

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

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система керування параметрами мікроклімату
в зерносховищі*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Ганкевич Д.О</u> (підпис)	<u>Ганкевич Д.О</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Стадник Н.Б</u> (підпис)	<u>Стадник Н.Б</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Луцик Н.С</u> (підпис)	<u>Луцик Н.С</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис)	<u>Осухівська Г.М.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Цуприк Г.Б</u> (підпис)	<u>Цуприк Г.Б</u> (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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

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

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

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

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Ганкевичу Денису Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система керування параметрами мікроклімату в зерносховищі

Керівник роботи Стадник Наталія Богданівна. к.т.н., старший викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.06.2025 р

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання по розробці КС керування параметрами мікроклімату в зерносховищі

2. Проектування КС керування параметрами мікроклімату в зерносховищі

3. Програмування та тестування програмного забезпечення КС

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1.Блок схема алгоритму роботи приладу

2.Структурна схема

3.Схема електрична принципова

4.Модель комп'ютерної системи

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання.</i>	<i>27.01 – 02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Робота над основними розділом – Аналіз технічного завдання по розробці КС контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі</i>	<i>03.02-05.03</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Робота над основними розділом – Проектування КС контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі</i>	<i>05.03-14.04</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Робота над основними розділами – Програмування та тестування програмного забезпечення</i>	<i>14.04-17.05</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>17.05-01.06</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>01.06-09.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>9.06 – 15.06</i>	<i>Викон</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>23.06</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)*Ганкевич Д.О*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Стадник Н.Б*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ганкевич Д.О. Комп'ютерна система керування параметрами мікроклімату в зерносховищі : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025 .

Ключові слова: комп'ютерна система, керування, мікроклімат, Arduino Mega, Blink, зерносховище, зерно .

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та дослідженню комп'ютерної системи моніторингу й автоматичного керування параметрами мікроклімату в умовах зерносховища. Робота охоплює аналіз наявних рішень у сфері агробізнесу та наголошує на можливості керування станом виконавчих пристроїв у режимі реального часу. Для створення системи керування параметрами мікроклімату у зерносховищі використовується основні сенсори, виконавчі пристрої, головний мікроконтролер та алгоритми підтримки стабільних умов зберігання сільськогосподарської продукції.

Результати дослідження будуть використані в агропромисловій сфері для підвищення ефективності зберігання зерна, зниження втрат від псування, а також для впровадження доступних засобів автоматизації на об'єктах малого та середнього фермерського господарства.

ANNOTATION

Hankevych D.O. Computerized system for controlling microclimate parameters in grain storage facility Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025

Keywords: computer system, control, microclimate, Arduino Mega, Blink, granary, grain

The qualification thesis is devoted to the development of a computer-based system for monitoring and automatic control of microclimate parameters in grain storage conditions. The work includes an analysis of existing solutions in the agribusiness sector and emphasizes the ability to control the state of actuating devices in real time. To implement the microclimate control system in a grain storage facility, the project utilizes key sensors, actuators, a central microcontroller, and control algorithms designed to maintain stable conditions for agricultural product preservation.

The results of this research are intended for application in the agro-industrial sector to improve the efficiency of grain storage, reduce losses caused by spoilage, and facilitate the implementation of affordable automation tools in small and medium-sized farming enterprises.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ПО РОЗРОБЦІ КС КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В ЗЕРНОСХОВИЩІ	11
1.1 Аналіз вимог до комп'ютерної системи	11
1.2 Аналіз можливих рішень поставленого завдання	13
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ КС КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В ЗЕРНОСХОВИЩІ	17
2.1 Розробка структури комп'ютерної системи.....	17
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення проєктованого комп'ютерного засобу	18
2.3 Проєктування електричної принципової схеми	33
2.4 Проєктування комп'ютерного засобу	34
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КС	38
3.1 Реалізація і моделювання проектних рішень	38
3.2 Тестування	50
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..	52
4.1 Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування».....	52
4.2 Підбирання оптимальний параметрів мікроклімату на робочих місцях..	55

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерна система керування параметрами мікроклімату в зерноскладі		
Розроб.		Ганкевич Д.О					
Перевір.		Стадник Н.Б					
Реценз.		Цуприк Г.Б					
Н. Контр.		Луцик Н.С					
Затверд.		Осунівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						6	2
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

ВИСНОВКИ.....58

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....59

Додаток А Технічне завдання

Додаток Б Лістинг програми

Додаток В Перелік елементів

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

PCB – Printed circuit board

USB – Universal Serial Bus

GPS – Global Positioning System

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

ICSP – In-Circuit Serial Programming

NTC – Negative Temperature Coefficient

VOC – Volatile Organic Compounds

SPI – Serial Peripheral Interface

I2C – Inter-Integrated Circuit

АЦП – Аналого цифровий перетворювач

МК – мікроконтролер

ПЛК – програмований логічний контролер

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

КС — комп'ютерна система

					<i>КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Умови зберігання зернових культур сьогодення вимагають належного контролю умов мікроклімату, оскільки від цього залежить якісь та кількість збереженої продукції. Україна є одним з світових лідерів з експорту та виробництва зернових сільськогосподарських продуктів, через це питання модернізації методів зберігання зерна набуває особливої актуальності. Згідно правил організації та ведення технологічного процесу зберігання зерна параметри зберігання зернових культур температура повітря повинна бути в межах від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+15^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 60-70%, інтенсивність вентиляції: 0,1-0,3 м³/с на тонну зерна[1]. Відповідно до досліджень Міністерства аграрної політики річні витрати зерна через не правильне дотримання стандартів зберігання становлять до 15% від річного врожаю, що еквівалентно втраченим 1,41 мільярдам доларів США від річного експорту зернових культур за кордон.

Існує перелік нормативно-правової документації яка відповідає за урегулювання контролю зберігання та експорту зернових культур: Закон України «Про зерно та ринок зерна в Україні» [2], ДСТУ ISO 6322-1:2004 «Зберігання зерна. Загальні рекомендації» [3].

Згідно цих документів визначено, що місця де зберігається зернова продукція мають бути облаштовані приладами для здійснення контролю за температурою, вологістю повітря. Силос також повинен бути оснащеним термометрами та гідрометрами дані з яких кожен день заносять у журнал або базу даних. Вимірювальна техніка повинна бути завжди у справному стані та підлягати регулярній перевірці.

Не зважаючи на військові дії на території нашої держави за інформацією яку надав президент Асоціації елеваторів України, директор ProAgro Group Олег Клименко на початок 2025 року в Україні функціонує 1 600 зерноскладів, які можуть одночасно зберігати понад 50 мільйонів тон зернової

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

продукції. Кожне з цих підприємств повинно виконувати умови зберігання продукції відповідно до вимог законодавства.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи керування параметрів мікроклімату зерносховищ. Щоб реалізувати даний проект буде використовуватися мікроконтролер Arduino Mega, сенсори та датчики. Система, яка буде розроблена дозволить ефективно відстежувати та регулювати параметри середовища для того щоб забезпечити стабільні параметри зберігання.

Досягнення мети роботи буде виконуватися за такими завданнями:

- аналіз та огляд систем, які вже впровадженні на ринку;
- розробка структурної схеми системи контролю мікроклімату в зерносховищі;
- проектування електричної принципової схеми системи;
- створити алгоритм роботи програмного забезпечення запропонованої системи;
- написання програми для правильної роботи всіх елементів системи.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ПО РОЗРОБЦІ КС КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В ЗЕРНОСХОВИЩІ

1.1 Аналіз вимог до комп'ютерної системи

Щоб забезпечити належні умови зберігання продуктів зернових культур при температурі визначеною відповідно до міжнародних стандартів в зернових складах використовуються охолодження через гнучкі трубопроводи для зерна. Водночас для стабільної роботи даної системи охолодження також необхідно відстежувати наступні фактори як вологість, рівень конденсату, атмосферний тиск, вміст вуглекислого газу (CO₂) та наявність шкідників, які можуть негативно вплинути на дану систему охолодження та вивести її з ладу. Першочерговою умовою є підтримка оптимальної температури в силосі, що забезпечить тривалий та надійний режим його роботи, а також буде сприяти належному зберіганню зерна.

Актуальні системи контролю умов мікроклімату створені на базі контролерів, які конфігурують з програмним забезпеченням, яке налаштоване під певний різновид вентиляційних агрегатів. Функції управління, захисту та контроль за приладами забезпечує оптимальний набір апаратних та програмних засобів автоматизації.

Головні призначення системи автоматичного контролю мікроклімату:

- робота системи згідно затвердженого графіку;
- дистанційне керування роботою системи;
- регулювання параметрів клімату в приміщенні;
- включення системи при виході параметрів середовища за попередньо встановлені межі;

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Аналіз технічного завдання по розробці КС контролю параметрів мікроклімату зернохосовища</i>		
Розроб.		Ганкевич Д.О					
Перевір.		Стадник Н.Б					
Реценз.		Цуприк Г.Б					
Н. Контр.		Луцик Н.С					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						11	5
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

Функціональні можливості автоматизованої системи управління :

- вимір показників клімату: температура, вологість та тиск повітря, концентрації CO₂ та рівня шуму та їх моніторинг;
- автоматизоване ввімкнення виконавчих пристроїв: вентилятора, нагрівача та зволожувача у разі перевищення або зниження допустимих значень параметрів;
- запуск сигналу тривоги та включення розпилювача для боротьби проти шкідників при їх виявленні;
- передача зібраної інформації з датчиків для віддаленого моніторингу;
- Можливість реалізації живлення від автономного джерела (сонячних панелей чи зовнішніх батарей);

Щоб зберегти стабільні умови мікроклімату в зернових силосах та сховищах та швидкого виявлення відхилень у параметрах використовують програмовані контролери завдяки, яким забезпечується автоматизоване керування системами вентиляції, нагріву та зволоження повітря. До прикладу можна розглянути ПЛК Schneider Modicon M221 40 як на рисунку 1.1 [4].



Рисунок 1.1 – Програмований логічний контролер Schneider Modicon M221

Система автоматизованого контролю мікроклімату працює в чотири етапи:

- датчики, які встановлені в силосі фіксують поточні показники температури, вологості повітря, рівня вуглекислого газу;
- зібрані дані передаються до мікроконтролера, де відбувається аналіз показників відповідно до встановленого алгоритму роботи системи;
- якщо система фіксує відхилення параметрів від норм, активуються відповідні виконавчі пристрої (вентилятори, нагрівач) для повернення параметрів у встановлену норму;
- водночас дані передаються через Wi-Fi-модуль на сервер, де оператор може їх відслідковувати в реальному часі та дистанційно керувати системою.

Головно метою автоматизації процесів зберігання продукції в зерносховищах полягає у створенні простої та надійної системи, яка забезпечить зменшення втрат річного врожаю та дозволить уникнути фактору людської помилки.

1.2 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

У більшості випадків для зберігання зернових культур у сільському господарстві використовують зерносховища типу силосів. Завдяки ним можливо ефективно зберігати врожай в оптимальних умовах, що не допускає пошкодження та значних втрат зерна через неналежні умови зберігання. В такому типі зернових складів мікроклімат може керуватися пасивними та активними методами охолодження. Пасивне підтримання параметрів середовища виконується за рахунок температури повітря, яке проникає через вентиляційні отвори в стінах або даху складу. Такий метод є ефективним лише коли він використовується для утримання параметрів зберігання зернових культур у малих обсягах та при наявності стабільних погодних умов на

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

території де знаходиться сховище. Тому щоб уникнути недоліків пасивних систем до них додаються активні засоби контролю середовища, серед яких: примусова вентиляція, електронагрівачі, а також системи зрошення . На рисунку 1.2 зображено принцип розміщення вентиляційних пристроїв, які встановлюються у зерносховищах типу силос[5].



Рисунок 1.2 – Принцип розташування вентиляції у силосах

Примусова вентиляція слугує найбільш популярним активним методом підтримання температури всередині зерносховища. Найбільший результат вона показує в тих випадках, коли температура навколишнього середовища нижча ніж температура повітря в сховищі. Вентилятори встановлюють у нижній частині силосу, звідки повітря проходить вгору крізь зернову масу. Вентиляційні канали або труби також можуть розміщуватись по центру або бокових стінках для забезпечення направленої руху повітря. У такому

випадку система вентиляції забезпечує ефективне охолодження повітря та зменшує вологість і запобігає утворенню конденсату в середині сховища.

Автоматизовані системи вентиляції набувають популярності, оскільки є продуктивним рішенням для виконання поставлених задач та дозволяють без участі людини проводити операції по утриманню параметрів клімату.

Система виконує завдання в автоматичному режимі та характеризується:

- високим рівнем надійності;
- високоточними вимірюваннями;
- адаптивністю під різні типи зернових культур;
- віддаленим керуванням оператором;
- прості у технічному обслуговуванні;
- можливістю до подальшого масштабування.

Ціль використання системи автоматичного контролю клімату у зерносховищах:

- якщо необхідно зберігати температурні показники зерна у встановлених межах законодавством для різних типів культур;
- якщо необхідно контролювати рівень вологості у складі для запобігання утворенню плісняви та розвитку мікроорганізмів;
- якщо необхідно вимірювати рівень CO₂ для спостереження чи з'явилися шкідники у зерні;
- якщо необхідно здійснювати віддалений моніторинг та керування параметрами схову;
- якщо існує наявність встановлення системи протидії шкідників.

Актуальні пропозиції на ринку готових систем автоматичного контролю клімату в Україні налічує багато можливих варіантів. До прикладу можна розглянути прилад TOTAL CONTROL 1204, який передбачає можливе використання у великих сільськогосподарських підприємствах (зерносховища, теплиці, птахофабрики) [6].

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Завдяки такій системі підтримка параметрів середовища відбувається автоматично без постійного нагляду працівників. Через наявний сенсорний екран компетентний користувач задає параметри температури, вологості повітря та рівня CO₂. Після чого пристрій самостійно виконує аналіз навколишнього середовища та вмикає виконавчі механізми (вентиляція, обігрів, освітлення). Якщо температурний режим перевищує встановлену межу автоматично приводяться в роботу вентилятори або клапани для вентиляції. Аналогічно, коли температура нижче встановленої вмикаються нагрівальні елементи. Також у разі виявлення перевищення концентрації вологості або шкідливих газів (аміак, чадний газ) активується система провітрювання та подається сингал тривоги.

TOTAL CONTROL 1204 функціонує на базі багатоканального контролера з релейними та аналоговими виходами, дозволяє можливість встановлення 12 рівнів вентиляції та надає змогу керувати окремими зонами у приміщенні. Система має функцію підключення резервного живлення, підключення великої кількості зовнішніх датчиків: температури, вологості, тиску, а також до вагових платформ і сервомеханізмів. Вартість приладу перевищує 65000 гривень.

Завершуючи підсумки виконаного аналізу за умову було взято забезпечення параметрів мікроклімату на рівні від +5 °C до +15 °C , вологості повітря менше як 60%, тиск у межах 925-1050 мбар, рівень CO₂ менше 1 ppm та відсутності активності шкідливих комах. Для виконання поставлених задач в роботі було обрано мікроконтролер Arduino Mega 2560 з використанням сенсорів температури, вологості, тиску, вмісту CO₂ та звуковий сенсор для виявлення активності шкідників і Wi-Fi модуль для віддаленого моніторингу. Така розроблена система дозволить з легкістю змінювати та збирати дані про наявні параметри клімату сховища.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ КС КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В ЗЕРНОСХОВИЩІ

2.1 Розробка структури комп'ютерної системи

Система складається з наступних компонентів:

- Arduino Mega 2560 – це центральний компонент системи. МК зчитує та обробляє дані із сенсорів та виводить інформаційні дані на дисплей та мобільний додаток через Wi-Fi;
- блок живлення на сонячній батареї – відповідає за автономну роботу приладу та подачі електроенергії для роботи виконавчих пристроїв та датчиків;
- датчики температури, вологості повітря, тиску та концентрації CO₂ – здійснюють роль виміру відповідних показників мікроклімату у схові;
- акустичний сенсор – відповідає за визначення акустичних коливань що свідчать про наявність шкідників у зерновій продукції;
- модулі реле 5V – відповідають за процеси автоматичного вмикання/вимикання виконавчих механізмів: вентилятора, обігрівача, ультразвукового розпилювача;
- дисплей – здійснює відображення поточних показників мікроклімату системи;
- вентилятор та обігрівач – виконують завдання по спільному регулюванню температури та вологості;
- ультразвуковий атомайзер (розпилювач) – призначений для фумігації зерносховища у випадку виявлення шкідників або при перевищенні рівня CO₂.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування КС контролю параметрів зерносховища		
Розроб.		Ганкевич Д.О					
Перевір.		Стадник Н.Б					
Реценз.		Цуприк Г.Б					
Н. Контр.		Луцик Н.С					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						17	21
					ТНТУ, каф. КС, гр. CI-41		

На рисунку 2.1 наведена структурна схема системи контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі:

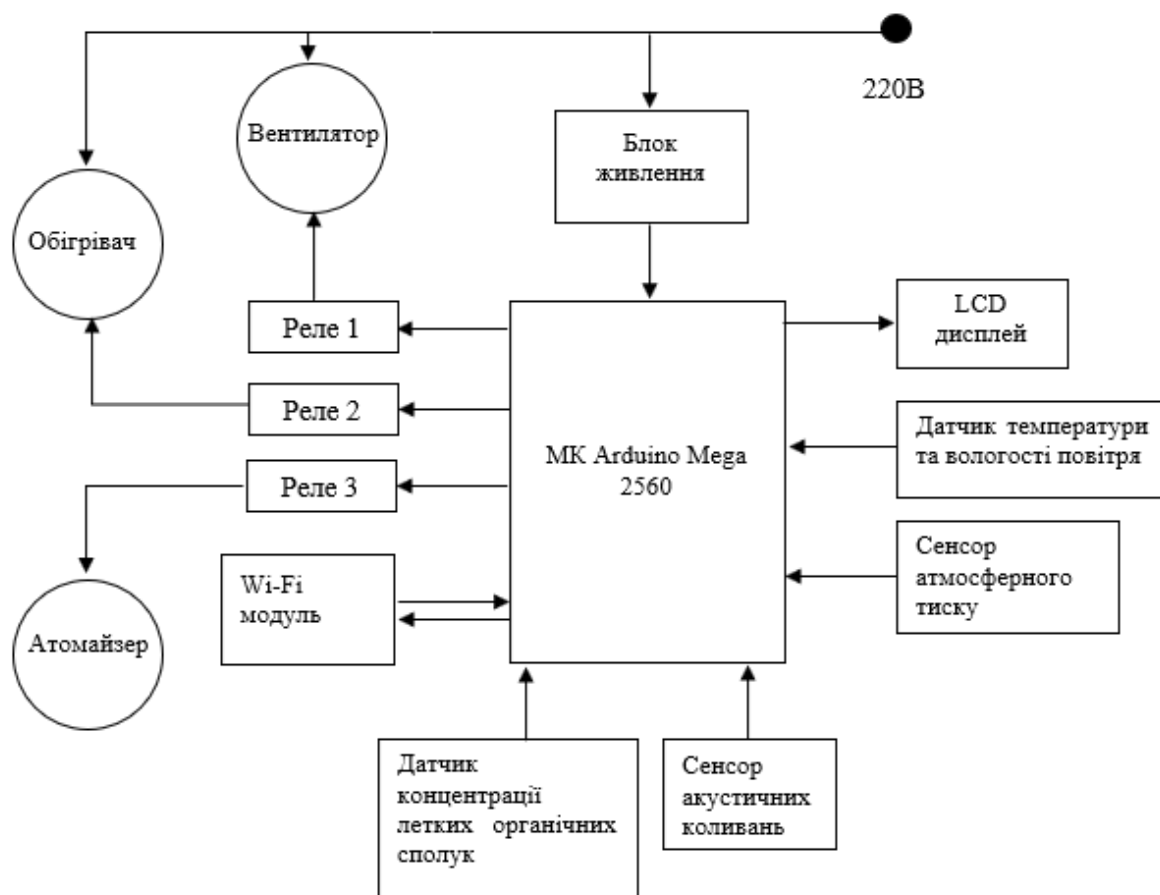


Рисунок 2.1 – Структурна схема приладу

2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення проектованого комп'ютерного засобу

Для реалізації поставленого завдання по створенню автоматичної системи контролю мікроклімату в зерносховищі було обрано мікроконтролер Arduino Mega 2560. Плата, яка використовувалася для проектування та тестової моделі зображена на рисунку 2.2. Обраний керуючий модуль є одним з лідерів за співвідношенням можливостей до ціни з серії Arduino. Контролер побудований на основі мікропроцесора ATmega2560 та має збільшену кількість цифрових та аналогових входів/виходів в порівнянні з іншими рішеннями лінійки Arduino.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ

Арк.

18

Плата має повний перелік необхідних компонентів для повноцінної роботи:

- 54 цифрових порти введення/виведення, 15 з яких можуть використовуватись як ШІМ-виходи;
- 16 аналогових входів для зчитування даних з підєднаних датчиків
- 4 апаратні UART для серійного зв'язку;
- інтерфейси SPI та I2C;
- кнопка скидання (Reset);
- роз'єм живлення (Jack), USB Type-B для програмування та живлення;
- вбудований стабілізатор напруги 5 В та 3,3 В для живлення периферійних пристроїв.

Зміна прошивки мікроконтролера може здійснюватися через USB-кабель використовуючи середовище розробки Arduino IDE. Також при необхідності можливий варіант використання програматору ICSP для прямого завантаження прошивки в мікроконтролер.

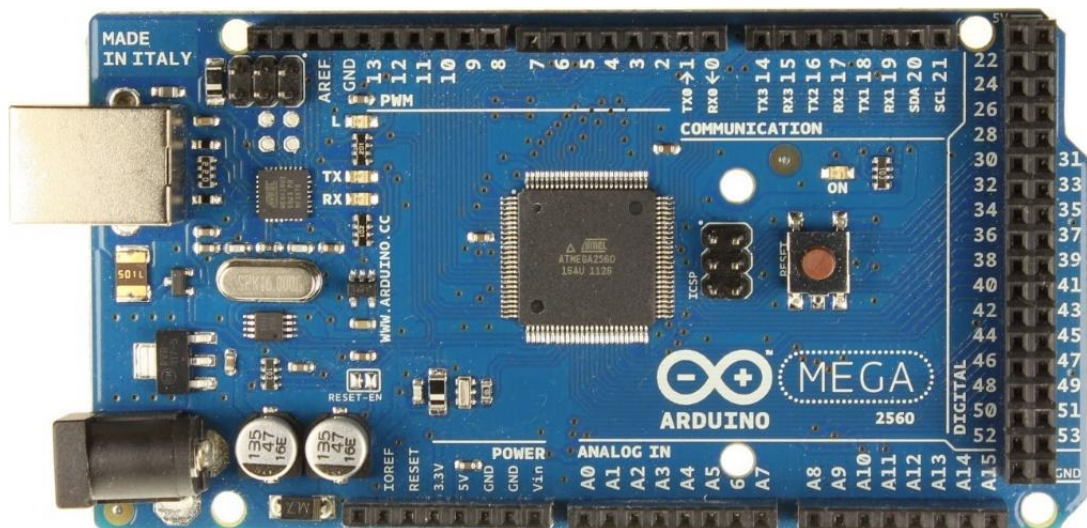


Рисунок 2.2 – Плата для розробки Arduino Mega 2560

Характеристики контролера Arduino Mega 2560 наведено в таблиці 2.1 [7].

Таблиця 2.1 – Характеристики МК Arduino Mega 2560

Мікроконтролер	Arduino Mega 2560
Ядро	ATmega2560 AVR 8-біт
Напруга живлення плати	7–12 В (вхідна), 5 В (робоча)
Тактова частота	16 МГц
Об'єм флеш пам'яті	256 КБ
Об'єм оперативної пам'яті SRAM	8 КБ
Кількість портів GPIO	54 цифрові порти, 16 аналогових
Кількість АЦП	6× 10-bit(16 каналів)
Діапазон робочих температур	–40°C...+85°C
Комунікаційні інтерфейси:	4× UART (апаратні USART) 1× I2C (TWI) 1× SPI (апаратний) 1× USB 2.0

Сенсори для вимірювання параметрів. Для реалізації моніторингу параметрів мікроклімату у даній роботі було обрано ряд сенсорів які забезпечують вимірювання температури, вологості, тиску та рівня вуглекислого газу та шумової активності. До переліку сенсорних пристроїв увійшли:

- DHT11 – вимірює температуру та відносну вологості повітря;
- BMP180 – здійснює заміри тиску повітря;
- CCS811 – виконує вимір концентрації CO₂ та летких органічних сполук (VOC);
- KY-037 – відповідає за виявлення шумів та вібрацій які вказують на активність шкідників у зерні.

Сенсор виміру температури та вологості повітря DHT11 – це доступний за вартістю цифровий датчик, призначений для замірів показників температури та вологості повітря (рис 2.3).

Сенсор складається з NTC-термістор, емнісного сенсора вологості, внутрішнього мікроконтролера з АЦП, цифрового інтерфейсу та захисного пластикового корпусу. Вимір температури повітря здійснюється за рахунок зменшення опотору термістора при підвищенні, а вологість обраховується за участі зміни рівня ємності водяної пари в повітрі. Вимір значень температури знаходиться в діапазоні від 0 до 50°C з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$, а вологості коливається від 20 до 80% з точністю $\pm 5\%$. Відповідно до інформацій з навчально вебсайту Elprocus, його частота дискретизації становить 1 Гц, що означає, що він дає одне зчитування щосекунди з робочою напругою від 3 до 5 В і максимальним струмом 2,5 мА. Головний МК системи отримує дані від DHT11 через один сигнальний кабель.

Живлення було забезпечене через розділені контакти 5 В і заземлення. Для того, щоб забезпечити роботу за замовчуванням, був необхідний пулап резистор 10 кОм щоб забезпечити високий рівень сигналу. Є два варіанти датчика, один з трьома контактами, інший з чотирма контактами. Для дослідження використовувався один із трьома контактами з резистором 10 кОм, встановленим надруковану плату датчика.



Рисунок 2.3 – Датчик температури та вологості повітря DHT11

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Характеристики датчика температури, вологості DHT11 наведені в таблиці 2.2 [8].

Таблиця 2.2 – Характеристики DHT11

Інтерфейс підключення	Однопровідний цифровий інтерфейс
Частота оновлення даних	1 Гц (одне вимірювання на секунду)
Діапазон вимірюваних температури	Від 0°C -50 °C
Похибка вимірювання температури	±2 °C
Межі визначення вологості	20%-80% відносної вологості
Точність вимірювання вологості	±5%
Робоча напруга живлення	3.3–5 В
Споживання струму в робочому режимі	до 2.5 мА
Споживання струму в режимі очікування	до 100 мкА
Робочий діапазон температур	від -20°C до +60°C
Розміри модуля	15 × 12 × 5 мм

Сенсор атмосферного тиску BMP180 – барометричний датчик який використовується для здійснення замірів атмосферного тиску (рис 2.4). Він підходить як для виконання простих завдань, таких як створення саморобних метеостанцій і для реалізації у складних проектах, як інтеграція у споривні прилади чи встановлення у GPS- навігатори.

Пристрій має п'ять або чотири контакти залежно від специфікацій та цифровий інтерфейс I2C, що забезпечує простоту підключення та високу швидкість обміну даними. П'ятиконтактний датчик BMP180, який використовувався в розробці, показано на рисунку 2.4. Підключення до мікроконтролера здійснюється через послідовний контакт даних (SDA) та послідовний контакт годинника (SCL) які були підключені до контактів I2C Arduino. Живлення модуля здійснюється напругою 3.3 В, тому при підключенні до Arduino Mega 2560 потрібно використовувати вбудований стабілізатор. Сенсор тиску BMP180 може видавати показники тиску в

діапазоні від 300 до 1100 гПа з точністю 0,12 гПа. Повний перелік характеристик наведено в таблиці 2.3 [9].

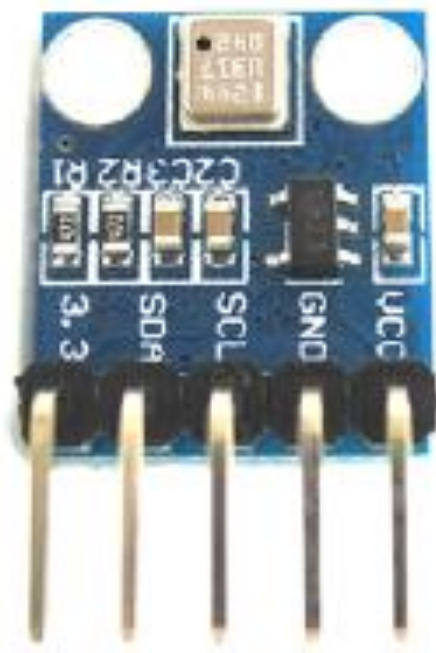


Рисунок 2.4 – Сенсор атмосферного тиску BME180

Таблиця 2.3 – Характеристики BME180

Інтерфейс підключення	I2C
Діапазон вимірювання тиску	300–1100 гПа
Точність вимірів	± 1 гПа
Напруга живлення	3.0–3.6 В
Споживаний струм у режимі роботи	~ 12 мкА
Споживаний струм у стані сну	~ 0.1 мкА
Час на один вимір	~ 4.5 мс
Розміри модуля	$3.6 \times 3.8 \times 0.93$ мм

Сенсор для виміру концентрації CO₂ та летких органічних сполук. CCS811 – це датчик якості повітря, який здійснює заміри рівня концентрації летких органічних сполук та діоксиду вуглецю у повітрі (рис. 2.5). Він складається з газового детектора з оксидом металу, інтерфейсу аналого-

цифрового перетворювача (АЦП) та міжінтегральної схеми (І2С), що забезпечується мікроконтролером. Він в основному призначений для використання у внутрішніх системах. Модуль датчика CCS811 виявляє концентрацію летких органічних сполук у діапазоні від 0 до 32 768 ppb (частин на мільярд) та розрахункову концентрацію вуглекислого газу в діапазоні від 400 до 29 206 ppm (частин на мільйон). Він працює зі струмом 30 мА, що подається з напругою постійного струму від 1,8 В до 3,3 В.



Рисунок 2.5 – Сенсор летких органічних сполук CCS811

Характеристики датчика наведено в таблиці 2.4 [10].

Таблиця 2.4 – Характеристики CCS811

Діапазон вимірювання CO ₂	400–29206 ppm (частин на мільйон)
Діапазон вимірювання TVOC	0–32768 ppb (частин на мільярд)
Напруга живлення	1.8–3.3 В
Споживання струму в активному режимі	близько 30 мА
Споживання струму в режимі сну	~1 мкА
Частота вимірювання даних	1 раз у 1, 10 або 60 секунд (налаштовується)
Робочий діапазон температур	–40 °С ... +85 °С
Робочий діапазон вологості	10–95% відносної вологості
Розміри модуля	15 × 15 × 2.5 мм
Інтерфейс підключення	I2C

Акустичний сенсор. КУ-037– це електронний модуль який використовується для виявлення шумів та вібрацій та є засобом оцифрування мікрофонного сигналу із регульованою чутливістю (рис 2.6). Він складається з ємнісного мікрофона, що детектує звук, та схеми, яка підсилює сигнал, а також змінного резистора та потенціометра для керування його чутливістю. Робоча напруга становить від 3,3 В до 5 В з частотами детектування в діапазоні від 50 Гц до 20 кГц та чутливістю від 44 дБ до 66 дБ. КУ-037 слугує ефективним приладом виявлення активності шкідників, бо дозволяє фіксувати низькі акустичні коливання, які виникають внаслідок діяльності агрошкідників при гризінні зерна або пересуванню у ньому [11].

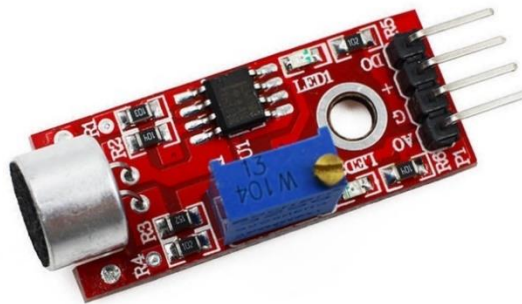


Рисунок 2.6 – Акустичний сенсор КУ-037

Таблиця 2.5 – Характеристики Акустичного сенсору КУ-037

Тип сенсора	Електричний мікрофон з підсилювачем
Напруга живлення	3.3–5 В
Тип виходу	Аналоговий (АО), Цифровий (DO)
Робочий струм	До 5 мА
Частотний діапазон	50 Гц – 20 кГц
Чутливість	~44–66 дБ
Регулювання порогу	Так, через потенціометр
Робочий діапазон температур	–10 °С ... +70 °С
Розміри модуля	32 × 17 × 10 мм

Дисплей використано для перегляду поточних параметрів мікроклімату у розробленій системі автоматизації було обрано рідкокристалічний 16x2 LCD дисплей (рис. 2.7). Він має наступні характеристики, які наведені у таблиці 2.6:

Таблиця 2.6 – Характеристики 16x2 LCD

Тип дисплея	Рідкокристалічний символний (LCD)
Кількість символів	2 рядки по 16 символів
Роздільна здатність	16 × 2
Тип підключення	I2C (через адаптер на PCF8574)
Напруга живлення	5 В
Інтерфейс	I2C (2 дроти – SDA, SCL)
Контрастність	Регулюється потенціометром
Споживання струму	до 2 мА
Робочий діапазон температур	0...+50 °С
Розміри модуля	80 × 36 мм

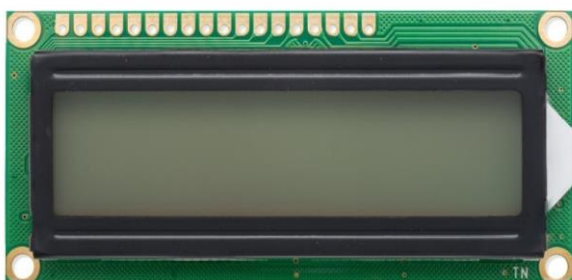


Рисунок 2.7 – Рідкокристалічний дисплей 16x2 LCD

Для автоматизації вмикання та вимикання вентиляторів, обігрівачів та ультразвукового атомайзера чи інших пристроїв напруга живлення, яких перевищує 120-240В за допомогою Arduino в системі зерносховища було застосоване 5В реле з оптоізоляцією (рис 2.8). Використаний пристрій надає можливість реалізувати автоматичне управління компонентами системи мікроклімату без потреби участі постійного нагляду та керування зовнішнім оператором. Модуль підтримує керування низьковольтними DC-

Контакт IN1 підключаємо до одного з цифрових виходів головного мікроконтролеру (наприклад, D7). Через цей контакт подається логічний сигнал низького рівня (LOW), що активує оптопару і, відповідно, вмикає реле. Таким чином, увесь модуль отримує живлення від плати мікроконтролера

головного модуля, а з цифрового піну надходить лише керуючий сигнал. Завдяки цьому схема залишається простою, без потреби у додаткових стабілізаторах чи окремому джерелі живлення для реле.

У разі використання зовнішнього блоку живлення рекомендується видалити джампер між JD-VCC і VCC та подавати напругу для живлення у наступному порядку:

- на JD-VCC — +5 В від зовнішнього джерела;
- на GND — мінус від зовнішнього джерела;
- на VCC — +5 В від Arduino Mega (для живлення логіки оптопар);
- на IN — цифровий пін керування з Arduino.

Така конфігурація підключення забезпечує повне електричне відокремлення силової частини (реле) від логічної (мікроконтролера Arduino), що є критично важливим для безпечної та стабільної роботи з використанням приладів з високим енергоспоживанням.

Максимальні параметри комутації реле:

- напруга живлення: до 250 В;
- сила струму: до 10 А;
- потужність: до 2500 Вт.

Для реалізації завдання по контролю вологості повітря у зерносховищі було використано ультразвуковий атомайзер 16 мм 110 кГц зображений на рисунку 2.9. Принцип роботи обраного приладу полягає в генерації високочастотних коливань, які створюють надмалі краплі води без нагріву, що допомагають зволожувати повітря у кліматі схову без зміни показників температури у закритій системі мікроклімату. Він має лише два дроти для живлення (тобто позитивний та заземлювальний дроти) і живиться від 5 В. Модуль підключений до одного з реле на 5 В, яке буде активуватися платою Arduino Mega, що дозволяє автоматизувати вмикання та вимикання зволожувача повітря по попередньо встановленим параметрам.

Даний прилад складається з наступних частин:

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- керамічного ультразвукового перетворювача;
- плати драйвера;
- індикаторного світлодіода;
- виводів живлення та керування.



Рисунок 2.9 – Модуль ультразвукового атомайзера

Повний перелік характеристик модуля наведенні у таблиці 2.7:

Таблиця 2.7 – Характеристики модуля ультразвукового атомайзера

Діаметр п'єзoeлементa	16 мм
Робоча частота	110 ±5 кГц
Робоча напруга	5 В DC
Споживаний струм	300–500 мА
Потужність зволоження	≈ 120 мл/год
Тип генерації туману	Ультразвукова
Робоча температура	5°C - 50°C
Рівень шуму	< 35 дБ
Матеріал мембрани	Кераміка
Тип управління	Постійна робота або ШІМ
Термін служби	до 3000 годин

Забезпечення бездротового з'єднання між системою автоматичною контролю параметрів мікроклімату у зерновому силосі та зовнішніх пристроїв(телефон або сервер) у даній роботі використовується модуль

ESP8266 ESP-01. Це один з фаворитів для реалізації IoT-проектів через його низьку вартість та простоту інтеграції у проекти.

До переваг Wi-Fi елемента можна віднести компактні розміри, низьке енергоспоживання та підтримка стандарту Wi-Fi 802.11 b/g/n. Вигляд модуля ESP8266 ESP-01 наведено на (рис. 2.10). У системі автоматизації мікроклімату модуль виконує наступні завдання:

- збирає отриману інформацію з датчиків виміру температури, вологості, рівня CO₂ та передає її до користувача через мобільний додаток для моніторингу у реальному часі;
- через бездротове з'єднання прилад приймає команди від оператора для керування виконавчими пристроями системи (до прикладу реле, зволожувач повітря);
- при необхідності через Wi-Fi з'єднання є можливість оновлення програмного забезпечення у системі автоматизації без фізичного контакту до нього;
- якщо відсутня зовнішня бездротова мережа модуль має функцію створення власної точки доступу підключившись до якої користувач може продовжувати налаштування або моніторинг системи.

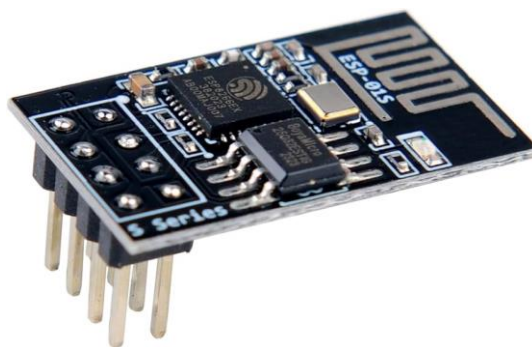


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд модуля бездротового з'єднання ESP8266 ESP-01

Для коректної роботи ESP8266 ESP-01 з МК Arduino Mega 2560 необхідно врахувати різницю в логічних рівнях. Мікроконтролер Arduino

працює під напругою 5В, а модуль бездротового з'єднання на 3.3В. Тому VCC модуля ESP8266 підключено до стабілізованого джерела живлення з напругою 3.3В для уникнення пошкоджень. Земля (GND) ESP8266 підключено до GND Arduino Mega, щоб забезпечити спільний рівень напруги. RX ESP8266 (прийом) підключено до виходу TX Arduino через подільник напруги, що знижує напругу 5 В до 3.3 В. TX ESP8266 (передача) безпосередньо підключена до RX Arduino.

Підключення до UART-порту Arduino Mega здійснюється через послідовний порт Serial1 (пін 18 – TX1, пін 19 – RX1), щоб уникнути конфлікту з основним портом USB (Serial0).

Технічні характеристики модуля бездротового з'єднання наведено в таблиці 2.8 [12].

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики Wi-Fi модуля ESP8266 ESP-01

Мікроконтролер	ESP8266EX
Робоча напруга	3.0 – 3.6 В
Робочий струм	до 240 мА (під час передачі даних)
Частота процесора	80/160 МГц
Стандарт Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n
Режими роботи	STA (Station), AP (Access Point), STA+AP
Інтерфейс зв'язку з МК	UART (Rx, Tx)
Кількість GPIO	2 (GPIO0, GPIO2)
Обсяг флеш-пам'яті	512 КБ – 1 МБ
Антенa	Вбудована (PCB антена)
Розміри	24.8 мм × 14.3 мм

Реалізація примусової вентиляції внутрішнього об'єму силосу у даній системі автоматизованого контролю параметрами зерносхову використовується осевий вентилятор. Вентилятор – це механічний прилад, який здійснює переміщення під певним тиском повітря або інших газів. Його

головне завдання зниження температури та вологості повітря при виході цих параметрів за встановлені межі. Пристрої вентиляції поділяються за принципом конструкції, розмірами та потужністю двигунів.

У випадку використання для розроюлювального силосу, який розрахований до зберігання 2 тонн зерна підійде прилад, який буде в змозі надавати повітропродуктивність від 20–50 м³/год на 1 тону зерна. Тому на роль такого виконавчого приладу було обрано ВЕНТС 125 М (рис. 2.11). Він здатний надавати до 245 м³/год повітропродуктивності що відповідає встановленим нормам обдуву зернових культур та залишає додаткову потужність для здійснення швидкого охолодження, економить використання електроенергії та зменшує можливості пошкодження зерна через надлишковий обдув у порівнянні з більш потужними аналогами.



Рисунок 2.11 – ВЕНТС 125 М турбо

Електричний обігрівач. Обігрівач це прилад для здійснення нагріву повітря наданого вентилятором для зміни температури у середині системи. Тому урахувавши характеристики вентилятора на роль виконавчого пристрою по обігріву було обрано ВЕНТС НК 125-0,6-1 (рис 2.12). Це електричний нагрівач з потужністю 600В, який складається з корпусу, комутаційні коробки

та нагрівальних елементів з нержавіючої сталі. Діаметр прилада становить 125мм, що співпадає з діаметром обраного вентилятора та забезпечує просте з'єднання через з'єднувальну муфту без додаткових перехідників. Для справної роботи без перегріву необхідно пам'ятати, щоб використаний вентилятор забезпечував не менше 200 м³/год потоку повітря.



Рисунок 2.12 – Обігрівач ВЕНТС НК 125-0,6-1

2.3 Проєктування електричної принципової схеми

Для реалізації розробки електричної принципової схеми приладу контролю параметрів мікроклімату у зерносховищі було використане середовище проєктування Fritzing. Даний програмний засіб використовується для моделювання електричних схем, зокрема із використанням макетних плат, а також для створення принципових схем та друкованих плат.

Користувачі можуть швидко перемикатися між трьома основними режимами за допомогою зручного інтерфейсу програми Fritzing: компоновання (макетна плата), схематичним (принципова схема) і друкована

плата (PCB). Це дозволяє чітко розуміти компоненти макета, логіку підключення та план майбутньої установки.

Основним фактором у виборі цього ПЗ є його доступність. Fritzing є безкоштовним для некомерційних і освітніх цілей. Він має відкритий доступ до бази елементів та підтримує експорт схем у різних форматах: PDF, SVG і Gerber.

2.4 Проєктування комп'ютерного засобу

Вибір алгоритму роботи приладу. Алгоритм здійснення роботи розролюваного компютерного засобу полягає у безупинного виміру параметрів мікроклімату: температури (t , °C), вологості (h , %), атмосферного тиску (p , гПа), рівня концентрації летких органічних сполук (c , ppm) та рівня звукових коливань (s , дБ). Виміри здійснюються за допомогою відповідно встановлених датчиків під кожен параметр та передаються на головний МК який здійснює розрахунки. На основі цих даних система обчислює відносну вологість повітря (H , г/м³) яка є критичним показником для збереження зерна. Розрахунок проводиться за формулою:

$$e_s(t) = 6.122 * \exp\left(\frac{17.62 * t}{243 + t}\right), \quad (2.1)$$

$$e = \frac{h * e_s(t)}{100}, \quad (2.2)$$

$$H_{abs} = \frac{216.7 * e}{t + 273.15}, \quad (2.3)$$

Де:

$e_s(t)$ – тиск водяної пари, гПа,

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

e – парціальний водяної пари,

t – температура повітря,

h – відносна вологість, %.

Зміна показників температури та вологості відбувається в реальному часі та контролюється через задані порогові значення. У разі їх виходу за допустимі норми приймається рішення про включення вентилятора або обігрівача які вмикаються через 5В реле що під'єднані до мікроконтролера.

У випадку перевищення концентрації CO₂ або появи звукових сигналів що свідчать про наявність активності шкідників вмикається ультразвуковий атомайзер для фумігації. Загальні критерії щодо активації виконавчих пристроїв формуються за наступним принципом: якщо $N_{abs} > N_{max}$ то увімкнути вентилятор для охолодження. За умови $t < t_{min}$ то увімкнути обігрівач для збільшення температури. При $s > s_{поріг}$ або $s < s_{поріг}$ увімкнути атомайзер.

Щоб визначити чи достатньо потужний нагрівач для виконання завдання по нагріву необхідно використати таке рівняння:

$$Q = c_p * m * \Delta T, \quad (2.4)$$

Де:

Q – кількість теплоти, Дж,

$c_p = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ — питома теплоємність повітря,

m – маса повітря в силосі, кг,

ΔT – необхідне підвищення температури, К.

Програма роботи приладу реалізована у вигляді програмного коду у середовищі Arduino IDE та виконується з частотою опитування сенсорів 1 Гц. Дані також передаються через модуль Wi-Fi ESP8266 до хмарної платформи Blynk, що відкриває можливість оператору здійснювати дистанційний моніторинг та керування.

Розробка схеми підключення сенсорів до портів МК.

На даному етапі було здійснено розробка підключення сенсорів до мікроконтролера Arduino Mega.

GPIO-порти, обрані для виконання задач проекту, представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Порти GPIO розроблювальної системи

Змінна у програмі	Порт Arduino mega	Порт пристрою
Сенсор атмосферного тиску BMP180		
I2C_SCL	D21	SCL сенсора
I2C_SDA	D20	SDA сенсора
Сенсор вмісту CO ₂ CCS811		
I2C_SCL D21	D21	SCL сенсора
I2C_SDA	D20	SDA сенсора
LCD дисплей 1602		
I2C_SCL	D21	SCL дисплея
I2C_SDA	D20	SDA дисплея
Сенсор температури та вологості DHT11		
DHT_DATA	D3	Цифровий вихід датчика
Акустичний сенсор KY-037		
MIC_ANALOG	A0	Аналоговий вихід сенсора звуку
Wi-Fi модуль ESP8266		
ESP_RX	D18	Передача даних до ESP8266
ESP_TX	D19	Прийом даних з ESP8266
Керування Реле		
RELAY_FAN	D8	Реле вентилятора
RELAY_HEATER	D9	Реле обігрівача
RELAY_ATOMIZER	D10	Реле атомайзера

Опис електричної схеми принципової. Принципова електрична схема комп'ютерної системи контролю мікроклімату розроблялася на основі попередньо визначеної структурної схеми на рисунку 2.1. Центральний елементом цієї схеми є МК Arduino Mega 2560 який визначено на схемі як U1.

Плати та периферійні модулі живляться від стандартного джерела постійного струму +5В .

На рисунку 2.13 зображено вигляд електричних принципової схеми для системи контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі.

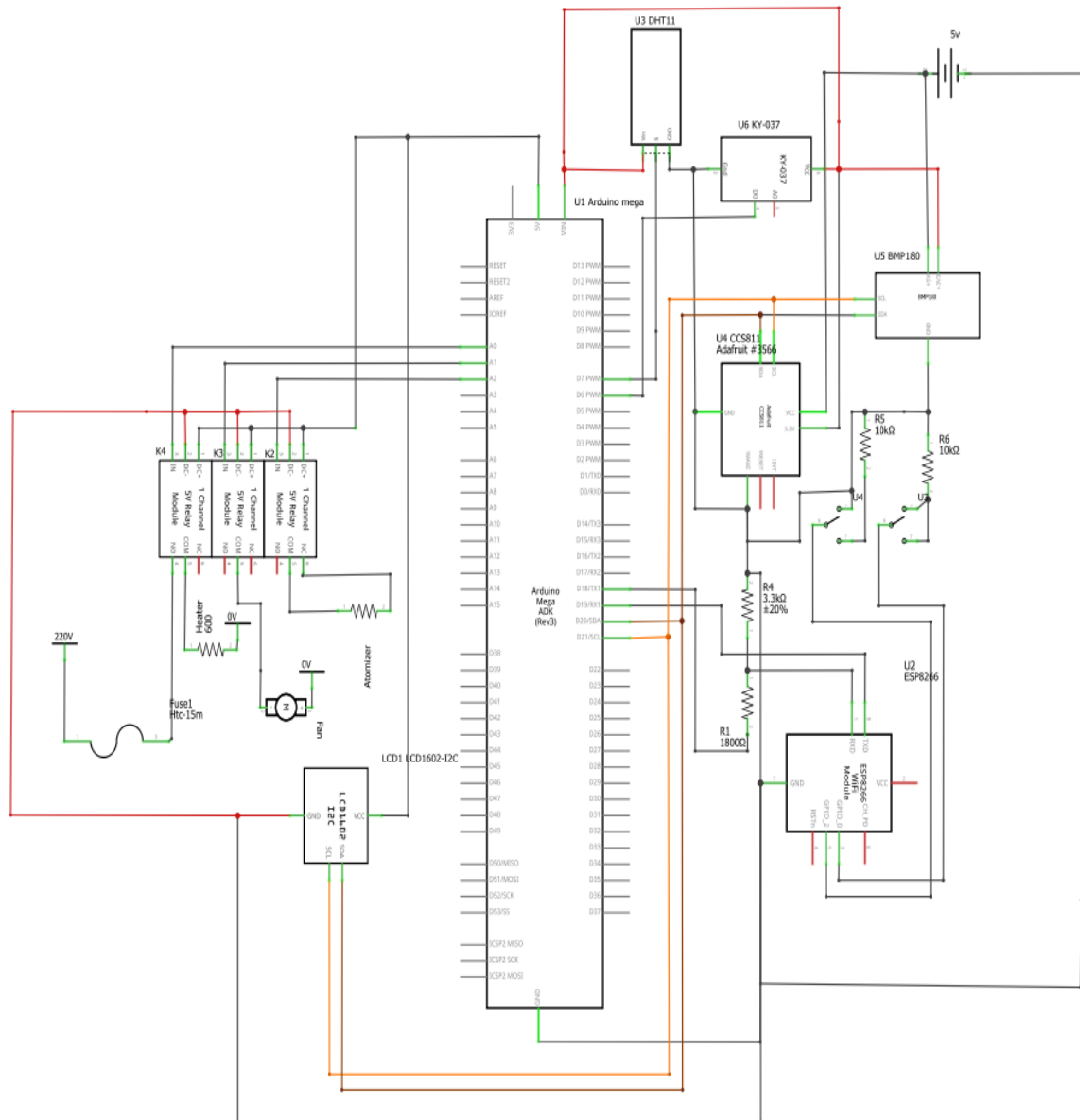


Рисунок 2.13 – Електрична принципова схеми системи контролю параметрів мікроклімату у зерносховищі

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КС

3.1 Реалізація і моделювання проектних рішень

На рисунках 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 зображено алгоритм програми до КС контролю параметрів зерносховища. Блок-схема є графічним представленням логіки функціонування комп'ютерної системи моніторингу та керування мікрокліматом у зерносховищі.. Алгоритм охоплює ключові етапи: зчитування показників із сенсорних модулів (температури, вологості, атмосферного тиску, рівня CO₂, акустичних коливань).

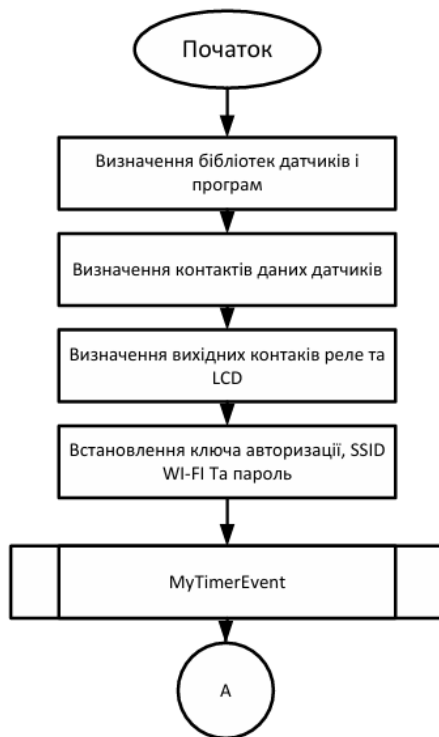


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи КС контролю параметрів в зерносховищі

У цьому блоці алгоритму описано як здійснюється початок його роботи. Здійснюється визначення бібліотек датчиків та програм. Наступний крок

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ганкевич Д.О			Програмування та тестування програмного забезпечення КС		
Перевір.		Стадник Н.Б					
Реценз.		Цуприк Г.Б					
Н. Контр.		Луцик Н.С					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						38	15
					ТНТУ, каф. КС, гр. CI-41		

виконує перевірку контактів даних датчиків. У наступному кроці програма визначає контакти реле та LCD дисплею та встановлює ключ авторизації SSID Wi-Fi та його пароль. Після чого запускається функція MyTimerEvent яка здійснює періодичну перевірку показників системи.

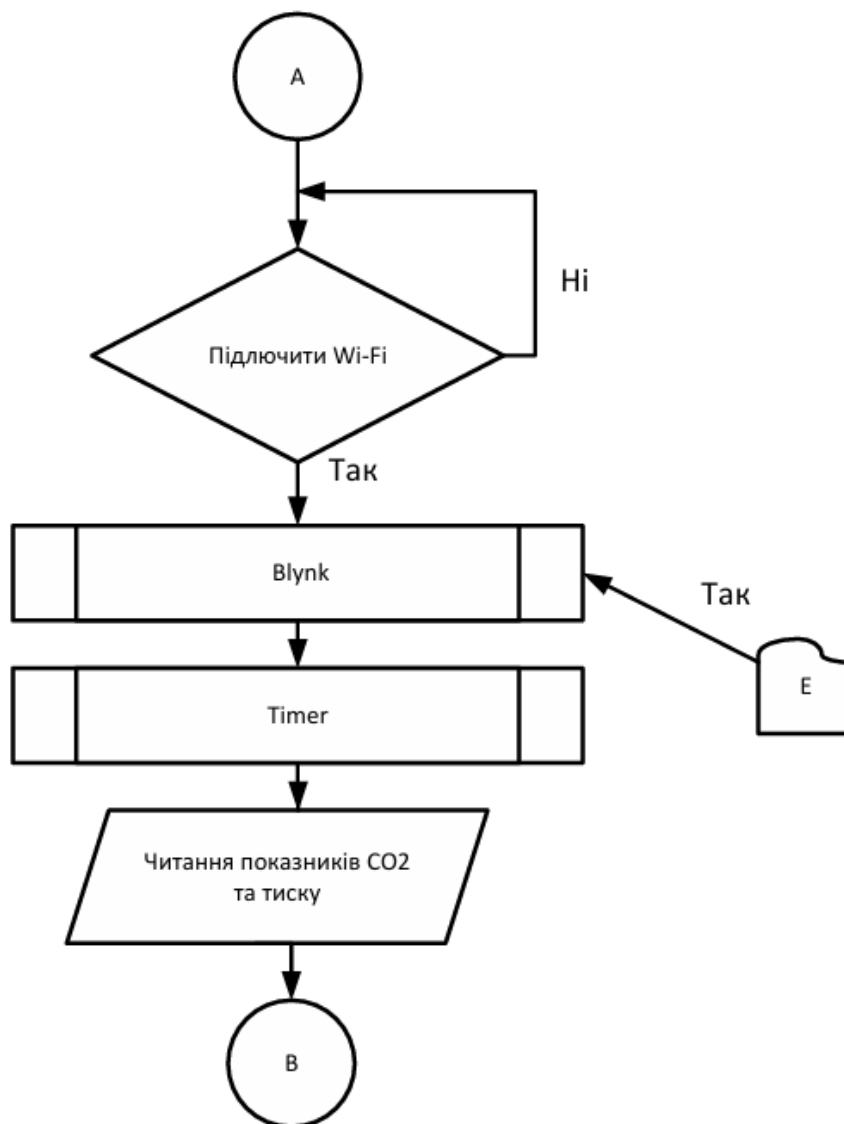


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи КС контролю параметрів в зерносховищі

Дальше здійснюється перевірка стану бездротової мережі та запуск функції Blynk для передачі даних на застосунок та активується функція timer щоб здійснювати перевірку у встановлений час в циклі. Закінчується даний

блок з зчитування показників тиску та рівня чадного газу виконавчими приладами .

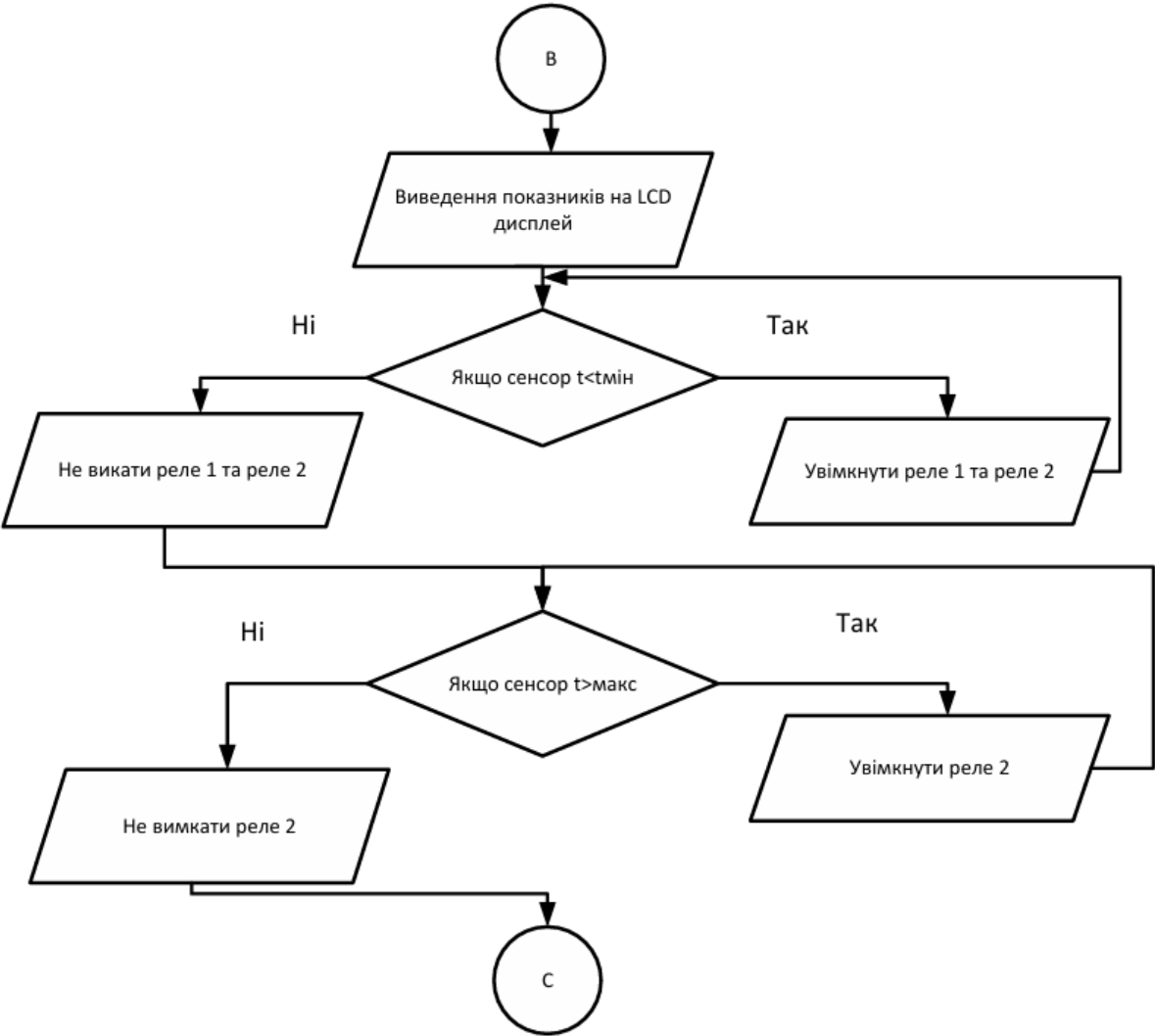


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи КС контролю параметрів в зерносклаві

Наступний блок починається з виведення попередньо знятих показників мікроклімату на дисплей. Здійснюється перевірка значень температури і якщо показник менший ніж за мінімальний встановлений поріг то вмикається реле

1 та 2 які відповідають за роботу вентилятора та обігрівача що в парі виконують роль обігріву. Якщо ні ці прилади залишаються вимкненими.

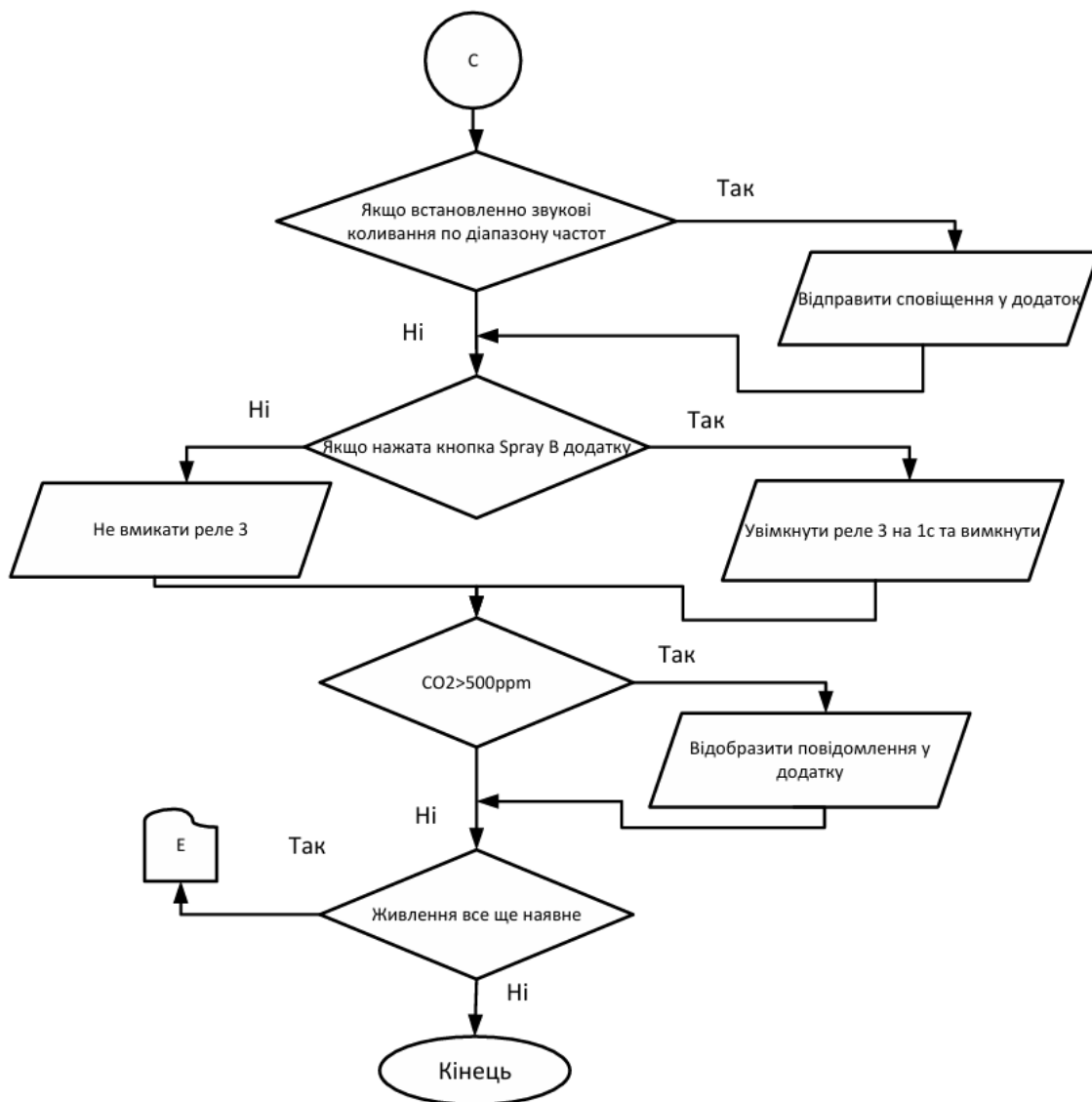


Рисунок 3.4 – Алгоритм роботи КС контролю параметрів в зерносклаві

У четвертому блоці блоку робота розпочинається з визначення чи встановлено звукові коливання за діапазоном встановлених частот. При виконанні даної умови виводиться повідомлення .

Налаштування середовища розробки програмного забезпечення

Розробка програмного забезпечення для системи контролю мікроклімату зерносховища виконувалась у середовищі Arduino IDE, яке є відкритою платформою для програмування мікроконтролерів на базі

архітектури AVR, зокрема плати Arduino Mega 2560, що була використана як основна апаратна платформа в даному проєкті.

Для реалізації логіки системи обрано мову програмування C++, що підтримується середовищем Arduino IDE.

Під час проектування було здійснено аналіз доступних бібліотек та готових прикладів робіт, на основі чого було обрано наступні бібліотеки [13, 14, 15, 16, 17, 18]:

- DHT.h для зчитування даних з датчика температури і вологості DHT11;
- Adafruit_BMP085.h — для сенсора атмосферного тиску BMP180;
- Adafruit_CCS811.h — для аналізу вмісту вуглекислого газу в повітрі;
- LiquidCrystal_I2C.h — для керування LCD дисплеєм через шину I2C;
- BlynkSimpleEsp8266.h та ESP8266WiFi.h — для реалізації віддаленого моніторингу через мобільний застосунок Blynk.

Під час підготовки до програмування було налаштовано такі елементи середовища:

Комутаційні інтерфейси:

- I2C — підключення датчиків BMP180, CCS811 та LCD1602;
- UART1 — взаємодія з модулем ESP8266 для Wi-Fi зв'язку;
- аналоговий вхід — прийом сигналу з акустичного сенсора KY-037;
- цифровий вхід — підключення цифрового виходу DHT11.

Порти GPIO у відповідності до таблиці 2.9.

Живлення та логіку приладу.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Налаштування комунікаційних інтерфейсів. У комп'ютерній системі контролю параметрів мікроклімату застосовано два основних типи комунікаційних інтерфейсів: I2C та UART.

Інтерфейс I2C використовується для з'єднання з датчиками атмосферного тиску BMP180, вмісту CO₂ CCS811, а також LCD-дисплеєм 1602 із вбудованим I2C-модулем. Усі перелічені компоненти працюють на спільній шині, підключеній до пінів D20 (SDA) та D21 (SCL) мікроконтролера Arduino Mega 2560. Для зв'язку з модулем Wi-Fi ESP8266 застосовано інтерфейс UART1, який забезпечує обмін даними між Arduino Mega та Blynk-сервером. Передача здійснюється через пін TX1 (D18), а прийом — через RX1 (D19).

Налаштування портів вводу-виводу (GPIO). У відповідності до обраної електричної схеми, для підключення цифрових та аналогових пристроїв використано кілька портів GPIO мікроконтролера Arduino Mega. Їх призначення наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Налаштування портів GPIO

Назва порту	Пін Arduino	Функція
DHT_DATA	D3	Зчитування даних з датчика DHT11
MIC_ANALOG	A0	Аналоговий вхід від акустичного сенсора KY-037
RELAY_FAN	D8	Керування вентилятором
RELAY_HEAT	D9	Керування електронагрівачем
RELAY_ATMZ	D10	Активація ультразвукового атомайзера

Усі вказані порти працюють у стандартному цифровому режимі (INPUT або OUTPUT), відповідно до функцій, заданих у програмному коді на мові

C++. Аналоговий пін A0 використовується для зчитування рівня шуму у зерноскловищі.

Опис програми. Головною функцією програми є `setup()`, яка виконується один раз при старті системи.

У цій функції ініціалізуються всі використовувані бібліотеки та компоненти приладу.

У функції `loop()` реалізовано безперервний цикл зчитування даних з сенсорів, обробка отриманої інформації та ухвалення керуючих рішень. У циклі відбувається:

- зчитування температури і вологості;
- зчитування атмосферного тиску;
- зчитування рівня CO₂ з CCS811;
- вимірювання рівня шуму за допомогою аналогового сенсора KY-037;
- вивід актуальних значень на LCD-дисплей;
- перевірка заданих порогових значень;
- активація реле для вентилятора, нагрівача чи атомайзера при перевищенні відповідних критичних умов;
- передача даних до мобільного застосунку через Blynk-сервер.

Затримка між кожним циклом опитування становить 2 секунди, що реалізовано через команду `delay(2000)`.

Для забезпечення стабільності роботи коду та запобігання зависанням логіка обробки побудована таким чином, щоб кожне нове зчитування сенсорів і перемикання виконавчих пристроїв виконувалось тільки при потребі, виходячи з умовних перевірок (`if`), що мінімізує час активного обчислення.

Усі змінні, які використовуються для обробки даних, порогів та станів, оголошено на рівні глобального скетча. Основні функціональні блоки

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

програми логічно розділено, що дозволяє легко модифікувати алгоритм у разі зміни режиму роботи.

Лістинг коду програми наведений у додатку Б.

Основні змінні та константи. Для забезпечення роботи програми було створено перелік глобальних змінних, які зберігають як поточні значення параметрів навколишнього середовища, так і стан виконавчих пристроїв. У таблиці 3.2 наведено опис основних змінних та їх функціональне призначення.

Таблиця 3.2 – Перелік основних змінних, що використовуються в програмі

Змінна	Тип	Призначення
float temp	float	Температура, зчитана з датчика DHT11
float hum	float	Відносна вологість
float pressure	float	Атмосферний тиск, зчитаний з BMP180
float co2	float	Рівень CO ₂ (ppm), зчитаний з CCS811
int micValue	int	Рівень шуму з мікрофонного сенсора KY-037
float temp_threshold_high	float	Верхній поріг температури
float temp_threshold_low	float	Нижній поріг температури
int co2_threshold	int	Порогове значення CO ₂
int mic_threshold	int	Порогове значення шуму
bool fanOn	bool	Стан вентилятора (увімкнено/вимкнено)
bool heaterOn	bool	Стан обігрівача
bool atomizerOn	bool	Стан ультразвукового атомайзера

Ці змінні використовуються у функціях аналізу даних, керування реле та для відображення інформації на дисплеї.

Основні функції програми. Програма системи побудована на двох основних функціях — `setup()` та `loop()`, які є стандартними елементами програмної архітектури Arduino IDE. Функція `setup()` (рис 3.5) виконується один раз при старті системи. Вона забезпечує ініціалізацію всіх необхідних компонентів:

- запуск бібліотек сенсорів (`dht.begin()`, `bmp.begin()`, `ccs.begin()`);
- ініціалізація LCD дисплея (`lcd.begin()`, `lcd.backlight()`);
- запуск модуля Blynk через Wi-Fi (`Blynk.begin(...)`);
- встановлення режимів роботи цифрових пінів (реле) через `pinMode(...)`;
- встановлення початкових станів виконавчих пристроїв (усі вимкнені).

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
    Serial1.begin(9600);  
    Blynk.begin(auth, ssid, pass, Serial1);  
  
    dht.begin();  
    bmp.begin();  
    ccs.begin();  
    lcd.begin();  
    lcd.backlight();  
  
    pinMode(FAN_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(HEATER_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(ATOMIZER_PIN, OUTPUT);  
  
    digitalWrite(FAN_PIN, LOW);  
    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);  
    digitalWrite(ATOMIZER_PIN, LOW);  
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг Функції `setup()`

Функція `loop()` (рис. 3.6, рис.3.7, рис. 3.8) виконується циклічно та реалізує основну логіку системи:

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зчитування сенсорів:

- температура, вологість — з DHT11;
- тиск — з BMP180;
- CO₂ — з CCS811;
- шум — з KY-037.

Вивід даних:

- інформація відображається на LCD-дисплеї у двох рядках;
- дані надсилаються до застосунку Blynk.

Прийняття рішень:

- у разі перевищення температури чи вологості — вмикається вентилятор або нагрівач;
- у разі перевищення рівня шуму або CO₂ — активується ультразвуковий атомайзер;
- стан реле змінюється відповідно до логічних умов.

Затримка між циклами

```
void loop() {  
  Blynk.run();  
  float temp = dht.readTemperature();  
  float hum = dht.readHumidity();  
  float pressure = bmp.readPressure() / 100.0; // гПа  
  int micValue = analogRead(MIC_PIN);  
  float co2 = 0;  
  
  if (ccs.available()) {  
    if (!ccs.readData()) {  
      co2 = ccs.getCO2();  
    }  
  }  
}
```

Рисунок 3.6 – Лістинг Функції loop()

```
lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("T:"); lcd.print(temp);  
lcd.print("C H:"); lcd.print(hum); lcd.print("%");  
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("CO2:"); lcd.print(co2);  
lcd.print("ppm");
```

Рисунок 3.7 – Лістинг Функції loop()

Ці функції керують виведенням даних на LCD-дисплей рідкокристалічний 16x2 дисплей з інтерфейсом I²C у проєкті.

```

if (temp > temp_threshold_high || hum > humidity_threshold)
{
    digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);
    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
} else if (temp < temp_threshold_low) {
    digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);
    digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(FAN_PIN, LOW);
    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
}
if (co2 > co2_threshold || micValue > mic_threshold) {
    digitalWrite(ATOMIZER_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(ATOMIZER_PIN, LOW);
}
Serial.print("Temp: "); Serial.print(temp); Serial.print("
C, "); Serial.print("Humidity: "); Serial.print(hum);
Serial.print(" %, ");
Serial.print("CO2: "); Serial.print(co2); Serial.print("
ppm, ");
Serial.print("Sound: "); Serial.println(micValue);
delay(2000);
}

```

Рисунок 3.8 – Лістинг Функції loop()

Цей фрагмент коду реалізує автоматичне керування виконавчими пристроями (вентилятором, обігрівачем, атомайзером) на основі даних із сенсорів температури, вологості, рівня CO₂ та акустичних коливань (шуму). Логіка роботи базується на попередньо заданих порогових значеннях,.

Функціональні блоки логіки програми. Програму для КС контролю параметрів зерносховища можна поділити на наступні логічні блоки. Блок Збору даних з сенсорів (рис 3.9). Використовуються бібліотечні функції для зчитування параметрів

```
float temp = dht.readTemperature();
float hum = dht.readHumidity();
float pressure = bmp.readPressure() / 100.0; // rПа
int micValue = analogRead(MIC_PIN);
float co2 = 0;
```

Рисунок 3.9 – Лістинг Функціонального блок збору даних з сенсорів приладу

Блок перевірка порогів і керування пристроями (рис 3.10). На основі отриманих значень виконуються умовні перевірки.

```
if (temp > temp_threshold_high || hum > humidity_threshold)
{
    digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);
    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
} else if (temp < temp_threshold_low) {
    digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);
    digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(FAN_PIN, LOW);
    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
}
if (co2 > co2_threshold || micValue > mic_threshold) {
    digitalWrite(ATOMIZER_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(ATOMIZER_PIN, LOW);
}
```

Рисунок 3.10 – Лістинг перевірки порогів і керування пристроями

Цей фрагмент коду реалізує умовну логіку автоматичного керування мікрокліматом у контрольованому середовищі (наприклад, зерносховищі, шафі зберігання, теплиці тощо). Управління здійснюється через цифрові виходи мікроконтролера на базі значень, отриманих із сенсорів температури,

вологості, рівня CO₂ та шуму. Результатом є вмикання або вимикання таких пристроїв: вентилятора, обігрівача, ультразвукового атомайзера.

Інтеграція механічних елементів з МК. Живлення вентилятора, обігрівача повітря та ультразвукового атомайзера.

Кожен виконавчий пристрій підключено до відповідного каналу релейного модуля, що дозволяє вмикати або вимикати навантаження за сигналами від мікроконтролера.

3.2 Тестування

Розроблену КС по контролю параметрів мікроклімату у зерносховищі було протестовано у режимі. 8-годинний тестового запуск проводився без навантаження.

Випробування почалося з подачі живлення Arduino, потім починається ініціалізація коду програмного забезпечення та підключається до мережі Wi-Fi, як зазначено в коді, який у свою чергу підключається на сервери Blynk. Цей процес тривав приблизно одну хвилину.

Дисплей увімкнувся негайно, але значення датчиків не відображалися доки Arduino не підключився до серверів Blynk через Інтернет. Цей процес відстежувався за допомогою послідовного монітора на Arduino Integrated через середовище розробки. Коли силос був онлайн, на мобільному телефоні з'явилося сповіщення у додатку. Для цілей тестового запуску вентилятор і обігрівач були запрограмовані на ввімкнення при досягненні температури зерносховища знаходиться в діапазоні від 20 до 40 градусів Цельсія. Також було запрограмовано активацію ультразвукового зволожувача коли вміст CO₂ в схові досягає між діапазонами 0,5 – 1 ppm (частинок на мільйон). Результати, отримані для 8-годинного тестового запуску розробленого силосу без зберігання зерна в ньому відображається в таблиці 3.3. На початку тестового запуску смарт-силос відображав початкову температуру і вологості 20 градусів Цельсія і 45% відповідно. Тиск повітря та CO₂ всередині зерносхову

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

становили 1053,85 мілібар і 1,02 ppm відповідно. Вентилятор і обігрівач були налаштовані на автоматичне ввімкнення.

Це налаштування не базувалося на будь-яких умовах зберігання зерна, а лише для перевірки ефективності та чутливості розробленої системи.

Показники температури та вологості всередині силосу під час тестового запуску зображено в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 – Результати тестування

№	Час (год)	Температура силоса (градуси цельсія)	Вологість силоса (%)	Атмосферний тиск в силосі(міліметрів ртутного стовбчика	Рівень CO2(частин на мільйон	Статус вентилятора та обігрівача	Статус атомайзера
1	6.	20	45	1053,85	1,02	on	on
2	7.	21	44	1040.20	1.00	on	on
3	8.	25	43	1037.56	0.94	on	on
4	9.	29	39	1023.83	0.73	on	on
5	10.	33	31	1011.21	0.41	on	off
6	11.	37	20	925.56	0.02	on	off
7	12	40	16	926	0.02	off	off
8	13	36	16	961.61	0.04	off	off

Таблиця 3.3 ілюструє, що температура повітря всередині схову продовжує зростати під час тестування з часом. Це відбувалося через дію вентилятора і нагрівачем, які вдувають гаряче повітря в сховище. Потім температура повітря починає поступово знижуватися після досягнення 40 градусів цельсія. Це відбувається тому, що вентилятор і обігрівач були запрограмовані на вимкнення, коли температура повітря всередині силосу досягне відмітки у 40 градусів цельсія. Також вологість повітря всередині силосу починає зменшуватися в міру підвищення температури повітря.. Низька вологість викликає подальшу сухість зерна, що перешкоджає розвитку мікробів і зменшує псування зерна під час зберігання.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

У кваліфікаційній роботі описано процес створення комп'ютеризованої системи для автоматичного контролю температури, вологості, а також інших параметрів мікроклімату в зерносховищі. Така система функціонує у виробничому середовищі, яке має підвищені вимоги до безпеки обслуговування. У цьому розділі розглядаються питання безпеки життєдіяльності людини в системі «людина – машина – середовище існування» та забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату, як для зберігання зерна, так і для персоналу, який працює з системою.

Зважаючи на те, що система включає елементи з живленням 220 В, використання сенсорів, виконавчих механізмів, вентиляторів і програмованих контролерів, виникають типові загрози: ураження електричним струмом, коротке замикання, перегрів елементів, забруднення повітря, перевищення граничних рівнів температури й вологості, та зниження концентрації кисню в робочому середовищі. У зв'язку з цим заходи з охорони праці є важливою складовою проектування й експлуатації таких комп'ютеризованих систем.

4.1 Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування»

Автоматизована система керування мікрокліматом у зерносховищі є технічним рішенням, що активно взаємодіє з трьома компонентами: людиною-оператором, машинними пристроями (контролери, сенсори, механізми) та зовнішнім середовищем (зерносховище, погодні умови, газове середовище, тепло- і вологість).

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ганкевич Д.О			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
Перевірів		Стадник Н.Б					
Консульт.		Пилипець М.І					
Н. Контр.		Луцик Н.С					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						52	5
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

Ключова роль оператора системи полягає у моніторингу значень параметрів мікроклімату через цифровий інтерфейс, ухваленні рішень щодо їх регулювання, налаштуванні параметрів, а також своєчасному обслуговуванні системи. Важливим є правильне проєктування середовища взаємодії: розташування елементів управління, рівень шуму та освітленості, доступність даних. Людина має виконувати функції контролю, але не перебирати на себе задачі, які повинні бути автоматизовані — це знижує ризики перевантаження та помилок.

Вплив середовища на людину – це, зокрема, підвищена температура й вологість у закритих приміщеннях, запиленість, концентрація вуглекислого газу, дефіцит кисню. Усі ці фактори впливають на фізіологічні процеси, знижують концентрацію уваги та швидкість реакції.

Технічні пристрої (сенсори, контролери, силові модулі) також можуть бути джерелом небезпеки у разі перегріву, короткого замикання чи несправностей ізоляції. Людина як учасник взаємодії повинна мати належний рівень підготовки для інтерпретації показників системи, а також можливість безпечного втручання у її роботу. У разі виникнення позаштатної ситуації оператор має чітку інструкцію щодо дій, можливість виключити живлення пристроїв і повідомити відповідальних осіб.

До основних ризиків у цій системі належать:

- ураження електричним струмом під час обслуговування обладнання;
- механічні травми при роботі з вентиляторами, заслінками, сервоприводами;
- отруєння або погіршення самопочуття через підвищений рівень CO₂ або вологість;
- стресові або аварійні ситуації при збої в роботі програмного забезпечення;
- відсутність резервного живлення та захисту даних.

Для зниження ризиків отримання травм необхідно дотриматися наступних рекомендацій:

- передбачено аварійне вимкнення системи (кнопка «СТОП» або автоматичне реле);
- обмежити доступ до силових елементів (електрощити, силові кабелі);
- забезпечити наявність візуального та звукового попередження у разі критичних параметрів;
- передбачено наявність інструкцій для операторів і доступ до інформації про поточний стан системи;
- навчати персонал роботі з інтерфейсом мобільного додатку, контролером, засобами ручного керування;
- встановити систему моніторингу працездатності основних компонентів із журналюванням подій.

Система сумісна з ергономічними принципами: простота сприйняття інформації, відсутність перевантаження оператора, логічність розміщення елементів на панелі керування, інтуїтивно зрозумілий дизайн інтерфейсу мобільного застосунку або web-панелі. Екранна інформація є контрастною, шрифти – читабельними, сповіщення – однозначними.

Особливе значення має відповідність умов експлуатації нормативним документам: ДСТУ EN ISO 6385:2018 – «Ергономічні принципи проектування робочих систем» [19], ДБН В.2.5-56:2014 – «Системи автоматичного пожежогасіння та сигналізації» [20], ДСТУ EN 60204-1:2015 – «Безпека машин. Електрообладнання машин. Загальні вимоги» [21].

Крім того, враховано і психофізіологічний стан оператора при роботі в закритих приміщеннях без природної вентиляції. За таких умов можливе зниження концентрації уваги, млявість, порушення координації. Тому передбачено обмеження на тривалість безперервного перебування персоналу в зерносховищі, встановлення сигналізаторів CO₂ та вологомірів, регулярне провітрювання і контроль рівня шуму.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Працівники проходять періодичні інструктажі з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та поведінки у разі аварій. Персонал навчений надавати домедичну допомогу, уміє користуватися засобами гасіння пожежі та евакуаційними шляхами. Розміщено наочні інструкції на стінах зерносховища, позначити маршрути евакуації та передбачити місця для аптечок і вогнегасників.

4.2 Підбирання оптимальних параметрів мікроклімату на робочих місцях

Розроблена система контролює температурно-вологісні параметри середовища зерносховища з метою забезпечення збереження сільськогосподарської продукції. Також параметри мікроклімату на робочому місці є не менш важливими для забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу. Людина, що працює в умовах підвищеної температури, вологості або концентрації CO₂, може зазнавати серйозного фізіологічного навантаження.

Відповідно до діючих санітарно-гігієнічних норм [22], оптимальні параметри мікроклімату на робочих місцях мають становити

- температура повітря: 18–24 °С;
- відносна вологість: 40–60%;
- швидкість руху повітря: до 0,3 м/с.

Параметри, які перевищують ці значення, призводять до швидкої втоми, головного болю, зниження працездатності, підвищення ймовірності помилок. Особливо небезпечними є замкнуті приміщення без вентиляції, де накопичується волога, тепло та продукти біологічного розпаду зерна (газ метан, вуглекислий газ).

Система має можливість формування статистичних звітів, що відображають динаміку змін параметрів мікроклімату, що дозволяє виявляти тренди, передбачати несприятливі умови та вчасно реагувати. Дані

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

використовуються для аналізу ефективності вентиляційних заходів, планування графіків провітрювання або технічного обслуговування обладнання.

Запропонована система має вбудовані сенсори температури та вологості (DHT11), тиску (BMP180), та CO₂ (CCS811), які дозволяють не лише здійснювати моніторинг параметрів середовища в режимі реального часу, але й передавати ці дані на мобільний додаток для віддаленого спостереження. Такі дані збережені у хмарному сховищі для подальшої обробки та архівування.

У разі перевищення граничних значень система активує виконавчі механізми: увімкнення вентиляції, відкриття заслінок, сигналізація. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни в мікрокліматі, зберігаючи як зерно, так і здоров'я працівників. Оператор отримує push-сповіщення на смартфон про критичні ситуації з можливістю дистанційного керування обладнанням.

В кваліфікаційній роботі враховано:

- обладнання зерносховища витяжною та припливною вентиляцією;
- встановлення аварійне освітлення;
- передбачено автономне живлення для критично важливих сенсорів;
- встановлено вологопоглиначі або осушувачі повітря в зонах з високою вологістю;
- забезпечено наявність засобів індивідуального захисту: респіратори, гумові рукавички, спецодяг із вентиляційними вставками;
- контроль рівня пилу за допомогою оптичних сенсорів і вживання заходів щодо фільтрації повітря.

Для створення здорового мікроклімату також доцільно розміщено контрольні пункти із системою сигналізації у зонах частого перебування

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

людей. Показники відображаються на цифрових табло з індикаторами тривоги (світлодіодні панелі), що пришвидшує виявлення проблемних ділянок.

Увага до мікроклімату на робочому місці підвищує продуктивність, знижує ризики захворювань і формує культуру безпечного виробництва, що відповідає сучасним вимогам охорони праці та екологічної безпеки.

Інженерно-технічне рішення забезпечує стійкість до пилу, вологи та температурних коливань (IP65), враховуючи специфіку зерносховищ. Це забезпечить не лише безпеку персоналу, але й довговічність самої системи.

У кінцевому підсумку розроблена система дозволяє реалізувати вищенаведені заходи безпеки що дає змогу не лише дотримуватися законодавчих норм, а й підвищити ефективність експлуатації автоматизованої системи, зменшити ризики виробничого травматизму та забезпечити комфортні умови праці персоналу при виконанні робочих завдань на приладі. Завдяки відповідності системи визначеним вимогам забезпечується надійна робота обладнання, оптимальний мікроклімат у зоні обслуговування, а також безпечна взаємодія персоналу з електротехнічними компонентами системи. Це, у свою чергу, створює передумови для довготривалої та стабільного використання приладу в умовах виробничих середовищ.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено та реалізовано повнофункціональну комп'ютерну систему моніторингу й автоматичного керування параметрами мікроклімату у зерносховищі. Досягнуті результати:

Створено програмне забезпечення на мові C++ з реалізацією алгоритмів керування мікрокліматом, що дозволяють автоматично вмикати або вимикати вентилятор, обігрівач повітря та ультразвуковий зволожувач залежно від показів сенсорів.

Реалізовано підтримку хмарного моніторингу через мобільний додаток Blynk із можливістю дистанційного перегляду стану системи в реальному часі. Налагоджено обмін даними через UART і Wi-Fi.

Проведено комплексне тестування системи, яке підтвердило стабільність роботи в умовах макетного середовища. Перевірено точність зчитування сенсорів, надійність роботи реле, а також швидкодію при дистанційному керуванні.

Доведено практичну придатність розробленої системи для застосування у сільському господарстві, зокрема у зерносховищах, з метою зниження втрат при зберіганні продукції, підвищення енергоефективності та мінімізації впливу людського фактора.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наказ « Про затвердження Інструкції про порядок ведення обліку й оформлення операцій із зерном і продуктами його перероблення на хлібоприймальний та зернопереробних підприємствах незалежно від форм власності і господарювання» №310 від 11.07.2005
2. Закон України «Про зерно та ринок зерна в Україні» №35 від 04.07.2002
3. ДСТУ ISO 6322-1:2004 «Зберігання зерна. Загальні рекомендації» від 11.01.2005
4. Сімейство ПЛК Modicon. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/62128-логічний-контролер-modicon-m221/#products> (дата звернення: 09.06.2025)
5. Як встановити вентиляцію у зерносховищі. URL: <https://ventbazar.ua/uk/blog/sistemy-ventilyacii-dlya-zernovykh-skladov/> (дата звернення: 09.06.2025)
6. TOTAL CONTROL 1204 Виробничий комп'ютер, блок керування мікрокліматом. URL: <https://ventura-lviv.prom.ua/ua/p1720723603-kompyuter-upravleniya-mikroklimatom.html> (дата звернення: 09.06.2025)
7. МК Arduino Mega 2560. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/> (дата звернення: 09.06.2025)
8. Сенсор вологості та температури повітря DHT11. URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p448916718-modul-datchika-temperatury.html> (дата звернення: 09.06.2025)
9. Датчик атмосферного тиску. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/atmospheric-pressure-temperature-sensor-bmp180> (дата звернення: 09.06.2025)

10. Сенсор для виміру легких органічних сполук CCS811. URL: <https://ardu.prom.ua/ua/p1007974201-datchik-kachestva-vozdruha.html> (дата звернення: 09.06.2025)

11. Акустичний сенсор KY-037. URL: <https://arduinka.biz.ua/censor-modulya-mikrofonu-dlya-arduino-ky-037-p282c74.html> (дата звернення: 09.06.2025)

12. Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/wi-fi-module-esp8266-esp-01> (дата звернення: 09.06.2025)

13. Adafruit DHT Sensor Library, 2021p. URL: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library> (дата звернення: 09.06.2025)

14. Adafruit BMP085 Unified Sensor Driver, 2021p. URL: <https://github.com/adafruit/Adafruit-BMP085-Library> (дата звернення: 09.06.2025)

15. Adafruit CCS811 Air Quality Sensor Library, 2020p. URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_CCS811 (дата звернення: 09.06.2025)

16. LiquidCrystal_I2C by John Rickman, 2019p URL: https://github.com/johnrickman/LiquidCrystal_I2C (дата звернення: 09.06.2025)

17. ESP8266WiFi Library Documentation, 2023 URL: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html> (дата звернення: 09.06.2025)

18. Blynk Legacy Arduino Library, 2022p. URL: <https://github.com/blynkkk/blynk-library> (дата звернення: 09.06.2025)

19. ДСТУ EN ISO 6385:2018 – «Ергономічні принципи проектування робочих систем»

20. ДБН В.2.5-56:2014 – «Системи автоматичного пожежогасіння та сигналізації»

21. ДСТУ EN 60204-1:2015 – «Безпека машин. Електрообладнання машин. Загальні вимоги»

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

22. ДСН 3.3.6.042-99 – «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»
23. Андрейчук Н.І., Ю.В. Кіт, С.В. Шибанов, О.В. Шерстньова. Охорона праці : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2021. 276 с.
24. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп’ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
25. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп’ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с
26. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.
27. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.
28. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.
29. Карабан Д., Жаровський Р. Аналіз проблем забезпечення анонімності користувачів при використанні мережі Інтернет. Матеріали XII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (6-7 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 456.
30. Ларіоник Р.В., Луцик Н.С., Паламар А.М. Система для моніторингу якості атмосферного повітря на базі IoT. Матеріали IX науково-технічної

					<i>КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ. 2021. С. 116.

31. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р

Комп'ютерна система керування параметрами мікроклімату в зерносховищі

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

_____ к.т.н., ст. викл. Стадник Н.Б

_____ Ганкевич Д.О.

« ____ » _____ 2025 р.

« ____ » _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система керування параметрами мікроклімату в зерноскровищі».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.200.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Гакневич Д.О.

1.3 Підстава для виконання роботи

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

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

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

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

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

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

комп'ютерна система що розробляється призначена для:

- Автоматизованого моніторингу мікрокліматичних параметрів схову.
- Дистанційний моніторинг стану системи за допомогою мобільного додатку Blynk через Wi-Fi-з'єднання.
- Підвищення ефективності зберігання сільськогосподарської продукції шляхом підтримання стабільних умов мікроклімату без участі оператора

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та реалізація комп'ютеризованої системи контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі, що поєднує мікроконтролерне керування сенсорами та виконавчими пристроями з можливістю локального і віддаленого моніторингу в режимі реального часу.

2.3 Характеристика об'єкту

Розроблювана комп'ютерна система призначена для використання в агропромисловій галузі, зокрема у зерносховищах, елеваторах та складських приміщеннях для зберігання сільськогосподарської продукції

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система контролю мікроклімату зерносховища повинна забезпечувати безперервний моніторинг температури, вологості, тиску, рівня CO₂ та рівня шуму з подальшим автоматичним керуванням виконавчими механізмами для підтримання стабільних умов зберігання продукції.

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

Зв'язок між компонентами системи (датчики, мікроконтролер, інтерфейси відображення, реле) повинен бути забезпечений через стандартизовані протоколи I2C, SPI, UART. Дані передаються з високою швидкістю та мінімальними затримками. Дистанційний моніторинг реалізується через Wi-Fi (ESP8266).

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система має підтримувати два режими роботи: автоматичний та ручний. У автоматичному режимі мікроконтролер самостійно вмикає/вимикає вентилятор, обігрівач чи атомайзер відповідно до заданих порогових значень. У ручному режимі користувач керує системою через мобільний застосунок. При збої зв'язку система зберігає останній стабільний режим.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Система повинна мати функцію базової діагностики, включаючи індикацію на дисплеї або через додаток про несправності (відсутність сенсора, перевищення

меж параметрів, стан реле). Програмне забезпечення повинно забезпечувати зручне логування та відображення збоїв.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Модульна структура системи дозволяє легко інтегрувати додаткові сенсори або виконавчі механізми (наприклад, вентиляційні заслінки, контролери освітлення, GSM-модулі). Також можливе підключення SD-карти для збереження історії вимірі прилада.

3.2 Показники призначення

. Система повинна залишатися працездатною при:

- короткочасних перебоях живлення;
- програмних збоях (автоматичне перезавантаження);
- частковому виході з ладу сенсора (виключення лише відповідного режиму).

Для захисту від імпульсних перешкод застосовуються мережеві фільтри та стабілізатори живлення

3.2.1 Вимоги до надійності

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

- при збоях в системі електропостачання апаратної частини;
- при помилках в роботі апаратних засобів;
- при помилках, пов'язаних з програмним забезпеченням (ОС і драйвери пристроїв).

Для захисту апаратури від стрибків напруги і комутаційних завад повинні застосовуватися мережні фільтри.

3.3 Вимоги до безпеки

Усі елементи, що перебувають під напругою, повинні мати ізоляцію або бути захищені корпусом. Вся система підлягає заземленню відповідно до норм. Пристрій повинен мати захист від коротких замикань. Усі компоненти повинні бути виготовлені з матеріалів, що не виділяють токсичних речовин при нагріванні чи займання.

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

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

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

Періодичне технічне обслуговування використовуваних технічних засобів має проводитися відповідно до вимог технічної документації, але не рідше ніж один раз на рік.

Періодичне технічне обслуговування і тестування технічних засобів повинні включати обслуговування і тестування всіх використовуваних засобів, датчики, контролери, системи передачі даних, пристрої безперебійного живлення.

На підставі результатів тестування технічних засобів повинні проводитися аналіз причин виникнення виявлених дефектів і прийматися заходи по їх ліквідації.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати захист від несанкціонованого доступу на рівні не нижче встановленого вимогами, що пред'являються до категорії 1Д по класифікації документа, що діє, "Автоматизовані системи. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Класифікація автоматизованих систем".

Компоненти підсистеми захисту від НСД повинні забезпечувати:

- ідентифікацію користувача;
- перевірку повноважень користувача при роботі з системою;
- розмежування доступу користувачів.

Рівень захищеності від несанкціонованого доступу засобів обчислювальної техніки, що здійснюють обробку конфіденційної інформації, повинен відповідати вимогам класу захищеності згідно вимогам документу “Засоби обчислювальної техніки. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Показники захищеності від несанкціонованого доступу до інформації”.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Інформація, при виникненні аварійних ситуацій повинна бути збережена на резервних носіях.

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки і зручності користування за умови комплектування високоякісним обладнанням (ЕОМ, монітор і інше обладнання), що має необхідні сертифікати відповідності і безпеки.

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

- забезпечення зручного інтерфейсу;
- забезпечення зберігання медіафайлів;
- пошук необхідної інформації;
- забезпечення високої швидкодії.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

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

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

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи
бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання.	27.01 – 02.02
2	Робота над розділом – Аналіз технічного завдання по розробці КС контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі	03.02 – 05.03
3	Робота над розділом– Проектування КС контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі	05.03 – 14.04
4	Робота над основним розділом – Програмування та тестування програмного забезпечення	14.04 – 17.05
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	17.05 – 01.06
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	01.06 – 09.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	9.06 – 15.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06 – 22.06.
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	23.06

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

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

Додаток Б
Програмний код

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <Adafruit_BMP085.h>

#include <Adafruit_CCS811.h>

#include <DHT.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <BlynkSimpleEsp8266.h>


// --- Blynk Wi-Fi ---

char auth[] = "YourBlynkToken";    // заміни на свій токен

char ssid[] = "YourWiFiSSID";      // назва Wi-Fi мережі

char pass[] = "YourWiFiPassword";  // пароль


// --- Сенсори ---

#define DHTPIN 3

#define DHTTYPE DHT11

#define MIC_PIN A0


DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

Adafruit_BMP085 bmp;

Adafruit_CCS811 ccs;
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Адреса 0x27 для LCD 1602

// --- Реле ---

#define FAN_PIN 8

#define HEATER_PIN 9

#define ATOMIZER_PIN 10


// --- Пороги ---

float temp_threshold_high = 15.0;

float temp_threshold_low = 5.0;

float humidity_threshold = 70.0;

int co2_threshold = 900;

int mic_threshold = 500;


void setup() {

    Serial.begin(9600);

    Serial1.begin(9600);

    Blynk.begin(auth, ssid, pass, Serial1);


    dht.begin();

    bmp.begin();

    ccs.begin();

    lcd.begin();
```

```
lcd.backlight();
```

```
pinMode(FAN_PIN, OUTPUT);
```

```
pinMode(HEATER_PIN, OUTPUT);
```

```
pinMode(ATOMIZER_PIN, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(FAN_PIN, LOW);
```

```
digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
```

```
digitalWrite(ATOMIZER_PIN, LOW);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  Blynk.run();
```

```
  float temp = dht.readTemperature();
```

```
  float hum = dht.readHumidity();
```

```
  float pressure = bmp.readPressure() / 100.0; // rΠa
```

```
  int micValue = analogRead(MIC_PIN);
```

```
  float co2 = 0;
```

```
  if (ccs.available()) {
```

```
    if (!ccs.readData()) {
```

```
      co2 = ccs.geteCO2();
```

```

    }

}

// --- Вивід на LCD ---

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("T:");

lcd.print(temp);

lcd.print("C H:");

lcd.print(hum);

lcd.print("%");


lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("CO2:");

lcd.print(co2);

lcd.print("ppm");


// --- Керування реле ---

if (temp > temp_threshold_high || hum > humidity_threshold) {

    digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);

    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);

} else if (temp < temp_threshold_low) {

    digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);

    digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH);

```

```
} else {  
  
    digitalWrite(FAN_PIN, LOW);  
  
    digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);  
  
}  
  
if (co2 > co2_threshold || micValue > mic_threshold) {  
  
    digitalWrite(ATOMIZER_PIN, HIGH);  
  
} else {  
  
    digitalWrite(ATOMIZER_PIN, LOW);  
  
}  
  
// --- Вивід у Serial ---  
  
Serial.print("Temp: "); Serial.print(temp); Serial.print(" C, ");  
  
Serial.print("Humidity: "); Serial.print(hum); Serial.print(" %, ");  
  
Serial.print("CO2: "); Serial.print(co2); Serial.print(" ppm, ");  
  
Serial.print("Sound: "); Serial.println(micValue);  
  
delay(2000);  
  
}
```

Додаток В

Перелік елементів

Позначення		Найменування		К-сть	Примітка
		Мікроконтролер			
U1		Arduino Mega 2560 (Rev3)		1	
		Мережеві модулі			
U2		UART ESP8266		1	
		Сенсори			
U3		Температури та вологості DHT 11		1	
U4		Концентрації CO2 Adafruit CCS811		1	
U5		Тиску повітря I2C BMP180		1	
U6		Акустичних коливаньKY-037		1	
		Дисплей			
LCD1		LCD 1602 з інтерфейсом I2C		1	
		Резистори			
R1		МЛТ – 0.5В 1.8 кОм		1	
R4		МЛТ – 0.125В 3 кОм		1	
R5, R6		МЛТ – 0.125В 10 кОм		2	
		Реле			
K2 ,K3, K4		1-Канальний реле 5В		3	
		Виконавчі пристрої			
Fan		Вентилятор		1	

					КС КРБ 123.200.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КС контролю параметрів мікроклімату в зерносховищі Перелік елементів			Літ.	Арк.	Аркуші	
Розроб.		Ганкевич Д.О								1	2
Перевір.		Стадник Н.Б						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Реценз.		Цуприк Г.Б									
Н. Контр.		Луцик Н.С									
Затверд.		Осухівська Г.М.									

Позначення			Найменування			К-сть		Примітка	
Heater 600			Нагрівач повітря 600 Вт			1			
Atomizer			Ультразвуковий розпилювач			1			

