівартість (Св) НДР розраховуємо шляхом сумування всіх статей витрат за формулою 4.11:

$$C_B = B_{o.n.} + B_{c.z.} + Z_{m.e.} + Z_e + T_e + A + H_e, \quad (4.11)$$

Собівартість дорівнює СВ = 27 256,12 грн.

#### 4.9 Розрахунок ціни НДР

Кінцева прогнозна вартість науково-дослідної роботи визначається на основі її повної собівартості з урахуванням планового рівня прибутковості (рентабельності) та обов'язкового податку на додану вартість. Розрахунок відпускної ціни здійснюється за формулою 4.12:

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

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Ррен. – запланований рівень рентабельності проєкту; ПДВ – чинна ставка податку на додану вартість.

Для проведення розрахунків рівень рентабельності приймається у розмірі 30% (0,3), а ставка ПДВ становить 20% (0,2). Підставивши отримані раніше значення собівартості, отримуємо:

$$Ц = 27\,256,12 \cdot (1+0,3) \cdot (1+0,2) = 42\,519,55 \text{ грн.}$$

#### 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), який можна визначити за формулою 4.13.

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

де  $K_B$  – затрати на проєкт;  $ГП$  – грошовий потік за  $t$ -ий рік;  $t$  – відповідний рік проєкту;  $i$  – величина дисконтної ставки (10...15%).

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

$$ЧТВ = -27\,256,12 + 15\,263,43/(1+0,1) + 15\,263,43/(1+0,1)^2 + 15\,263,43/(1+0,1)^3 = 10\,701,72$$

Термін окупності визначається за формулою 4.14:

$$T_{ок} = T_{пв} + \frac{H_B}{Г_{пр}}, \quad (4.14)$$

де  $T_{пв}$  – період до повного відшкодування витрат, років;  $H_B$  – невідшкодовані витрати на початок року, грн;  $Г_{пр}$  – грошовий потік на початок року, грн.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{ок}} = 2 + \frac{765,88}{15263,43} = 2,1$$

Всі дані розрахунків внесемо в зведену таблицю 4.5 техніко-економічних показників.

Таблиця 4.5 - Техніко-економічні показники розробки системи моніторингу

№ п/п	Показник	Значення
1	Собівартість, грн.	27256,12
2	Плановий прибуток, грн.	15263,43
3	Ціна, грн.	42519,55
4	Чиста теперішня вартість, грн.	10701,72
5	Термін окупності, рік	2,1

Загальна вартість розробленої системи моніторингу становить 42519,55 грн.  
Термін окупності становить 2,1 роки.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

### 5.1 Технічні заходи електробезпеки при монтажі кліматичних датчиків поблизу діючого серверного обладнання

Розроблена система моніторингу мікроклімату на базі мікроконтролера ESP32 є слабкострумовим електронним пристроєм. Базова логіка мікроконтролера, а також підключені до нього периферійні модулі (цифровий датчик температури та вологості DHT22, графічний I2C OLED-дисплей, інфрачервоний трансивер) функціонують від напруги 3,3 В або 5 В постійного струму. Відповідно до класифікації ДСТУ EN 61140:2015, такі значення належать до безпечної наднизької напруги (БНН). Прямий дотик до струмопровідних частин пристрою, що працюють під такою напругою, не становить загрози ураження електричним струмом для інженера.

Однак живлення системи здійснюється від промислової мережі змінного струму (220 В, 50 Гц) через імпульсний понижувальний перетворювач. Крім того, фізичний монтаж комплексу виконується безпосередньо у 19-дюймові телекомунікаційні шафи поруч із високовольтним обладнанням. Згідно з НПАОП 40.1-1.21-98. Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів, серверна кімната класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність струмопровідної підлоги (антистатичне покриття) та великої кількості заземлених металевих конструкцій (серверних стійок).

Для забезпечення електробезпеки під час монтажу та експлуатації пристрою необхідно дотримуватися таких технічних та організаційних заходів:

1. Вимоги до захисного заземлення та ізоляції Експлуатація будь-якого обладнання в серверній шафі дозволяється лише за умови його інтеграції у загальну систему зрівнювання потенціалів. Адаптер живлення пристрою моніторингу має підключатися виключно до спеціалізованих блоків розподілу живлення (Power Distribution Unit - PDU), які встановлені у стійці. Ці блоки повинні мати

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безперервний електричний зв'язок із головною заземлювальною шиною (ГЗШ) будівлі. Використання побутових подовжувачів без заземлюючого контакту (система TN-C) категорично заборонено. Опір заземлювального пристрою для серверного обладнання не повинен перевищувати 4 Ом. Ізоляція з'єднувальних проводів та шлейфів має витримувати напругу на пробій не менше 500 В. Під час монтажу необхідно уникати перегинів кабелів під гострим кутом, щоб не пошкодити діелектричний шар.

2. Захист від електростатичних розрядів (ESD) Мікросхема ESP-WROOM-32 та сенсор DHT22 виготовлені за технологією CMOS і є вкрай чутливими до пробією статичною електрикою. Накопичений на тілі інженера або його одязі статичний заряд може сягати кількох тисяч вольт, що при контакті з пінами мікроконтролера призводить до деградації напівпровідникових переходів і виходу пристрою з ладу. Перед початком монтажу базового блоку в стійку інженер зобов'язаний:

- Зняти з себе всі металеві предмети (каблучки, браслети, годинники).
- Надягти антистатичний браслет, який підключається до спеціального контакту заземлення на серверній стійці. Браслет обов'язково повинен мати вбудований струмообмежувальний резистор номіналом 1 МОм. Цей опір забезпечує повільне і безпечне стікання заряду, а у випадку випадкового дотику людини до фазного проводу (220 В) обмежує струм через тіло до безпечних часток міліампера.
- Інструмент для кріплення (викрутки, плоскогубці) повинен мати маркування ESD-safe.

3. Правила трасування кабельних ліній Для забезпечення надійної роботи датчиків та уникнення електромагнітних наведень необхідно дотримуватися просторового рознесення ліній. Сигнальні кабелі, що з'єднують мікроконтролер із виносним датчиком температури, повинні прокладатися в окремих кабельних лотках або організаторах. Згідно з нормативними документами, мінімальна відстань між інформаційними лініями (слабкострумовими) та силовими кабелями (220/380 В) повинна становити не менше 150 мм у разі їх паралельного

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прокладання. Перетин інформаційних та силових кабелів допускається лише під кутом 90 градусів. Ігнорування цього правила може призвести не лише до хибних спрацьовувань датчиків через наведення ЕРС, але й до небезпеки потрапляння фазної напруги на сигнальні лінії у випадку проплавлення ізоляції.

4. Порядок виконання робіт у серверній шафі Монтажні роботи мають виконуватися за нарядом-допуском особою, яка має групу з електробезпеки не нижче III. Усі операції з фіксації пластикового корпусу пристрою до монтажних профілів (наприклад, за допомогою DIN-рейки або стяжок) проводяться ручним ізольованим інструментом, діелектричне покриття якого розраховане на напругу до 1000 В. Підключення блоку живлення в розетку PDU здійснюється лише після завершення всіх фізичних з'єднань, перевірки полярності підключення модулів та візуального огляду плати на відсутність коротких замикань від залишків припою.

## **5.2 Санітарно-гігієнічні норми щодо мікроклімату, освітлення та вентиляції серверних приміщень**

Експлуатація потужного комутаційного та серверного обладнання супроводжується значним виділенням теплової енергії, генерацією акустичного шуму та електромагнітного випромінювання. Тому до приміщень серверних кімнат та центрів обробки даних (ЦОД) висуваються жорсткі санітарно-гігієнічні вимоги, які регламентуються Державними санітарними нормами мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 та міжнародними стандартами інфраструктури.

Дотримання цих норм є критично важливим не лише для забезпечення безвідмовної роботи апаратного забезпечення, але й для створення безпечних умов праці системних адміністраторів та сервісних інженерів.

1. Вимоги до параметрів мікроклімату Мікроклімат серверного приміщення є визначальним фактором стабільності роботи напівпровідникових систем. Відхилення температури чи вологості від норми призводить до прискореної деградації кристалів процесорів та ризику коротких замикань.

- Температурний режим. Згідно з нормативними документами, температура повітря в зоні обслуговування (у так званих «холодних коридорах»)

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинна підтримуватися в діапазоні від 18 °С до 24 °С. Підвищення температури понад 28 °С вважається аварійним. Для забезпечення безперервного контролю цього параметра використовується розроблена система: датчик DHT22 здійснює цілодобове вимірювання, а мікроконтролер ESP32 при досягненні порогових значень генерує тривожні сповіщення у Telegram та здатен ініціювати запуск резервної системи кондиціонування.

- Відносна вологість. Рівень вологості повітря у приміщенні має знаходитися в межах 40–60 %. Зниження вологості нижче 30 % призводить до пересихання повітря та різкого зростання ймовірності накопичення електростатичних зарядів на діелектричних поверхнях. З іншого боку, вологість понад 65 % загрожує випаданням конденсату на охолоджених радіаторах обладнання.

2. Нормування освітлення робочої зони Оскільки серверні кімнати з міркувань безпеки та термоізоляції зазвичай проєктуються без вікон (відсутнє природне освітлення), ключову роль відіграє штучне освітлення. Якісне освітлення знижує зорову втому інженера під час виконання кросування кабелів та налаштування обладнання. Відповідно до ДСТУ EN 12464-1:2016, рівень освітленості в серверних приміщеннях повинен становити не менше 500 люкс на рівні робочих поверхонь (стіл адміністратора, стійка) та не менше 200 люкс у проходах між телекомунікаційними шафами. Для освітлення застосовуються виключно світлодіодні (LED) світильники з колірною температурою 4000К (нейтральне біле світло). Використання люмінесцентних ламп заборонено через створення ними електромагнітних завад (від стартерів) та наявність пульсації світлового потоку, що викликає швидку втому очей. Крім робочого освітлення, приміщення в обов'язковому порядку обладнується аварійним евакуаційним освітленням із живленням від незалежних акумуляторних батарей.

3. Вимоги до вентиляції та пилозахисту Повітряне середовище серверної кімнати вимагає постійного очищення. Пил, що осідає на електронних компонентах, діє як теплоізолятор і суттєво погіршує ефективність роботи

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіаторів охолодження. Гранично допустима концентрація (ГДК) пилу в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 0,75 мг/м<sup>3</sup>. Для дотримання цієї норми приміщення обладнується системою припливно-витяжної вентиляції з фільтрами тонкого очищення (класу не нижче EU4). Вентиляційна система налаштовується таким чином, щоб створювати всередині серверної невеликий надлишковий тиск повітря (підпір). Це гарантує, що при відкриванні входних дверей невідфільтроване повітря з коридорів не потраплятиме всередину чистої зони.

4. Захист від акустичного шуму та електромагнітного випромінювання  
Промислові кондиціонери та високооборотні вентилятори в серверах створюють постійний інтенсивний шум широкого спектра. Рівень звукового тиску в діючих серверних часто сягає 75–85 дБА. Відповідно до санітарних норм, гранично допустимий рівень шуму для приміщень, де виконується розумова праця, становить 50 дБА. Отже, серверна кімната є приміщенням зі шкідливими умовами праці. Тривале перебування в ній інженерного персоналу без засобів індивідуального захисту (протишумових навушників або берушів) категорично заборонено, оскільки це призводить до зниження слуху, головного болю та розладів нервової системи. Додатковим шкідливим фактором є підвищений рівень електромагнітного випромінювання (ЕМВ) від силових кабелів та імпульсних блоків живлення. Напруженість електромагнітного поля на робочих місцях персоналу не повинна перевищувати нормативних значень, що досягається шляхом екранування кабельних трас та надійного заземлення металевих корпусів стійок.

Саме з огляду на ці шкідливі фактори (шум, ЕМВ, низька температура холодного коридору) впровадження розробленої системи моніторингу на базі мікроконтролера ESP32 має прямий позитивний вплив на охорону праці. Інтеграція пристрою з Telegram Bot API дозволяє системному адміністратору контролювати критичні параметри мікроклімату дистанційно. Це зводить до абсолютного мінімуму необхідність його фізичної присутності у шкідливих умовах серверної кімнати, дозволяючи виконувати моніторинг із комфортного та безпечного офісного приміщення.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.3 Планування та контроль за виконанням заходів із безпеки праці під час обслуговування систем моніторингу

Експлуатація розробленого апаратно-програмного комплексу на базі мікроконтролера ESP32 не передбачає наявності рухомих механічних частин або необхідності щоденного втручання з боку обслуговуючого персоналу. Проте, зважаючи на специфіку розміщення пристрою в умовах діючої телекомунікаційної шафи або серверної кімнати, безпека праці забезпечується шляхом суворого планування організаційно-технічних заходів та постійного контролю за їх дотриманням керівництвом ІТ-підрозділу.

1. Організація навчання та інструктажів з охорони праці До роботи з апаратним забезпеченням системи моніторингу (монтаж, демонтаж, очищення датчиків, заміна ліній живлення) допускаються виключно особи, які досягли 18-річного віку, мають відповідну технічну кваліфікацію, групу з електробезпеки не нижче III та пройшли медичний огляд. Відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05. Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, системні адміністратори та чергові інженери зобов'язані проходити такі види інструктажів:

- Вступний інструктаж - проводиться інженером з охорони праці при прийнятті на роботу.
- Первинний інструктаж на робочому місці - проводиться безпосереднім керівником робіт перед першим допуском до обслуговування серверного обладнання.
- Повторний інструктаж - проводиться з усім персоналом не рідше одного разу на 6 місяців для оновлення знань щодо безпечної експлуатації електроустановок.
- Цільовий інструктаж - обов'язковий перед виконанням нетипових або аварійних робіт (наприклад, термінова заміна згорілого адаптера живлення системи моніторингу в умовах задимлення). Усі проведені

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

інструктажі в обов'язковому порядку фіксуються у відповідних журналах під особистий розпис працівника та особи, яка проводила інструктаж.

2. Вимоги пожежної безпеки в серверних приміщеннях Серверні кімнати характеризуються надзвичайно високою пожежною небезпекою. Це зумовлено великою кількістю кабельної продукції, наявністю пластикових корпусів (включно з корпусом розробленого пристрою), друкованих плат та постійним високим тепловим навантаженням. У разі виникнення короткого замикання в імпульсному блоці живлення системи моніторингу або загоряння сусідніх елементів стійки категорично забороняється застосовувати водні або пінні вогнегасники, оскільки вода є чудовим провідником електричного струму. Гасіння електроустановок, що перебувають під напругою, допускається виключно за допомогою вуглекислотних (ВВК) або спеціальних порошкових вогнегасників. Крім того, сучасне серверне приміщення в обов'язковому порядку обладнується автоматичною установкою газового пожежогасіння АУГП. На базі інертних газів наприклад, хладон або Noves 1230. Ці вогнегасні речовини витісняють кисень, припиняючи горіння, але не викликають корозії та не пошкоджують електронні компоненти (мікросхеми, жорсткі диски). При отриманні сигналу «Пожежа» та ввімкненні світлозвукового табло «Газ - виходь!», персонал зобов'язаний негайно покинути приміщення до моменту автоматичного пуску газу, оскільки перебування в такому середовищі є смертельно небезпечним.

3. Регламент безпечного технічного обслуговування Для підтримання безперебійної працездатності системи моніторингу мікроклімату та уникнення травматизму розроблено наступний планово-попереджувальний регламент:

- Щомісячний візуальний контроль. Відповідальний інженер без відкриття корпусу проводить огляд пристрою: перевіряється цілісність пластикових панелей, відсутність запаху павленої ізоляції, надійність кріплення кабелів живлення та сигнальних шлейфів у роз'ємах.
- Піврічне профілактичне обслуговування. Включає очищення перфорованих отворів виносного датчика DHT22 від побутового та технічного пилу. Пил є гідрофільним матеріалом, і при підвищенні

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологості він перетворюється на струмопровідне середовище, що може призвести до хибних показників або замикання цифрових контактів. Очищення проводиться тільки після повного фізичного відключення пристрою від мережі 220 В. Забороняється використовувати вологі серветки або розчинники; застосовується виключно балон зі стисненим повітрям або антистатичний пензель.

4. Екологічні вимоги та правила утилізації електронних компонентів

Важливою складовою охорони навколишнього середовища є правильне поводження з електронними відходами. Друкована плата мікроконтролера ESP32, OLED-дисплей та периферійні датчики складаються зі склотекстоліту, мідних провідників, свинцево-вмісного припою та напівпровідникових кристалів, що містять легуючі домішки. У разі остаточного та незворотного виходу пристрою з ладу його компоненти класифікуються як небезпечні електронні відходи. Їх категорично забороняється викидати у звичайні контейнери для твердих побутових відходів. Згідно з чинним екологічним законодавством України щодо управління відходами, відпрацьовані електронні модулі підлягають демонтажу, офіційному списанню з балансу підприємства за актом та подальшій передачі спеціалізованим підрядним організаціям. Ці організації повинні мати відповідні державні ліцензії на безпечну переробку, вилучення дорогоцінних або кольорових металів та екологічно безпечну утилізацію електронного брухту.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що суворе дотримання регламентів технічного обслуговування, правил електричної та пожежної безпеки, а також своєчасне проведення інструктажів гарантують безпечну та тривалу експлуатацію розробленого апаратно-програмного комплексу без ризику для здоров'я обслуговуючого персоналу та довкілля.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було розроблено та протестовано автоматизовану систему моніторингу мікроклімату для серверних і телекомунікаційних приміщень.

У загальній частині обґрунтовано актуальність створення автономних інструментів для відстеження теплових навантажень в ІТ-інфраструктурі, що дозволяє запобігати аварійним вимкненням обчислювальної техніки. Проведено аналіз існуючих рішень та доведено необхідність розробки доступної альтернативи.

У спеціальній частині розроблено технічне завдання та обґрунтовано вибір сучасної елементної бази (мікроконтролер ESP32, датчик DHT22, ІЧ-модулі). Спроектовано функціональну схему та створено алгоритм керування на базі операційної системи FreeRTOS. Написано програмне забезпечення мовою C++ для реалізації логіки навчання ІЧ-пульта з використанням енергонезалежної пам'яті (NVS) та дистанційного контролю через месенджер Telegram. Також розроблено інструкцію з експлуатації та методику випробувань пристрою.

Економічна частина містить фінансові розрахунки, спрямовані на визначення собівартості розробки, ціни науково-дослідної роботи та терміну окупності пристрою. Отримані результати підтверджують високу рентабельність та економічну доцільність впровадження комплексу.

У розділі охорони праці розглянуто чинні нормативні вимоги до мікроклімату серверних кімнат, технічні заходи електробезпеки при монтажі слабкострумів пристроїв поблизу діючого високовольтного обладнання та правила екологічної утилізації електронних плат.

Під час виконання роботи я здобув міцні практичні навички з проектування апаратних систем, програмування мікроконтролерів мовою C++, роботи з протоколами I2C та 1-Wire, а також реалізації захищених мережесих SSL-запитів для взаємодії з Telegram API.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сніжний Г. В. Економіка, організація та планування науково-дослідних робіт. Харків: ХНУРЕ, 2020. 180 с.
2. Соммер У. Програмування мікроконтролерних плат Arduino. Київ: МК-Прес, 2020. 256 с.
3. Специфікація інфрачервоного протоколу передачі даних NEC (NEC Infrared Transmission Protocol) URL: <https://www.ingeneriyi.info/soft/protocol/3581-ik-upravlenie-protokol-nec.html> (дата звернення: 12.05.2026).
4. Специфікація передачі даних по ІЧ-каналі (протокол NEC). URL: <https://www.sbprojects.net/knowledge/ir/nec.php> (дата звернення: 15.05.2026).
5. Шпак З. Я. Програмування мовою С++: Навчальний посібник. Львів: Оріяна-Нова, 2019. 432 с.
6. ArduinoJson library documentation. URL: <https://arduinojson.org/> (дата звернення: 18.05.2026).
7. Barry R. Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel: A Hands-On Tutorial Guide. Real Time Engineers Ltd., 2019. 410 p.
8. Digital-output relative humidity & temperature sensor AM2302 (DHT22) specification. Aosong Electronics Co., Ltd. 8 p. URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf> (дата звернення: 22.05.2026).
9. ESP32 Series Datasheet. Ver. 4.3. Espressif Systems, 2023. 64 p. URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf) (дата звернення: 26.05.2026).
10. ESP32-WROOM-32 Datasheet. Ver. 3.4. Espressif Systems, 2022. 31 p.
11. High Speed Infrared Emitting Diode, 940 nm, GaAlAs/GaAs TSAL6200. Vishay Semiconductors, 2021. 6 p. URL: <https://www.vishay.com/docs/81010/tsal6200.pdf> (дата звернення: 29.05.2026).

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Infrared Receiver Modules for Remote Control Systems VS1838B Datasheet. 4 p.
13. IRremoteESP8266: Infrared remote library for ESP8266/ESP32. GitHub Repository. URL: <https://github.com/crankyoldgit/IRremoteESP8266> (дата звернення: 03.06.2026).
14. Keyes RGB LED Module KY-016 Technical Specification. 3 p.
15. Non-Volatile Storage (NVS). Espressif Systems API Reference. URL: [https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/storage/nvs\\_flash.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/storage/nvs_flash.html) (дата звернення: 04.06.2026).
16. SSD1306 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller. Solomon Systech, 2018. 59 p.
17. Tactile Switch B3F Series Technical Data. Omron Electronic Components, 2020. 12 p.
18. Telegram Bot API. Core Documentation for Developers. URL: <https://core.telegram.org/bots/api> (дата звернення: 05.06.2026).
19. UM10204 I2C-bus specification and user manual. Rev. 7.0. NXP Semiconductors, 2021. 64 p.

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТОК А

## Код для ESP32

```
// Підключення необхідних бібліотек
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <DHT.h>
#include <IRremoteESP8266.h>
#include <IRrecv.h>
#include <IRsend.h>
#include <IRutils.h>
#include <Preferences.h>

// Конфігурація мережі та Telegram-бота
#define WIFI_SSID "Wokwi-GUEST"
#define WIFI_PASSWORD ""
#define BOT_TOKEN "8674908242:AAERxH6FUxz3_EJXtbt92rmiVpgQxEzZJc"
#define CHAT_ID "8674908242"

// Налаштування пінів підключення
#define DHTPIN 15
#define DHTTYPE DHT22
#define IR_RECV_PIN 13
#define IR_SEND_PIN 12
#define RED_PIN 5
#define GREEN_PIN 18
#define BLUE_PIN 19
#define MANUAL_BTN_PIN 4
#define IR_BUTTON_BACK 0xFF43BC

// Ініціалізація периферії
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_SSD1306 display(128, 64, &Wire, -1);
IRrecv irrecv(IR_RECV_PIN);
IRsend irsend(IR_SEND_PIN);
decode_results results;

WiFiClientSecure secured_client;
UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, secured_client);
Preferences preferences;

// Глобальні змінні телеметрії та станів
float currentTemp = 0.0;
float currentHum = 0.0;
float targetTemp = 24.0;
float criticalTemp = 40.0;
```

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

bool acState = false;
bool manualAcOverride = false;
bool manualAcState = false;

// Змінні для режиму навчання пульта
bool isLearningUp = false;
bool isLearningDown = false;
bool isLearningPower = false;
uint32_t codeAcTempUp = 0;
uint32_t codeAcTempDown = 0;
uint32_t codeAcPower = 0;
int resetCounter = 0;

// Змінні таймерів та сповіщень
unsigned long acTempMsgTime = 0;
bool showAcChangeMsg = false;
String acChangeStr = "";
String adminChatId = CHAT_ID;

unsigned long lastAlertTime = 0;
const unsigned long alertInterval = 60000;
String pendingAlertMsg = "";
bool hasPendingAlert = false;

// Функція керування RGB-індикацією
void setLED(bool r, bool g, bool b) {
    digitalWrite(RED_PIN, r ? HIGH : LOW);
    digitalWrite(GREEN_PIN, g ? HIGH : LOW);
    digitalWrite(BLUE_PIN, b ? HIGH : LOW);
}

// Обробка вхідних команд з Telegram
void handleNewMessages(int numNewMessages) {
    for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
        String chat_id = String(bot.messages[i].chat_id);
        String text = bot.messages[i].text;
        adminChatId = chat_id;

        if (text == "/start") {
            String welcome = "Система KI-412 готова до роботи.\nОберіть команду з меню:";
            String keyboardJson = "[[\"/status\", \"/restart\"], [\"/ac_on\", \"/ac_off\"]]";
            bot.sendMessageWithReplyKeyboard(chat_id, welcome, "", keyboardJson, true);
        }
        else if (text == "/status") {
            String msg = "📊 ПАРАМЕТРИ:\n";
            msg += "🌡 Температура: " + String(currentTemp, 1) + "°C\n";
            msg += "💧 Вологість: " + String(currentHum, 1) + "%\n";
            msg += "🌀 Попір: " + String(targetTemp, 1) + "°C\n";
            msg += "✳ Стан АС: " + String(acState ? (manualAcOverride ? "ПРИМУСОВО" : "ПРАЦЮЄ") : "ОЧІКУВАННЯ");
            bot.sendMessage(chat_id, msg, "");
        }
        else if (text == "/ac_on") {
            manualAcOverride = true;
            manualAcState = true;
            bot.sendMessage(chat_id, "⚠ АВАРІЙНЕ УВІМКНЕННЯ КОНДИЦІОНЕРА", "");
        }
    }
}

```

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

```

}
else if (text == "/ac_off") {
    manualAcOverride = false;
    bot.sendMessage(chat_id, "☑ ПЕРЕХІД В АВТОМАТИЧНИЙ РЕЖИМ", "");
}
else if (text == "/restart") {
    bot.sendMessage(chat_id, "🔄 Перезапуск...", "");
    bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
    delay(500);
    ESP.restart();
}
}
}

// Апаратна задача (Ядро 0): опитування датчиків, ІЧ-модулів та дисплея
void TaskHardware(void *pvParameters) {
    bool lastBtnState = HIGH;
    bool lastAcState = false;
    unsigned long lastDhtTime = 0;

    for (;;) {
        // Опитування тактової кнопки
        bool btnState = digitalRead(MANUAL_BTN_PIN);
        if (btnState == LOW && lastBtnState == HIGH) {
            manualAcOverride = !manualAcOverride;
            if (manualAcOverride) {
                manualAcState = !acState;
            }
            showAcChangeMsg = true;
            acChangeStr = manualAcOverride ? "MANUAL MODE" : "AUTO MODE";
            acTempMsgTime = millis();
        }

        lastBtnState = btnState;
        // Обробка команд з ІЧ-приймача
        if (irrecv.decode(&results)) {
            uint32_t rec = results.value;

            if (rec != 0xFFFFFFFF && rec != 0) {
                if (rec == IR_BUTTON_BACK) {
                    resetCounter++;
                    if (resetCounter >= 10) {
                        codeAcTempUp = 0; codeAcTempDown = 0; codeAcPower = 0;

                        preferences.begin("ir_codes", false);
                        preferences.clear();
                        preferences.end();

                        isLearningUp = false; isLearningDown = false; isLearningPower = false;
                        resetCounter = 0;
                        showAcChangeMsg = true;
                        acChangeStr = "SETTINGS RESET!";
                        acTempMsgTime = millis();
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

```

else {
    resetCounter = 0;

    if (rec == 0xFF15EA && !isLearningUp && !isLearningDown && !isLearningPower) {
        isLearningUp = true;
    }
    else if (isLearningUp && rec != 0xFF15EA) {
        codeAcTempUp = rec;
        preferences.begin("ir_codes", false);
        preferences.putUInt("codeUp", codeAcTempUp);
        preferences.end();
        isLearningUp = false; isLearningDown = true;

vTaskDelay(300 / portTICK_PERIOD_MS);
    }
    else if (isLearningDown && rec != codeAcTempUp) {
        codeAcTempDown = rec;
        preferences.begin("ir_codes", false);
        preferences.putUInt("codeDown", codeAcTempDown);
        preferences.end();
        isLearningDown = false; isLearningPower = true;
        vTaskDelay(300 / portTICK_PERIOD_MS);
    }
    else if (isLearningPower && rec != codeAcTempUp && rec != codeAcTempDown) {
        codeAcPower = rec;
        preferences.begin("ir_codes", false);
        preferences.putUInt("codePower", codeAcPower);
        preferences.end();
        isLearningPower = false;
        showAcChangeMsg = true;
        acChangeStr = "LEARN SUCCESS!";
        acTempMsgTime = millis();
    }
    else if (!isLearningUp && !isLearningDown && !isLearningPower) {
        if (rec == 0xFF40BF) {
            targetTemp += 0.5;
        }
        else if (rec == 0xFF19E6) {
            targetTemp -= 0.5;
        }
        else if (codeAcTempUp != 0 && rec == codeAcTempUp) {
            irsend.sendNEC(codeAcTempUp, 32);
            showAcChangeMsg = true;
            acChangeStr = "AC TEMP +1";
            acTempMsgTime = millis();
        }
        else if (codeAcTempDown != 0 && rec == codeAcTempDown) {

            irsend.sendNEC(codeAcTempDown, 32);
            showAcChangeMsg = true;
            acChangeStr = "AC TEMP -1";
            acTempMsgTime = millis();
        }
        else if (codeAcPower != 0 && rec == codeAcPower) {
            manualAcOverride = true;

```

					2026.КБР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

```

        manualAcState = !acState;
        showAcChangeMsg = true;
        acChangeStr = manualAcState ? "AC POWER ON" : "AC POWER OFF";
        acTempMsgTime = millis();
    }
}
}
}
irrcv.resume();
}

// Зчитування показників з DHT22
if (millis() - lastDhtTime >= 2500 || lastDhtTime == 0) {
    float t = dht.readTemperature();
    float h = dht.readHumidity();

    if (!isnan(t) && !isnan(h)) {
        currentTemp = t;
        currentHum = h;

        bool tempAlarm = (currentTemp >= criticalTemp);
        bool humAlarm = (currentHum > 60.0 || currentHum < 35.0);

        if (tempAlarm && humAlarm) {
            setLED(true, false, false);
        }
        else if (tempAlarm || humAlarm) {
            setLED(true, true, false);
        }
        else {
            if (manualAcOverride) {
                acState = manualAcState;
            } else {
                acState = (currentTemp >= targetTemp);
            }

            if (acState) setLED(false, false, true);
            else setLED(false, true, false);
        }

        if (acState != lastAcState) {
            if (acState) {
                irsend.sendNEC(codeAcPower != 0 ? codeAcPower : 0x00FFAA55, 32);
            } else {
                irsend.sendNEC(codeAcPower != 0 ? codeAcPower : 0x00FF55AA, 32);
            }
            lastAcState = acState;
        }

        if ((tempAlarm || humAlarm) && adminChatId != "") {
            if (lastAlertTime == 0 || millis() - lastAlertTime > alertInterval) {
                String alertMsg = "";
                if (tempAlarm && humAlarm) {

```

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

```

        alertMsg = "🚨 ТРИВОГА! Температура: " + String(currentTemp, 1) + "°C\n🚨 УВАГА! Вологість: " +
String(currentHum, 1) + "%";
    } else if (tempAlarm) {
        alertMsg = "🚨 ТРИВОГА! Температура: " + String(currentTemp, 1) + "°C";
    } else if (humAlarm) {
        alertMsg = "🚨 УВАГА! Вологість: " + String(currentHum, 1) + "%";
    }
    pendingAlertMsg = alertMsg;

    hasPendingAlert = true;
    lastAlertTime = millis();
    }
}
lastDhtTime = millis();
}

// Оновлення OLED-дисплея
display.clearDisplay();
display.setTextColor(WHITE);

if (isLearningUp) {
    display.drawRect(0, 0, 128, 64, WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(12, 12); display.print("LEARN MODE: [1/3]");
    display.setCursor(12, 32); display.print("Press button for:");
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(12, 45); display.print("AC TEMP +");
}
else if (isLearningDown) {
    display.drawRect(0, 0, 128, 64, WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(12, 12); display.print("LEARN MODE: [2/3]");
    display.setCursor(12, 32); display.print("Press button for:");
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(12, 45); display.print("AC TEMP -");
}
else if (isLearningPower) {
    display.drawRect(0, 0, 128, 64, WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(12, 12); display.print("LEARN MODE: [3/3]");
    display.setCursor(12, 32); display.print("Press button for:");
    display.setTextSize(2);

    display.setCursor(12, 45); display.print("AC POWER");
}
else if (showAcChangeMsg && (millis() - acTempMsgTime < 1200)) {
    display.drawRect(0, 0, 128, 64, WHITE);
    display.setTextSize(1);
    int16_t x1, y1;
    uint16_t w, h_txt;
    display.getTextBounds(acChangeStr, 0, 0, &x1, &y1, &w, &h_txt);
    display.setCursor((128 - w) / 2, 28);
    display.print(acChangeStr);
}

```

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

```

else {
    if (millis() - acTempMsgTime >= 1200) {
        showAcChangeMsg = false;
    }
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(0, 0);
    display.print("TGT: ");
    display.print(targetTemp, 1);
    display.print("C AC: ");
    display.print(acState ? "ON" : "OFF");
    display.drawLine(0, 10, 128, 10, WHITE);

    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(0, 16);
    display.print("T:");
    display.print(currentTemp, 1);
    display.print("C");

    display.setCursor(0, 36);
    display.print("H:");
    display.print(currentHum, 1);
    display.print("%");
    display.drawLine(0, 54, 128, 54, WHITE);

    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(0, 56);
    display.print(manualAcOverride ? "MODE: MANUAL OVERRIDE" : "MODE: AUTO");
}

display.display();
vTaskDelay(100 / portTICK_PERIOD_MS);
}

// Мережева задача (Ядро 1): робота з Telegram
void TaskTelegram(void *pvParameters) {
    for (;;) {
        if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {

            if (hasPendingAlert && adminChatId != "") {
                bot.sendMessage(adminChatId, pendingAlertMsg, "");
                hasPendingAlert = false;
            }

            int numNew = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
            if (numNew > 0) {
                handleNewMessages(numNew);
            }
        }
        vTaskDelay(3000 / portTICK_PERIOD_MS);
    }
}

// Головна ініціалізація
void setup() {
    Serial.begin(115200);
}

```

					2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

```

pinMode(RED_PIN, OUTPUT); pinMode(GREEN_PIN, OUTPUT); pinMode(BLUE_PIN, OUTPUT);
pinMode(MANUAL_BTN_PIN, INPUT_PULLUP);

// Завантаження збережених ІЧ-кодів
preferences.begin("ir_codes", false);
codeAcTempUp = preferences.getUInt("codeUp", 0);
codeAcTempDown = preferences.getUInt("codeDown", 0);
codeAcPower = preferences.getUInt("codePower", 0);
preferences.end();

dht.begin();
irrecv.enableIRIn();
irsend.begin();

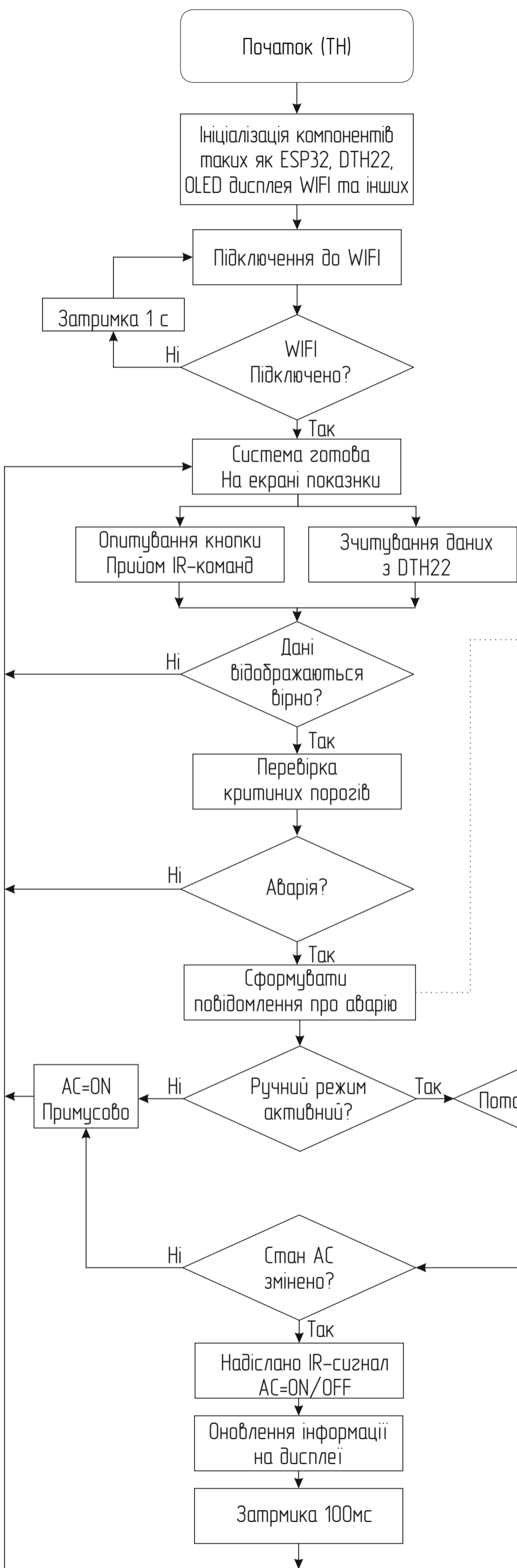
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display.setTextColor(WHITE);
display.clearDisplay();

// Підключення до Wi-Fi
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
secured_client.setInsecure();
secured_client.setTimeout(15);
int attempts = 0;
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 20) {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(14, 15);
    display.print("Connecting Wi-Fi...");
    display.drawRect(14, 35, 100, 10, WHITE);
    int progressWidth = (attempts * 100) / 20;
    display.fillRect(14, 35, progressWidth, 10, WHITE);
    display.display();
    delay(500);
    attempts++;
}
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    display.clearDisplay();

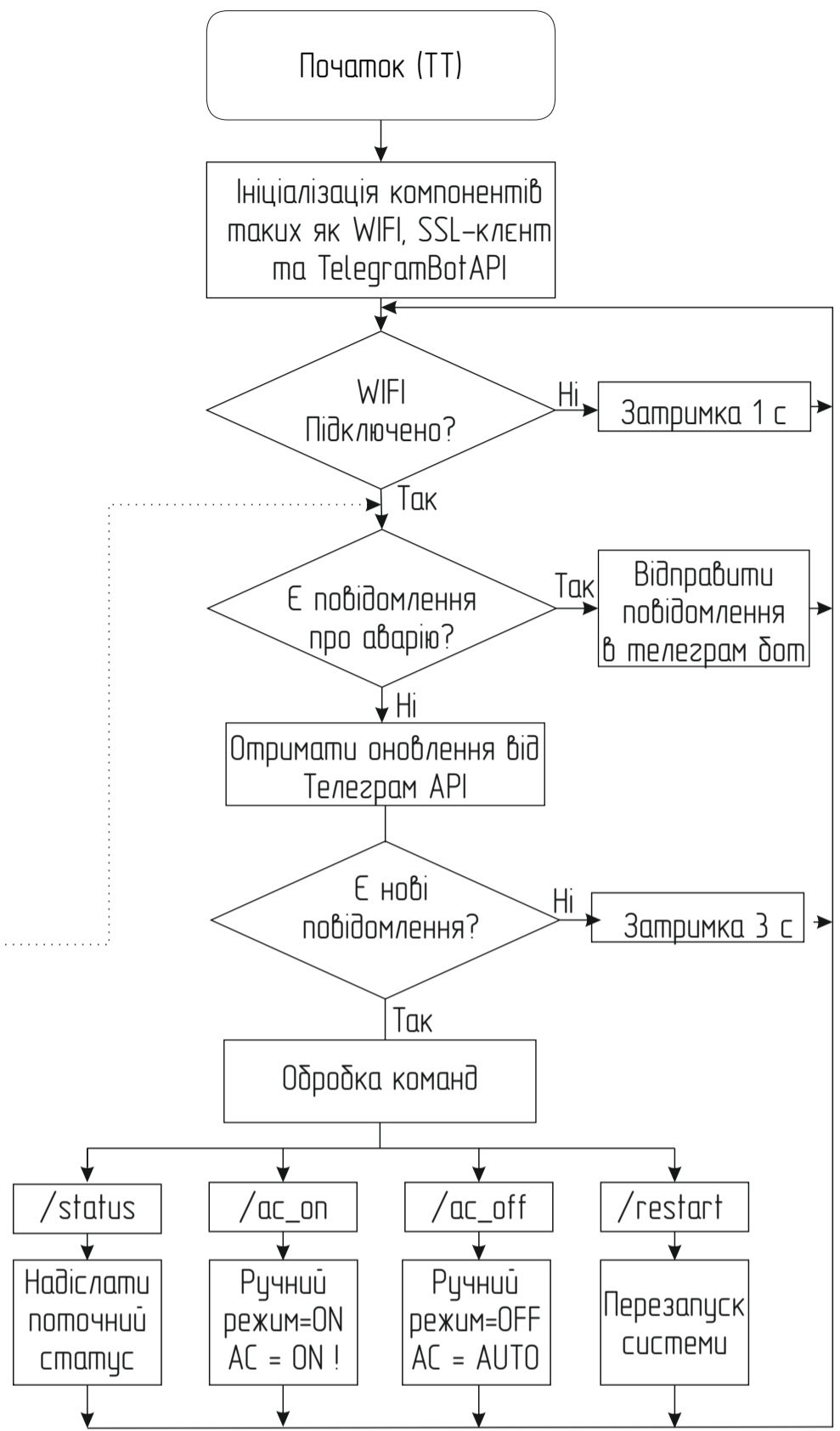
    display.setCursor(14, 15);
    display.print("Wi-Fi Connected!");
    display.fillRect(14, 35, 100, 10, WHITE);
    display.display();
    delay(1000);
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "☑ Система KI-412 увімкнена та готова до роботи!", "");
}
// Запуск потоків FreeRTOS
xTaskCreatePinnedToCore(TaskHardware, "HW", 16384, NULL, 1, NULL, 0);
xTaskCreatePinnedToCore(TaskTelegram, "Bot", 16384, NULL, 1, NULL, 1);
}
void loop() {}

```

					2026.КБР.123.412.02.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

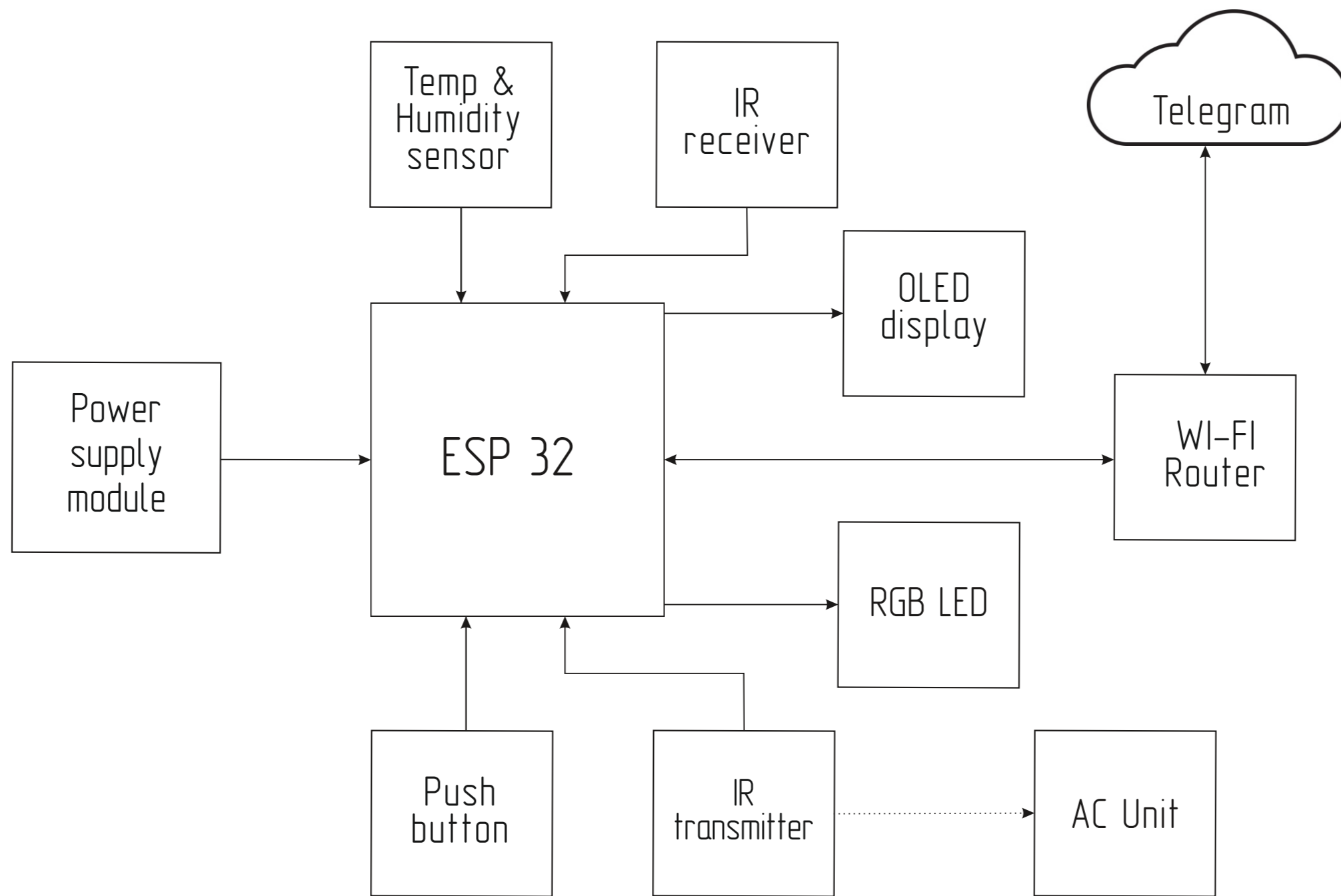


Алгоритм роботи мікропроцесора

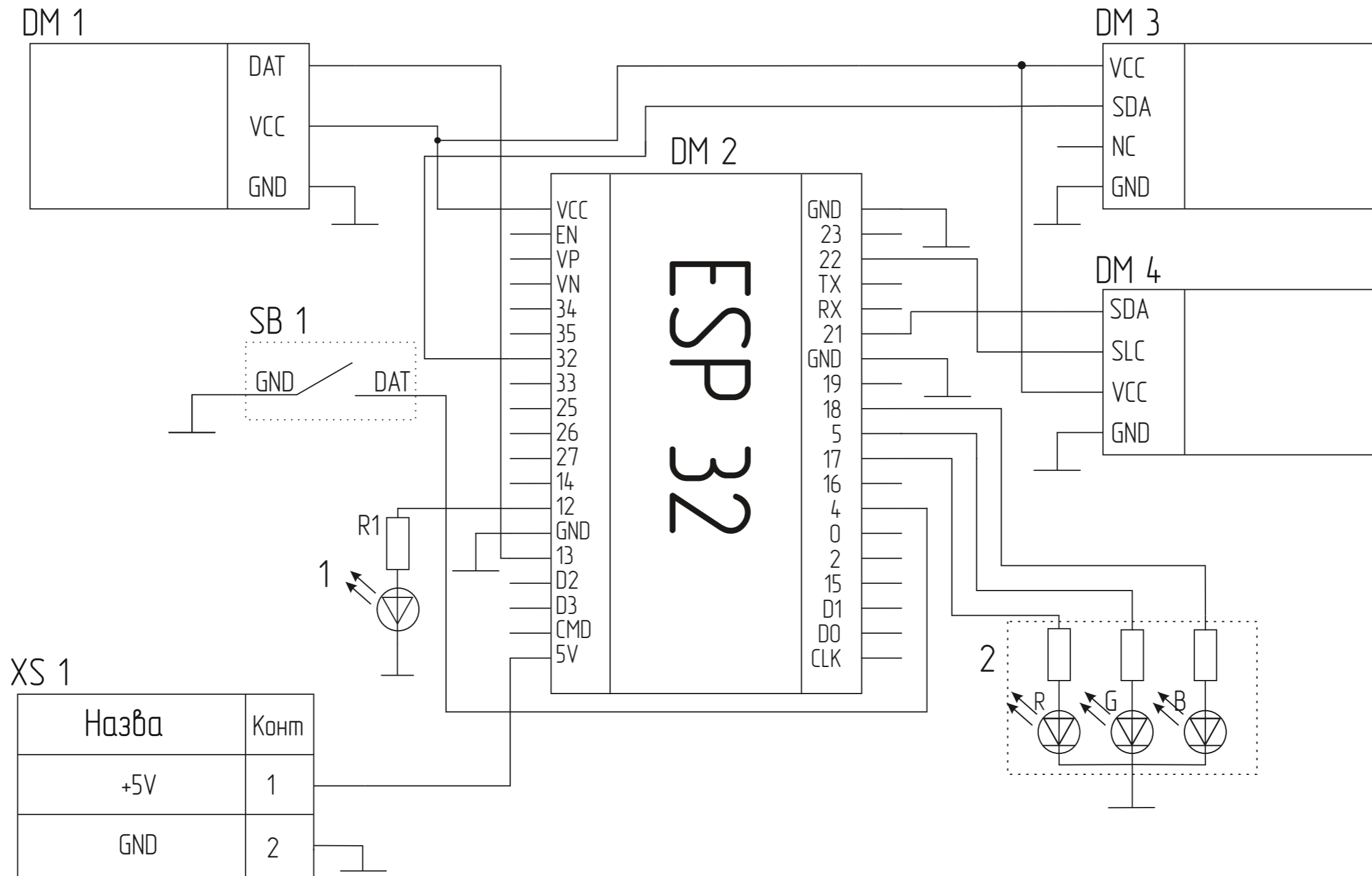


Алгоритм роботи Телеграм Бота

2026KBP.123.4.12.02.00.00 БС					
Зм.	Арх.	Інформація	Підпис	Дата	Розробка системи моніторингу мікроклімату серверного приміщення
Розроб.	Виконав.	Перевір.	Невідомо	АЛГ	Блок-схема
Начект.	Юрій	В.В.			Лист 1
Резена.	Затв.				Аркциб 1
					ВСП ТФК ТНТУ КІ-4.12 м. Тернопіль



					2026.KBP.123.4.12.02.00.00 CC		
Эк.	Арх.	№Вариант	Підпис	Дата	Разработка системы мониторингу микроклимату серверного приміщення		
Разроб	ВанжалоР.В				Лист	Масштаб	Масштаб
Перебр	НевошисткаА.Г				Схема електрично структурна		
Исполн	ЮзькоД.В				Архив 1	Архив 1	
Реценз					ВСП ТФК ТНТУ КІ-412 м. Тернопіль		
Затв.							



XS 1

Назва	Конн
+5V	1
GND	2

2026KBP.1234.12020002 E3				
Эк.	Арх.	Ніжні	Підпис	Дата
Розроб	ВанжалоР.В			
Перевір	НевощиткоА.Г			
Нормат	ДзядьД.В			
Реценз				
Затв.				
Розробка системи моніторингу мікроклімату серверного приміщення Схема електрична функціональна			Лист	Маса
			Аркш 1	Аркшів 1
			ВСП ФК ТНТУ КІ-4.12 м. Тернопіль	

## ТАБЛИЦЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Технічні показники			Економічні показники			
№ п/п	Показник	Значення	№ п/п	Показник	Одиниці вимірю- вання	Значе- ння
1	Мікроконтролерні платформи	ESP32 DevKit V1	1	Собівартість	грн	27256,12
2	Тип радіоканалу	Wi-Fi (802.11 b/g/n)	2	Плановий придбток	грн	15263,43
3	Контроль параметрів	Температура, вологість	3	Ціна	грн	42519,55
4	Інтерфейси	1-Wire, I2C, I4-канал	4	Чиста теперішня вартість	грн	10701,72
5	Напруга живлення	5В, 3.3В	5	Термін окупності	рік	2,1

2026KBP.123.4.12.02.00.02 ТБ					
Зм.	Арх.	Ніжирки	Підпис	Дата	Лист
Розроб	ВанжалоР.В				Маса
Перевір	НевощиткоА.Г				Масшт.
Нормат	ДзюбаВ.В				Аркш 1
Реценз					Аркшів 1
Затв.					ВСП ТФК ТНТУ КІ-4.12 м. Тернопіль

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка			
<i>Цифрові модулі</i>						
DM 1	Модуль інфрачервоного приймача - VS1838B	1				
DM 2	Плата ESP32 DevKit V1 - виробник Espressif	1				
DM 3	Датчик DHT22 (AM2302) - виробник Aosong	1				
DM 4	OLED-дисплей, SSD1306 - виробник Solomon	1				
<i>Оптоелектроніка та індикація</i>						
1	ITSAL6200 - виробник Vishay	1				
2	Модуль RGB-(KY-016) - виробник Keyes	1	Містить вбудовані резистори			
<i>Комутаційні елементи</i>						
SB 1	Тактова кнопка B3F-1000 - виробник Omron	1				
<i>Резистори</i>						
R1	Резистор вуглецевий 220 Ом $\pm 5\%$ 0.25 Вт	1				
<i>Контакти</i>						
XS1	Роз'єм живлення TYPE-C-06F-DIP -виробник ХКВ	1				
<b>2026.КВР.123.412.02.00.00 ПЕ</b>						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.	Ванжула Р.В.					
Перевір.	Недошитко А.Г.					
Реценз.						
Н. Контр.	Юзьків А.В.					
Затверд.						
Розробка системи моніторингу мікроклімату серверного приміщення Перелік елементів				Літ.	Арк.	Аркуші
				ВСП «ТФК ТНТУ» Група КІ-412 м. Тернопіль		