

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*бакалавр*

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система контролю параметрів мікроклімату  
підземного паркінгу*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42  
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Найдух С. С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Микитишин А.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Тиш Є.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2026

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)  
«25» квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

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

студента Найдоху Сергію Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система контролю параметрів мікроклімату підземного паркінгу

Керівник роботи кандидат технічних наук, доцент кафедри КС Микитишин Андрій Григорович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Архітектура системи

2. Структурна схема

3. Блок схема роботи

4. Схема електрична принципова

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>			

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>27.06</i>	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Найдух Сергій Сергійович*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Микитишин Андрій Григорович*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Найдух С. С. Комп'ютерна система контролю параметрів мікроклімату підземного паркінгу: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: підземний паркінг, мікроклімат, моніторинг повітря, Arduino Mega 2560, вентиляція, автоматичне керування.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз особливостей формування мікроклімату підземних паркінгів, існуючих систем контролю якості повітря та вимог до автоматизованих систем моніторингу.

Запропоновано структуру системи на базі мікроконтролера Arduino Mega 2560 із використанням датчиків температури та вологості SHT31, концентрації вуглекислого газу MH-Z19B, чадного газу MQ-7, діоксиду азоту MiCS-2714, летких органічних сполук CCS811 та датчика диму MQ-2. Розроблено електричну принципову схему пристрою та програмне забезпечення мовою C++ у середовищі Arduino IDE.

Розроблено алгоритми автоматичного керування припливною та витяжною вентиляцією, системою кондиціонування та аварійним оповіщенням залежно від стану повітряного середовища.

Проведено моделювання роботи системи у штатних та аварійних режимах. Результати моделювання підтвердили працездатність розробленої системи, коректність роботи алгоритмів моніторингу та можливість її використання для забезпечення безпечних умов експлуатації підземних паркінгів і споруд подвійного призначення.

## ANNOTATION

Naidukh S. S. Computer System for Monitoring Microclimate Parameters in an Underground Parking Facility: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 – computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: underground parking, microclimate, air monitoring, Arduino Mega 2560, ventilation, automatic control.

The qualification work analyzes the features of the formation of the microclimate of underground parking lots, existing air quality control systems and requirements for automated monitoring systems.

The structure of the system based on the Arduino Mega 2560 microcontroller is proposed using temperature and humidity sensors SHT31, carbon dioxide concentration MH-Z19B, carbon monoxide MQ-7, nitrogen dioxide MiCS-2714, volatile organic compounds CCS811 and smoke sensor MQ-2. The electrical schematic diagram of the device and software in C++ in the Arduino IDE environment have been developed.

Algorithms for automatic control of supply and exhaust ventilation, air conditioning and emergency notification depending on the state of the air environment have been developed.

The system operation in normal and emergency modes has been simulated. The modeling results confirmed the operability of the developed system, the correct operation of monitoring algorithms, and the possibility of its use to ensure safe operating conditions for underground parking lots and dual-purpose structures.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ .....	11
1.1 Особливості мікроклімату підземного паркінгу.....	11
1.2 Огляд існуючих рішень .....	13
1.3 Аналіз можливих рішень поставленого завдання .....	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Розробка структури комп'ютерної системи.....	22
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу .....	24
2.2.1 Вибір мікроконтролера.....	25
2.2.2 Обґрунтування вибору датчиків температури та вологості .....	28
2.2.3 Обґрунтування вибору датчиків контролю якості повітря .....	29
2.2.4 Обґрунтування вибору елементів керування і відображення інформації.....	34
2.2.5 Обґрунтування вибору системи комутації навантажень .....	37
2.3 Розробка електричної принципової схеми пристрою .....	38
2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення.....	41
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	44
3.1 Розробка алгоритму функціонування системи .....	44
3.1.1 Реалізація програмного забезпечення системи.....	48
3.2 Моделювання роботи системи моніторингу підземного паркінгу .....	53
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..	57

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Комп'ютерна система контролю параметрів мікроклімату підземного паркінеу</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Найдух С. С.					6	
Перевір.		Микитишин А.				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
Реценз.								
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

4.1	Підвищення життєдіяльності людини .....	57
4.2	Заходи з техніки безпеки при експлуатації обладнання .....	59
	ВИСНОВКИ.....	62
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
	Додаток А Технічне завдання	
	Додаток Б Перелік елементів	

					<i>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АЦП - Аналогово-цифровий перетворювач

БЖ - Блок живлення

ВК - Виконавчий механізм

VOС - Volatile Organic Compounds

IoT - Internet of Things

МК - Мікроконтролер

ПЗ - Програмне забезпечення

UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

I<sup>2</sup>C - Inter-Integrated Circuit

ppm - parts per million

					<i>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

Сучасні підземні паркінги є складними інженерними спорудами, в яких необхідно забезпечувати безпечні та комфортні умови перебування людей. Особливістю таких приміщень є обмежений природний повітрообмін, накопичення вихлопних газів автомобілів, підвищена вологість та можливість використання паркінгів як тимчасових укриттів під час надзвичайних ситуацій. У таких умовах особливого значення набуває контроль параметрів мікроклімату та якості повітряного середовища.

Недостатня ефективність вентиляції може призводити до накопичення чадного газу, вуглекислого газу, оксидів азоту та інших шкідливих речовин, що створює загрозу для здоров'я людей. Крім того, підвищена температура та вологість негативно впливають на умови перебування людей, сприяють розвитку корозійних процесів і знижують надійність роботи інженерних систем. Тому актуальним завданням є створення автоматизованих систем моніторингу та керування мікрокліматом, здатних здійснювати безперервний контроль стану повітряного середовища та своєчасно реагувати на його зміни.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютеризованої системи моніторингу і контролю мікроклімату підземного паркінгу, яка забезпечує контроль температури, відносної вологості повітря, концентрації вуглекислого газу, чадного газу, діоксиду азоту, летких органічних сполук та задимлення, а також автоматичне керування вентиляцією, кондиціонуванням і системами аварійного оповіщення.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- провести аналіз особливостей мікроклімату підземних паркінгів та існуючих технічних рішень;
- сформулювати вимоги до системи моніторингу мікроклімату;
- розробити структуру та архітектуру системи;

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обґрунтувати вибір мікроконтролера, датчиків і виконавчих механізмів;
- розробити електричну принципову схему пристрою;
- створити програмне забезпечення для збору та обробки даних;
- реалізувати алгоритми автоматичного керування вентиляцією та кондиціонуванням;
- виконати моделювання та перевірку роботи системи в різних режимах функціонування.

Практичне значення роботи полягає у розробці системи, яка дозволяє автоматизувати контроль параметрів повітряного середовища, своєчасно виявляти небезпечні ситуації та забезпечувати ефективне керування інженерними системами підземного паркінгу.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Особливості мікроклімату підземного паркінгу

Підземні паркінги є складними інженерними спорудами із замкненим або частково замкненим повітряним середовищем, у якому параметри мікроклімату суттєво відрізняються від умов відкритого простору [2]. Основними особливостями таких приміщень є обмежений природний повітрообмін, висока концентрація транспортних засобів, значне тепловиділення та накопичення шкідливих газів (рис.1.1). У сучасних умовах підземні паркінги також часто використовуються як тимчасові укриття під час повітряних тривог, що додатково підвищує вимоги до якості повітряного середовища та безпеки перебування людей.

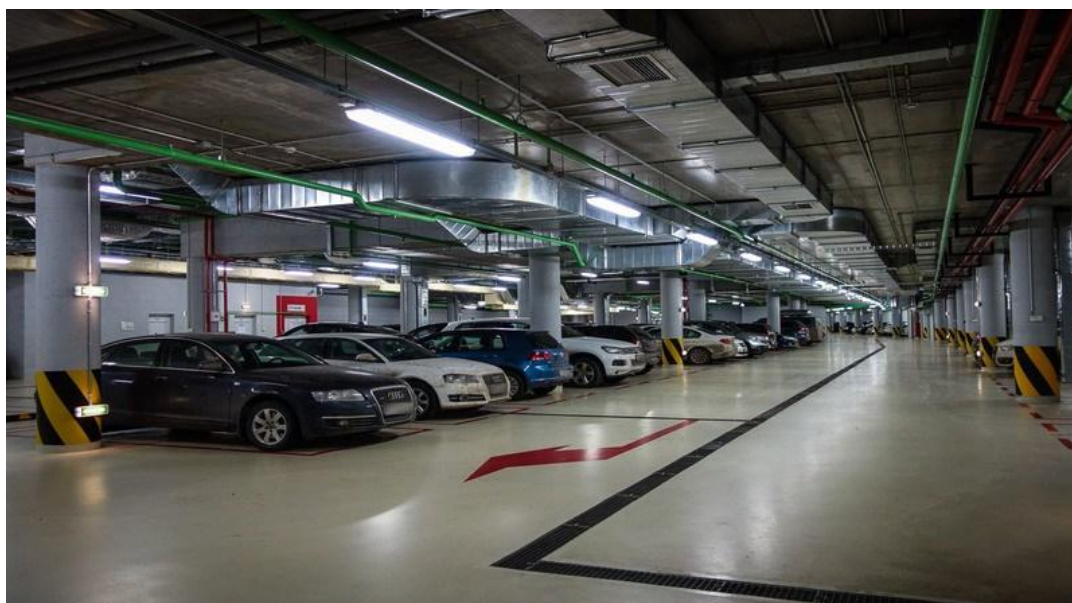


Рисунок 1.1 – Підземний паркінг з встановленою системою вентиляції

					КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз технічного завдання					
Розроб.		Найдух С. С.						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Микитишин А.							11	11
Реценз.								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.								
Затверд.		Осухівська Г.М.								

Однією з основних характеристик мікроклімату підземного паркінгу є недостатня природна вентиляція. Через розташування нижче рівня землі циркуляція повітря в таких приміщеннях значно ускладнена, а повітрообмін переважно забезпечується примусовими вентиляційними системами. За недостатньої ефективності вентиляції у приміщенні відбувається накопичення вихлопних газів автомобілів, підвищується температура та вологість повітря.

Важливий вплив на параметри мікроклімату мають автомобільні двигуни. Під час роботи транспортних засобів у повітря виділяються чадний газ, вуглекислий газ, оксиди азоту та інші шкідливі речовини. Найбільш небезпечним є чадний газ, який не має кольору та запаху, але навіть у невеликих концентраціях негативно впливає на організм людини. Одночасно у приміщенні поступово збільшується концентрація CO<sub>2</sub>, особливо у випадках великого скупчення людей.

Додатковою особливістю підземних паркінгів є підвищена вологість повітря. Волога потрапляє до приміщення разом із транспортними засобами у вигляді снігу, дощу або конденсату. Через недостатню циркуляцію повітря рівень вологості може тривалий час залишатися високим, що створює умови для корозії металевих конструкцій, погіршення стану електрообладнання та утворення грибка.

Температурний режим підземних приміщень також має свої особливості. У зимовий період температура в підземному паркінгу зазвичай є вищою, ніж зовні, а в літній — нижчою. Однак за інтенсивної експлуатації паркінгу температура може суттєво зростати внаслідок роботи автомобілів, вентиляційного обладнання та перебування людей у приміщенні. Під час використання паркінгу як укриття температурне навантаження значно збільшується через високу щільність людей [3].

Особливо важливим фактором є підтримання безпечних умов перебування людей під час надзвичайних ситуацій. У період повітряних тривог підземні паркінги часто виконують функцію тимчасового укриття,

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

тому система мікроклімату повинна забезпечувати достатній рівень вентиляції, контроль концентрації шкідливих газів, підтримання допустимих температурних умов та своєчасне аварійне оповіщення.

Таким чином, мікроклімат підземних паркінгів характеризується складними умовами формування повітряного середовища, значним впливом техногенних факторів та необхідністю постійного автоматизованого контролю параметрів повітря. Це обумовлює актуальність розробки комп'ютеризованих систем моніторингу та керування мікрокліматом для забезпечення безпеки людей і ефективної роботи вентиляційного обладнання.

## 1.2 Огляд існуючих рішень

Для забезпечення безпечної експлуатації підземних паркінгів у сучасних будівлях використовуються автоматизовані системи контролю якості повітря та керування вентиляцією. Основним принципом їх роботи є безперервний моніторинг концентрації шкідливих газів з подальшим автоматичним регулюванням продуктивності вентиляційного обладнання. Найбільш поширеними є системи, побудовані на основі датчиків чадного газу (CO), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>), вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) та централізованих контролерів керування вентиляцією.

Одним із відомих рішень є система газового моніторингу компанії SAMON, призначена для підземних паркінгів, тунелів та інших закритих приміщень (рис. 1.2). У системі використовуються електрохімічні датчики CO та NO<sub>2</sub>, які передають інформацію до контролера вентиляції. При перевищенні допустимих концентрацій газів система автоматично активує вентиляційні установки та підтримує необхідний рівень повітрообміну. Особливістю рішення є використання датчиків VOC для контролю загальної якості повітря.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.2 - Блок багатоточкового моніторингу газоспостереження компанії SAMON

Компанія Sensitron пропонує систему моніторингу підземних паркінгів на базі датчиків SMART 3 та контролерів MULTISCAN++PK (рис. 1.3). Дана система забезпечує контроль концентрацій CO, NO<sub>2</sub> та парів бензину. Контролер здійснює обробку даних від усіх сенсорів та формує сигнали для автоматичного керування вентиляцією й аварійною сигналізацією. Система відповідає вимогам європейського стандарту EN 50545-1, який регламентує газовий моніторинг у паркінгах.

Поширеним рішенням у системах автоматизації будівель є використання датчиків серії GST компанії DwyerOmega (рис. 1.4). Датчики контролюють концентрацію CO та NO<sub>2</sub> і передають аналогові сигнали 0–10 В або 4–20 мА до системи диспетчеризації будівлі. На відміну від автономних систем, це рішення інтегрується безпосередньо у систему BMS, що дозволяє централізовано контролювати вентиляцію, опалення та інші інженерні підсистеми будівлі.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.3 – Елементи системи моніторингу газів компанії Sensitron



Рисунок 1.4 – Датчики вимірювання концентрації газів компанії DwyerOmega

Для великих багаторівневих паркінгів застосовуються багатоканальні системи компанії INTEC Controls. Одним із таких рішень є контролер DGC6,

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

який може обслуговувати десятки датчиків CO та NO<sub>2</sub> одночасно. Система підтримує зональне керування вентиляторами, аварійне оповіщення та інтеграцію з системами пожежної безпеки. Для об'єктів площею понад 100000 квадратних футів передбачено використання більше двадцяти сенсорних вузлів з централізованим керуванням.

Цікавим рішенням є система CPS компанії GazDetect, яка спеціально розроблена для паркінгів та транспортних тунелів. До її складу входять цифрові газоаналізatori OLCT10N та контролери MX32N або MX43. Система здійснює безперервний контроль концентрацій токсичних газів та автоматично запускає вентиляційні установки лише за необхідності. Такий підхід дозволяє значно знизити споживання електроенергії порівняно з постійною роботою вентиляторів.



Рисунок 1.5 – Контролер газу MX32N компанії GazDetect

У сучасних системах також широко використовується інтеграція з системами диспетчеризації будівель через протоколи BACnet та Modbus. Наприклад, рішення компанії Velimo передбачають використання мережевих газових сенсорів із підключенням до BMS. У такій архітектурі вся інформація про стан повітряного середовища, вентиляції та аварійних подій відображається на центральному диспетчерському пункті. Для контролю

великих площ використовується мережа сенсорів із радіусом контролю близько 15 метрів кожен.

Окрему групу становлять сучасні IoT-рішення, у яких датчики з'єднуються через бездротові мережі Wi-Fi, LoRa або ZigBee. Дані передаються на сервер або хмарну платформу для подальшого аналізу та віддаленого моніторингу. Такі системи дозволяють отримувати повідомлення про аварійні ситуації на смартфон або комп'ютер оператора та забезпечують журналювання параметрів мікроклімату [3].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика існуючих систем контролю повітряного середовища підземних паркінгів

Система	Контроль CO	Контроль NO <sub>2</sub>	Контроль CO <sub>2</sub>	Контроль температури та вологості	Автоматичне керування вентиляцією	Дистанційний моніторинг	Масштабованість	Орієнтація на укриття
SAMON Parking Garage Monitoring	Так	Так	Частково	Ні	Так	Так	Висока	Низька
Sensitron SMART 3 + MULTISCAN++ PK	Так	Так	Ні	Ні	Так	Так	Висока	Низька
DwyerOmega GSTA + BMS	Так	Так	Опціонально	Опціонально	Так	Так	Висока	Середня
INTEC Controls DGC6	Так	Так	Ні	Ні	Так	Так	Дуже висока	Низька
GazDetect CPS	Так	Так	Ні	Ні	Так	Так	Висока	Низька
Belimo Gas Monitoring	Так	Так	Опціонально	Опціонально	Так	Так	Висока	Середня
IoT-система	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Середня	Висока

На основі наведеного порівняння можна зробити висновок, що більшість промислових систем орієнтовані переважно на виявлення чадного газу та діоксиду азоту з подальшим керуванням вентиляцією. Такі рішення ефективно виконують вимоги щодо експлуатації автомобільних паркінгів, проте не враховують специфіку використання підземних споруд як тимчасових

укриттів для населення. У більшості розглянутих систем відсутній контроль температури, вологості та концентрації CO<sub>2</sub>, які є критично важливими параметрами при тривалому перебуванні людей у замкненому просторі. Крім того, багато промислових систем мають високу вартість і складність впровадження.

### 1.3 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Основною функцією розроблюваної системи повинно стати забезпечення нормативних параметрів мікроклімату шляхом автоматичного контролю стану повітряного середовища та своєчасного реагування на його зміни. Для досягнення поставленої мети система повинна здійснювати моніторинг основних показників якості повітря, аналізувати отримані дані та формувати керуючі впливи на виконавчі пристрої вентиляційної системи [4].

При розробці системи необхідно враховувати вимоги чинних нормативних документів, які регламентують параметри мікроклімату громадських приміщень, вимоги до вентиляції підземних споруд, електробезпеки та автоматизованих систем керування. Зокрема, система повинна забезпечувати підтримання допустимих концентрацій шкідливих газів, контроль температури та вологості повітря, а також можливість оперативного інформування персоналу про виникнення небезпечних ситуацій.

Виходячи з поставленої задачі, до розроблюваної системи необхідно сформулювати функціональні та нефункціональні вимоги, які визначають її основні можливості та показники ефективності.

До функціональних вимог належить забезпечення безперервного збору та обробки інформації про параметри мікроклімату підземного паркінгу. Система повинна отримувати дані від датчиків температури, відносної вологості повітря, концентрації чадного газу та вуглекислого газу, виконувати їх аналіз і порівняння з установленими допустимими значеннями. На основі

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

отриманих даних система повинна автоматично формувати керуючі сигнали для виконавчих пристроїв, які забезпечують підтримання необхідних параметрів повітряного середовища. Також система повинна надавати можливість встановлення та коригування користувачем допустимих меж контрольованих параметрів, перегляду поточного стану мікроклімату та отримання повідомлень про виникнення аварійних ситуацій [4].

До основних функцій системи також належить керування вентиляційним обладнанням, яке забезпечує необхідний рівень повітрообміну в приміщенні. У разі перевищення допустимих концентрацій шкідливих газів або погіршення інших параметрів мікроклімату система повинна автоматично змінювати режим роботи вентиляції та здійснювати оповіщення обслуговуючого персоналу.

Нефункціональні вимоги визначають якісні характеристики системи. Однією з основних вимог є висока надійність функціонування, оскільки система призначена для роботи в режимі безперервного моніторингу. Коефіцієнт готовності системи повинен забезпечувати її працездатність протягом переважної частини часу експлуатації. Важливими вимогами є також висока швидкодія обробки даних, достатня точність вимірювання контрольованих параметрів та оперативне реагування на зміну стану повітряного середовища.

Крім того, система повинна характеризуватися енергоефективністю, оскільки вентиляційне обладнання є одним із найбільших споживачів електроенергії в підземному паркінгу. Автоматичне керування режимами роботи виконавчих пристроїв повинно забезпечувати підтримання необхідних параметрів мікроклімату з мінімальними витратами енергетичних ресурсів. Важливою вимогою також є можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи та інтеграції з іншими інженерними системами будівлі.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структурно система повинна складатися з декількох взаємопов'язаних підсистем (рис. 1.6). Першою є підсистема збору даних, до складу якої входять датчики контролю параметрів повітряного середовища. Її призначення полягає в отриманні актуальної інформації про стан мікроклімату в різних зонах підземного паркінгу. Враховуючи специфіку об'єкта, доцільним є використання засобів контролю температури, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу та чадного газу. Саме ці параметри найбільш повно характеризують якість повітря та безпеку перебування людей у приміщенні.

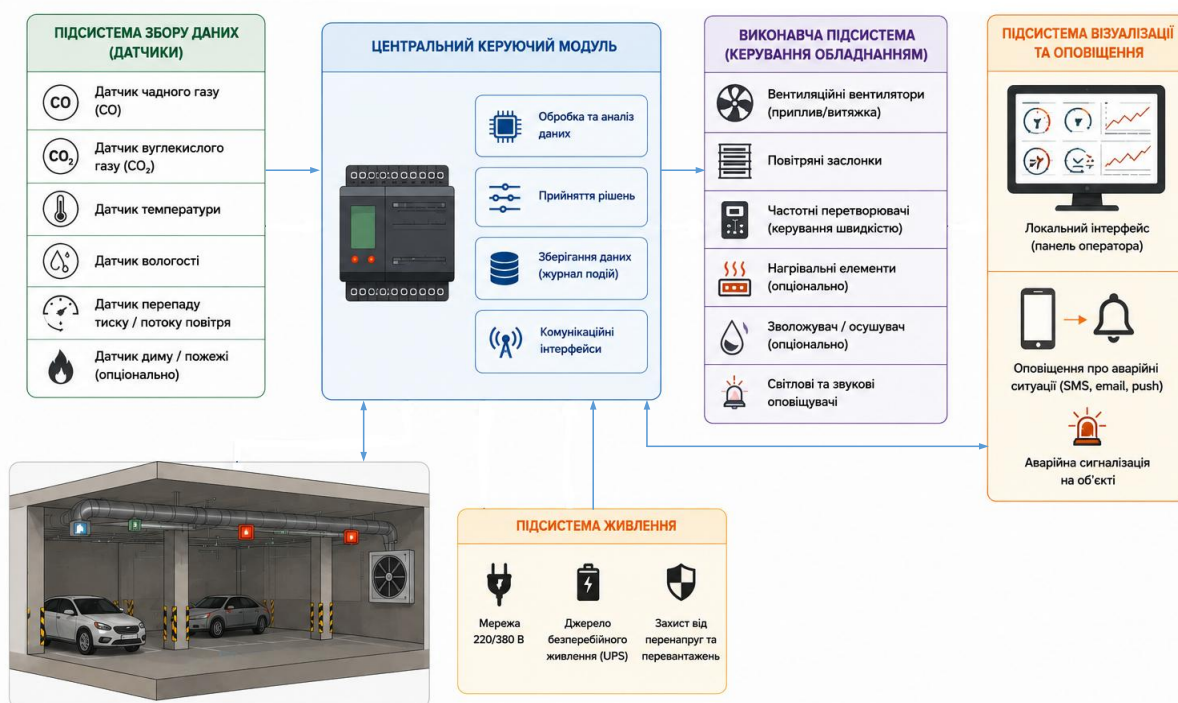


Рисунок 1.6 – Архітектура комп'ютеризованої системи контролю мікроклімату підземного паркінгу

Отримані дані повинні надходити до центрального керуючого пристрою, який виконує функції аналізу інформації та прийняття рішень. Керуючий модуль має забезпечувати обробку сигналів від датчиків, порівняння поточних значень із допустимими межами та формування команд

для виконавчих механізмів. Крім того, він повинен забезпечувати накопичення даних, зберігання історії вимірювань та передачу інформації користувачу.

Для підтримання необхідних параметрів мікроклімату система повинна містити виконавчу підсистему, основним елементом якої є вентиляційне обладнання. Залежно від результатів аналізу повітряного середовища система має автоматично змінювати режими роботи вентиляції, забезпечуючи необхідний повітрообмін у приміщенні. За потреби до складу виконавчої підсистеми можуть входити додаткові пристрої керування мікрокліматом, які дозволяють підтримувати комфортні умови перебування людей.

Важливою складовою є підсистема візуалізації, моніторингу та оповіщення. Вона повинна забезпечувати відображення поточних параметрів мікроклімату, стану обладнання та повідомлень про аварійні ситуації. У разі перевищення допустимих значень контрольованих параметрів система повинна формувати попереджувальні або аварійні сигнали для обслуговуючого персоналу.

На основі проведеного аналізу сформульовано задачу розробки комп'ютеризованої системи контролю мікроклімату підземного паркінгу, яка забезпечує моніторинг температури, вологості, концентрації чадного газу та вуглекислого газу, автоматичне керування вентиляційним обладнанням і відображення інформації про стан повітряного середовища в режимі реального часу. Такий підхід підвищує безпеку перебування людей та створює умови для ефективного використання енергетичних ресурсів.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розробка структури комп'ютерної системи

Система моніторингу та керування мікрокліматом підземного паркінгу повинна здійснювати безперервний контроль параметрів повітряного середовища та автоматично підтримувати їх у допустимих межах. Для цього система отримує інформацію від комплексу датчиків, які контролюють температуру повітря, відносну вологість, концентрацію чадного газу та вуглекислого газу. Отримані дані надходять до центрального керуючого модуля, де здійснюється їх обробка та порівняння з установленими пороговими значеннями.

Особливістю підземного паркінгу є наявність обмеженого природного повітрообміну та можливість використання приміщення як укриття під час повітряних тривог. У зв'язку з цим система повинна не лише контролювати рівень загазованості, а й забезпечувати комфортні та безпечні умови перебування людей. Для оцінки стану мікроклімату аналізуються температура повітря, його відносна вологість, концентрація чадного газу, що утворюється внаслідок роботи автомобільних двигунів, а також концентрація вуглекислого газу, рівень якої може значно зростати при перебуванні великої кількості людей у приміщенні.

У випадку перевищення контрольованими параметрами допустимих значень система повинна автоматично формувати керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Основним виконавчим обладнанням у цьому випадку є система примусової вентиляції, яка забезпечує необхідний повітрообмін та видалення забрудненого повітря з приміщення. Одночасно система може формувати попереджувальні повідомлення та аварійні сигнали для

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Найдух С. С.			<b>Проектна частина</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Микитишин А.					22	22
<i>Реценз.</i>						<b>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</b>		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

обслуговуючого персоналу. Такий підхід дозволяє підтримувати нормативні параметри повітряного середовища, забезпечувати безпечну експлуатацію підземного паркінгу та створювати належні умови для перебування людей в умовах надзвичайних ситуацій.

Узагальнена структура розроблюваної системи з врахуванням результатів аналізу вимог наведених в першому розділі зображена на рис. 2.1.

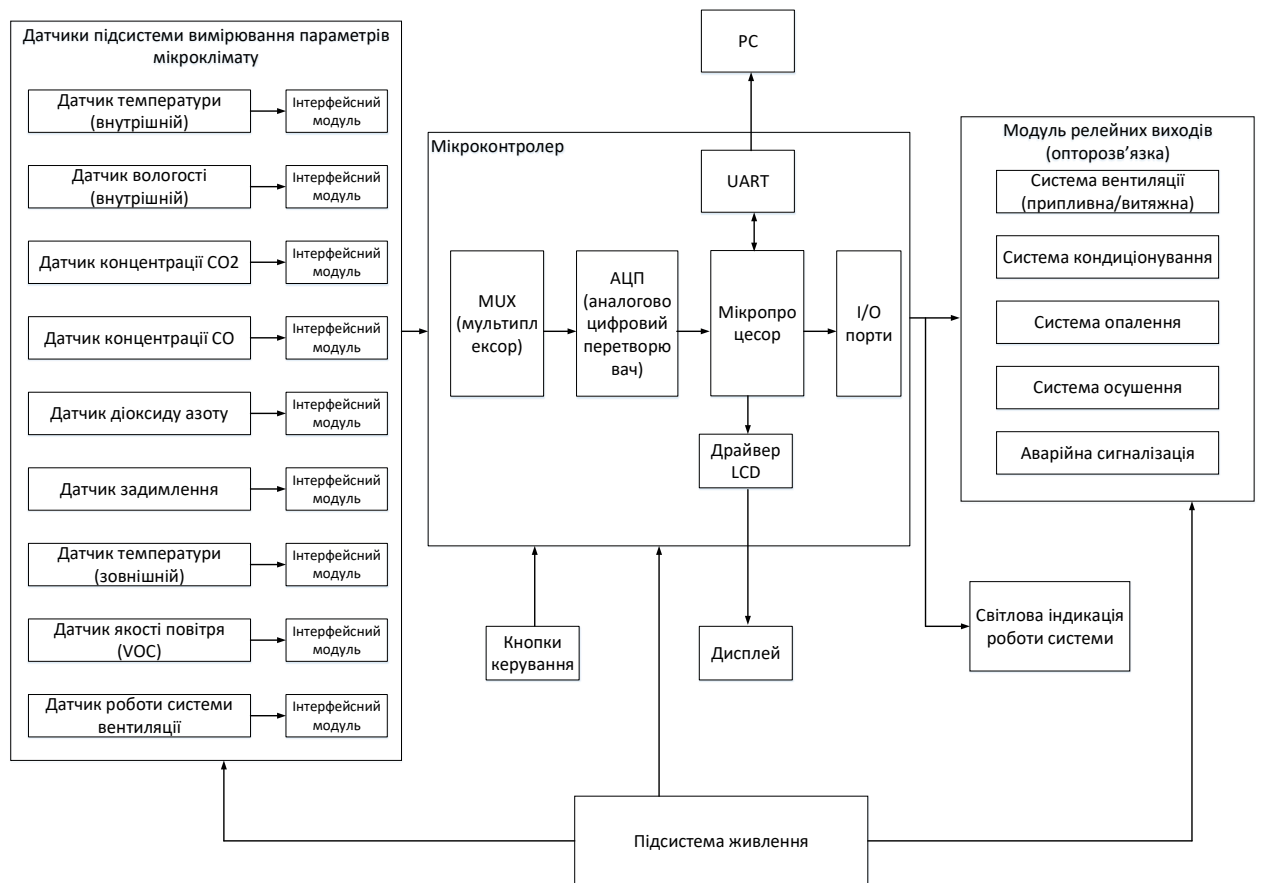


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура комп’ютеризованої системи контролю мікроклімату паркінгу

Відповідно до технічного завдання і архітектури системи система є модульною. В подальшому це дозволить легко нарощувати її потенціал (збільшити кількість датчиків і виконавчих механізмів). Перейдемо до вибору апаратного забезпечення запропонованої системи [11].

## 2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу

Ефективність роботи системи моніторингу мікроклімату значною мірою залежить від правильного вибору апаратного забезпечення. Оскільки підземний паркінг характеризується обмеженим повітрообміном, підвищеною вологістю, наявністю шкідливих газів та можливістю використання приміщення як укриття під час надзвичайних ситуацій, усі компоненти системи повинні забезпечувати високу надійність, достатню точність вимірювань та можливість безперервної роботи протягом тривалого часу.

Під час вибору апаратного забезпечення основна увага буде приділена таким критеріям, як точність вимірювання, надійність роботи в умовах підвищеної вологості, доступність компонентів на ринку, простота інтеграції в єдину систему та можливість подальшого розширення функціональних можливостей. Важливим фактором також є сумісність усіх елементів між собою та підтримка сучасних засобів розробки програмного забезпечення.

З огляду на кількість контрольованих параметрів та необхідність одночасного підключення значної кількості периферійних пристроїв доцільним є використання мікроконтролерної платформи з достатньою кількістю входів-виходів та необхідним запасом обчислювальних ресурсів. Для контролю параметрів мікроклімату доцільно застосовувати цифрові та електрохімічні сенсори, які забезпечують високу точність вимірювання та стійкість до впливу зовнішніх факторів. Для керування вентиляційним обладнанням і системами підтримання мікроклімату необхідно використовувати модулі комутації, здатні працювати з навантаженнями промислового призначення. Відображення інформації про стан системи доцільно реалізувати за допомогою дисплея та світлових індикаторів, а налаштування режимів роботи виконувати за допомогою кнопок керування.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

### 2.2.1 Вибір мікроконтролера

Для вибору керуючої платформи було розглянуто декілька поширених рішень, які широко використовуються в системах автоматизації та моніторингу навколишнього середовища: Arduino Uno, Arduino Mega 2560 та ESP32. Основні характеристики зазначених платформ наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння мікроконтролерних платформ

Характеристика	Arduino Uno	Arduino Mega 2560	ESP32
Мікроконтролер	ATmega328P	ATmega2560	Tensilica LX6
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	до 240 МГц
Flash-пам'ять	32 КБ	256 КБ	4 МБ
Оперативна пам'ять	2 КБ	8 КБ	520 КБ
Аналогові входи	6	16	до 18
Цифрові входи/виходи	14	54	34
Апаратні UART	1	4	3
Wi-Fi/Bluetooth	Ні	Ні	Так

Плата Arduino Uno є одним із найпоширеніших рішень для навчальних та експериментальних проєктів. Однак через обмежену кількість входів-виходів та невеликий обсяг пам'яті її використання для даної системи є недоцільним. При підключенні великої кількості датчиків та виконавчих механізмів виникає необхідність використання додаткових модулів розширення, що ускладнює конструкцію та знижує надійність системи.

Платформа ESP32 має значно вищу продуктивність та підтримує бездротові інтерфейси Wi-Fi і Bluetooth. Проте відповідно до поставленого технічного завдання система передбачає локальне керування за допомогою кнопок та відображення інформації на дисплеї без використання хмарних сервісів або мобільних застосунків. Тому значна частина функціональних можливостей ESP32 у даному проєкті не буде використовуватися, що робить її застосування економічно необґрунтованим.

З урахуванням особливостей розроблюваної системи найбільш доцільним є використання платформи Arduino Mega 2560 (схема наведена на рис. 2.2), побудованої на базі мікроконтролера ATmega2560. Дана плата має достатній обсяг програмної пам'яті, значну кількість цифрових та аналогових входів-виходів (рис.2.3), а також чотири апаратні послідовні інтерфейси UART, що дозволяє одночасно підключати декілька цифрових датчиків і засобів індикації без використання додаткових апаратних рішень.

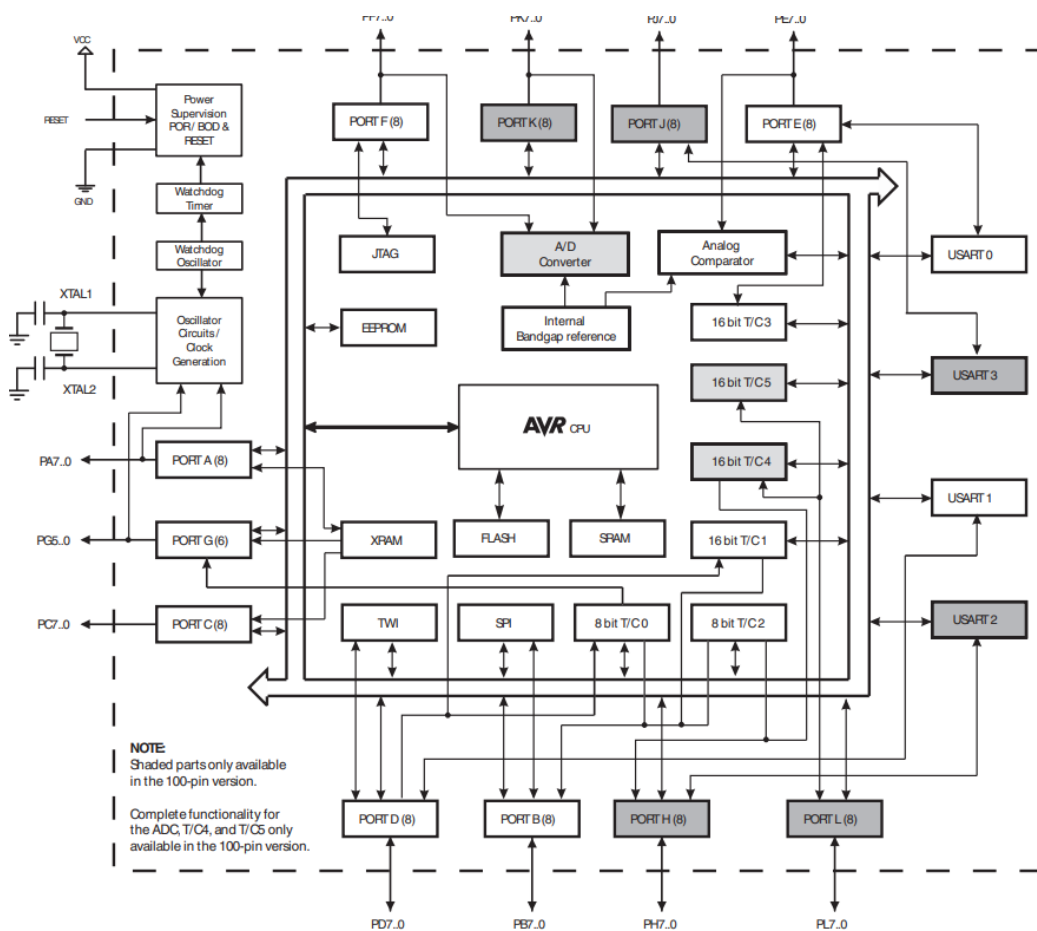


Рисунок 2.2 - Block Diagram Arduino Mega 2560

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ

Арк.

26

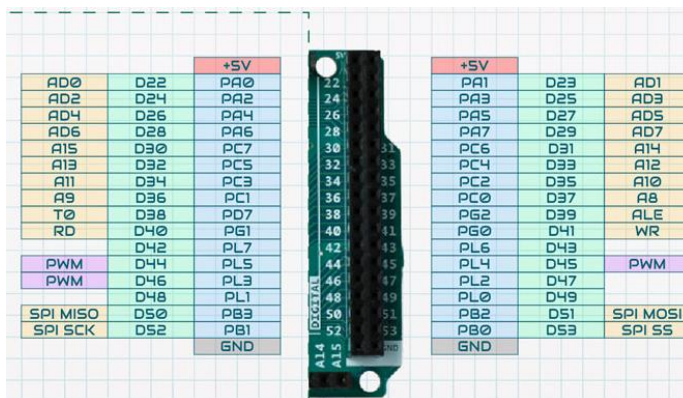
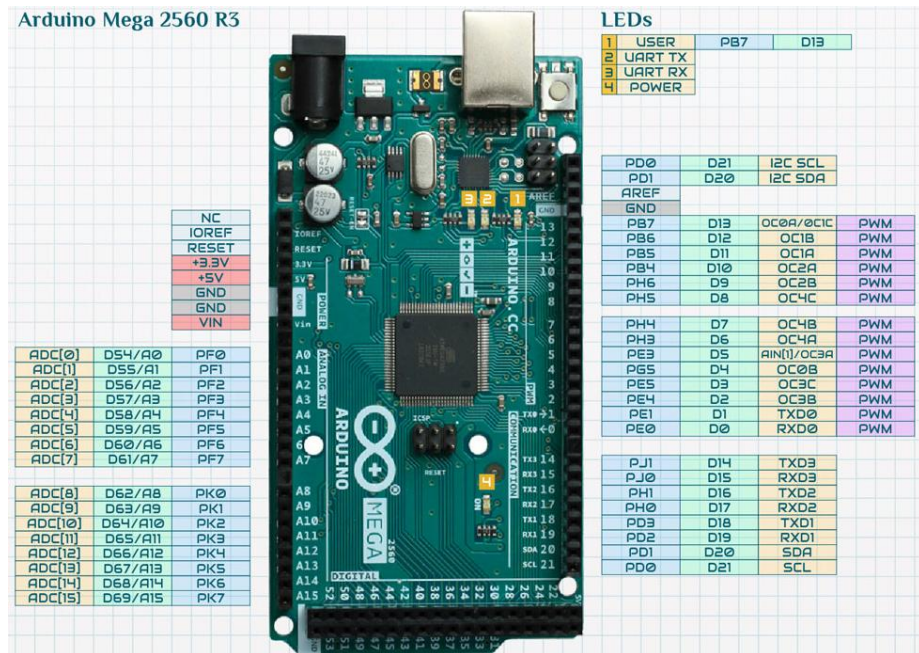


Рисунок 2.3 – Перелік виводів Arduino Mega 2560

Синім кольором позначені назви виходів безпосередньо контролера ATmega2560, зеленим – нумерація виходів плати, фіолетовим – порти з підтримкою функції генерації ШІМ-сигналу, жовтим – додаткові функції, які можуть бути використані для тих чи інших портів, наприклад, інтерфейсні лінії SPI, I2C та UART.

Важливою перевагою Arduino Mega 2560 є широка підтримка бібліотек та програмних засобів розробки, що суттєво спрощує процес створення програмного забезпечення. Крім того, платформа характеризується високою надійністю, простотою інтеграції з периферійними пристроями та доступністю компонентів на ринку.

Таким чином, для реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу обрано мікроконтролерну платформу Arduino Mega 2560, яка найбільш повно відповідає вимогам проєкту щодо кількості підключених пристроїв, функціональних можливостей, надійності та вартості реалізації системи.

### 2.2.2 Обґрунтування вибору датчиків температури та вологості

Контроль температури та відносної вологості є одним із основних завдань системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу. Температура впливає на комфорт перебування людей, роботу вентиляційного обладнання та утворення конденсату, а вологість є важливим показником, що характеризує ризик корозії металевих конструкцій і погіршення умов експлуатації приміщення.

Для реалізації системи було розглянуто датчики DS18B20, DHT22 та SHT31 (табл.2.2)

Таблиця 2.2 – Порівняння характеристик датчиків температури

Характеристика	DS18B20	DHT22	SHT31
Тип датчика	Цифровий	Цифровий	Цифровий
Вимірюваний параметр	Температура	Температура, вологість	Температура, вологість
Діапазон вимірювання температури, °C	-55...+125	-40...+80	-40...+125
Типова похибка температури, °C	±0,5	±0,5	±0,3
Роздільна здатність, °C	0,0625	0,1	0,015
Інтерфейс підключення	1-Wire	Single Wire	I <sup>2</sup> C
Швидкість оновлення даних	Висока	Низька	Висока
Вбудоване калібрування	Так	Так	Так
Стійкість до підвищеної вологості	Висока	Середня	Висока
Додаткове вимірювання вологості	Ні	Так	Так
Вартість	Низька	Низька	Середня

Датчик DS18B20 забезпечує широкий діапазон вимірювання температури та високу завадостійкість, проте не дозволяє контролювати

вологість повітря. Датчик DHT22 забезпечує кращі метрологічні характеристики, однак має відносно невисоку швидкість оновлення даних та чутливість до впливу вологи при тривалій експлуатації.

З урахуванням умов роботи підземного паркінгу доцільно використовувати датчик SHT31. Його перевагами є висока точність вимірювання температури та вологості, цифровий інтерфейс передачі даних, стабільність показників протягом тривалого часу та стійкість до впливу підвищеної вологості. Завдяки використанню заводського калібрування забезпечується висока достовірність отриманих результатів без необхідності додаткового налаштування. Схема підключення наведена на рис. 2.4.

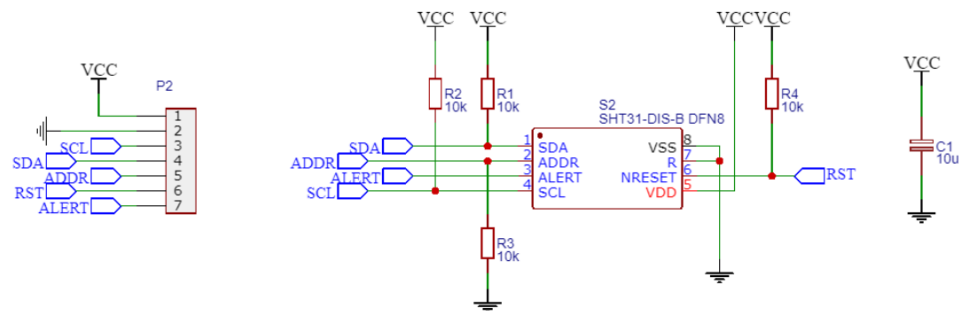


Рисунок 2.4 – Схема підключення датчика SHT31

Для умов підземного паркінгу будемо використовувати SHT31-DIS-F (або SHT31-DIS-F2.5kS) на який безпосередньо на заводі наклеєна спеціальна PTFE (тефлонова) фільтрувальна мембрана. Вона захищає сенсор від води та пилу відповідно до стандарту IP67, не впливаючи на точність і майже не сповільнюючи час реакції (відгук ~8 секунд).

### 2.2.3 Обґрунтування вибору датчиків контролю якості повітря

Для забезпечення безпечних умов експлуатації підземного паркінгу необхідно контролювати не лише параметри мікроклімату, але й концентрацію шкідливих газів та продуктів горіння. Особливу небезпеку

становлять вихлопні гази автомобілів, накопичення вуглекислого газу при перебуванні великої кількості людей, а також поява диму та парів паливно-мастильних матеріалів. У зв'язку з цим до складу системи включено комплекс датчиків контролю якості повітря та загазованості [5].

Концентрація вуглекислого газу є одним із найважливіших показників якості повітря. У підземному паркінгу рівень CO<sub>2</sub> може зростати як внаслідок роботи автомобілів, так і через перебування значної кількості людей під час використання приміщення як укриття.

Для вимірювання концентрації вуглекислого газу було розглянуто датчики серій MQ та інфрачервоні датчики типу NDIR. Сенсори сімейства MQ мають низьку вартість, однак характеризуються невисокою вибірковістю та значною залежністю показників від температури і вологості навколишнього середовища (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняння характеристик датчиків вуглекислого газу

Характеристика	MQ-135	CCS811	MH-Z19B
Принцип роботи	Напівпровідниковий	VOC/eCO <sub>2</sub>	NDIR (інфрачервоний)
Основне призначення	Оцінка якості повітря	Оцінка якості повітря	Вимірювання CO <sub>2</sub>
Діапазон вимірювання CO <sub>2</sub> , ppm	Приблизний	400–8192	0–5000
Типова похибка	Висока	±(10–15)%	±(50 ppm + 5%)
Вибірковість до CO <sub>2</sub>	Низька	Середня	Висока
Чутливість до інших газів	Висока	Висока	Низька
Вплив температури та вологості	Значний	Середній	Незначний
Час стабілізації	До 24 год	До 20 хв	До 3 хв
Інтерфейс підключення	Аналоговий	I <sup>2</sup> C	UART, PWM
Напруга живлення	5 В	3,3 В	5 В
Струм споживання	до 150 мА	до 30 мА	до 60 мА
Автоматичне калібрування	Ні	Так	Так
Складність використання	Низька	Середня	Низька
Вартість	Низька	Середня	Середня

Більш доцільним рішенням є використання датчика МН-Z19В, який працює за інфрачервоним принципом вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>. Датчик забезпечує достатню точність, має цифровий інтерфейс підключення та характеризується високою стабільністю показників упродовж тривалого часу експлуатації. Крім того, він має низьку чутливість до впливу інших газів, що є важливою перевагою в умовах підземного паркінгу [6].

Ураховуючи наведені фактори, для контролю концентрації вуглекислого газу обрано датчик МН-Z19В.

Чадний газ є одним із найнебезпечніших компонентів вихлопних газів автомобілів. Навіть незначне перевищення його концентрації може негативно впливати на самопочуття людини, а при значних концентраціях становить безпосередню загрозу життю.

Для контролю чадного газу розглядалися датчики MQ-7 та MQ-9. Датчик MQ-9 призначений для виявлення декількох видів газів одночасно, що знижує точність визначення саме чадного газу. Натомість MQ-7 спеціально розроблений для контролю концентрації CO та характеризується кращою чутливістю до цього газу.

Датчик MQ-7 побудований на основі напівпровідникового сенсора, має просту схему підключення та широко використовується в системах екологічного моніторингу. Незважаючи на необхідність попереднього прогріву та періодичного калібрування, його точності достатньо для навчального проєкту та реалізації функцій автоматичного керування вентиляцією [13].

Таким чином, для контролю концентрації чадного газу в системі обрано датчик MQ-7.

Діоксид азоту є одним із продуктів згоряння палива в автомобільних двигунах та використовується в багатьох промислових системах контролю паркінгів як додатковий показник забруднення повітря вихлопними газами.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Серед доступних для мікроконтролерних систем датчиків найбільш поширеними є модулі на основі електрохімічних сенсорів MICS-2714. Вони забезпечують достатню чутливість до діоксиду азоту та можуть інтегруватися в системи екологічного моніторингу без використання складного додаткового обладнання.

Для підвищення рівня безпеки система повинна забезпечувати виявлення задимлення, яке може виникнути внаслідок пожежі або аварійної ситуації [8].

Для реалізації даної функції доцільно використовувати датчик MQ-2. Він здатний реагувати на дим, горючі гази та продукти горіння, має просте підключення до мікроконтролера та характеризується невисокою вартістю. Використання такого датчика дозволяє своєчасно формувати аварійні сигнали та запускати відповідні алгоритми реагування.

Для умов підземного паркінгу датчик MQ-2 забезпечує достатню функціональність та відповідає вимогам проєктованої системи.

Для контролю VOC (Volatile Organic Compounds — летких органічних сполук) доцільно додати окремий датчик до складу системи [7].

Для підземного паркінгу контроль VOC є досить актуальним, оскільки він дозволяє виявляти:

- пари бензину;
- пари дизельного палива;
- випаровування мастил;
- розчинники;
- інші леткі органічні речовини;
- загальне погіршення якості повітря.

Особливо це важливо в умовах недостатньої вентиляції або під час тривалого перебування людей у приміщенні [14]. Для проєкту можна розглянути декілька датчиків (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Порівняння датчиків VOC

Характеристика	CCS811	BME680	SGP30
Контроль VOC	Так	Так	Так
eCO <sub>2</sub>	Так	Ні	Так
Температура	Ні	Так	Ні
Вологість	Ні	Так	Ні
Атмосферний тиск	Ні	Так	Ні
Інтерфейс	I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C, SPI	I <sup>2</sup> C
Напруга живлення	3,3 В	3,3 В	1,8–3,3 В
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Низьке
Складність інтеграції	Низька	Середня	Низька
Вартість	Середня	Середня	Середня

Для нашого проекту CCS811 має декілька переваг.

По-перше, датчик спеціально розроблений для систем контролю якості повітря в приміщеннях. Він безпосередньо формує показник TVOC (Total Volatile Organic Compounds), який використовується для оцінки загального рівня летких органічних сполук у повітрі.

По-друге, CCS811 додатково розраховує показник CO<sub>2</sub>, який може використовуватися як допоміжний індикатор якості повітря. Хоча в системі вже передбачений окремий датчик MH-Z19B для точного вимірювання CO<sub>2</sub>, наявність додаткового параметра дозволяє виконувати взаємний контроль показників.

По-третє, датчик має простий цифровий інтерфейс I<sup>2</sup>C та не потребує складних алгоритмів обробки сигналу. Це спрощує програмну реалізацію системи та зменшує навантаження на мікроконтролер Arduino Mega.

Підсумую вибір датчиків в загальну табл. 2.5.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Склад сенсорної підсистеми системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу

Датчик	Контрольований параметр	Призначення
SHT31-DIS-F	Температура, відносна вологість повітря	Контроль температурного режиму паркінгу Контроль вологості та запобігання утворенню конденсату
MH-Z19B	Концентрація CO <sub>2</sub>	Контроль якості повітря та умов перебування людей
MQ-7	Концентрація CO	Контроль чадного газу від автомобільних вихлопів
MICS-2714	Концентрація NO <sub>2</sub>	Контроль забруднення повітря вихлопними газами
MQ-2	Дим та горючі гази	Виявлення задимлення та пожежонебезпечних ситуацій
CCS811	VOC (леткі органічні сполуки)	Контроль парів палива, мастил та загальної якості повітря

Таким чином, для контролю параметрів повітряного середовища підземного паркінгу обрано комплекс датчиків, який забезпечує вимірювання температури та вологості повітря, концентрацій CO<sub>2</sub>, CO та NO<sub>2</sub>, контроль рівня летких органічних сполук і виявлення задимлення. Обраний набір сенсорів дозволяє реалізувати комплексний моніторинг мікроклімату та забезпечити своєчасне керування системами вентиляції й оповіщення відповідно до поточного стану повітряного середовища.

#### 2.2.4 Обґрунтування вибору елементів керування і відображення інформації

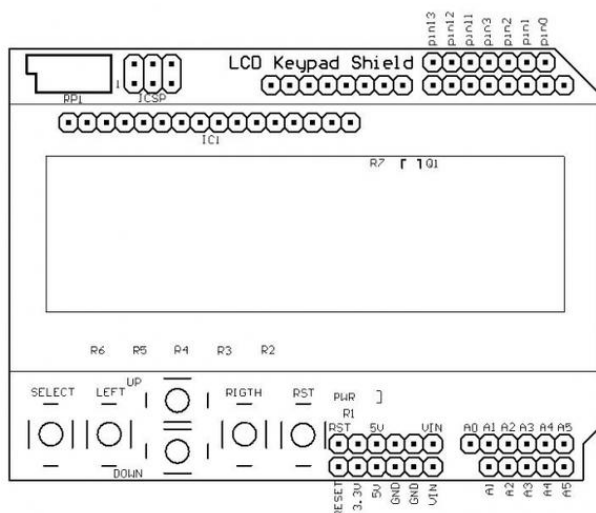
З урахуванням сумісності з мікроконтролерною платформою Arduino Mega 2560, простоти підключення та невисокої вартості реалізації в якості панелі керування було обрано готову плату розширення Arduino LCD Keypad Shield. Дана плата поєднує засоби індикації та керування в одному конструктивному виконанні, що дозволяє спростити монтаж системи та зменшити кількість зовнішніх компонентів [17].

Зовнішній вигляд плати розширення наведено на рис. 2.5, а схема - на рис. 2.6.



Рисунок 2.5 – Плата LCD Keypad МК

Плата Arduino LCD Keypad Shield містить рідкокристалічний дисплей LCD1602, який дозволяє відобразити два рядки по шістнадцять символів. За допомогою дисплея можуть відобразитися значення температури та вологості повітря, концентрації CO<sub>2</sub>, CO та NO<sub>2</sub>, показники якості повітря, а також інформація про режими роботи вентиляційної системи та аварійні повідомлення.



Pin	Function
Analog 0	Button (select, up, right, down and left)
Digital 4	DB4
Digital 5	DB5
Digital 6	DB6
Digital 7	DB7
Digital 8	RS (Data or Signal Display Selection)
Digital 9	Enable
Digital 10	Backlit Control

Make sure pin 10 is input, if it's set to output and put high, it will cause the pin to drive the backlight directly, which will exceed the maximum output load of the MCU IO pins

Рисунок 2.6 – Схема виводів Arduino LCD Keypad Shield

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ

Для керування системою на платі передбачено шість кнопок: RIGHT, LEFT, UP, DOWN, SELECT та RESET. Кнопки навігації використовуються для перегляду параметрів, переходу між пунктами меню та зміни налаштувань системи. Кнопка SELECT забезпечує підтвердження вибраних параметрів, а кнопка RESET дозволяє виконати перезапуск контролера [18].

Особливістю плати є підключення кнопок через резистивний дільник до одного аналогового входу мікроконтролера. Це дозволяє зменшити кількість задіяних входів Arduino Mega 2560 та залишити додаткові ресурси для підключення датчиків і виконавчих механізмів (рис. 2.7).

На платі також розміщено потенціометр регулювання контрастності дисплея, що дозволяє налаштовувати зручність відображення інформації залежно від умов експлуатації. Габаритні розміри плати становлять 60×83×20 мм, що забезпечує її компактне розміщення в корпусі системи.

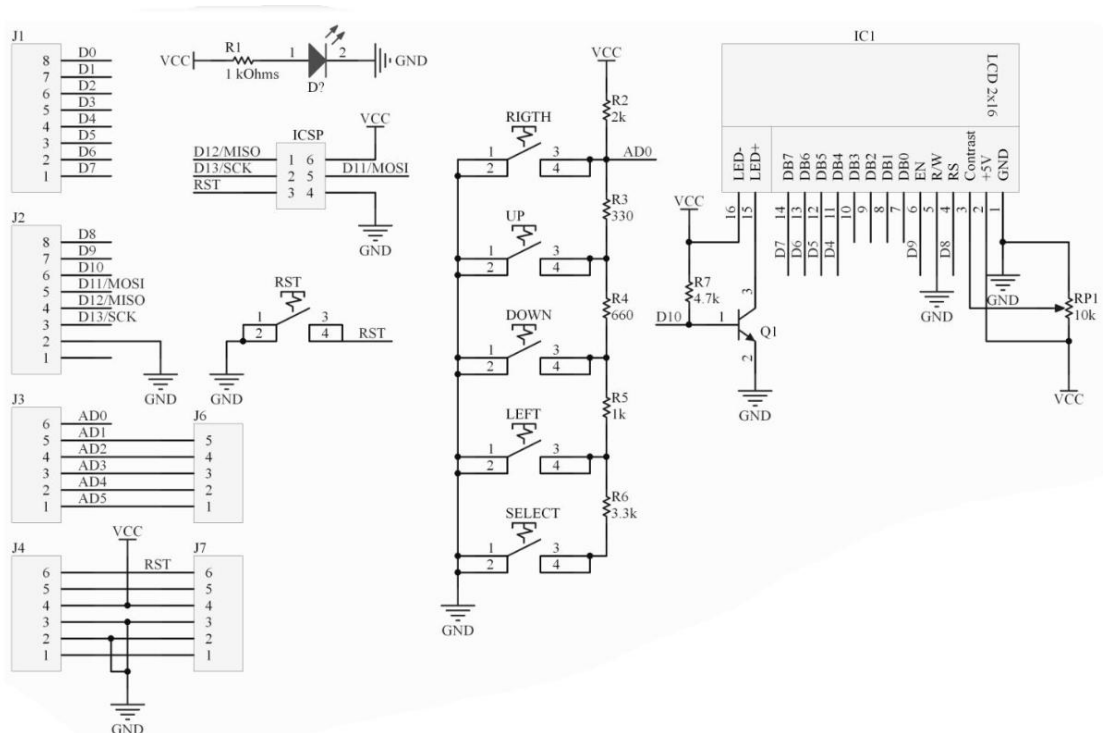


Рисунок 2.7 – Електрична принципова схема плати індикації та управління

### 2.2.5 Обґрунтування вибору системи комутації навантажень

Оскільки вихідні сигнали мікроконтролера Arduino Mega 2560 мають низький рівень напруги та струму, безпосередня комутація силових навантажень на виконавчі механізми, до яких належать припливна вентиляція, витяжна вентиляція, система кондиціонування повітря, а також засоби світлового та звукового оповіщення є неможливою. Для вирішення даної задачі необхідно використовувати спеціальний модуль комутації навантажень.

При розробці системи було розглянуто декілька варіантів реалізації виконавчого модуля, зокрема електромагнітні реле, твердотільні реле та симісторні ключі. Для керування навантаженнями змінного струму найбільш доцільним є використання симісторної комутації, яка забезпечує високу надійність, відсутність механічного зношування контактів та тривалий термін експлуатації.

Схема комутації навантажень побудована на симісторах типу ВТА16-600, які дозволяють комутувати навантаження мережі змінного струму та характеризуються достатнім запасом за струмом і напругою для роботи з вентиляційним обладнанням та системами кондиціонування. Для забезпечення електричної ізоляції між силовою та керуючою частинами використані оптосимісторні розв'язки МОС3021. Використання оптоелектронної розв'язки підвищує електробезпеку системи та захищає мікроконтролер від впливу перешкод, що виникають у силових колах.

Для зменшення електромагнітних завад та коректного перемикавання навантажень передбачено схему детектування переходу мережевої напруги через нуль. Такий підхід дозволяє виконувати комутацію в моменти мінімального значення струму, що знижує рівень імпульсних завад та збільшує ресурс роботи силових елементів.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3 Розробка електричної принципової схеми пристрою

Оскільки розроблювана система моніторингу мікроклімату підземного паркінгу будується на основі готових модулів та плат розширення, електрична принципова схема пристрою складається з окремих функціональних вузлів: центрального контролера, сенсорної підсистеми, підсистеми індикації та керування, виконавчого модуля комутації навантажень і системи живлення.

До Arduino Mega 2560 підключається комплекс датчиків контролю параметрів повітряного середовища. Датчик температури та відносної вологості SHT31 і датчик летких органічних сполук CCS811 підключаються через спільну шину I<sup>2</sup>C до виводів SDA та SCL мікроконтролера. Датчик концентрації вуглекислого газу MH-Z19B використовує послідовний інтерфейс UART та підключається до одного з апаратних послідовних портів контролера. Датчики MQ-7, MQ-2 та MICS-2714 формують аналогові сигнали, які надходять на аналогові входи вбудованого аналого-цифрового перетворювача Arduino Mega 2560.

Для керування виконавчими механізмами використовується окремий модуль комутації навантажень, принципова схема якого наведена на рис. 2.8. Схема побудована на симісторах типу ВТА16-600, які забезпечують комутацію навантажень змінного струму. Керування симісторами здійснюється через оптосимісторні драйвери МОС3021, що забезпечують гальванічну розв'язку між силовою та низьковольтною частинами системи. Для зменшення електромагнітних завад та коректного перемикавання навантажень передбачено вузол детектування переходу мережевої напруги через нуль, реалізований на оптопарі, діодному мості та обмежувальних резисторах.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

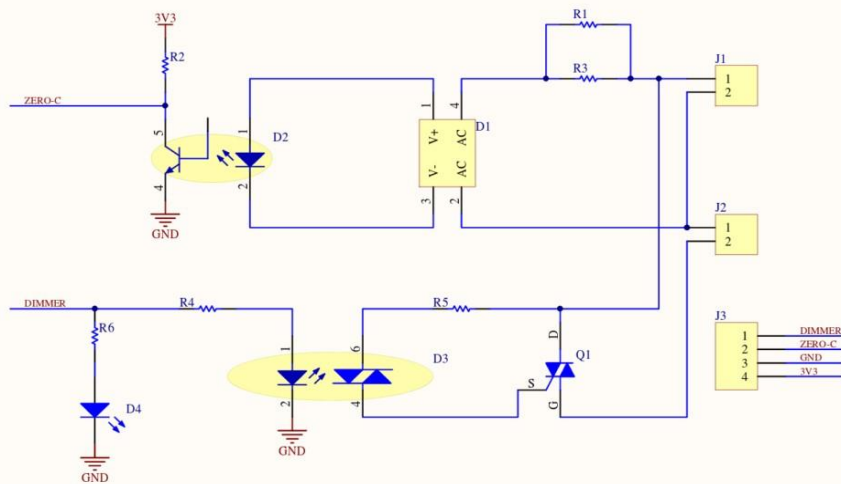


Рисунок 2.8 – Частина принципової схеми плати комутації навантажень

До виконавчого модуля підключаються припливна вентиляція, витяжна вентиляція, система кондиціонування повітря, світлова аварійна сигналізація та звуковий оповіслювач (табл. 2.6). Вмикання відповідних навантажень здійснюється автоматично відповідно до результатів аналізу параметрів мікроклімату.

Таблиця 2.6 – Підключення виконавчих механізмів

Пристрій	Вхід модуля комутації	Вивід Arduino Mega 2560
Припливна вентиляція	IN1	D22
Витяжна вентиляція	IN2	D24
Кондиціонування	IN3	D26
Світлова сигналізація	IN4	D28
Звукова сигналізація	IN5	D30

Живлення системи забезпечується імпульсним блоком живлення, принципова схема якого наведена на рис. 2.9.

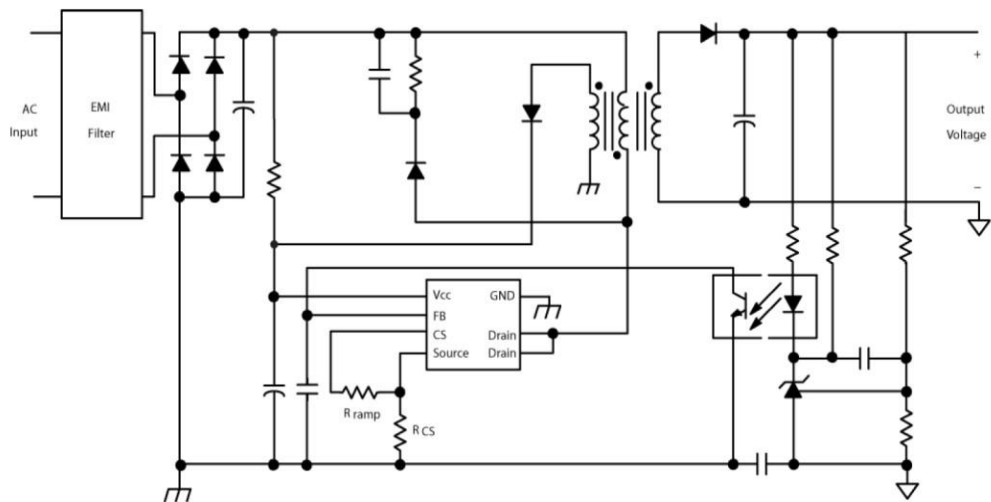


Рисунок 2.9 – Принципова схема імпульсного блоку живлення

Блок живлення містить мережевий випрямляч, високочастотний перетворювач, трансформатор, кола стабілізації вихідної напруги та вузол зворотного зв'язку на основі оптопари. Вихідна напруга 5 В використовується для живлення мікроконтролера, датчиків, плати індикації та виконавчих модулів. Для забезпечення безперервної роботи системи передбачена можливість підключення резервного джерела живлення.

Розроблена електрична принципова схема забезпечує взаємодію всіх функціональних вузлів системи, реалізацію безперервного контролю параметрів мікроклімату та автоматичне керування інженерними системами підземного паркінгу.

В табл. 2.7 наведено підключення датчиків контролю параметрів повітряного середовища.

Розподіл входів мікроконтролера між датчиками забезпечує одночасне використання цифрових та аналогових інтерфейсів без конфлікту ресурсів. Для підключення цифрових датчиків використовується шина I<sup>2</sup>C та послідовний інтерфейс UART, тоді як датчики MQ-7, MiCS-2714 та MQ-2 використовують аналогові входи вбудованого аналого-цифрового перетворювача.

Таблиця 2.7 – Підключення датчиків до Arduino Mega 2560

Датчик	Вивід датчика	Вивід Arduino Mega 2560
SHT31-DIS-F	VCC	3.3 В
	GND	GND
	SDA	20 (SDA)
	SCL	21 (SCL)
MH-Z19B	VCC	5 В
	GND	GND
	TX	RX1 (19)
	RX	TX1 (18)
MQ-7	VCC	5 В
	GND	GND
	AO	A8
	DO	Не використовується
MiCS-2714	VCC	5 В
	GND	GND
	AO	A9
	DO	Не використовується
MQ-2	VCC	5 В
	GND	GND
	AO	A10
	DO	Не використовується
CCS811	VCC	3.3 В
	GND	GND
	SDA	20 (SDA)
	SCL	21 (SCL)
	WAKE	GND
	INT	Не використовується
	RST	Не використовується

Загальна електрична принципова схема пристрою наведена на окремому кресленні графічної частини проекту.

#### 2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення

Враховуючи використання мікроконтролерної платформи Arduino Mega 2560, для розробки програмного забезпечення обрано інтегроване середовище Arduino IDE.

Для реалізації функцій системи необхідно використовувати набір спеціалізованих бібліотек, що забезпечують взаємодію з датчиками, засобами індикації та виконавчими механізмами. Використання готових програмних

бібліотек дозволяє значно скоротити час розробки програмного забезпечення, підвищити його надійність та забезпечити коректну роботу апаратних компонентів.

Перелік основних програмних бібліотек наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Програмні бібліотеки системи

Бібліотека	Призначення
Wire.h	Робота з інтерфейсом I <sup>2</sup> C
LiquidCrystal.h	Керування LCD1602 дисплеєм плати LCD Keypad Shield
SHT31.h або Adafruit_SHT31.h	Робота з датчиком температури та вологості SHT31
MHZ19.h	Отримання даних від датчика CO <sub>2</sub> MH-Z19B
Adafruit_CCS811.h	Робота з датчиком VOC CCS811
EEPROM.h	Збереження налаштувань користувача в енергонезалежній пам'яті
TimerOne.h	Реалізація періодичного опитування датчиків
avr/wdt.h	Контроль зависання програми за допомогою сторожового таймера

Для датчиків MQ-7, MQ-2 та MICS-2714 використання спеціалізованих бібліотек не є обов'язковим, оскільки вони формують аналоговий сигнал, який безпосередньо зчитується вбудованим аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера Arduino Mega 2560.

Програмне забезпечення системи повинно виконувати безперервне опитування датчиків, аналізувати отримані дані та порівнювати їх із встановленими пороговими значеннями. У випадку перевищення допустимих концентрацій шкідливих газів або погіршення параметрів мікроклімату

програма формує сигнали керування виконавчими механізмами, зокрема системами вентиляції, кондиціонування та аварійного оповіщення.

Для підвищення надійності роботи системи передбачено використання сторожового таймера Watchdog, який забезпечує автоматичне перезавантаження мікроконтролера у випадку виникнення програмних збоїв. Крім того, налаштування користувача та порогові значення параметрів зберігаються в енергонезалежній пам'яті EEPROM, що дозволяє відновлювати роботу системи після вимкнення живлення без повторного налаштування.

Таким чином, обране програмне забезпечення забезпечує повну підтримку всіх апаратних компонентів системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу, дозволяє реалізувати алгоритми контролю параметрів повітряного середовища та керування виконавчими механізмами, а також забезпечує необхідний рівень надійності та функціональності системи.

					<i>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						43
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Розробка алгоритму функціонування системи

Алгоритм роботи програмного забезпечення системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу наведений на рис. 3.1. Його основним призначенням є автоматизований контроль параметрів повітряного середовища, керування системами вентиляції та кондиціонування, а також формування аварійних повідомлень у разі виникнення небезпечних ситуацій.

Після подачі живлення на пристрій виконується запуск мікроконтролера Arduino Mega 2560 та перехід до процедури ініціалізації. На цьому етапі налаштовуються цифрові та аналогові входи і виходи, необхідні для роботи датчиків та виконавчих механізмів. Одночасно здійснюється ініціалізація інтерфейсів зв'язку, які використовуються для обміну даними з датчиками температури і вологості SHT31, датчиком концентрації вуглекислого газу MH-Z19B, датчиком летких органічних сполук CCS811, а також аналоговими датчиками MQ-7, MiCS-2714 та MQ-2.

Після завершення налаштування периферійних пристроїв виконується запуск дисплея LCD1602, на який виводиться службове повідомлення про готовність системи до роботи. Далі програма переходить до основного циклу функціонування.

На початку кожного циклу здійснюється зчитування показників усіх датчиків системи. Отримуються значення температури та вологості повітря, концентрації вуглекислого газу, чадного газу, діоксиду азоту, летких органічних сполук та рівня задимлення. Після завершення вимірювання результати відображаються на дисплеї, що дозволяє користувачу контролювати поточний стан повітряного середовища підземного паркінгу.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Найдух С. С.			<b>Практична частина</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Микитишин А.					44	13
<i>Реценз.</i>						<b>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</b>		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

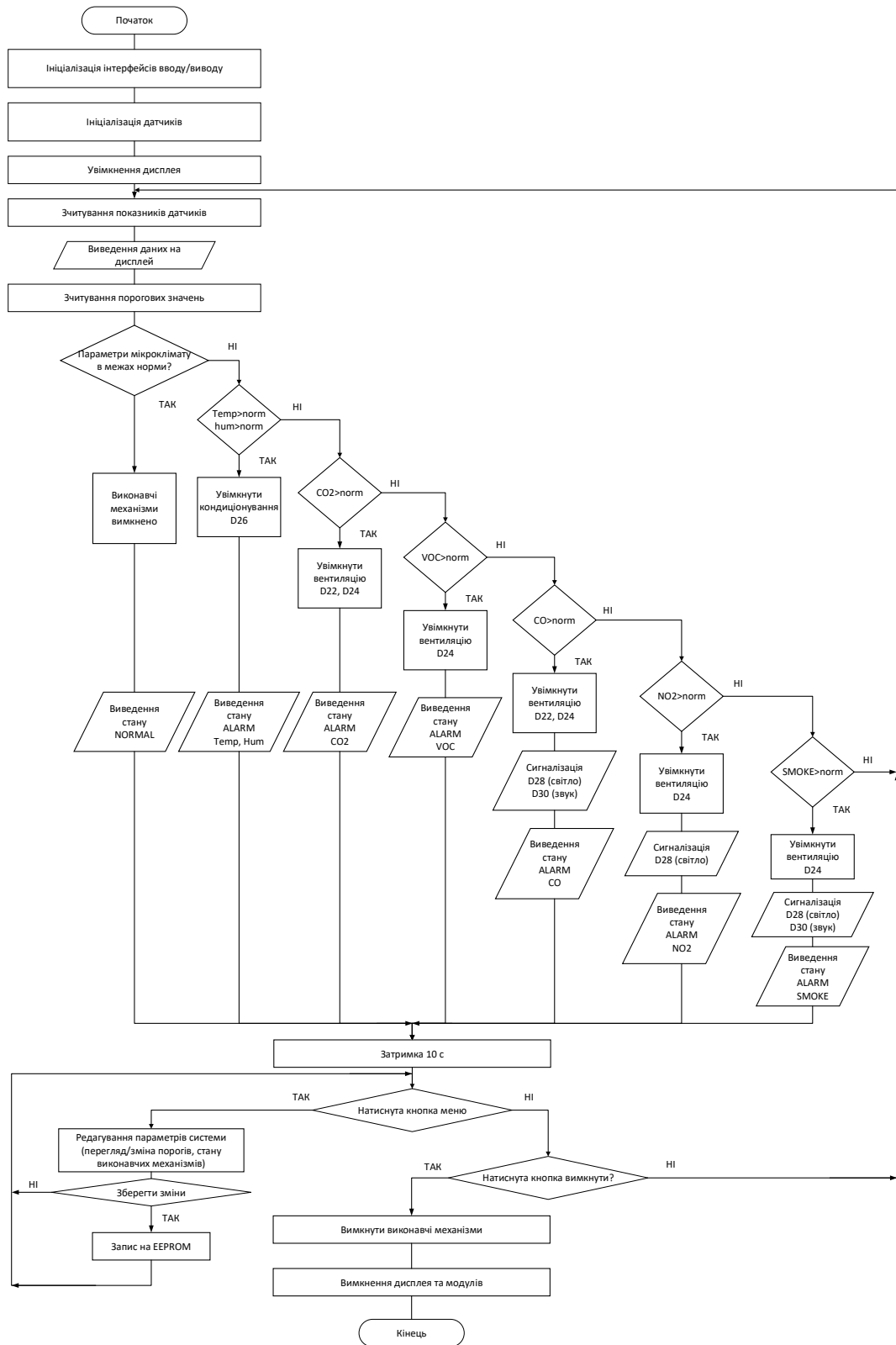


Рисунок 3.1 – Загальний алгоритм роботи програмного забезпечення

Під час запуску системи виконується зчитування порогових значень із пам'яті EEPROM, після чого вони зберігаються в оперативній пам'яті мікроконтролера та використовуються під час подальшої роботи алгоритму.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Збережені порогові значення (табл.3.1) використовуються для порівняння з поточними вимірними параметрами та прийняття рішення щодо необхідності втручання в роботу системи.

Таблиця 3.1 – Порогові значення контрольованих параметрів системи

Параметр	Позначення в програмі	Нормальний діапазон	Поріг спрацювання
Температура повітря	TMAX	14...28 °C	> 28 °C або < 14 °C
Відносна вологість	RHMAX	40...70 %	> 70 % або < 40 %
Концентрація CO <sub>2</sub>	CO2_LIMIT	до 1000 ppm	> 1000 ppm
Концентрація VOC	VOC_LIMIT	до 300 ppb	> 300 ppb
Концентрація CO	CO_LIMIT	до 25 ppm	> 25 ppm
Концентрація NO <sub>2</sub>	NO2_LIMIT	до 1 ppm	> 1 ppm
Задимлення	SMOKE_LIMIT	відсутнє	Перевищення порогу датчика MQ-2

Першою виконується перевірка загального стану мікроклімату. Якщо всі параметри знаходяться в допустимих межах, виконавчі механізми залишаються вимкненими, а на дисплей виводиться повідомлення про нормальний режим роботи системи. Після цього виконується затримка тривалістю 10 секунд, після чого цикл повторюється.

Якщо хоча б один із параметрів виходить за допустимі межі, програма переходить до поетапного аналізу причин відхилення. Спочатку перевіряються температура та вологість повітря. При перевищенні допустимих значень або виході за встановлений діапазон активується система кондиціонування, підключена до виходу D26. Одночасно на дисплей виводиться повідомлення про перевищення температури або вологості.

Після цього здійснюється контроль концентрації вуглекислого газу. Якщо концентрація CO<sub>2</sub> перевищує встановлений поріг, програма формує команду на ввімкнення припливної та витяжної вентиляції, підключених до

виходів D22 та D24 відповідно. Одночасно на дисплей виводиться повідомлення про підвищений рівень вуглекислого газу.

Наступним етапом виконується аналіз концентрації летких органічних сполук. При перевищенні допустимого рівня VOC система також активує вентиляцію для покращення повітрообміну та зменшення концентрації шкідливих речовин у приміщенні.

Особливу увагу алгоритм приділяє контролю чадного газу. При перевищенні допустимої концентрації CO система переходить до аварійного режиму роботи. У цьому режимі одночасно вмикаються припливна та витяжна вентиляція, світлова сигналізація та звуковий оповісчувач. На дисплей виводиться повідомлення про аварійний рівень чадного газу. Такий режим роботи зберігається до моменту нормалізації параметрів повітряного середовища.

Аналогічним чином здійснюється контроль концентрації діоксиду азоту. При перевищенні встановленого порогу активується вентиляція та світлова сигналізація. На дисплей виводиться повідомлення про підвищену концентрацію NO<sub>2</sub>. Звукова сигналізація не активується, оскільки перевищення концентрації NO<sub>2</sub> не потребує негайної евакуації персоналу, проте вимагає оперативного посилення вентиляції..

Останнім етапом аналізу є контроль задимлення. При спрацюванні датчика MQ-2 система переходить у режим пожежної небезпеки. Одночасно активуються припливна та витяжна вентиляція, світлова сигналізація та звуковий оповісчувач. На дисплей виводиться повідомлення про виявлення диму. Даний режим має найвищий пріоритет серед усіх аварійних режимів роботи системи.

Після завершення аналізу параметрів програма виконує затримку тривалістю 10 секунд, що дозволяє уникнути надмірного навантаження на мікроконтролер та забезпечує стабільність вимірювань. Після закінчення затримки перевіряється стан кнопок керування.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі натискання кнопки входу до меню користувач переходить до режиму налаштування системи. У цьому режимі забезпечується перегляд поточних параметрів, зміна порогових значень спрацювання датчиків та контроль стану виконавчих механізмів. Після завершення редагування користувач може зберегти внесені зміни до пам'яті EEPROM. У випадку підтвердження запису нові параметри стають активними та використовуються під час наступних циклів роботи системи.

Якщо кнопка меню не натиснута, програма перевіряє команду завершення роботи системи. При надходженні команди вимкнення всі виконавчі механізми переводяться у неактивний стан, вимикається дисплей та периферійні модулі, після чого алгоритм завершує свою роботу. За відсутності команди вимкнення програма повертається до початку основного циклу та продовжує моніторинг параметрів мікроклімату підземного паркінгу.

### 3.1.1 Реалізація програмного забезпечення системи

Програмне забезпечення системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу реалізоване мовою програмування C++ у середовищі Arduino IDE. Для забезпечення роботи датчиків, дисплея та енергонезалежної пам'яті використовуються спеціалізовані програмні бібліотеки.

Підключення необхідних бібліотек виконується на початку програми:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_SHT31.h>
#include <Adafruit_CCS811.h>
#include <MHZ19.h>
#include <EEPROM.h>
#include <LiquidCrystal.h>
```

Після завантаження програми виконується ініціалізація всіх апаратних засобів системи.

Ініціалізація датчиків:

```
Adafruit_SHT31 sht31;
Adafruit_CCS811 ccs;
MHZ19 mhz19;
```

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Ініціалізація LCD-дисплея:

```
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,6);  
  
lcd.begin(16,2);  
lcd.clear();  
lcd.print("System Start");
```

Після подачі живлення виконується налаштування всіх входів та виходів мікроконтролера, запуск інтерфейсів зв'язку та початкова конфігурація периферійних пристроїв. Для керування виконавчими механізмами використовуються цифрові виходи D22, D24, D26, D28 та D30.

### Ініціалізація виконавчих механізмів:

```
#define FAN_IN      22  
#define FAN_OUT    24  
#define CONDITIONER 26  
#define LIGHT_ALARM 28  
#define SOUND_ALARM 30  
  
pinMode(FAN_IN, OUTPUT);  
pinMode(FAN_OUT, OUTPUT);  
pinMode(CONDITIONER, OUTPUT);  
pinMode(LIGHT_ALARM, OUTPUT);  
pinMode(SOUND_ALARM, OUTPUT);
```

Після завершення ініціалізації всі виконавчі механізми переводяться у вимкнений стан:

```
digitalWrite(FAN_IN, LOW);  
digitalWrite(FAN_OUT, LOW);  
digitalWrite(CONDITIONER, LOW);  
digitalWrite(LIGHT_ALARM, LOW);  
digitalWrite(SOUND_ALARM, LOW);
```

Після завершення процедури ініціалізації програма переходить до основного циклу роботи. У циклі здійснюється послідовне опитування всіх датчиків, аналіз отриманих значень та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів. Зчитування параметрів мікроклімату виконується таким чином:

```
float temperature = sht31.readTemperature();
```

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

```

float humidity    = sht31.readHumidity();

int co2 = mhz19.getCO2();

int coValue      = analogRead(A8);
int no2Value     = analogRead(A9);
int smokeValue  = analogRead(A10);

ccs.readData();
int voc = ccs.getTVOC();

```

Після отримання результатів вимірювання інформація виводиться на LCD-дисплей:

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("T=");
lcd.print(temperature);

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("H=");
lcd.print(humidity);

```

Далі виконується перевірка стану кнопок керування та перехід до наступного циклу опитування датчиків.

Основою роботи системи є алгоритм автоматичного керування мікрокліматом відповідно до показів датчиків. Після отримання вимірних значень здійснюється їх порівняння з допустимими межами. У випадку перевищення нормативних значень система формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

При перевищенні допустимих значень температури або вологості активується система кондиціонування:

```

if ((temperature > TMAX) ||
    (temperature < TMIN) ||
    (humidity > RHMAX) ||
    (humidity < RHMIN))
{
    digitalWrite(CONDITIONER, HIGH);
}
else
{
    digitalWrite(CONDITIONER, LOW);
}

```

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

При перевищенні допустимої концентрації вуглекислого газу активується припливна та витяжна вентиляція:

```
if(co2 > CO2_LIMIT)
{
    digitalWrite(FAN_IN, HIGH);
    digitalWrite(FAN_OUT, HIGH);
}
```

У випадку перевищення допустимого рівня летких органічних сполук також вмикається вентиляція:

```
if(voc > VOC_LIMIT)
{
    digitalWrite(FAN_IN, HIGH);
    digitalWrite(FAN_OUT, HIGH);
}
```

При перевищенні концентрації чадного газу система переходить в аварійний режим:

```
if(coValue > CO_LIMIT)
{
    digitalWrite(FAN_IN, HIGH);
    digitalWrite(FAN_OUT, HIGH);

    digitalWrite(LIGHT_ALARM, HIGH);
    digitalWrite(SOUND_ALARM, HIGH);
}
```

Аналогічно реалізується реагування на підвищення концентрації діоксиду азоту:

```
if(no2Value > NO2_LIMIT)
{
    digitalWrite(FAN_IN, HIGH);
    digitalWrite(FAN_OUT, HIGH);

    digitalWrite(LIGHT_ALARM, HIGH);
}
```

При спрацюванні датчика задимлення активується аварійний режим роботи:

```
if(smokeValue > SMOKE_LIMIT)
```

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

{
    digitalWrite(FAN_IN, HIGH);
    digitalWrite(FAN_OUT, HIGH);

    digitalWrite(LIGHT_ALARM, HIGH);
    digitalWrite(SOUND_ALARM, HIGH);
}

```

Для забезпечення необхідного повітрообміну використовується система припливної та витяжної вентиляції. Вентиляція активується при перевищенні допустимих концентрацій CO<sub>2</sub>, VOC, CO, NO<sub>2</sub> або при виявленні диму.

При виявленні небезпечних концентрацій чадного газу, діоксиду азоту або задимлення система активує світлову та звукову сигналізацію.

Для прикладу, реакція на перевищення концентрації чадного газу реалізується наступним фрагментом коду:

```

if (coValue > CO_LIMIT)
{
    digitalWrite(FAN_IN, HIGH);
    digitalWrite(FAN_OUT, HIGH);

    digitalWrite(LIGHT_ALARM, HIGH);
    digitalWrite(SOUND_ALARM, HIGH);

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("ALARM CO");
}

```

Аналогічним чином реалізується реагування на перевищення концентрації NO<sub>2</sub> та спрацювання датчика диму.

Для забезпечення гнучкого налаштування системи передбачена можливість зміни порогових значень спрацювання датчиків за допомогою кнопок LCD Keypad Shield.

Після входу до режиму налаштування користувач може змінювати порогови спрацювання для температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> та VOC.

Під час запуску системи збережені параметри автоматично завантажуються з енергонезалежної пам'яті:

```
EEPROM.get(0, TMAX);
```

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
EEPROM.get(4, RHMAX);  
EEPROM.get(8, CO2_LIMIT);  
EEPROM.get(12, CO_LIMIT);  
EEPROM.get(16, NO2_LIMIT);  
EEPROM.get(20, VOC_LIMIT);
```

Завдяки використанню EEPROM всі налаштування користувача зберігаються навіть після вимкнення живлення системи та автоматично відновлюються при наступному запуску.

### 3.2 Моделювання роботи системи моніторингу підземного паркінгу

Перед проведенням тестування розробленої системи [14] було виконано моделювання її функціонування з метою перевірки коректності роботи програмного забезпечення, алгоритмів керування виконавчими механізмами та взаємодії між окремими компонентами системи. Для цього було зібрано макет пристрою, який включав мікроконтролер Arduino Mega 2560, датчики температури та вологості SHT31, концентрації вуглекислого газу MH-Z19B, чадного газу MQ-7, діоксиду азоту MiCS-2714, летких органічних сполук CCS811, датчик диму MQ-2, LCD Keypad Shield та модулі керування виконавчими механізмами.

Макет системи забезпечував можливість перевірки всіх режимів роботи пристрою, включаючи штатний режим моніторингу параметрів мікроклімату, автоматичне керування припливною та витяжною вентиляцією, керування системою кондиціонування, аварійне оповіщення при перевищенні допустимих концентрацій шкідливих газів та режим налаштування порогових значень користувачем.

Під час моделювання особлива увага приділялася перевірці правильності реагування системи на зміну температури, вологості, концентрації вуглекислого газу, чадного газу, діоксиду азоту, летких органічних сполук та появу диму. Також контролювалася коректність відображення інформації на дисплеї та робота механізму збереження налаштувань у пам'яті EEPROM.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній вигляд макета для моделювання роботи системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу наведений на рис. 3.2.

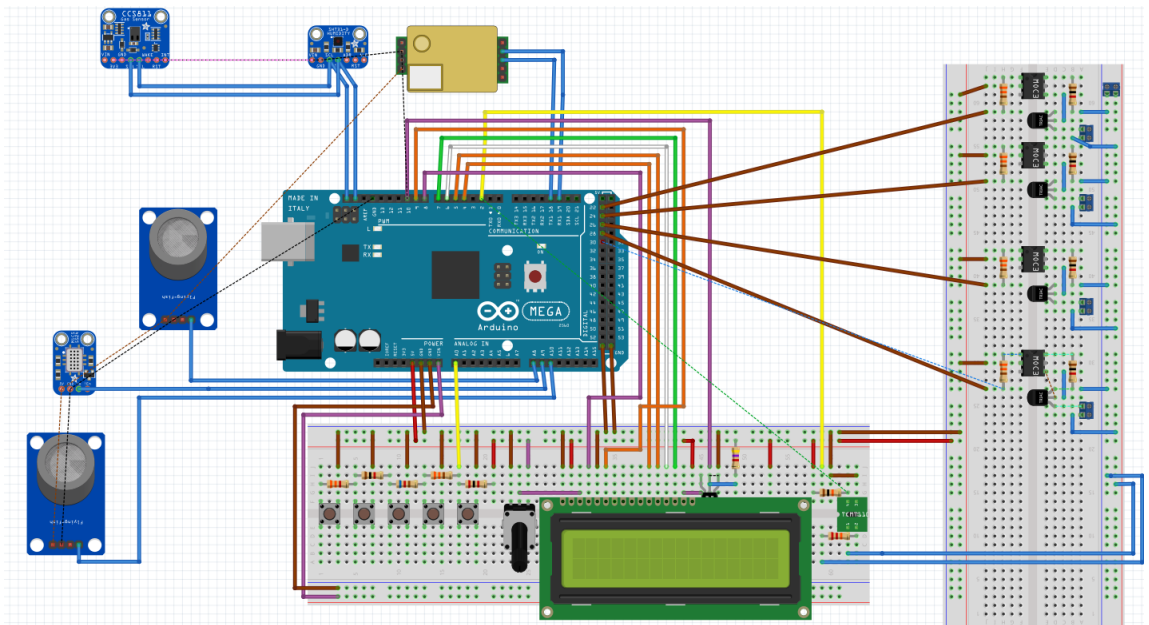


Рисунок 3.2 – Макет для моделювання роботи системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу

Після запуску системи виконується ініціалізація всіх датчиків та завантаження порогових значень із пам'яті EEPROM. На дисплей виводиться повідомлення про готовність системи до роботи, після чого починається циклічне опитування датчиків. На рис.3.3 наведено приклад екрану з нормальними показниками мікроклімату.

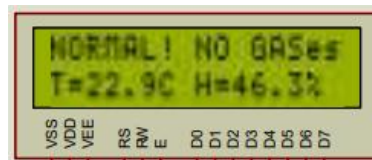


Рисунок 3.3 – Робочий режим системи моніторингу мікроклімату

Для перевірки роботи алгоритму підтримання мікроклімату було змодельовано перевищення допустимих значень температури та вологості. При перевищенні встановленого порогу температури або виході вологості за

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ

Арк.

54

допустимий діапазон система автоматично формує команду на ввімкнення кондиціонування (рис.3.4).

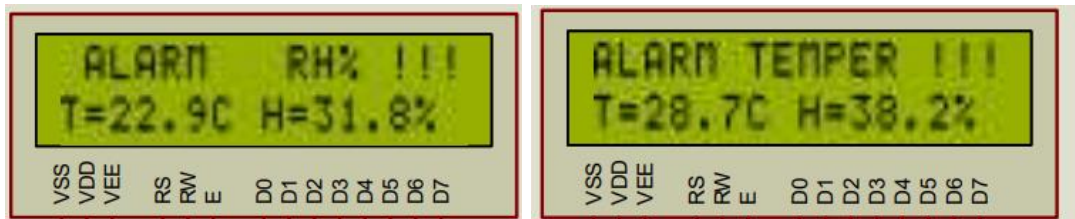


Рисунок 3.4 – Спрацювання системи кондиціонування при відхиленні температури та вологості

Після повернення параметрів до допустимого діапазону кондиціонування автоматично вимикається.

Одним із найбільш важливих режимів тестування є перевірка реагування системи на підвищення концентрації чадного газу. Для цього було змодельовано перевищення порогу, встановленого для датчика MQ-7.

У результаті система перейшла в аварійний режим роботи. Одночасно було активовано припливну та витяжну вентиляцію, світлову сигналізацію та звуковий оповіщувач. На дисплеї відображається повідомлення ALARM CO (рис. 3.5)

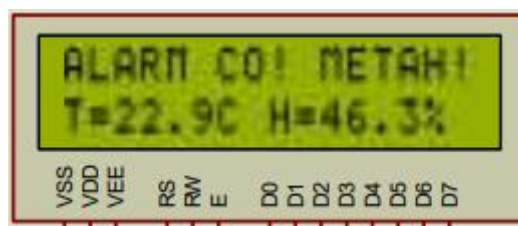


Рисунок 3.5 – Спрацювання аварійного режиму при перевищенні концентрації CO

Для перевірки роботи протипожежного режиму було виконано моделювання спрацювання датчика MQ-2.

Після виявлення диму система переходить у режим пожежної небезпеки.

Одночасно активуються припливна та витяжна вентиляція, світлова сигналізація та звуковий оповіщувач. На дисплеї виводиться повідомлення ALARM SMOKE (рис. 3.6).

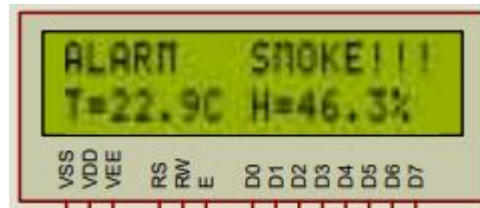


Рисунок 3.6 – Робота системи при виявленні задимлення

Також дані про стан датчиків можна вивести на термінал (рис. 3.7)

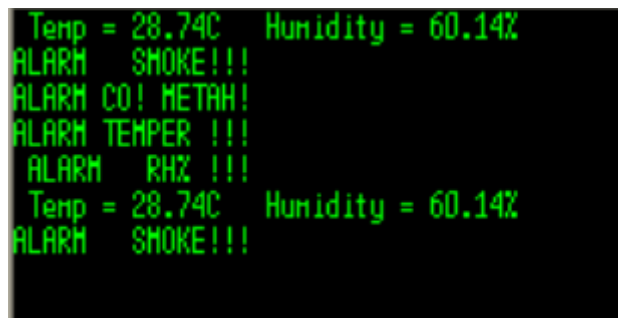


Рисунок 3.7 – Виведення даних роботи системи на термінал

Результати моделювання підтвердили правильність роботи алгоритмів керування мікрокліматом, вентиляцією та аварійним оповіщенням. У всіх перевірених режимах система коректно реагувала на зміну параметрів повітряного середовища та забезпечувала моніторинг і автоматичне підтримання безпечних умов експлуатації підземного паркінгу.

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Підвищення життєдіяльності людини

Питання підвищення безпеки життєдіяльності людини набуває особливої актуальності в умовах постійного збільшення кількості транспортних засобів та розширення мережі підземних паркінгів у сучасних містах. Підземні паркінги належать до об'єктів із замкнутим повітряним середовищем, де перебування людей супроводжується впливом комплексу небезпечних та шкідливих факторів. До них належать загазованість повітря, недостатній повітрообмін, підвищена вологість, можливість виникнення пожежі, а також психологічний дискомфорт, пов'язаний із перебуванням у замкненому просторі [19].

Актуальність даної теми зумовлена декількома важливими факторами. По-перше, вихлопні гази автомобілів містять значну кількість шкідливих речовин, серед яких особливу небезпеку становлять чадний газ, вуглекислий газ, оксиди азоту та леткі органічні сполуки. У разі недостатньої вентиляції їх концентрація може перевищувати допустимі норми та негативно впливати на здоров'я людей. По-друге, підземні паркінги характеризуються обмеженим природним освітленням та недостатньою циркуляцією повітря, що може сприяти погіршенню самопочуття відвідувачів і персоналу. По-третє, значна кількість транспортних засобів і паливно-мастильних матеріалів створює додаткові ризики виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

Одним із найважливіших факторів безпеки життєдіяльності в підземних паркінгах є забезпечення належної якості повітря. Внаслідок роботи двигунів внутрішнього згоряння у повітря надходять продукти неповного згоряння палива. Найбільш небезпечним серед них є чадний газ (CO), який не має

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Найдух С. С.			<b>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Микитишин А.					57	5
<i>Консульт.</i>						<b>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</b>		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є.В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

кольору та запаху, але навіть у невеликих концентраціях може викликати кисневе голодування організму. Підвищені концентрації чадного газу призводять до головного болю, запаморочення, втрати концентрації уваги, а у важких випадках – до втрати свідомості та летальних наслідків.

Не менш важливим є контроль концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Підвищення його рівня не становить безпосередньої токсичної небезпеки, однак свідчить про недостатню ефективність вентиляції та погіршення якості повітряного середовища. При тривалому перебуванні в умовах підвищеної концентрації CO<sub>2</sub> людина відчуває втоми, сонливість, зниження працездатності та погіршення когнітивних функцій.

Суттєвий вплив на безпеку та комфорт перебування людей мають також температура та вологість повітря. Висока температура в поєднанні з недостатньою вентиляцією призводить до погіршення теплового самопочуття людини, підвищує навантаження на серцево-судинну систему та знижує працездатність. Підвищена вологість сприяє утворенню конденсату на будівельних конструкціях і транспортних засобах, прискорює корозійні процеси та створює сприятливі умови для розвитку грибків і мікроорганізмів.

Особливу увагу необхідно приділяти пожежній безпеці підземних паркінгів. У разі виникнення пожежі найбільшу загрозу для людей становить не лише висока температура, а й токсичні продукти горіння та швидке задимлення приміщення. Обмежена кількість евакуаційних виходів і складність орієнтації в задимленому просторі значно підвищують ризики для життя та здоров'я людей. Тому важливими заходами є своєчасне виявлення диму, автоматичне оповіщення про небезпеку та ефективна робота систем вентиляції [20].

Важливим напрямом підвищення безпеки життєдіяльності є впровадження сучасних автоматизованих систем контролю параметрів навколишнього середовища. Використання засобів автоматичного моніторингу дозволяє безперервно контролювати параметри повітряного середовища, оперативно виявляти небезпечні відхилення та своєчасно

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вживати заходів щодо їх усунення. Автоматизація процесів контролю значно зменшує вплив людського фактора та підвищує ефективність роботи інженерних систем об'єкта.

Ефективність заходів підвищення безпеки життєдіяльності значною мірою залежить від комплексного підходу до організації безпечного середовища. Поєднання технічних, організаційних та профілактичних заходів дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я людей та забезпечити безпечну експлуатацію підземного паркінгу.

Таким чином, ключовими напрямками підвищення безпеки життєдіяльності в підземних паркінгах є забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, контроль концентрації шкідливих газів, підтримання належного рівня пожежної безпеки та впровадження сучасних автоматизованих систем моніторингу. Реалізація зазначених заходів сприяє збереженню здоров'я людей, підвищенню рівня безпеки об'єкта та створенню комфортних умов перебування у підземних спорудах.

#### 4.2 Заходи з техніки безпеки при експлуатації обладнання

Експлуатація комп'ютерної системи контролю параметрів мікроклімату підземного паркінгу пов'язана з використанням електротехнічного обладнання, засобів автоматизації, вентиляційних установок, систем кондиціонування та допоміжних пристроїв керування. Під час монтажу, налагодження та технічного обслуговування обладнання на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких найбільш суттєвими є електричний струм, рухомі частини вентиляційного обладнання, підвищена температура окремих елементів електрообладнання, а також ризик виникнення пожежі внаслідок несправності електричних кіл або порушення правил експлуатації обладнання [21].

Основним небезпечним фактором під час експлуатації системи є електричний струм. До складу обладнання входять пристрої, що працюють від

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мережі змінного струму напругою 220 В, зокрема блоки живлення, вентиляційні установки, кондиціонери та модулі комутації навантажень. Контакт людини зі струмопровідними частинами може призвести до ураження електричним струмом та виникнення електротравм різного ступеня тяжкості. Для забезпечення електробезпеки всі металеві корпуси обладнання повинні бути заземлені, а електричні мережі оснащені автоматичними вимикачами та засобами захисного відключення [22].

Усі роботи, пов'язані з монтажем, підключенням або ремонтом електрообладнання, повинні виконуватися лише після повного відключення його від джерела живлення. Перед початком робіт необхідно перевірити відсутність напруги за допомогою відповідних вимірювальних приладів. Забороняється виконувати будь-які ремонтні або налагоджувальні роботи на струмопровідних частинах, що перебувають під напругою. Для виконання електромонтажних робіт слід використовувати інструмент з ізольованими ручками та справні засоби індивідуального захисту.

Особлива увага повинна приділятися технічному стану кабельних ліній та контактних з'єднань. Пошкодження ізоляції провідників, ослаблення контактів або перегрів елементів електричних кіл можуть стати причиною коротких замикань та виходу обладнання з ладу. З метою запобігання аварійним ситуаціям необхідно проводити періодичні огляди електрообладнання та своєчасно усувати виявлені несправності.

Під час експлуатації вентиляційних установок необхідно враховувати наявність рухомих механічних частин. Проведення профілактичних робіт або очищення вентиляторів допускається лише після їх повного відключення від електромережі. Захисні кожухи та огороження повинні постійно перебувати у справному стані та виключати можливість випадкового контакту працівника з елементами, що обертаються.

Важливим напрямом забезпечення безпеки праці є дотримання вимог пожежної безпеки. Значна кількість електротехнічного обладнання, кабельних трас та виконавчих механізмів підвищує ризик виникнення пожежі внаслідок

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коротких замикань, перевантаження електромережі або несправності окремих елементів системи. Для запобігання виникненню пожеж необхідно використовувати справне сертифіковане обладнання, забезпечувати належний стан електричних мереж та виконувати вимоги нормативних документів з пожежної безпеки [23].

Працівники, які здійснюють монтаж, налагодження та технічне обслуговування системи, повинні проходити вступний та первинний інструктажі з охорони праці, а також періодичну перевірку знань правил безпечної експлуатації електрообладнання. До виконання робіт допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання та ознайомлені з вимогами нормативних документів.

Для зниження ризику виробничого травматизму необхідно забезпечити достатнє освітлення робочих місць, вільний доступ до електричних щитів та комутаційного обладнання, а також підтримувати порядок у місцях прокладання кабельних трас. Не допускається захаращення проходів, евакуаційних виходів та зон обслуговування обладнання сторонніми предметами.

Таким чином, безпечна експлуатація комп'ютерної системи контролю параметрів мікроклімату підземного паркінгу забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів, що включають дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки, правил безпечної експлуатації вентиляційного обладнання та проведення регулярного технічного обслуговування. Реалізація зазначених заходів сприяє зниженню ризику виробничого травматизму, підвищенню надійності функціонування обладнання та забезпеченню безпечних умов праці обслуговуючого персоналу.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне завдання розробки комп'ютеризованої системи контролю мікроклімату підземного паркінгу, призначеної для автоматизованого контролю параметрів повітряного середовища та керування відповідними інженерними системами.

У процесі виконання роботи проведено аналіз особливостей формування мікроклімату підземних паркінгів та досліджено сучасні системи моніторингу якості повітря. Встановлено, що більшість існуючих промислових рішень орієнтовані переважно на контроль концентрації чадного газу та діоксиду азоту, тоді як контроль температури, вологості, вуглекислого газу та летких органічних сполук реалізується не в усіх системах.

На основі проведеного аналізу розроблено структуру комп'ютеризованої системи моніторингу мікроклімату підземного паркінгу та обґрунтовано вибір її основних компонентів. Як центральний керуючий пристрій обрано платформу Arduino Mega 2560. Для контролю параметрів повітряного середовища використано датчики SHT31, MH-Z19B, MQ-7, MiCS-2714, MQ-2 та CCS811, що забезпечують комплексний моніторинг температури, вологості, концентрацій CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, летких органічних сполук та задимлення.

Розроблено електричну принципову схему пристрою, яка забезпечує взаємодію сенсорної підсистеми, засобів індикації, системи керування та виконавчих механізмів. Для керування вентиляцією, кондиціонуванням та аварійними засобами оповіщення передбачено використання симісторного модуля комутації навантажень з оптоелектронною розв'язкою.

Створено програмне забезпечення системи мовою програмування C++ у середовищі Arduino IDE. Розроблене програмне забезпечення забезпечує збір та обробку інформації від датчиків, порівняння отриманих даних із заданими пороговими значеннями, керування виконавчими механізмами, відображення інформації на дисплеї та збереження налаштувань користувача в енергонезалежній пам'яті EEPROM.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Розроблено алгоритм функціонування системи, який забезпечує автоматичне керування припливною та витяжною вентиляцією, системою кондиціонування, світловою та звуковою сигналізацією залежно від поточного стану повітряного середовища. Передбачено можливість зміни порогових значень контрольованих параметрів користувачем без перепрограмування пристрою.

Проведене моделювання підтвердило працездатність розробленої системи. У процесі тестування перевірено функціонування системи в штатному режимі, режими реагування на перевищення температури та вологості, підвищення концентрації чадного газу, а також роботу протипожежного режиму при виявленні задимлення. Результати моделювання підтвердили правильність роботи алгоритмів моніторингу, керування вентиляцією, кондиціонуванням та аварійного оповіщення.

Отримані результати свідчать про можливість практичного використання розробленої системи для автоматизованого контролю параметрів мікроклімату підземних паркінгів, укриттів та інших закритих приміщень з підвищеними вимогами до якості повітряного середовища та безпеки перебування людей.

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. Parking Garage Ventilation Systems and Air Quality Monitoring. URL: <https://www.sentera.eu/en/news/smart-ventilation-of-parking-garages/1448> (дата звернення: 03.06.2026).

3. Underground Parking Garage and Gas Detection Systems. URL: <https://www.sensitron.it/en/underground-parking-garage-and-gas-detection/> (дата звернення: 03.06.2026).

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

5. Monitoring Air Quality in Underground Parking Garages Using Low-Cost Sensors. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9690026/> (дата звернення: 03.06.2026).

6. Carbon Dioxide Monitoring and Demand-Controlled Ventilation. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/ventilation/prevention/carbon-dioxide.html> (дата звернення: 03.06.2026).

7. Volatile Organic Compounds (VOC) and Indoor Air Quality. URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality> (дата звернення: 03.06.2026).

8. Smoke Detection and Fire Safety Systems for Enclosed Facilities. URL: <https://www.nfpa.org/education-and-research/fire-protection-systems/smoke-detection> (дата звернення: 03.06.2026).

9. Демчан Н.І., Жаровський Р. О. Оцінка ефективності роботи програмно-апаратного комплексу контролю за вирощування рослин з

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

урахуванням евапотранспарації. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (17-18 грудня 2025 року). Тернопіль: ТНТУ. 2025. 108-110 с.

10. Демчан Н.І, Жаровський Р. О. Методи та програмно апаратні засоби контролю за вирощування рослин з врахуванням евапотранспарації. Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції молодих учнів та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11-12 грудня 2025 року). Тернопіль: ТНТУ. 2025. 254-255 с.

11. Жаровський Р., Цірка І. Архітектура системи збору, передачі та зберігання даних водоспоживання у багатоквартирних будинках. Актуальні задачі сучасних технологій: матеріали XIII наук.-техн. конф.— ТНТУ ім. І.Пулюя (11-12 грудня 2024). Тернопіль, 2024. 45 с.

12. Ключко Д., Лецишин Ю. З., Жаровський Р. О. Комп'ютерна система моніторингу сейсмічної активності земної кори. Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, 18–19 груд. 2024 р.). — Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 131.

13. Марценюк І.В. Паламар А. М., Жаровський Р. О., Комп'ютеризована система виявлення небезпечних концентрацій метану на основі сенсорних мереж Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, 18–19 груд. 2024 р.). — Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 494.

14. Паламар А. М., Жаровський Р. О., Гарбіч Ю. С. Система моніторингу атмосферного тиску за допомогою IoT-технологій. Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, 18–19 груд. 2024 р.). — Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 115.

15. Слюз І., Жаровський Р. Критерії ефективності тестування комп'ютерної інформаційної системи. Матеріали XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 174

16. Слюз І., Жаровський Р. Принципи та основні етапи комплексного тестування комп'ютерної інформаційної системи. Матеріали X науково-

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 93.

17. Ключко Д., Лещишин Ю., Жаровський Р. Методи і засоби моніторингу сейсмічної активності земної кори. Актуальні задачі сучасних технологій: Матеріали XIII міжнар. наук.техн. конф. мол. учених та студентів. Тернопіль, 2024. с. 446

18. Ключко Д., Лещишин Ю., Жаровський Р. Комп'ютерна система моніторингу сейсмічної активності земної кори. Інформаційні моделі, системи та технології: Матеріали XII наук.-техн. конф. ТНТУ ім. І. Пулюя. Тернопіль, 2024. с. 132.

19. ДСТУ EN 16798-1:2023. Енергоефективність будівель. Вентиляція будівель. Вихідні параметри внутрішнього середовища для проектування та оцінювання енергоефективності будівель.

20. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2022. 344 с.

21. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 13.06.2026).

22. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98> (дата звернення: 13.06.2026).

23. Правила пожежної безпеки в Україні. Наказ МВС України №1417 від 30.12.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> (дата звернення: 13.06.2026).

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

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.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ  
ПІДЗЕМНОГО ПАРКІНГУ

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

*на 9 листках*

**Вид робіт:**

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

**Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»**

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-42

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

\_\_\_\_\_ Найдух С. С.

“ 2 ” лютого 2026 р.

“ 2 ” лютого 2026 р.

**Тернопіль 2026**

## 1 Загальні відомості

### 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система контролю параметрів мікроклімату підземного паркінгу».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.188.00.00

### 1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Найдух С. С.

### 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету № 4/9-188 від 24.04.2026 р.)

### 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

### 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

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

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

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

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система контролю параметрів мікроклімату підземного паркінгу призначена для:

- автоматичного контролю температури та вологості повітря;
- контролю концентрації вуглекислого газу;
- контролю концентрації чадного газу;
- контролю задимленості приміщення;
- автоматичного керування вентиляцією;
- автоматичного керування системою кондиціонування;
- світлового та звукового оповіщення про аварійні ситуації;
- відображення параметрів мікроклімату на дисплеї.

### 2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної системи для автоматизованого моніторингу параметрів мікроклімату підземного паркінгу та забезпечення керування інженерними системами вентиляції й кондиціонування та інформування.

## 2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом контролю є підземний паркінг із замкнутим повітряним середовищем, у якому можливе накопичення шкідливих газів та погіршення параметрів мікроклімату внаслідок роботи автомобільного транспорту.

## 3 Вимоги до системи

### 3.1 Вимоги до системи в цілому

#### 3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система повинна складатися з:

- мікроконтролерного блока керування;
- датчика температури та вологості;
- датчика концентрації CO<sub>2</sub>;
- датчика чадного газу CO;
- датчика диму;
- LCD-дисплея;
- припливної вентиляції;
- витяжної вентиляції;
- системи кондиціонування;
- світлової сигналізації;
- звукової сигналізації;
- системи живлення.

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

Обмін інформацією між компонентами системи повинен здійснюватися цифровими та аналоговими інтерфейсами мікроконтролера.

Датчик температури та вологості підключається через інтерфейс I<sup>2</sup>C.

Датчик CO<sub>2</sub> використовує послідовний інтерфейс UART.

Газові датчики та датчик диму підключаються до аналогових входів мікроконтролера.

### 3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна забезпечувати:

- режим моніторингу;
- режим вентиляції;
- режим кондиціонування;
- аварійний режим.

В аварійному режимі система повинна вмикати сигналізацію та примусову вентиляцію.

### 3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностування системи використовуються інструменти діагностування основних процесів системи з допомогою програмних засобів, а також засоби для діагностики апаратного забезпечення.

Інструменти повинні забезпечувати зручний інтерфейс для можливості перегляду діагностичних подій, моніторингу процесу роботи системи керування.

Система повинна забезпечувати:

- контроль справності датчиків;
- індикацію поточних параметрів;
- відображення аварійних повідомлень;
- контроль стану виконавчих механізмів;
- можливість діагностики через послідовний порт.

### 3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Дана система може бути розширена завдяки використанню додаткових програмних і апаратних компонентів. Система повинна передбачати можливість:

- підключення додаткових газових датчиків;
- організації бездротового моніторингу;
- ведення архіву даних;
- інтеграції з системою диспетчеризації будівлі;
- реалізації віддаленого керування через мережу Інтернет..

### 3.2 Показники призначення

Система повинна передбачати можливість масштабування. Можливості масштабування повинні забезпечуватися засобами використовуваного базового програмного і технічного забезпечення.

Система повинна забезпечувати:

- вимірювання температури в діапазоні від  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- вимірювання вологості від 0 до 100 %;
- контроль концентрації  $\text{CO}_2$  до 5000 ppm;
- контроль концентрації чадного газу;
- контроль задимленості приміщення;
- автоматичне керування вентиляцією та кондиціонування;
- цілодобову безперервну роботу.

#### 3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність:

- при тривалій безперервній роботі;
- при короткочасних змінах напруги живлення;
- при зміні температури навколишнього середовища.

Для захисту елементів системи повинні використовуватись:

- запобіжники;
- захист від перенапруги;
- система аварійного вимкнення.

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

### 3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення .

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі пожежі не мають виділятися отруйні гази і дим. Після зняття електроживлення має бути доступне застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

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

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

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

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

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

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

### 3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

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

#### 3.4.1 Вимоги по стандартизації і уніфікації

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

## 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
  - а) Структурна схема.
  - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
  - в) Схема електрична принципова.
  - г) Загальна архітектура системи.

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

## 5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»	03.02 – 15.02
3	Робота над другим розділом «Проектна частинв»	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	27.06

## 6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

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

Додаток Б  
Перелік елементів

Позн.	Найменування	К-ть	Примітка
	<u>Мікроконтролер</u>		
A	Arduino Mega 2560 (Rev3)	1	
LCD	LCD Shield 16x2	1	
	<u>Датчики</u>		
D1	SHT31-D	1	
D2	MH-Z19B	1	
D3	MQ-7	1	
D4	MiCS-2714	1	
D5	MQ-2	1	
D6	CCS811	1	
	<u>Резистори</u>		
R2, R10 - R13, R17	МЛТ-0,125 1 кОм (+/-5%)	6	
R3	МЛТ-0,125 620 Ом (+/-5%)	1	
R6 - R9, R4, R18	МЛТ-0,125 330 Ом (+/-5%)	6	
R5	МЛТ-0,125 2 кОм (+/-5%)	1	
R14	МЛТ-0,125 22 кОм (+/-5%)	1	
R15	МЛТ-0,125 4.7 кОм (+/-5%)	1	
R16	МЛТ-0,125 10 кОм (+/-5%)	1	
IC1 - IC4	TRIAC BTA 16-600	4	
U1-U4, U15	МОС3031-М	5	
U14	ТСМТ1103-ОПТО	1	
S1 - S5	SMD 6*6*7 мм (4 pin)	5	
J1 - J5	Screw terminal - 2 pins	5	

					<b>КС КРБ 123.188.00.00 ПЕ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Найдох. С.С.			Комп'ютерна система контролю параметрів мікроклімату підземного паркінгу  Перелік елементів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Микитишин А.					1	1
Реценз.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						