

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи СІс-41  
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Васильєв П. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш С.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Литвиненко Я. В.

(прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Васильєву Павлу Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні

Керівник роботи Микитишин Андрій Григорович к.т.н., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » 04 2026 року № 4/9-189

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Схема електрична структурна

2. Схема електрична принципова

3. Блок схема алгоритму роботи системи

4. Модель макета

5. UML-діаграма станів

6. UML-діаграма компонентів



## АНОТАЦІЯ

Васильєв П. М. Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: повітряний потік, Arduino, UART, I<sup>2</sup>C.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з чотирьох розділів.

У першому розділі виконано аналіз технічного завдання, та укладено вимоги до комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні.

В другому розділі описується процес проектування та реалізації комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні. Проводиться розробка апаратного забезпечення для функціонування системи. Описуються функціональні можливості бібліотек.

В третьому розділі виконано програмну реалізацію та тестування комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні в реальних умовах експлуатації.

Четвертий розділ описує питання безпеки життєдіяльності та основи охорони праці.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ABSTRACT

Vasyl'yev P. M. Computer System for Indoor Airflow Control Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: air flow, Arduino, UART, I2C.

The bachelor's qualification work consists of four sections.

The first section analyzes the technical task and concludes the requirements for a computer-based indoor air flow control system.

The second section describes the process of designing and implementing a computer-based indoor air flow control system. Hardware is being developed for the system to function. The functional capabilities of the libraries are described.

The third section implements the software implementation and testing of a computer-based indoor air flow control system in real operating conditions.

The fourth section describes the issues of life safety and the basics of labor protection.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Типові вимоги до умов мікроклімату і вентиляції приміщень .....	10
1.2 Основні вимоги до проектованої системи.....	13
1.3 Аналіз існуючих рішень для побудови системи контролю повітряного потоку .....	15
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Розробка структури комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні .....	19
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення проектованої системи ....	21
2.2.1 Вибір мікроконтролера Arduino PRO Mini .....	21
2.2.2 Вибір цифрового термометра DS18B20.....	24
2.2.3 Вибір модуля Bluetooth 4.0 (HM-10) .....	26
2.2.4 Вибір датчика якості повітря SGP30.....	28
2.2.5 Вибір датчика тиску MPXV7002DP для визначення напрямку руху повітря у вентиляційній трубі .....	30
2.2.6 Вибір модуля ESP8266 для підключення датчика тиску .....	31
2.2.7 Вибір дисплею LCD 1602A .....	31
2.3 Опис шин, протоколів, які використовуються в проекті .....	32
2.3.1 Протокол передачі даних 1-wire DS18B20.....	32
2.3.2 Шина I2C .....	33
2.4 Опис алгоритму роботи комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні.....	35

					<b>КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ</b>				
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>					
Розроб.		Васильєв П.			<i>Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні Пояснююча записка</i>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>	
Перевір.		Микитишин А.				6	57		
Рецензент		Литвиненко				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41</i>			
Н. Контр.		Тиш Є.В.							
Затверд.		Осухівська Г.М.							

2.5 UML-діаграма станів роботи комп'ютерної системи.....	37
2.6 UML-діаграма компонентів роботи комп'ютерної системи.....	39
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	41
3.1 Підключення і налаштування модулів.....	41
3.2 Опис коду програми комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні .....	43
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	49
4.1 Долікарська допомога при харчових отруєннях .....	49
4.2 Заходи з техніки безпеки при виготовленні деталей .....	51
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	55
ДОДАТОК А. Технічне завдання	
ДОДАТОК Б Переліки елементів	
ДОДАТОК В Код програми	

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

I2C — Inter-Integrated Circuit

PWM — Pulse-width modulation

UART — universal asynchronous receiver-transmitter

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

Забезпечення належних умов мікроклімату в житлових, офісних та виробничих приміщеннях є важливою складовою створення комфортного та безпечного середовища для перебування людини. Одним із основних факторів, що впливають на якість внутрішнього повітря, є ефективна робота систем вентиляції. Природна вентиляція широко застосовується в будівлях завдяки простоті реалізації та відсутності значних витрат енергії, однак її ефективність значною мірою залежить від зовнішніх погодних умов, різниці температур та стану вентиляційних каналів. Однією з найпоширеніших проблем є виникнення зворотної тяги, коли повітря починає рухатися у протилежному напрямку та надходить із вентиляційного каналу назад до приміщення. Це може призводити до погіршення якості повітря, появи сторонніх запахів, підвищення вологості та зниження рівня комфорту для людей.

Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні здійснює моніторинг температури та якості повітря, контролює напрямок руху повітря у вентиляційному каналі та автоматично керує кватирками або вентиляційними клапанами. Особливістю системи є можливість виявлення зворотної тяги у вентиляції та автоматичного відкривання припливних отворів для відновлення природного руху повітря.

Практична цінність розробки полягає у можливості підвищення ефективності природної вентиляції приміщень, покращення якості повітря та створення комфортних умов для перебування людей без необхідності використання складних і дорогих вентиляційних установок. Запропоноване технічне рішення може бути використане в житлових будинках, офісних приміщеннях, навчальних закладах та інших об'єктах, де актуальним є забезпечення стабільного повітрообміну та автоматизованого контролю мікроклімату.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Типові вимоги до умов мікроклімату і вентиляції приміщень

Забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях є важливою умовою створення комфортного та безпечного середовища для життєдіяльності людини. Від параметрів внутрішнього повітряного середовища залежать самопочуття, працездатність, стан здоров'я та рівень комфорту людей, які перебувають у приміщенні протягом тривалого часу. Особливої актуальності питання забезпечення належного мікроклімату набувають у житлових будинках, навчальних закладах, офісних приміщеннях, медичних установах та виробничих об'єктах [1-4], де люди проводять значну частину свого часу.

Під мікрокліматом приміщення розуміють сукупність фізичних параметрів внутрішнього повітряного середовища, до яких належать температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря, температура огороджувальних конструкцій, а також склад і чистота повітря. Вказані параметри повинні підтримуватися в межах нормативних значень, встановлених санітарними правилами та будівельними нормами. Відхилення хоча б одного з цих показників може негативно впливати на організм людини, спричиняти дискомфорт, втому, погіршення концентрації уваги та підвищення ризику виникнення захворювань.

Температура повітря є одним із найважливіших параметрів мікроклімату. Для житлових приміщень у холодний період року оптимальною вважається температура в межах від 20 до 22 °С, а допустимою – від 18 до 24 °С. У теплий період року комфортною є температура від 22 до 25 °С. Надмірне зниження температури призводить до переохолодження організму та підвищення ризику

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Васильєв П.			<i>Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні Пояснююча записка</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Микитишин А.					10	58
Рецензент		Литвиненко				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		
Н. Контр.		Тиш С.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

простудних захворювань, тоді як її надмірне підвищення викликає перегрівання, швидку втому та зниження працездатності.

Не менш важливим параметром є відносна вологість повітря. Для більшості приміщень оптимальним вважається рівень вологості від 40 до 60 %. При зниженні вологості нижче 30 % виникає пересихання слизових оболонок дихальних шляхів, подразнення очей та підвищення ризику респіраторних захворювань. Підвищення вологості понад 70 % сприяє розвитку грибка, плісняви, розмноженню мікроорганізмів та погіршує тепловідчуття людини.

Швидкість руху повітря також істотно впливає на комфортність перебування в приміщенні. У житлових та громадських будівлях вона зазвичай повинна перебувати в межах від 0,1 до 0,3 м/с. При менших значеннях погіршується повітрообмін і виникає відчуття задухи, тоді як більші швидкості можуть спричинити появу протягів та локальне переохолодження людей. Особливо важливо підтримувати оптимальну швидкість руху повітря в приміщеннях із природною вентиляцією, де повітрообмін залежить від різниці температур, атмосферного тиску та погодних умов [1-4].

Однією з головних вимог до мікроклімату є забезпечення необхідної якості повітря. У процесі життєдіяльності людини в приміщенні накопичуються вуглекислий газ, водяна пара, пил, побутові забруднення та різноманітні леткі органічні сполуки. За недостатнього повітрообміну концентрація цих речовин поступово зростає, що негативно впливає на здоров'я людей. Підвищений вміст вуглекислого газу викликає сонливість, зниження концентрації уваги, головний біль та загальне погіршення самопочуття. Тому вентиляційна система повинна забезпечувати безперервне надходження свіжого повітря та ефективно видалення забрудненого.

Для підтримання нормативних параметрів мікроклімату використовуються системи природної, механічної або комбінованої вентиляції. Природна вентиляція здійснюється за рахунок різниці температур і тисків між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Вона є простою та енергоефективною, однак її ефективність значною мірою залежить від погодних умов. Механічна

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

вентиляція забезпечує примусовий рух повітря за допомогою вентиляторів та дозволяє більш точно контролювати параметри повітряного середовища. У багатьох сучасних будівлях застосовуються комбіновані системи, які поєднують переваги обох підходів.

Важливою вимогою до вентиляційних систем є стабільність напрямку руху повітря у вентиляційних каналах. У нормальному режимі повітря повинно рухатися з приміщення назовні через витяжні канали. Однак під впливом зміни погодних умов, сильного вітру, перепадів температур або особливостей конструкції вентиляційної системи може виникати зворотна тяга. У такому випадку напрямок повітряного потоку змінюється, і забруднене повітря з вентиляційного каналу починає надходити назад у приміщення. Це призводить до погіршення якості повітря, збільшення вологості, поширення сторонніх запахів та зниження ефективності вентиляції [1-4].

Для забезпечення стабільних параметрів мікроклімату сучасні вентиляційні системи все частіше оснащуються засобами автоматичного контролю та керування. Використання датчиків повітряного потоку, температури, вологості та концентрації газів дозволяє здійснювати безперервний моніторинг стану повітряного середовища. Отримана інформація обробляється мікроконтролерами або комп'ютерними системами, які автоматично приймають рішення щодо зміни режиму роботи вентиляції. Зокрема, у разі виникнення зворотної тяги система може автоматично відкривати кватирки або віконні клапани для збільшення припливу свіжого повітря та відновлення природного напрямку повітряного потоку.

Дотримання нормативних вимог до мікроклімату та ефективної роботи вентиляції є необхідною умовою забезпечення комфортного, безпечного та здорового середовища в приміщеннях. Сучасні комп'ютеризовані системи контролю вентиляції дозволяють підвищити ефективність повітрообміну, своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та автоматично реагувати на зміну умов експлуатації, забезпечуючи стабільну якість повітряного середовища.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

## 1.2 Основні вимоги до проекрованої системи

Проектована комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні призначена для автоматичного моніторингу параметрів внутрішнього повітряного середовища та керування елементами природної вентиляції з метою підтримання комфортного мікроклімату і забезпечення стабільного повітрообміну. Основною функцією системи є безперервний контроль температури та якості повітря в приміщенні, а також визначення напрямку руху повітря у вентиляційному каналі для своєчасного виявлення явища зворотної тяги. На основі отриманих даних система повинна автоматично керувати положенням кватирок або вентиляційних клапанів, забезпечуючи оптимальні умови вентиляції без необхідності втручання користувача.

Однією з основних вимог до системи є забезпечення безперервного контролю температури повітря в приміщенні [1-4]. Для цього до складу системи включається датчик температури, який повинен забезпечувати достатню точність вимірювання та стабільність показників упродовж тривалого часу експлуатації. Інформація про температуру використовується для оцінки поточного стану мікроклімату та прийняття рішень щодо необхідності збільшення або зменшення інтенсивності вентиляції. При підвищенні температури вище встановлених користувачем значень система повинна забезпечувати збільшення припливу свіжого повітря шляхом відкриття кватирок або вентиляційних клапанів на більший кут.

Важливою складовою проекрованої системи є датчик якості повітря, який дозволяє контролювати рівень забруднення внутрішнього середовища. Погіршення якості повітря може бути пов'язане зі збільшенням концентрації вуглекислого газу, летких органічних сполук, продуктів горіння або інших забруднювачів. Дані від датчика якості повітря повинні безперервно аналізуватися мікроконтролером системи. У разі перевищення встановлених

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

порогових значень система повинна автоматично збільшувати інтенсивність провітрювання шляхом відкриття виконавчих механізмів на більший кут. Такий підхід дозволяє підтримувати комфортні умови перебування людей у приміщенні та запобігати накопиченню шкідливих домішок.

Особливу увагу при проектуванні системи необхідно приділити контролю напрямку руху повітря у вентиляційному каналі. Для вирішення цього завдання передбачається використання окремого датчика напрямку повітряного потоку, який встановлюється у вентиляційній трубі. Даний датчик виконує функцію захисту від зворотної тяги та дозволяє визначати зміну напрямку руху повітря в режимі реального часу. Передача інформації від датчика до центрального контролера здійснюється за допомогою бездротового каналу зв'язку Bluetooth. Використання бездротового підключення дозволяє спростити монтаж системи, зменшити кількість кабельних з'єднань та забезпечити можливість встановлення датчика на значній відстані від основного контролера.

У випадку виявлення зворотної тяги система повинна автоматично виконувати заходи для відновлення нормального режиму вентиляції. Основним способом усунення зворотної тяги є збільшення припливу свіжого повітря до приміщення шляхом відкриття кватирок або вентиляційних клапанів. Це дозволяє вирівняти тиск повітря та забезпечити відновлення природного напрямку руху повітряного потоку у вентиляційному каналі. Алгоритм роботи системи повинен забезпечувати швидке реагування на появу зворотної тяги та контроль ефективності вжитих заходів.

Як виконавчі механізми в системі передбачається використання сервоприводів [1-4]. Сервоприводи повинні забезпечувати точне позиціонування кватирок або вентиляційних клапанів у широкому діапазоні кутів відкриття. На відміну від систем із двопозиційним керуванням, де виконавчий механізм може перебувати лише у відкритому або закритому стані, застосування сервоприводів дозволяє плавно регулювати ступінь відкриття залежно від поточних умов у приміщенні. Наприклад, при незначному перевищенні допустимих параметрів якості повітря система може відкрити

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

квартирку лише частково, а при значному погіршенні умов або виникненні зворотної тяги – забезпечити максимальне відкриття.

Проектована система повинна забезпечувати автоматичний аналіз даних від усіх датчиків та формування керуючих сигналів відповідно до заданого алгоритму. При цьому необхідно передбачити можливість налаштування порогових значень температури, якості повітря та параметрів реагування на виникнення зворотної тяги. Система повинна працювати в автономному режимі, забезпечуючи безперервний контроль параметрів мікроклімату та автоматичне керування вентиляцією без участі користувача.

Важливою вимогою є також надійність функціонування системи в умовах тривалої експлуатації. Апаратні та програмні засоби повинні забезпечувати стабільну роботу датчиків, коректну передачу даних через Bluetooth-з'єднання та безпечне керування сервоприводами. У разі втрати зв'язку з датчиком напрямку повітря або виникнення аварійної ситуації система повинна переходити в безпечний режим роботи, який гарантує збереження працездатності вентиляції.

### 1.3 Аналіз існуючих рішень для побудови системи контролю повітряного потоку

Стрімкий розвиток технологій автоматизації будівель та концепції «розумного будинку» сприяв появі великої кількості систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату приміщень. Основною метою таких систем є забезпечення комфортних умов перебування людей шляхом контролю температури, вологості, концентрації вуглекислого газу та інших показників якості повітря. Разом з тим аналіз існуючих рішень показує, що більшість сучасних систем орієнтовані переважно на контроль параметрів внутрішнього середовища і лише частково враховують особливості роботи вентиляційних каналів та процеси повітрообміну [1-4].

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

У промислових будівлях найбільш поширеними є автоматизовані системи вентиляції та кондиціонування повітря, які входять до складу комплексів керування інженерними мережами будівель (див. рис.1.1). Такі системи використовують велику кількість датчиків температури, вологості, тиску та витрати повітря. На основі отриманих даних контролери керують вентиляторами, заслінками, клапанами та іншими виконавчими механізмами. Перевагою промислових систем є висока точність регулювання параметрів мікроклімату, можливість роботи у великих приміщеннях та інтеграція з диспетчерськими комплексами. Однак такі системи характеризуються значною вартістю обладнання, складністю монтажу та необхідністю професійного обслуговування. Крім того, їх застосування економічно недоцільне для невеликих житлових приміщень або квартир.



Рисунок 1.1 – Промислова система вентиляції

Для контролю повітряних потоків у промислових вентиляційних системах широко використовуються датчики швидкості потоку повітря, диференціальні манометри та анемометри. Такі пристрої дозволяють контролювати об'єм повітря, що проходить через вентиляційний канал, однак у більшості випадків вони призначені для технологічного контролю роботи вентиляційного обладнання, а не для автоматичного реагування на появу зворотної тяги. Виявлення зміни напрямку руху повітря часто здійснюється оператором або спеціалізованими системами, вартість яких є досить високою.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У побутовому секторі найбільшого поширення набули системи кліматичного контролю та пристрої категорії Smart Home. До них належать розумні термостати, датчики температури та вологості, монітори якості повітря, автоматизовані провітрювачі та системи керування вікнами. Основною функцією таких систем є контроль температури та концентрації вуглекислого газу з подальшим керуванням припливною або витяжною вентиляцією. Багато сучасних пристроїв можуть передавати дані через бездротові канали зв'язку та інтегруватися з мобільними застосунками, що значно підвищує зручність їх використання.

Особливу групу становлять побутові системи автоматичного провітрювання приміщень (див. рис.1.2). Їх робота ґрунтується на аналізі показників температури, вологості або концентрації CO<sub>2</sub>. При перевищенні встановлених порогових значень електроприводи відкривають вікна або вентиляційні клапани для забезпечення припливу свіжого повітря. Незважаючи на простоту та доступність таких рішень, вони мають певні недоліки. Більшість із них не враховує реальний стан вентиляційного каналу та не здійснює контроль напрямку повітряного потоку. У результаті система може виконувати провітрювання навіть тоді, коли вентиляція працює неефективно або виникла зворотна тяга.

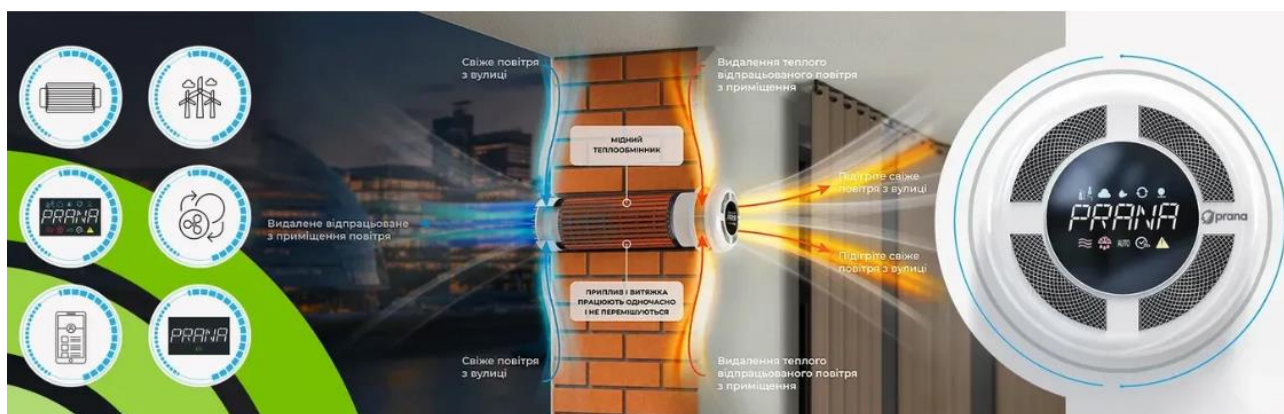


Рисунок 1.2 – Побутова система вентиляції

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Аналіз існуючих систем показує, що проблема зворотної тяги у вентиляційних каналах залишається недостатньо висвітленою у більшості побутових рішень. У багатоповерхових житлових будинках, особливо старої забудови, виникнення зворотної тяги є досить поширеним явищем. Воно може бути викликане зміною погодних умов, сильним вітром, герметизацією віконних конструкцій або особливостями роботи вентиляційної мережі будівлі. Наслідком цього є погіршення повітрообміну, підвищення вологості, поява сторонніх запахів та погіршення загального мікроклімату приміщення. Незважаючи на актуальність цієї проблеми, більшість існуючих побутових систем не оснащуються засобами контролю напрямку руху повітря у вентиляційному каналі.

Проведений аналіз показав, що сучасні промислові системи забезпечують високий рівень контролю вентиляційних процесів, однак мають значну вартість і складність реалізації. Побутові системи є більш доступними та простими у використанні, проте переважно контролюють лише параметри внутрішнього повітряного середовища без урахування реального напрямку руху повітря у вентиляційних каналах. У більшості випадків відсутня функція автоматичного реагування на появу зворотної тяги та механізми її усунення.

Загалом існує потреба у створенні комп'ютеризованої системи контролю повітряного потоку, яка поєднуватиме функції моніторингу температури та якості повітря з контролем напрямку руху повітря у вентиляційному каналі. На відміну від існуючих побутових рішень, така система повинна забезпечувати автоматичне виявлення зворотної тяги та керування сервоприводами кватирок або вентиляційних клапанів для відновлення природного повітрообміну. Реалізація зазначених функцій дозволить підвищити ефективність вентиляції, покращити якість повітря в приміщенні та створити більш комфортні умови для перебування людей.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розробка структури комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні

Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні має відповідати таким основним вимогам:

- 1 Система повинна вимірювати температуру в приміщенні в межах  $0...+50^{\circ}\text{C}$ , це вирішується звичайними побутовими датчиками температури;
- 2 Система повинна визначати величину концентрації вуглекислого газу в діапазоні від  $0,02...10\%$ , з роздільною здатністю не менше  $0,001\%$ ;
- 3 Система повинна керувати кутом повороту віконних кватирок та утримувати їх у фіксованому положенні;
- 4 Система повинна відображати у зручній формі для користувача про температуру і концентрацію вуглекислого газу в приміщенні;
- 5 Система повинна визначати напрям руху повітря у вентиляційній трубі, та виявляти появу зворотної тяги.

За цими вимогами було розроблено структурну схему комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні рис. 2.1.

Структурна схема комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні враховує вимоги технічного завдання та передбачає застосування звичайних побутових модулів і компонентів. В розробленій системі обмін даними буде відбуватись за допомогою поширених цифрових протоколів UART, I2C та 1-Wire.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ			
Розроб.		Васильєв П.			<i>Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні</i> <i>Пояснююча записка</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Микитишин А.					19	58
Рецензент		Литвиненко				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осхівська Г.М.						

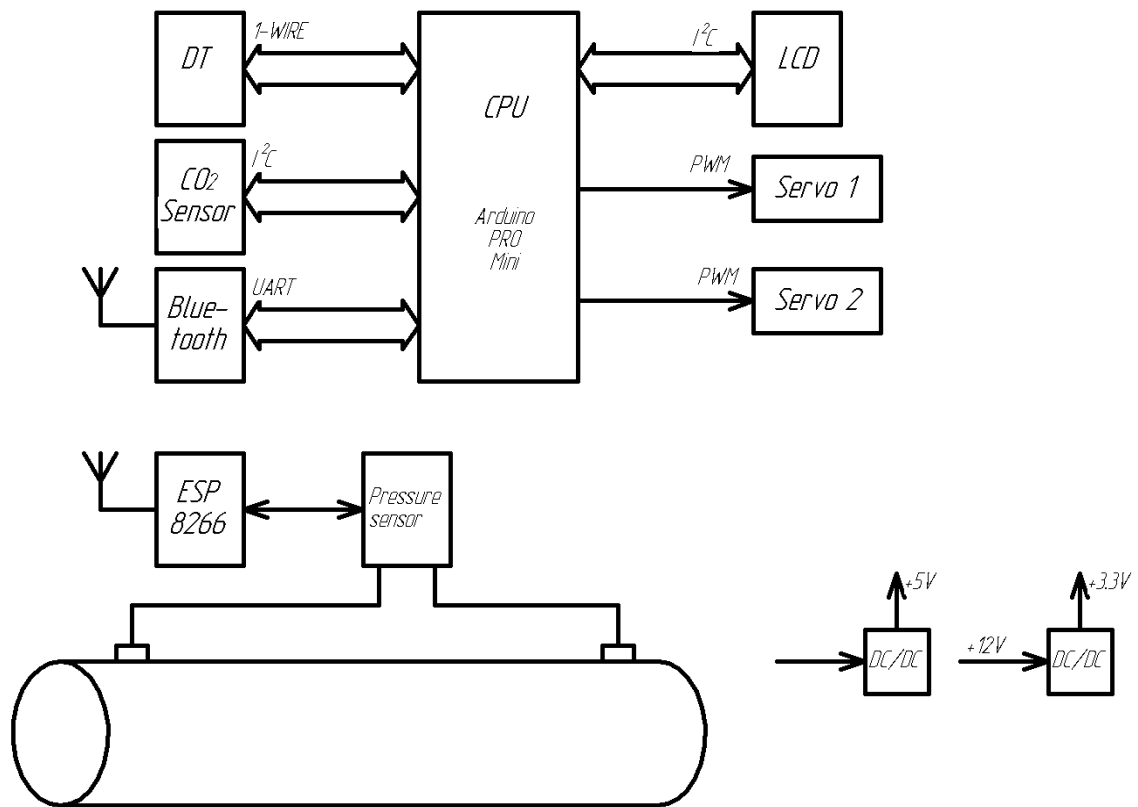


Рисунок 2.1 – Структурна схема комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні

Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні складається з цифрового термометра — DT, який вимірює температуру в заданому діапазоні та передає дані за допомогою цифрового інтерфейсу 1-Wire.

Концентрацію вуглекислого газу та якість повітря вимірюємо за допомогою датчика CO<sub>2</sub>, який передає дані за допомогою цифрового протоколу I2C. Датчик взаємодіє із зовнішнім середовищем тому корпус системи має забезпечувати вільний рух повітря.

Також система містить Bluetooth модуль для приєднання по радіо датчика тиску який за різницею тисків визначає напрям руху повітря в трубі вентиляції. При зміні напрямку він відобразить відємні значення і система має відчинити кватирки і закрити вентиляцію, щоб в приміщення не надходило брудне повітря з вентиляції.

Поступають отримані дані на мікроконтролер CPU Arduino PRO Mini, який має досить високу продуктивність і мінімальні розміри та оснащений

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

портами та цифровими протоколами для приєднання датчиків за допомогою шин UART, I2C і 1-Wire. Також задачею мікроконтролера є генерація ШІМ сигналів для керування виконавчими механізмами — сервомашинками Servo1 і Servo2, які відкривають або закривають кватирку.

Дані про температуру і концентрацію вуглекислого газу що отримані від датчиків, мають порівнюватись із заданими користувачем або збереженими значеннями і при їх перевищенні, відчиняти або зачиняти кватирку в приміщенні.

Важливо, що дані про температуру і концентрацію вуглекислого газу відображаються для користувача на LCD дисплеї.

Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні живиться непругами +12В, +5В, та +3,3В, які забезпечують DC/DC стабілізатори. Напруга +12В отримується від зовнішнього джерела з акумулятором.

## 2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення проектованої системи

### 2.2.1 Вибір мікроконтролера Arduino PRO Mini

Центральним елементом проектованої комп'ютерної системи контролю повітряного потоку є мікроконтролер [5-9], який забезпечує збір даних від датчиків, їх обробку, виконання алгоритмів керування та формування сигналів для виконавчих механізмів. Від правильного вибору мікроконтролера значною мірою залежить надійність роботи всієї системи, її функціональні можливості, енергоспоживання та вартість реалізації. Для розроблюваної системи було обрано мікроконтролерну платформу Arduino Pro Mini, яка поєднує достатню продуктивність, компактні розміри та простоту інтеграції з різноманітними периферійними пристроями.

Arduino Pro Mini є однією з найпоширеніших плат для створення вбудованих систем автоматизації та моніторингу. Основою плати є мікроконтролер ATmega328P, який належить до сімейства восьмирозрядних

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

мікроконтролерів AVR (див. рис.2.2). Мікроконтролер працює на тактовій частоті 16 МГц та має достатній обсяг пам'яті для реалізації алгоритмів керування системою вентиляції. До його складу входять 32 кБ флеш-пам'яті для зберігання програми, 2 кБ оперативної пам'яті та 1 кБ енергонезалежної пам'яті EEPROM для збереження налаштувань системи.

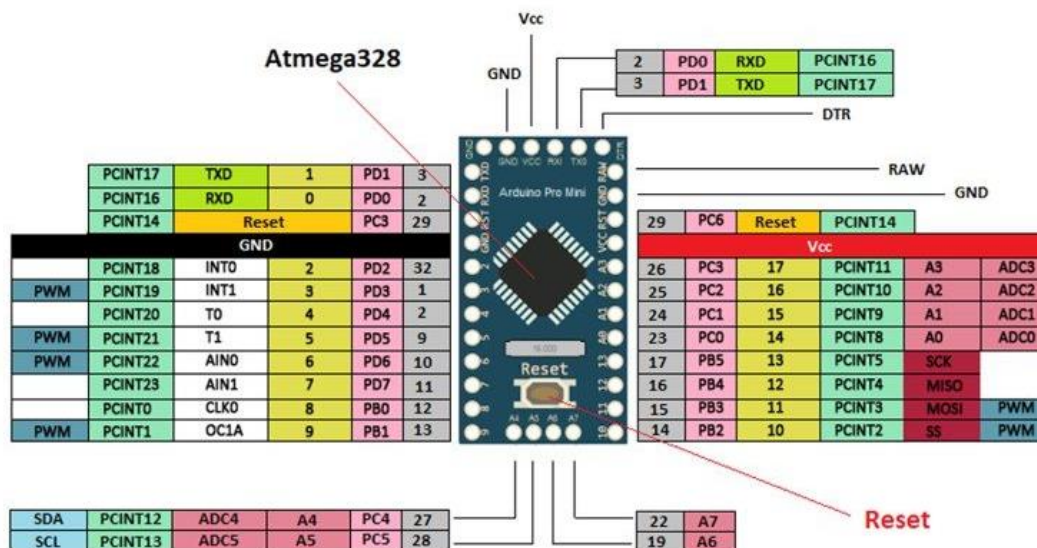


Рисунок 2.2 – Призначення виводів мікроконтролера Arduino Pro Mini

Однією з головних причин вибору Arduino Pro Mini є відповідність його технічних характеристик вимогам проектованої системи. Для реалізації поставленого завдання необхідно забезпечити підключення датчика температури DS18B20, датчика якості повітря, Bluetooth-модуля для приймання даних від датчика напрямку повітряного потоку та сервоприводів, які здійснюють керування кватирками або вентиляційними клапанами. Arduino Pro Mini має достатню кількість цифрових та аналогових входів-виходів для підключення всіх необхідних пристроїв без використання додаткових модулів розширення.

Важливою перевагою плати є підтримка апаратних інтерфейсів UART, SPI та I<sup>2</sup>C, що забезпечує можливість підключення широкого спектра датчиків та модулів зв'язку. Зокрема, UART використовується для обміну даними з Bluetooth-модулем, а цифрові порти можуть бути задіяні для роботи з датчиком

температури та керування сервоприводами. Завдяки цьому забезпечується проста інтеграція всіх компонентів системи в єдину апаратну платформу.

Особливе значення для даного проєкту мають компактні габаритні розміри Arduino Pro Mini. Розміри плати становлять приблизно  $33 \times 18$  мм, що дозволяє розміщувати її всередині невеликих корпусів або безпосередньо у складі вентиляційних пристроїв. На відміну від більш габаритних плат серії Arduino Uno або Arduino Mega, використання Arduino Pro Mini дає можливість створити компактний і завершений пристрій, придатний для прихованого монтажу в житлових приміщеннях.

Ще однією важливою перевагою є низьке енергоспоживання. У порівнянні з багатьма іншими платформами Arduino, плата Pro Mini не містить зайвих елементів, таких як USB-перетворювач або великої кількості індикаторних світлодіодів, що дозволяє знизити споживання електроенергії. Це особливо важливо для систем автоматизації, які повинні працювати безперервно протягом тривалого часу.

Для керування виконавчими механізмами система використовує сервоприводи, які потребують формування ШІМ-сигналів. Мікроконтролер ATmega328P має апаратні таймери, що забезпечують генерацію високоточних сигналів широтно-імпульсної модуляції. Завдяки цьому сервоприводи можуть плавно змінювати положення кватирок або вентиляційних клапанів залежно від поточних показників температури, якості повітря та стану вентиляційного каналу.

Суттєвою перевагою Arduino Pro Mini є також широка підтримка програмного забезпечення та наявність великої кількості готових бібліотек. Для роботи з датчиком температури DS18B20 існують готові програмні модулі, що спрощують процес розробки програмного забезпечення. Аналогічно доступні бібліотеки для керування сервоприводами, роботи з Bluetooth-модулями та обробки даних від різноманітних сенсорів. Це дозволяє скоротити час розробки системи та підвищити надійність програмного забезпечення.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Важливим фактором вибору є також економічна доцільність використання даної платформи. Arduino Pro Mini має невисоку вартість порівняно з багатьма сучасними мікроконтролерними платформами та одноплатними комп'ютерами. При цьому її технічних можливостей цілком достатньо для реалізації алгоритмів контролю повітряного потоку, аналізу даних датчиків та керування вентиляційними пристроями. Використання більш продуктивних платформ у даному випадку є недоцільним, оскільки це призведе до збільшення вартості системи без суттєвого покращення її функціональних можливостей.

### 2.2.2 Вибір цифрового термометра DS18B20

Для реалізації функції контролю температури повітря в проектованій комп'ютерній системі контролю повітряного потоку було обрано цифровий термометр DS18B20 (див. рис.2.3) [5-9]. Вибір даного датчика обумовлений його високою точністю вимірювання, простотою підключення до мікроконтролерних систем, надійністю роботи та широким поширенням у сучасних пристроях автоматизації. Контроль температури є важливим елементом системи, оскільки температура повітря безпосередньо впливає на комфортність перебування людей у приміщенні та використовується як один із параметрів для керування вентиляцією.

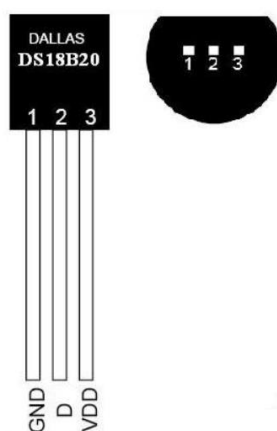


Рисунок 2.3 – Цифровий термометр DS18B20

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Датчик DS18B20 являє собою цифровий термометр, який забезпечує вимірювання температури в діапазоні від  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У діапазоні температур від  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  похибка вимірювання не перевищує  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що є достатнім для задач моніторингу мікроклімату житлових та службових приміщень. Роздільна здатність вимірювання може налаштовуватися програмно та становить від 9 до 12 біт, що відповідає кроку вимірювання від  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Така точність дозволяє отримувати достовірні дані про температуру повітря та використовувати їх для прийняття рішень щодо регулювання повітрообміну.

Однією з головних переваг датчика є використання цифрового інтерфейсу OneWire. На відміну від аналогових термодатчиків, які потребують аналого-цифрового перетворення та можуть бути чутливими до електромагнітних завад, DS18B20 передає вже оброблені цифрові дані. Це підвищує точність вимірювання та спрощує програмну реалізацію системи. Для обміну даними використовується лише один сигнальний провід, що дозволяє суттєво зменшити кількість з'єднань між датчиком і мікроконтролером.

Важливою особливістю DS18B20 є наявність унікального 64-бітного ідентифікатора для кожного датчика. Завдяки цьому до однієї шини OneWire можна підключати декілька датчиків одночасно, використовуючи лише один порт мікроконтролера. Така можливість дозволяє в майбутньому розширити функціональні можливості системи та контролювати температуру в різних точках приміщення або вентиляційної мережі без необхідності внесення значних змін до апаратної частини.

Ще однією перевагою датчика є низьке енергоспоживання. DS18B20 може працювати як від зовнішнього джерела живлення, так і в режимі паразитного живлення, отримуючи необхідну енергію безпосередньо через сигнальну лінію. Це дозволяє використовувати його в автономних та енергоефективних системах керування. Для даного проекту передбачається використання стандартного режиму живлення від джерела напруги 5 В, що забезпечує стабільну та надійну роботу датчика.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Додатковою перевагою є висока завадостійкість та можливість роботи на значній відстані від мікроконтролера. При правильному підключенні довжина лінії зв'язку може становити десятки метрів без суттєвого погіршення якості передачі даних. Це є важливою характеристикою для систем вентиляції, де окремі датчики можуть бути встановлені на певній відстані від центрального контролера.

Для реалізації проекрованої системи датчик DS18B20 підключається до мікроконтролера Arduino Pro Mini та здійснює періодичне вимірювання температури повітря в приміщенні. Отримані значення використовуються програмним забезпеченням для оцінки поточного стану мікроклімату та формування керуючих сигналів для сервоприводів, які регулюють ступінь відкриття кватирок або вентиляційних клапанів. При підвищенні температури понад встановлений поріг система може автоматично збільшувати приплив свіжого повітря, що сприяє підтриманню комфортних умов перебування людей у приміщенні.

### 2.2.3 Вибір модуля Bluetooth 4.0 (HM-10)

Однією з особливостей проекрованої комп'ютерної системи контролю повітряного потоку є необхідність бездротового передавання інформації від датчика напрямку руху повітря, розташованого у вентиляційному каналі, до центрального контролера системи. Використання бездротового зв'язку дозволяє значно спростити монтаж обладнання, зменшити кількість з'єднувальних кабелів та підвищити гнучкість розміщення елементів системи. Для реалізації цього завдання було обрано модуль бездротового зв'язку Bluetooth 4.0 HM-10, який характеризується низьким енергоспоживанням, достатньою дальністю зв'язку та простотою інтеграції з мікроконтролерними платформами.

Модуль HM-10 побудований на базі мікросхеми CC2541 і підтримує стандарт Bluetooth Low Energy (BLE) версії 4.0 (див. рис.2.4) [5-9]. На відміну від класичних Bluetooth-модулів попередніх поколінь, технологія Bluetooth Low

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Energy спеціально розроблена для пристроїв автоматизації, датчиків та систем Інтернету речей, де важливими є низьке енергоспоживання та тривалий час автономної роботи. Завдяки цьому модуль HM-10 є ефективним рішенням для систем моніторингу, що працюють у безперервному режимі.



Рисунок 2.4 – Модуль Bluetooth HM-10

Однією з основних переваг модуля є простота підключення до мікроконтролера Arduino Pro Mini. Обмін даними здійснюється через послідовний інтерфейс UART, який підтримується апаратними засобами мікроконтролера ATmega328P. Для підключення достатньо використати лише лінії передачі даних TX і RX, а також лінії живлення. Такий спосіб взаємодії не потребує складних схем узгодження або використання додаткових контролерів, що спрощує розроблення апаратної частини системи.

Важливою характеристикою HM-10 є достатня дальність бездротового зв'язку для умов експлуатації в житлових та адміністративних приміщеннях. У відкритому просторі дальність передачі може досягати 50–100 метрів залежно від умов поширення радіосигналу. У приміщеннях реальна дальність зазвичай становить від 10 до 30 метрів, що є цілком достатнім для передавання інформації від датчика, розташованого у вентиляційному каналі, до центрального контролера системи.

Суттєвою перевагою модуля є його низьке енергоспоживання. У режимі очікування струм споживання становить лише кілька міліампер, а в режимі передачі даних значно менший, ніж у модулів класичного Bluetooth. Це

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

дозволяє використовувати НМ-10 у пристроях, які повинні працювати тривалий час без значного навантаження на джерело живлення. Для систем автоматизації вентиляції дана характеристика є важливою, оскільки обладнання повинно функціонувати безперервно протягом усього часу експлуатації.

Модуль НМ-10 підтримує налаштування за допомогою АТ-команд, що дозволяє змінювати швидкість обміну даними, назву пристрою, режим роботи та інші параметри без внесення змін до апаратної частини. Така можливість спрощує адаптацію системи до конкретних умов експлуатації та забезпечує гнучкість під час налаштування.

У проектованій системі НМ-10 використовується для передавання інформації від датчика напрямку повітряного потоку, який контролює наявність або відсутність зворотної тяги у вентиляційному каналі. Після отримання даних центральний контролер аналізує стан вентиляції та приймає рішення щодо керування сервоприводами. У випадку виявлення зміни напрямку руху повітря система автоматично збільшує приплив свіжого повітря шляхом відкриття кватирок або вентиляційних клапанів. Використання бездротового каналу зв'язку дозволяє розміщувати датчик у найбільш зручній точці вентиляційного каналу без необхідності прокладання додаткової кабельної мережі.

Порівняно з альтернативними рішеннями, такими як модулі НС-05 або НС-06, модуль НМ-10 має нижче енергоспоживання та підтримує сучасний стандарт Bluetooth Low Energy. Хоча модулі НС-05 і НС-06 є дешевшими та простішими в налаштуванні, вони орієнтовані на використання класичного Bluetooth і споживають більше електроенергії. Для проекрованої системи, де необхідна надійна передача невеликих обсягів даних від датчика та тривала безперервна робота, застосування НМ-10 є більш доцільним.

#### 2.2.4 Вибір датчика якості повітря SGP30

Для контролю якості повітря в проектованій системі було обрано цифровий датчик SGP30 (див. рис.2.5) [5-9], який дозволяє оцінювати стан повітряного середовища та своєчасно реагувати на його погіршення. Даний

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

датчик розроблений компанією Sensirion і призначений для визначення еквівалентної концентрації вуглекислого газу ( $eCO_2$ ) та сумарної концентрації летких органічних сполук (TVOC), які є важливими показниками якості повітря в приміщеннях.

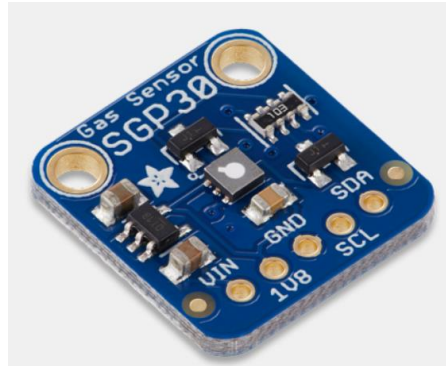


Рисунок 2.5 – Датчик якості повітря SGP30

Однією з головних переваг SGP30 є цифровий інтерфейс I<sup>2</sup>C, що забезпечує просте підключення до мікроконтролера Arduino Pro Mini та передачу готових результатів вимірювань без додаткової обробки аналогових сигналів. Датчик характеризується низьким енергоспоживанням, компактними розмірами та високою надійністю, що робить його придатним для використання в системах безперервного моніторингу.

У проєктованій системі показники  $eCO_2$  та TVOC використовуються для оцінки якості повітря в приміщенні. При перевищенні встановлених порогових значень мікроконтролер формує керуючі сигнали для сервоприводів, які відкривають кватирки або вентиляційні клапани, забезпечуючи надходження свіжого повітря та покращення умов мікроклімату.

Порівняно з іншими датчиками контролю якості повітря, SGP30 забезпечує високу точність вимірювань, стабільність роботи та простоту програмної реалізації завдяки наявності готових бібліотек для платформи Arduino. Сукупність цих характеристик робить його оптимальним вибором для проєктованої комп'ютерної системи контролю повітряного потоку та автоматизованого керування вентиляцією приміщень.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

### 2.2.5 Вибір датчика тиску MPXV7002DP для визначення напрямку руху повітря у вентиляційній трубі

Для контролю напрямку руху повітря у вентиляційному каналі в проєктованій системі було обрано диференціальний датчик тиску MPXV7002DP (див. рис.2.6) [5-9]. Його використання дозволяє визначати наявність повітряного потоку та своєчасно виявляти виникнення зворотної тяги, яка негативно впливає на ефективність вентиляції та якість повітря в приміщенні.



Рисунок 2.6 – Датчик тиску MPXV7002DP

Датчик MPXV7002DP вимірює різницю тисків між двома входами в діапазоні від  $-2$  до  $+2$  кПа. При нормальному русі повітря у вентиляційному каналі на виході датчика формується сигнал, що відповідає додатному перепаду тиску. Якщо напрямок руху повітря змінюється, перепад тиску набуває протилежного знаку, що дозволяє мікроконтролеру визначити появу зворотної тяги.

У проєктованій системі MPXV7002DP забезпечує безперервний моніторинг повітряного потоку у вентиляційній трубі. У разі виявлення зворотної тяги мікроконтролер формує сигнали керування сервоприводами, які відкривають кватирки або вентиляційні клапани для відновлення нормального повітрообміну.

### 2.2.6 Вибір модуля ESP8266 для підключення датчика тиску

Для підключення датчика тиску MPXV7002DP та бездротової передачі даних до центрального контролера було обрано модуль ESP8266 (див. рис.2.7)

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

[5-9]. Даний модуль поєднує мікроконтролер і Wi-Fi інтерфейс, що дозволяє виконувати обробку сигналів від датчика та передавати результати вимірювань без використання додаткових комунікаційних пристроїв. ESP8266 має достатню обчислювальну потужність, компактні розміри, низьке енергоспоживання та підтримує роботу з аналоговими датчиками.



Рисунок 2.7 – Модуль ESP8266

У проєктованій системі модуль використовується для збору даних про перепад тиску у вентиляційному каналі та визначення напрямку руху повітря. Отримана інформація передається бездротовим каналом до основного контролера, який аналізує стан вентиляції та керує сервоприводами квартир або вентиляційних клапанів. Завдяки простоті програмування, широкій підтримці в середовищі Arduino IDE та невисокій вартості модуль ESP8266 є ефективним рішенням для реалізації бездротового вузла контролю повітряного потоку.

### 2.2.7 Вибір дисплею LCD 1602A

Для відображення поточних параметрів роботи системи було обрано рідкокристалічний дисплей LCD 1602A (див. рис.2.8). Даний дисплей дозволяє виводити дві строки по 16 символів у кожній, що є достатнім для відображення температури повітря, показників якості повітря, стану вентиляції та повідомлень про наявність або відсутність зворотної тяги. LCD 1602A характеризується низьким енергоспоживанням, простотою підключення до мікроконтролера Arduino Pro Mini та високою надійністю роботи.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

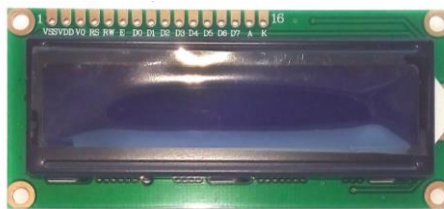


Рисунок 2.8 – Дисплей LCD 1602A

Важливою перевагою дисплея є широке поширення, доступна вартість та наявність готових програмних бібліотек для середовища Arduino IDE, що значно спрощує розробку програмного забезпечення. Завдяки хорошій читабельності символів та можливості роботи в різних умовах освітлення LCD 1602A забезпечує зручний контроль основних параметрів системи без використання додаткових пристроїв відображення інформації. Тому даний дисплей є доцільним рішенням для проектованої системи контролю повітряного потоку.

### 2.3 Опис шин, протоколів, які використовуються в проекті

#### 2.3.1 Протокол передачі даних 1-wire DS18B20

Для обміну даними між цифровим термометром DS18B20 та мікроконтролером Arduino Pro Mini використовується протокол 1-Wire, розроблений компанією Dallas Semiconductor. Особливістю даного протоколу є передача даних через одну сигнальну лінію, що значно спрощує підключення датчиків та дозволяє зменшити кількість необхідних провідників. Для роботи шини, крім сигнального проводу, використовуються спільний провід (GND) та лінія живлення, хоча в окремих випадках датчик може працювати і в режимі паразитного живлення без окремого джерела живлення.

Обмін даними в мережі 1-Wire здійснюється за принципом «ведучий–підлеглий», де ведучим пристроєм виступає мікроконтролер [5-9], а підлеглим – один або декілька датчиків DS18B20. Перед початком передачі даних мікроконтролер формує сигнал скидання шини, після чого датчик підтверджує

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

свою присутність спеціальним імпульсом. Далі здійснюється передача команд і приймання результатів вимірювання температури.

Важливою перевагою протоколу 1-Wire є можливість підключення кількох датчиків до однієї сигнальної лінії. Для цього кожен DS18B20 має унікальний 64-бітний ідентифікаційний код, який записується виробником і не повторюється серед інших пристроїв. Завдяки цьому мікроконтролер може адресувати конкретний датчик навіть тоді, коли до однієї шини підключено декілька термометрів. Адреса складається з коду сімейства пристрою, унікального серійного номера та контрольної суми CRC, яка використовується для перевірки правильності передачі даних.

Підключення DS18B20 до мікроконтролера Arduino Pro Mini є досить простим. Сигнальний вивід датчика підключається до будь-якого цифрового порту мікроконтролера через шину 1-Wire. Між сигнальною лінією та лінією живлення необхідно встановити підтягувальний резистор номіналом 4,7 кОм, який забезпечує коректне формування логічних рівнів під час передачі даних. Живлення датчика зазвичай здійснюється від джерела напруги 5 В або 3,3 В залежно від конфігурації системи.

Для роботи з протоколом 1-Wire в середовищі Arduino IDE використовуються спеціалізовані програмні бібліотеки OneWire та DallasTemperature, які реалізують усі необхідні функції адресації, обміну даними та отримання результатів вимірювань. Це значно спрощує розробку програмного забезпечення та підвищує надійність роботи системи.

### 2.3.2 Шина I2C

Для обміну даними між мікроконтролером Arduino Pro Mini, датчиком якості повітря SGP30 та дисплеєм LCD 1602A використовується послідовний інтерфейс I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit) [5-9]. Даний протокол був розроблений компанією Philips для забезпечення взаємодії між електронними компонентами за допомогою мінімальної кількості провідників. Передача даних здійснюється лише двома сигнальними лініями: SDA (Serial Data), яка використовується для

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

передавання даних, та SCL (Serial Clock), яка формує тактові імпульси синхронізації.

Протокол I<sup>2</sup>C працює за принципом «ведучий–підлеглий», де ведучим пристроєм є мікроконтролер Arduino Pro Mini, а дисплей і датчик виступають підлеглими пристроями. Для забезпечення обміну даними кожен пристрій має власну адресу на шині. Під час передачі інформації мікроконтролер надсилає адресу потрібного пристрою, після чого виконується обмін командами або даними лише з вибраним модулем.

Однією з головних переваг протоколу I<sup>2</sup>C є можливість підключення декількох пристроїв до однієї шини без використання додаткових ліній керування (див. рис.2.9). У проектованій системі датчик якості повітря SGP30 та LCD-дисплей з I<sup>2</sup>C-перетворювачем підключаються паралельно до спільних ліній SDA та SCL. Для коректної роботи кожен пристрій має власну унікальну адресу. Датчик SGP30 використовує фіксовану адресу 0x58, тоді як адреса I<sup>2</sup>C-модуля дисплея LCD 1602A зазвичай становить 0x27 або 0x3F залежно від типу встановленого адаптера.

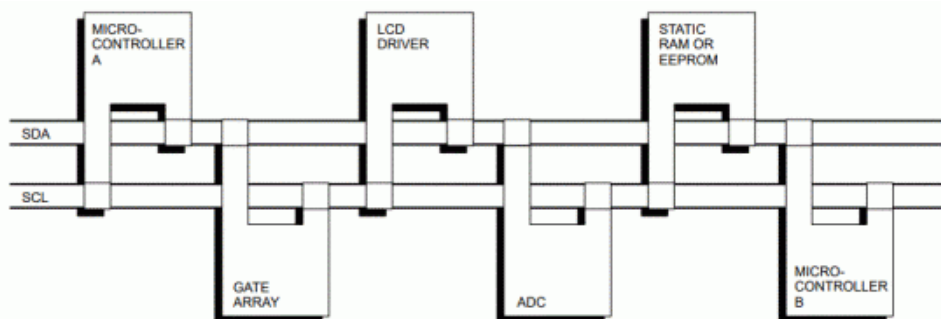


Рисунок 2.9 – Формування шини I<sup>2</sup>C

Для підключення до Arduino Pro Mini використовуються апаратні лінії інтерфейсу I<sup>2</sup>C: вивід A4 виконує функцію SDA, а вивід A5 — функцію SCL. До цих ліній одночасно підключаються обидва пристрої. На шині I<sup>2</sup>C також використовуються підтягувальні резистори до лінії живлення, які забезпечують правильне формування логічних рівнів сигналів. У більшості готових модулів такі резистори вже встановлені виробником.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Використання протоколу I<sup>2</sup>C дозволяє суттєво скоротити кількість з'єднувальних проводів та спростити схему пристрою. Для роботи з інтерфейсом у середовищі Arduino IDE використовується стандартна бібліотека Wire, а для датчика SGP30 та дисплея LCD 1602A доступні готові програмні бібліотеки, що значно спрощують процес розробки програмного забезпечення.

#### 2.4 Опис алгоритму роботи комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні

Робота комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні базується на вимірюванні температури і концентрації вуглекислого газу, визначення напрямку руху повітря у вентиляційній трубі, та порівнянні отриманих величин із заданими величинами користувачем чи збереженими в пам'яті і при перевищенні заданих значень відбувається відкривання або закривання кватирки через яку надходить свіже і прохолодне повітря (див. рис.2.10).

Після зчитування початкових даних з постійної пам'яті, які були задані користувачем, зокрема величин температури повітря і концентрації вуглекислого газу, крім того зчитуються початкові положення сервомоторів, вони повертаються в початковий стан. Тобто кватирка або клапан зачинені.

Після чого визначається напрям руху повітря, та відбувається вимірювання концентрації вуглекислого газу та температури повітря, а отримані дані відображаються на LSD дисплеї. Наступний крок це порівняння даних із заданими величинами, які задано користувачем або взято з державних стандартів України на комфортні або граничні умови в побутових і офісних приміщеннях. Зокрема це є концентрація вуглекислого газу 0,08% і температура в приміщенні 22°C. При перевищенні цих величин задається кут відкриття кватирки, який пропорційний величині перевищення, але так щоб при 0,12% вуглекислого газу кватирка була повністю відкрита.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

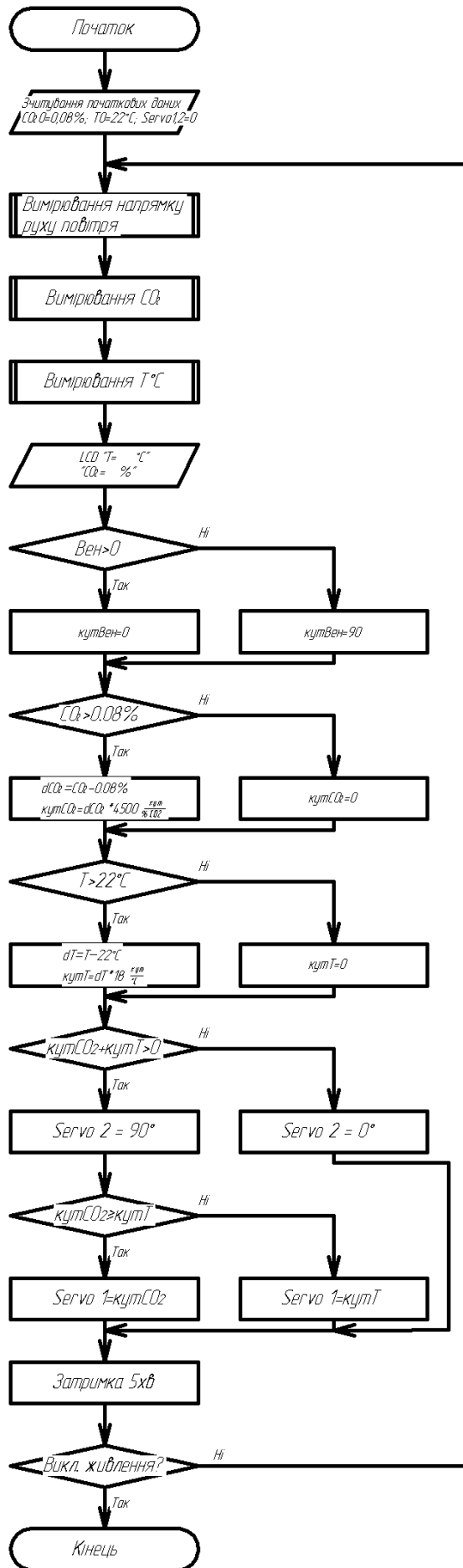


Рисунок 2.10 – Блок схема алгоритму роботи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Однак треба розуміти що в алгоритмі враховується перевищення температури і кут відкриття кватирки також буде пропорційний величині перевищення, зокрема при перевищенні на 5°C кватирка відкрита повністю, якщо ж перевищення дорівнює 0 то кватирка закрита.

На наступному етапі алгоритму, між собою порівнюються кути відкривання кватирки або клапана при різних подіях, тобто при перевищенні концентрації вуглекислого газу та при перевищенні температури, домінуючим буде більший кут і саме на цей кут буде відкриватись кватирка.

Далі виконується відкривання на визначений алгоритмом кут після чого відраховується затримка у 5хв перед наступним циклом виконання алгоритму. Відкривання і закривання кватирки відбувається сповільнено і плавно за спеціальним алгоритмом.

Наступний цикл починається з визначення напрямку руху повітря в вентиляції.

## 2.5 UML-діаграма станів роботи комп'ютерної системи

UML-діаграма станів (див. рис.2.11) відображає послідовність переходів між основними режимами роботи комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні. Робота системи починається з початкового стану та переходить до стану «Ініціалізація», у якому виконується завантаження налаштувань із постійної пам'яті мікроконтролера, ініціалізація датчиків, дисплея, Bluetooth-модуля та сервоприводів. Після успішної перевірки працездатності всіх компонентів система переходить до стану «Початковий стан», де сервоприводи встановлюють кватирку або вентиляційний клапан у закриті положення, а на дисплеї відображається службова інформація про готовність системи до роботи.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

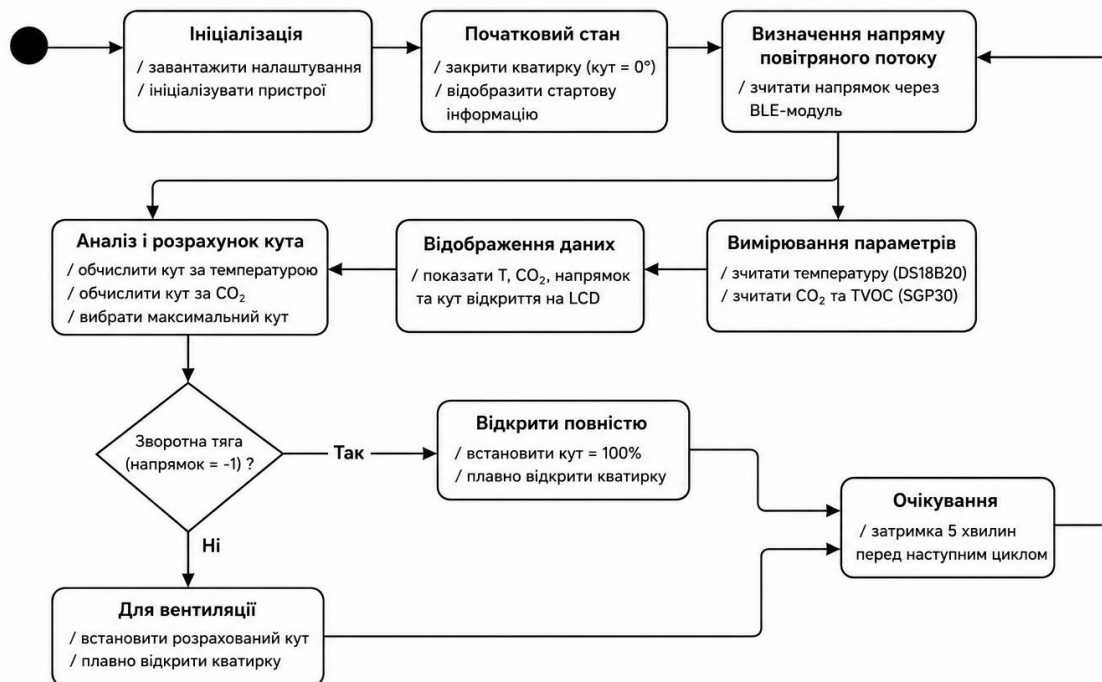


Рисунок 2.11 – UML-діаграма станів роботи комп'ютерної системи

Наступним етапом є стан «Визначення напрямку повітряного потоку», у якому через Bluetooth-модуль приймаються дані від датчика тиску, встановленого у вентиляційному каналі. На основі отриманих даних визначається напрямок руху повітря та наявність або відсутність зворотної тяги. Після цього система переходить до стану «Вимірювання параметрів», де виконується зчитування температури повітря за допомогою датчика DS18B20 та вимірювання концентрації вуглекислого газу і летких органічних сполук за допомогою датчика SGP30.

Після завершення вимірювань система переходить у стан «Відображення даних», де отримані значення температури, концентрації CO<sub>2</sub>, напрямку повітряного потоку та поточного положення кватирки відображаються на LCD-дисплеї. Це дозволяє користувачеві контролювати стан мікроклімату та роботу системи в реальному часі. Далі виконується перехід до стану «Аналіз і розрахунок кута», у якому програмне забезпечення обчислює необхідний кут відкриття кватирки окремо за температурою та концентрацією CO<sub>2</sub>. Для температури кут відкриття пропорційний перевищенню встановленої межі 22

°C, а для концентрації CO<sub>2</sub> — пропорційний перевищенню допустимого рівня 800 ppm. Після цього вибирається максимальне із двох отриманих значень, яке буде використовуватися для керування вентиляцією.

Далі система переходить до стану прийняття рішення «Зворотна тяга?». У цьому стані аналізується результат контролю напрямку повітряного потоку. Якщо виявлено зворотну тягу, виконується перехід до стану «Відкрити повністю», де сервоприводи встановлюють кватирку або вентиляційний клапан у максимально відкрите положення. Такий режим має найвищий пріоритет, оскільки дозволяє швидко відновити природний повітрообмін і усунути негативний вплив зворотної тяги.

Якщо зворотна тяга відсутня, система переходить до стану «Для вентиляції», у якому сервоприводи плавно встановлюють кватирку в положення, визначене під час аналізу температури та концентрації вуглекислого газу. Відкривання відбувається поступово для зменшення механічного навантаження на приводи та елементи конструкції.

Після завершення керування виконавчими механізмами система переходить до стану «Очікування», де виконується затримка тривалістю п'ять хвилин. Протягом цього часу положення кватирки залишається незмінним, а параметри повітряного середовища поступово стабілізуються. Після завершення інтервалу очікування виконується повернення до стану «Визначення напрямку повітряного потоку», після чого весь цикл роботи повторюється.

## 2.6 UML-діаграма компонентів роботи комп'ютерної системи

UML-діаграма компонентів (див. рис.2.12) відображає структуру комп'ютерної системи контролю повітряного потоку та взаємодію між її основними програмними й апаратними модулями. Центральним компонентом є модуль AirQualitySystem, який координує роботу всієї системи, отримує дані від датчиків температури, якості повітря та напрямку повітряного потоку,

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

аналізує їх і формує команди керування. Компонент TemperatureSensor на базі датчика DS18B20 забезпечує вимірювання температури, AirQualitySensor на базі SGP30 контролює концентрацію CO<sub>2</sub> та якість повітря, а AirflowSensor визначає напрямок руху повітря у вентиляційному каналі. Передача даних від віддаленого датчика потоку здійснюється через компонент BLEModule, реалізований на модулі Bluetooth HM-10.

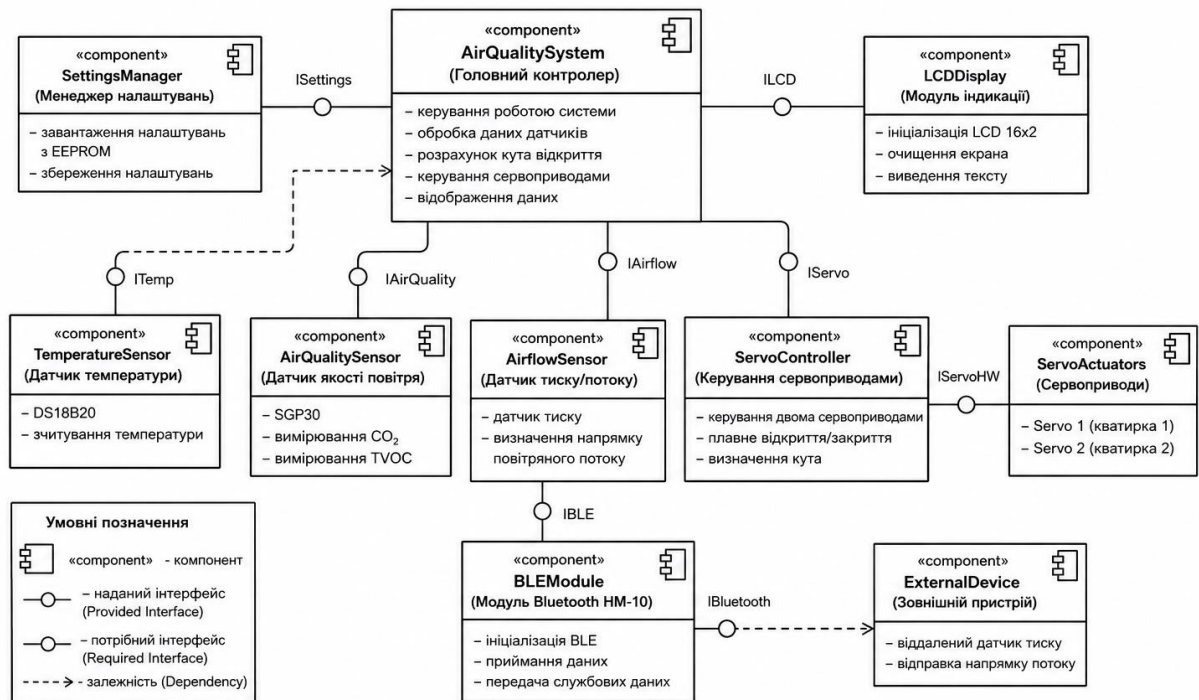


Рисунок 2.12 – UML-діаграма компонентів роботи комп’ютерної системи

Відображення інформації користувачу виконує компонент LCDDisplay, а керування відкриванням та закриванням квартир або вентиляційних клапанів здійснюється через компонент ServoController, який взаємодіє із сервоприводами. Таке розділення системи на окремі компоненти забезпечує модульність, спрощує розробку програмного забезпечення та дозволяє легко модернізувати або розширювати функціональні можливості системи.

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Підключення і налаштування модулів

Налаштування комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні починається з покрокового підключення і налаштування всіх модулів.

Оскільки доцільно підключати і налаштовувати модулі згідно використовуваних шин то для початку приєднуємо пристрої які працюють на шині I2C, тобто датчик якості повітря та LCD екран (див. рис.3.1).

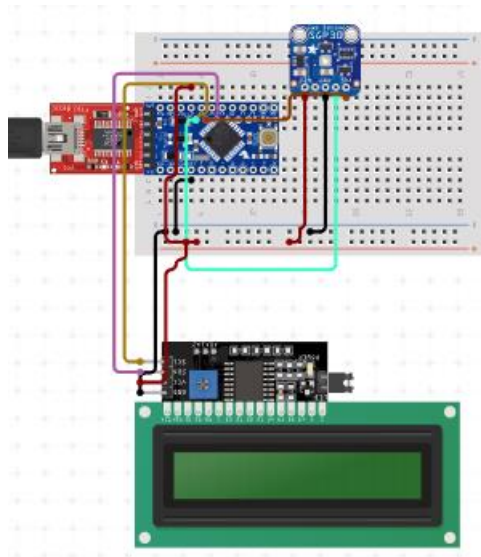


Рисунок 3.1 – Підключення датчика якості повітря та LCD екрану

Для шині I2C задаємо різні адреси модулів, щоб не було конфліктів при обміні даними.

Наступним кроком підключаємо датчик температури DS18B20 на шину 1-Wire (див. рис.3.2), не типову роботу з цією шиною забезпечуємо використанням бібліотек `Wire.h` та `DS18B20.h`.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні Пояснююча записка</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Васильєв П.					41	58
Перевір.		Микитишин А.						
Рецензент		Литвиненко						
Н. Контр.		Тши Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		

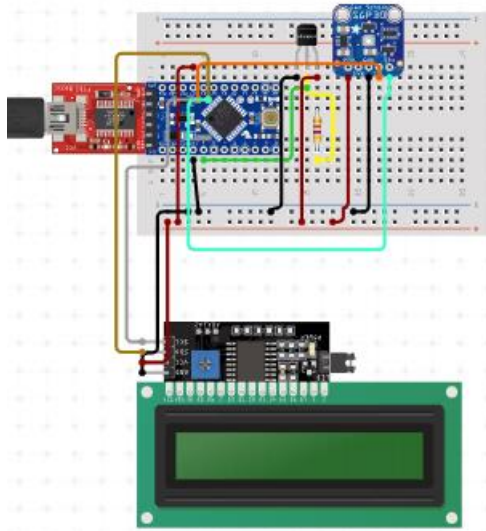


Рисунок 3.2 – Підключення датчика температури

Підключення Bluetooth модуля виконується по шині UART (див. рис.3.3), що зручно бо ця шина є вільною.

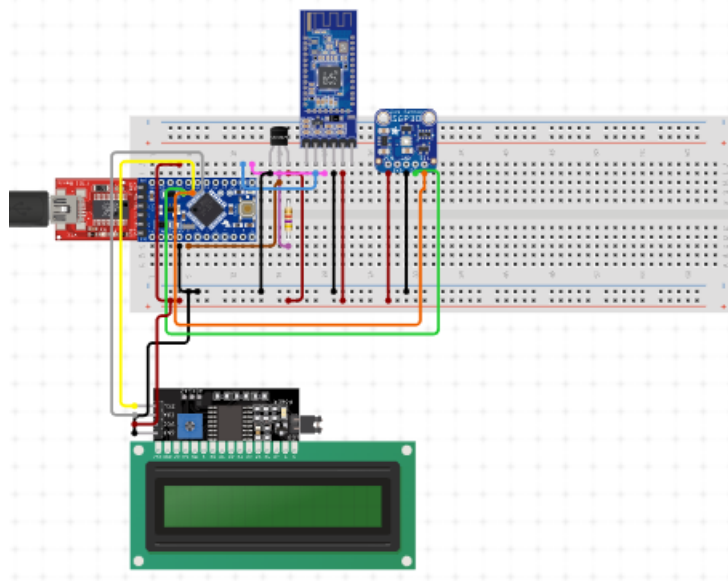


Рисунок 3.3 – Підключення Bluetooth модуля

Підключення потужних сервоприводів (див. рис.3.4) потребує окремого додаткового живлення, оскільки керування кватиркою потребує значного зусилля а відповідно і більшої потужності, тому на плату додаються окремі стабілізатори напруги.

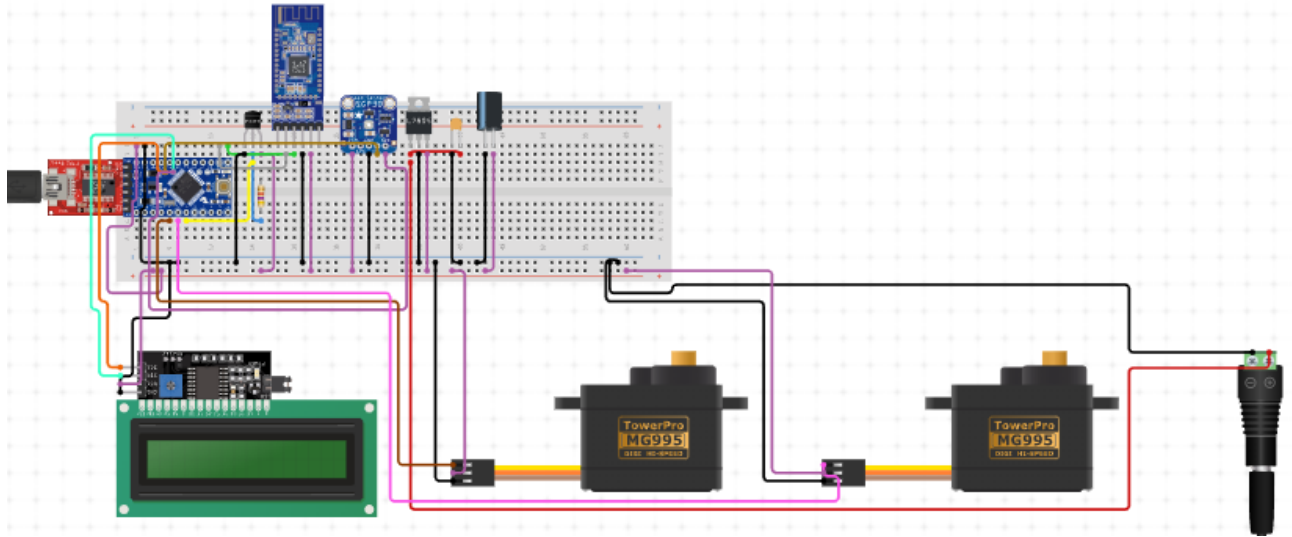


Рисунок 3.4 – Підключення сервоприводів

Сервоприводи можуть керувати кватиркою, клапаном, або іншими виконавчими механізмами, а також виконувати силове утримання механізму у відкритому чи закритому стані.

Після монтажу компонентів на макеті приступаємо до тестування коду програми, опис якої наведено нижче.

### 3.2 Опис коду програми комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні

На початку програми підключаються необхідні бібліотеки. Бібліотека `Arduino.h` забезпечує базові функції платформи Arduino, `Wire.h` використовується для роботи з інтерфейсом I<sup>2</sup>C, `EEPROM.h` призначена для збереження налаштувань у постійній пам'яті мікроконтролера, `LiquidCrystal_PCF8574.h` забезпечує керування LCD-дисплеєм через I<sup>2</sup>C-адаптер, `Servo.h` використовується для керування сервоприводами, `DS18B20.h` — для роботи з цифровим датчиком температури, `BLEHM10.h` — для обміну даними через Bluetooth-модуль HM-10, а `Adafruit_SGP30.h` — для роботи з датчиком якості повітря SGP30.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Далі у програмі задаються піни підключення основних компонентів. До цифрового піна 2 підключається перший сервопривід, до піна 3 — другий сервопривід, до піна 4 — сигнальна лінія датчика температури DS18B20. Для Bluetooth-модуля HM-10 використовуються піни 10 і 11, які виконують функції програмного послідовного інтерфейсу для приймання та передавання даних.

Окремо задаються параметри LCD-дисплея. Вказується I<sup>2</sup>C-адреса дисплея 0x3F, кількість рядків і стовпців, а також рівень підсвічування. Дисплей LCD 1602A має два рядки по 16 символів, чого достатньо для виведення основних параметрів системи: температури, концентрації CO<sub>2</sub>, стану тяги та кута відкриття кватирки або вентиляційного клапана.

Після цього створюються об'єкти для роботи з апаратними модулями. Об'єкт lcdI2C відповідає за роботу дисплея, servoMD1\_1 і servoMD2\_2 — за керування двома сервоприводами, ds18b20 — за зчитування температури, blehm10 — за приймання даних від Bluetooth-модуля, а sgp — за отримання показників якості повітря від датчика SGP30.

У програмі створена структура Settings, яка містить основні налаштування системи. До неї входять гранична температура, допустима концентрація CO<sub>2</sub>, значення CO<sub>2</sub>, при якому кватирка повинна бути повністю відкрита, а також мінімальний і максимальний кути положення сервоприводів. Використання структури дозволяє зручно зберігати та зчитувати всі налаштування з EEPROM.

Змінна EEPROM\_MAGIC використовується для перевірки, чи були раніше записані налаштування у постійну пам'ять. Якщо мікроконтролер запускається вперше або дані в EEPROM некоректні, програма записує стандартні значення: температура 22 °C, допустима концентрація CO<sub>2</sub> 800 ppm, повне відкриття при 1200 ppm, закрите положення сервоприводів 20 градусів і відкрите положення 150 градусів.

Змінна cycleDelay задає тривалість паузи між циклами роботи системи. У програмі вона дорівнює 300000 мс, тобто 5 хвилин. Це означає, що

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

після кожного вимірювання, аналізу параметрів і встановлення положення сервоприводів система очікує 5 хвилин до наступного циклу.

Змінна `smoothDelay` задає затримку між окремими кроками руху сервоприводів. Завдяки цьому відкривання або закривання кватирки виконується не різко, а плавно. Такий спосіб керування зменшує механічне навантаження на приводи, кріплення та сам механізм відкривання.

Змінна `currentServoAngle` зберігає поточне положення сервоприводів. Це потрібно для того, щоб програма знала, з якого кута починати плавне переміщення до нового положення. Змінна `airDirection` використовується для збереження стану повітряного потоку у вентиляційній трубі: 1 означає нормальну тягу, -1 — зворотню тягу, а 0 — відсутність даних або невизначений стан.

Функція `loadSettings()` відповідає за зчитування налаштувань з EEPROM. Спочатку програма намагається отримати збережені дані. Якщо перевірене значення `magic` не збігається з очікуваним, це означає, що налаштування ще не були записані або пошкоджені. У такому випадку задаються стандартні параметри, які одразу записуються до EEPROM для подальшого використання.

Функція `smoothMoveServos()` виконує плавне переміщення сервоприводів до заданого кута. Спочатку цільове значення обмежується допустимими межами за допомогою функції `constrain()`, щоб сервопривід не вийшов за механічно безпечний діапазон. Потім серводвигуни підключаються до відповідних пінів і поступово переміщуються від поточного кута до нового положення.

Якщо новий кут більший за поточний, програма поступово збільшує значення кута на один градус. Якщо новий кут менший, значення поступово зменшується. Після кожного кроку на сервоприводи надсилається нове положення, а програма робить коротку затримку. Після завершення руху сервоприводи від'єднуються командою `detach()`, що дозволяє зменшити енергоспоживання.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція `calculateAngleByTemperature()` визначає необхідний кут відкриття кватирки залежно від температури повітря. Якщо температура не перевищує встановлену межу 22 °С, кватирка залишається закритою. Якщо температура вища, програма розраховує величину перевищення і пропорційно збільшує кут відкриття. При перевищенні температури на 5 °С або більше кватирка відкривається повністю.

Функція `calculateAngleByCO2()` виконує аналогічний розрахунок, але за концентрацією вуглекислого газу. Якщо CO<sub>2</sub> не перевищує 800 ppm, кватирка залишається закритою. Якщо значення перебуває між 800 і 1200 ppm, кут відкриття розраховується пропорційно. При досягненні 1200 ppm кватирка або клапан відкривається повністю.

Функція `readAirDirectionFromBLE()` відповідає за приймання інформації про напрямок руху повітря через Bluetooth-модуль HM-10. Якщо через Bluetooth надходять дані, програма зчитує рядок до символу переходу на новий рядок, очищає його від зайвих пробілів і аналізує зміст. Якщо отримано NORMAL або 1, вважається, що тяга нормальна. Якщо отримано REVERSE або -1, система фіксує зворотну тягу. Якщо отримано STOP або 0, стан потоку вважається невизначеним або відсутнім.

Функція `showData()` призначена для виведення поточної інформації на LCD-дисплей. У першому рядку відображаються температура та концентрація CO<sub>2</sub>. У другому рядку виводиться стан тяги: нормальна, зворотна або відсутність даних. Також показується поточний кут відкриття кватирки або вентиляційного клапана.

У функції `setup()` виконується початкова ініціалізація системи. Спочатку запускається послідовний порт `Serial` для налагодження, а також шина I<sup>2</sup>C за допомогою команди `Wire.begin()`. Далі викликається функція `loadSettings()`, яка зчитує або створює стандартні налаштування системи.

Після цього ініціалізується LCD-дисплей, на нього виводиться повідомлення про запуск системи. Запускається Bluetooth-модуль HM-10 зі

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

швидкістю 9600 бод, після чого через нього передається службове повідомлення BLE ready, яке підтверджує готовність бездротового каналу.

Далі програма перевіряє наявність датчика якості повітря SGP30. Якщо датчик не знайдено, на дисплей виводиться повідомлення SGP30 error, а програма зупиняється в нескінченному циклі. Це зроблено для того, щоб система не працювала з некоректними або відсутніми даними про якість повітря.

Після успішної ініціалізації датчиків сервоприводи підключаються до відповідних пінів, переводяться у закриті положення, після чого від'єднуються. При кожному запуску система переходить у початковий безпечний стан, коли кватирка або вентиляційний клапан закриті.

Основна робота системи виконується у функції loop(), яка повторюється постійно. На початку кожного циклу програма зчитує інформацію про напрямок руху повітря через Bluetooth. Це дозволяє одразу визначити, чи виникла зворотна тяга у вентиляційному каналі.

Далі зчитується температура з датчика DS18B20. Отримане значення зберігається у змінній temperature і використовується для подальшого розрахунку необхідного кута відкриття кватирки або клапана.

Після цього програма виконує вимірювання якості повітря за допомогою датчика SGP30. Якщо вимірювання виконано успішно, зчитуються значення еквівалентної концентрації CO<sub>2</sub> та TVOC. У цьому алгоритмі основним параметром для керування є eCO<sub>2</sub>, оскільки він характеризує ефективність вентиляції та рівень насичення повітря продуктами життєдіяльності людей.

На наступному етапі програма окремо розраховує кут відкриття за температурою та за концентрацією CO<sub>2</sub>. Це дозволяє враховувати дві різні причини для провітрювання приміщення: перегрів повітря та погіршення його якості.

Після розрахунку двох кутів програма порівнює їх між собою за допомогою функції max(). Домінуючим вважається більший кут, оскільки саме він відповідає більш критичному стану. Наприклад, якщо температура в

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

нормі, але CO<sub>2</sub> значно перевищує норму, система відкриє кватирку відповідно до рівня CO<sub>2</sub>.

Окремо враховується стан зворотної тяги. Якщо змінна `airDirection` має значення `-1`, тобто зафіксовано зворотну тягу, цільовий кут примусово встановлюється рівним максимальному значенню. Це означає, що зворотна тяга має найвищий пріоритет, і при її появі кватирка або клапан відкриваються повністю для збільшення припливу свіжого повітря.

Після визначення остаточного кута викликається функція `smoothMoveServos()`, яка плавно переводить сервоприводи у потрібне положення. Завдяки цьому система не створює різких механічних навантажень і працює більш надійно.

Після встановлення положення сервоприводів на LCD-дисплей виводяться поточні параметри системи: температура, концентрація CO<sub>2</sub>, стан тяги та кут відкриття. Одночасно ці дані передаються в послідовний порт `Serial`, що зручно для налагодження та перевірки роботи пристрою.

Наприкінці циклу виконується затримка тривалістю 5 хвилин. Після її завершення програма знову переходить до вимірювання напрямку повітряного потоку, температури та якості повітря. Такий режим роботи дозволяє періодично контролювати стан приміщення та змінювати положення кватирок відповідно до поточних умов.

Загалом програма реалізує автоматизований алгоритм керування вентиляцією приміщення. Вона аналізує температуру, якість повітря та напрямок руху повітря у вентиляційному каналі, після чого визначає оптимальний кут відкриття кватирки або вентиляційного клапана. Завдяки цьому система може підтримувати комфортний мікроклімат, своєчасно реагувати на підвищення температури, збільшення концентрації CO<sub>2</sub> та появу зворотної тяги.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Долікарська допомога при харчових отруєннях

Харчове отруєння є гострим захворюванням, яке виникає внаслідок вживання недоброякісних, заражених мікроорганізмами або токсичними речовинами харчових продуктів. Найчастіше причинами харчових отруєнь стають продукти, що зберігалися з порушенням санітарних норм, недостатньо термічно оброблені м'ясо, риба, яйця, молочні вироби, консерви, а також отруйні гриби, ягоди чи рослини. Харчові отруєння можуть становити серйозну небезпеку для здоров'я людини, особливо для дітей, людей похилого віку та осіб із хронічними захворюваннями, тому своєчасне надання долікарської допомоги має велике значення.

Основними ознаками харчового отруєння є нудота, блювання, біль у животі, діарея, загальна слабкість, запаморочення, підвищення температури тіла, озноб та головний біль. У тяжких випадках можуть виникати судоми, порушення свідомості, різке зниження артеріального тиску та ознаки зневоднення організму. Перші симптоми можуть з'явитися через кілька годин після вживання неякісної їжі або навіть через декілька днів залежно від виду збудника чи токсину.

При підозрі на харчове отруєння насамперед необхідно припинити вживання підозрілих продуктів і забезпечити потерпілому спокій. Головним завданням долікарської допомоги є якнайшвидше видалення токсичних речовин із шлунково-кишкового тракту та запобігання їх подальшому всмоктуванню в організм.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ			
Розроб.		Васильєв П.			Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні Пояснююча записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гурик О.Я.					49	57
Н. Контр.		Тиш Є.В.			ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41			
Затверд.		Осухівська Г.М.						

Якщо потерпілий перебуває при свідомості і від моменту вживання їжі минуло небагато часу, рекомендується промити шлунок. Для цього хворому дають випити кілька склянок теплої кип'яченої води, після чого викликають блювання шляхом натискання на корінь язика. Процедуру можна повторити кілька разів до появи чистих промивних вод. Після очищення шлунка доцільно застосувати сорбенти, які здатні зв'язувати токсини та перешкоджати їх всмоктуванню. Найчастіше використовують активоване вугілля, ентеросгель, смекту або інші ентеросорбенти відповідно до інструкції.

Важливим елементом допомоги є попередження зневоднення організму, яке виникає через багаторазове блювання та діарею. Потерпілому необхідно давати пити невеликими порціями чисту воду, неміцний чай або спеціальні сольові розчини для регідратації, які відновлюють втрату рідини та електролітів. Вживати рідину слід часто, але невеликими ковтками, щоб не спровокувати нові напади блювання. У перші години після отруєння рекомендується утриматися від прийому їжі, а після покращення стану переходити на легку дієту з використанням каш, сухарів, овочевих відварів та інших продуктів, що легко засвоюються.

Особливо небезпечними є отруєння грибами, консервами домашнього приготування та продуктами, зараженими ботулотоксином. У таких випадках можуть з'являтися порушення зору, утруднене ковтання, м'язова слабкість, порушення мовлення та дихання. За наявності таких симптомів необхідно негайно викликати швидку медичну допомогу, оскільки життя потерпілого може перебувати під загрозою. Медична допомога також є обов'язковою при сильному зневодненні, високій температурі, появі крові в блювотних масах або випорожненнях, тривалому перебігу захворювання, а також у випадках отруєння дітей, вагітних жінок та людей похилого віку.

Під час надання долікарської допомоги не рекомендується самостійно застосовувати антибіотики, сильнодіючі лікарські препарати або засоби, що припиняють діарею, без призначення лікаря. Також не слід вживати алкоголь, оскільки він може посилити токсичний вплив шкідливих речовин на організм.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Бажано зберегти залишки продуктів, які могли стати причиною отруєння, для подальшого лабораторного дослідження та встановлення джерела зараження.

Таким чином, долікарська допомога при харчових отруєннях полягає у своєчасному видаленні токсинів із шлунково-кишкового тракту, застосуванні сорбентів, відновленні водно-сольового балансу організму, забезпеченні спокою потерпілому та своєчасному зверненні за медичною допомогою. Правильні та швидкі дії можуть значно полегшити стан хворого, запобігти розвитку ускладнень і зберегти життя людини.

#### 4.2 Заходи з техніки безпеки при виготовленні деталей

Виготовлення деталей у механічних майстернях, лабораторіях та виробничих цехах пов'язане з використанням різноманітного технологічного обладнання, ручного та механізованого інструменту, верстатів, електрообладнання, а також із виконанням операцій різання, свердління, фрезерування, шліфування, токарної обробки, зварювання та складання. У процесі виконання цих робіт працівники можуть піддаватися дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів, таких як рухомі частини машин і механізмів, гострі кромки заготовок, підвищений рівень шуму та вібрації, електричний струм, пил, стружка, підвищена температура поверхонь та інші фактори. Тому дотримання вимог техніки безпеки є обов'язковою умовою забезпечення здоров'я працівників та запобігання виробничому травматизму.

До виконання робіт з виготовлення деталей допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці та ознайомлені з правилами експлуатації обладнання. Працівник повинен знати конструкцію верстатів, принцип їх роботи, правила безпечного користування інструментом, а також порядок дій у разі виникнення аварійної ситуації. Перед початком роботи необхідно перевірити справність обладнання, наявність і надійність захисних огорожень, заземлення електрообладнання, справність систем освітлення та вентиляції. Робоче місце повинно бути чистим, добре освітленим

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

і вільним від сторонніх предметів, які можуть заважати роботі або стати причиною травмування.

Особливе значення має правильне використання засобів індивідуального захисту. Під час механічної обробки деталей працівник повинен використовувати захисні окуляри або захисний щиток для запобігання потраплянню стружки, пилу чи уламків інструменту в очі. За необхідності застосовуються захисні рукавиці, спецодяг, спеціальне взуття та засоби захисту органів слуху. Одяг працівника повинен бути застебнутий, без звисаючих елементів, які можуть потрапити в рухомі частини обладнання. Довге волосся необхідно прибирати під головний убір.

Під час роботи на верстатах особливу увагу слід приділяти правильному закріпленню заготовок та інструменту. Перед запуском обладнання необхідно переконатися, що всі елементи надійно закріплені та не створюють небезпеки під час обертання або переміщення. Забороняється працювати на несправному обладнанні, самостійно усувати серйозні несправності під час роботи, торкатися рухомих частин механізмів або виконувати вимірювання деталей без повної зупинки верстата. Видалення стружки слід здійснювати лише спеціальними щітками або гачками після зупинки обладнання. Категорично забороняється прибирати стружку руками, оскільки це може призвести до порізів та інших травм.

Під час використання електроінструменту необхідно стежити за справністю ізоляції проводів, штепсельних з'єднань та заземлення. Забороняється працювати з електроінструментом у вологих приміщеннях без відповідних засобів захисту або торкатися електричних елементів мокрими руками. У разі появи запаху горілої ізоляції, диму, іскріння або сторонніх шумів роботу слід негайно припинити та повідомити відповідальну особу.

При виконанні операцій шліфування необхідно перевіряти цілісність абразивних кругів та наявність захисних кожухів. Робота з пошкодженими шліфувальними кругами забороняється через ризик їх руйнування на великій швидкості. Під час свердління та фрезерування необхідно використовувати

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

тільки справний і правильно заточений інструмент, а заготовки надійно закріплювати в лещатах або спеціальних пристроях.

Важливим елементом техніки безпеки є дотримання правил пожежної безпеки. На робочому місці повинні бути справні первинні засоби пожежогасіння, а працівники повинні знати порядок їх використання. Не допускається накопичення легкозаймистих матеріалів поблизу джерел тепла або електрообладнання. Усі проходи та евакуаційні виходи повинні залишатися вільними та доступними.

Після завершення роботи необхідно вимкнути обладнання від електромережі, очистити робоче місце від стружки, пилу та відходів виробництва, прибрати інструмент у відведені місця та повідомити керівника про виявлені несправності або небезпечні ситуації. Дотримання встановлених вимог техніки безпеки під час виготовлення деталей дозволяє значно знизити ризик виробничого травматизму, забезпечити безпечні умови праці та підвищити ефективність виробничого процесу.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено комп'ютерну систему контролю повітряного потоку в приміщенні, призначену для автоматизованого контролю параметрів мікроклімату та керування природною вентиляцією. У результаті виконання роботи проведено аналіз існуючих систем вентиляції та засобів контролю якості повітря, обґрунтовано вибір апаратних компонентів і розроблено алгоритм функціонування системи.

Запропонована система здійснює вимірювання температури повітря, концентрації вуглекислого газу та контролює напрямок руху повітря у вентиляційному каналі. На основі отриманих даних автоматично визначається необхідний ступінь відкриття кватирок або вентиляційних клапанів. Особливістю розробки є можливість виявлення зворотної тяги та автоматичного реагування шляхом збільшення припливу свіжого повітря для відновлення нормального повітрообміну.

У ході роботи розроблено структурну схему системи, UML-діаграми та програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino Pro Mini. Отримані результати підтверджують можливість створення ефективною та недорогою системи автоматизованого контролю вентиляції, яка дозволяє покращити якість повітря в приміщенні, підвищити комфорт перебування людей та забезпечити стабільну роботу природної вентиляції.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Організація вентиляції в житлових та офісних приміщеннях URL: <https://vents.ua/svezhij-vozdruk-kvartiry-kottedzha-i-ofisa/> (дата звернення: 11.06.2026).

2. Побутові рекуператори URL: <https://centrclimat.com.ua/ventyliatsiia/> (дата звернення: 11.06.2026).

3. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT). Київ : ДП «НДІБК», 2011. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=28004](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28004).

4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>.

5. Arduino Pro Mini URL: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-pro-mini> (дата звернення: 11.06.2026).

6. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet / Maxim Integrated. URL: <https://www.analog.com> (дата звернення: 11.06.2026).

7. SGP30 Multi-Pixel Gas Sensor for Air Quality Applications Datasheet / Sensirion AG. URL: <https://sensirion.com> (дата звернення: 11.06.2026).

8. MPXV7002DP Differential Pressure Sensor Datasheet / NXP Semiconductors. URL: <https://www.nxp.com> (дата звернення: 11.06.2026).

9. HM-10 Bluetooth 4.0 BLE Module AT Command Manual URL: <http://www.jnhuamao.cn> (дата звернення: 11.06.2026).

10. 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.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

11.Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.

12.Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

13.Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

14.Лецишин Ю.З., Романишин Н.Р., Наконечний В.В., Паламарчук А.О. Розробка системи зв'язку як інтегрованого елемента роботизованих систем. Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції. Збірник тез доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Житомир, 2016. С. 102.

15.Лецишин Ю.З., Назаревич Т.О., Міська І.В. Створення вбудованих систем на базі структурно - параметричних моделей цифрових каналів зв'язку. VIII Науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль, 2020. С. 127.

16.Leschyshyn Y., Scherbak L., Nazarevych O., Gotovych V., Tymkiv P., Shymchuk G. Multicomponent Model of the Heart Rate Variability Change-point. IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2019. P. 110–113.

17.Tymkiv P., Leshchyshyn Y. Algorithm Reliability of Kalman Filter Coefficients Determination for Low-Intensity Electroretinosignal. IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2019. P.1-5.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

18.Leschyshyn Y., Semchyshyn O. Periodically correlated heart rate variability detection by Neyman - Pearson criterion. 9th International Conference - The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics. 2007. P. 139–140.

19.Gasperi M. Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level / M. Gasperi, P. Hurbain. New York : Apress, 2010. 408 p.

20.I<sup>2</sup>C URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/I<sup>2</sup>C> (дата звернення: 11.06.2026).

21.Геврик Є. О. Охорона праці / Є. О. Геврик. Київ : Ельга ; Ніка-Центр, 2003. 280 с.

22.Гандзюк М. П. Основи охорони праці / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський. Київ : Каравела, 2007. – 408 с.

					КС КРБ 123.263.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

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.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2026 р.

Вбудована система контролю вентиляції приміщення

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на \_\_5\_\_ листках

**Вид робіт:**

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

**«УЗГОДЖЕНО»**

**«ВИКОНАВЕЦЬ»**

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІс-41

\_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Микитишин А.Г.

\_\_\_\_\_ Васильєв П.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р

**Тернопіль 2026**

1. Назва та підстава для виконання роботи.

1.1. Комп'ютерна система контролю повітряного потоку в приміщенні.

1.2. Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра (КРБ) є  
Наказ по Університету (№ 4/9-189 від 24.04.2026р.).

2. Виконавець.

2.1. Студент групи СІс-41 кафедри КС

Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя  
Васильєв Павло Михайлович.

3. Мета роботи.

3.1. Метою роботи є розробити структуру та програмне забезпечення  
комп'ютерної системи контролю повітряного потоку в приміщенні.

4. Склад виробу.

4.1. До складу системи повинні входити:

- 1) сенсор температури;
- 2) сенсор вуглекислого газу;
- 3) сервомотори;
- 4) LCD екран;
- 5) мікроконтролер або мікропроцесор;
- 6) Bluetooth модуль
- 7) комплект документації.

## 5. Технічні вимоги.

### 5.1. Вимоги по призначенню.

#### 5.1.1. Вбудована система повинна мати наступні параметри:

- |                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 1) Діапазон вимірюваної температури, не гірше, °С                  | -20...+100 |
| 2) Точність вимірювання температури, °С                            | ±1         |
| 3) Діапазон вимірюваної концентрації CO <sub>2</sub> , не гірше, % | 0,02...60  |
| 4) Точність вимірюваної концентрації CO <sub>2</sub> , не гірше, % | ±0,002     |

#### 5.1.2. Роздільна здатність вимірюваної концентрації CO<sub>2</sub>, %

0,001

#### 5.1.3. Система повинна живитись напругою постійного струму, В

+12±2

### 5.2. Вимоги до умов експлуатації:

5.2.1. Кліматичні умови експлуатації мають відповідати класу ЗК3 (або ЗК5) згідно з ДСТУ EN 60721-3-3

#### 5.2.2. Температура експлуатації від 0 до +40°C

#### 5.2.3. Відносна вологість до 100% при t=25°C

### 5.3. Конструктивні вимоги.

#### 5.3.1. Конструювання корпусу приладу в КРБ не передбачено.

5.3.2. Для побудови системи мають бути використані сучасні компоненти з можливістю поверхневого монтажу друкованого вузла.

5.3.3. При побудові системи необхідно передбачити розміщення роз'ємів живлення і обміну даними.

#### 5.3.4. Габаритні розміри при макетуванні, мм, не більше:

довжина	800
ширина	600
висота	600

#### 5.3.5. Маса макету, кг, не більше

3

5.3.6. Конструкція макету повинна забезпечувати доступ до всіх комплектуючих виробів при тестуванні.

5.4. Вимоги до надійності.

5.4.1. Система повинна відповідати вимогам ДСТУ 2862-94.

5.4.2. Наробка на відмову, не менше 5000 год.

5.5. Вимоги метрології.

5.5.1. Вимірювання параметрів системи при моделюванні повинно виконуватись на універсальних вимірювальних приладах.

6. Економічні показники.

6.1. Собівартість системи повинна бути не більше 40000 грн.

7. Вимоги до документації.

7.1. Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД, ДСТУ та ГОСТ.

7.2. До складу документації повинно входити:

- 1) ПЗ
- 2) Структурна схема Е1
- 3) Електрична схема Е3
- 4) Модель макету
- 5) Блок схема алгоритму роботи

## 8. Стадії та етапи розробки КРБ

### 8.1 Стадії та етапи виконання КРБ наведенні в таблиці 1.

Таблиця 1

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»	03.02 – 15.02
3	Робота над другим розділом «ПРОЄКТНА ЧАСТИНА»	20.04 – 25.04
4	Робота над третім розділом «ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА»	26.04 – 05.05
5	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 7.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06 – 14.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	25.06.26

### 9. В дане ТЗ можуть вноситись зміни по узгодженню сторін.

ДОДАТОК Б  
Переліки елементів





## ДОДАТОК В

### Код програми

```
#include "Arduino.h"
#include "Wire.h"
#include "EEPROM.h"
#include "LiquidCrystal_PCF8574.h"
#include "Servo.h"
#include "DS18B20.h"
#include "BLEHM10.h"
#include "Adafruit_SGP30.h"

// Піни
#define SERVOMD1_1_PIN_SIG 2
#define SERVOMD2_2_PIN_SIG 3
#define DS18B20_PIN_DQ 4
#define BLEHM10_PIN_TXD 11
#define BLEHM10_PIN_RXD 10

// LCD
#define LCD_ADDRESS 0x3F
#define LCD_ROWS 2
#define LCD_COLUMNS 16
#define BACKLIGHT 255

// Об'єкти
LiquidCrystal_PCF8574 lcdI2C;
Servo servoMD1_1;
Servo servoMD2_2;
DS18B20 ds18b20(DS18B20_PIN_DQ);
BLEHM10 blehm10(BLEHM10_PIN_RXD, BLEHM10_PIN_TXD);
Adafruit_SGP30 sgp;

// Налаштування системи
struct Settings {
    int magic;
    float tempLimit;
    int co2Limit;
    int co2FullOpen;
    int servoClosed;
    int servoOpened;
};

Settings settings;

const int EEPROM_MAGIC = 1234;
const unsigned long cycleDelay = 300000UL; // 5 хвилин
const int smoothDelay = 20;

int currentServoAngle = 20;
int airDirection = 1; // 1 - нормальна тяга, -1 - зворотна тяга, 0 - немає даних

void loadSettings() {
    EEPROM.get(0, settings);

    if (settings.magic != EEPROM_MAGIC) {
        settings.magic = EEPROM_MAGIC;
        settings.tempLimit = 22.0;
        settings.co2Limit = 800; // 0,08 %
        settings.co2FullOpen = 1200; // 0,12 %
        settings.servoClosed = 20;
        settings.servoOpened = 150;
        EEPROM.put(0, settings);
    }
}
```

```

    }
}

void smoothMoveServos(int targetAngle) {
    targetAngle = constrain(targetAngle, settings.servoClosed,
settings.servoOpened);

    servoMD1_1.attach(SERVOMD1_1_PIN_SIG);
    servoMD2_2.attach(SERVOMD2_2_PIN_SIG);

    if (targetAngle > currentServoAngle) {
        for (int pos = currentServoAngle; pos <= targetAngle; pos++) {
            servoMD1_1.write(pos);
            servoMD2_2.write(pos);
            delay(smoothDelay);
        }
    } else {
        for (int pos = currentServoAngle; pos >= targetAngle; pos--) {
            servoMD1_1.write(pos);
            servoMD2_2.write(pos);
            delay(smoothDelay);
        }
    }

    currentServoAngle = targetAngle;

    delay(300);
    servoMD1_1.detach();
    servoMD2_2.detach();
}

int calculateAngleByTemperature(float temperature) {
    if (temperature <= settings.tempLimit) return settings.servoClosed;

    float excess = temperature - settings.tempLimit;
    float part = excess / 5.0;

    if (part > 1.0) part = 1.0;

    return settings.servoClosed + part * (settings.servoOpened -
settings.servoClosed);
}

int calculateAngleByCO2(int co2) {
    if (co2 <= settings.co2Limit) return settings.servoClosed;
    if (co2 >= settings.co2FullOpen) return settings.servoOpened;

    float part = (float)(co2 - settings.co2Limit) /
                (float)(settings.co2FullOpen - settings.co2Limit);

    return settings.servoClosed + part * (settings.servoOpened -
settings.servoClosed);
}

void readAirDirectionFromBLE() {
    if (blehm10.available()) {
        String data = blehm10.readStringUntil('\n');
        data.trim();
    }
}

```

```

    if (data == "NORMAL" || data == "1") {
        airDirection = 1;
    }
    else if (data == "REVERSE" || data == "-1") {
        airDirection = -1;
    }
    else if (data == "STOP" || data == "0") {
        airDirection = 0;
    }

    Serial.print("Air direction: ");
    Serial.println(airDirection);
}
}

void showData(float temp, int co2, int tvoc, int angle) {
    lcdI2C.clear();

    lcdI2C.print("T:");
    lcdI2C.print(temp, 1);
    lcdI2C.print("C CO2:");
    lcdI2C.print(co2);

    lcdI2C.selectLine(2);

    if (airDirection == -1) {
        lcdI2C.print("Reverse ");
    } else if (airDirection == 1) {
        lcdI2C.print("Normal ");
    } else {
        lcdI2C.print("No data ");
    }

    lcdI2C.print("A:");
    lcdI2C.print(angle);
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();

    loadSettings();

    lcdI2C.begin(LCD_COLUMNS, LCD_ROWS, LCD_ADDRESS, BACKLIGHT);
    lcdI2C.clear();
    lcdI2C.print("System start");

    blehm10.begin(9600);
    blehm10.println("BLE ready");

    if (!sgp.begin()) {
        lcdI2C.clear();
        lcdI2C.print("SGP30 error");
        Serial.println("SGP30 not found");
        while (1);
    }
}

```

```

servoMD1_1.attach(SERVOMD1_1_PIN_SIG);
servoMD2_2.attach(SERVOMD2_2_PIN_SIG);
servoMD1_1.write(settings.servoClosed);
servoMD2_2.write(settings.servoClosed);
delay(1000);
servoMD1_1.detach();
servoMD2_2.detach();

currentServoAngle = settings.servoClosed;

lcdI2C.clear();
  lcdI2C.print("System ready");

delay(1000);
}

void loop() {
  readAirDirectionFromBLE();

  float temperature = ds18b20.readTempC();

  int co2 = 0;
  int tvoc = 0;

  if (sgp.IAQmeasure()) {
    co2 = sgp.eCO2;
    tvoc = sgp.TVOC;
  }

  int angleByTemp = calculateAngleByTemperature(temperature);
  int angleByCO2 = calculateAngleByCO2(co2);

  int targetAngle = max(angleByTemp, angleByCO2);

  if (airDirection == -1) {
    targetAngle = settings.servoOpened;
  }

  smoothMoveServos(targetAngle);
  showData(temperature, co2, tvoc, targetAngle);

  Serial.print("Temp: ");
  Serial.print(temperature);
  Serial.print(" C, CO2: ");
  Serial.print(co2);
  Serial.print(" ppm, TVOC: ");
  Serial.print(tvoc);
  Serial.print(" ppb, Angle: ");
  Serial.println(targetAngle);

  delay(cycleDelay);
}

```