

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент
_____ Микола СІДЄЛЄВ
«___» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОВІТРЯ
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Здобувач _____ **Нікіта КІМ**
«___» _____ 2025 р.

Керівник роботи _____ **Олег ЩЕСЮК**
канл. техн. наук, доцент «___» _____ 2025 р.

Консультант _____ **Анна АЛЕКСЄЄВА**
канл. техн. наук, доцент «___» _____ 2025 р.

Миколаїв – 2025

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Рівень вищої освіти	Бакалавратський
Освітній ступінь	Бакалаврат
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
канд. техн. наук, доцент

_____ Микола СІДЄЛЄВ

“___” _____ 202 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу здобувача

Кім Нікіта Тихонович

1. Тема проекту (роботи)

Автоматизована система знезараження повітря

керівник проекту (роботи) канд. техн. наук, доцент Щесюк Олег Володимирович, затверджені наказом вищого навчального закладу від “30” __10__2024 року №_299

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.06.2025

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вимірювання температури в діапазоні 0 - +60 °С, вимірювання відносної вологості 20 - 90 RH, концентрації CO₂ у межах 400–5000 ppm рівня ультрафіолетового випромінювання, освітленості та годинного часу. Управління ультрафіолетовою лампою та вентилятором на основі показників повітряного середовища. Передача даних через модуль Wi-Fi (ESP32), інтеграція з IoT-платформою.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація; вступ; аналітичний огляд літератури та патентної інформації за темою роботи; розробка структурної схеми автоматизованої системи знезараження; розробка функціональної схеми та принципу дії; створення IoT-інтерфейсу для моніторингу параметрів повітря; розробка алгоритму роботи системи та моделювання на основі нечіткої логіки; розгляд охорони праці: безпека при експлуатації УФ-ламп, електробезпека, заходи захисту; висновки; перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) структурна, функціональна, електрична принципова схеми, блок-схема алгоритму роботи системи знезараження повітря, скріншоти IoT-інтерфейсу "AirSafety", Схема моделі з нечітким регулятором у MATLAB/Simulink, графіки результатів моделювання роботи нечіткого регулятора.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	17.10.2024	
2	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	03.01.2025	
3	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	03.04.2025	
4	Алексєєва А.О., доцент кафедри екології	19.04. 2025	

7. Дата видачі завдання «30» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обговорення пропозицій теми від керівника	23.09.2024	Виконано
2	Обговорення із студентом теми, яка вибрана	01.10.2024	Виконано
3	Формування завдання, затвердження теми	30.10.2024	Виконано
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2024	Виконано
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2024	Виконано
6	Виконання першої частини	02.12.2024	Виконано
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	27.12.2024	Виконано
8	Опрацювання другої частини	14.03.2025	Виконано
9	Робота над третьою частиною (при наявності)	18.04. 2025	Виконано
10	Робота над розділом з охорони праці	20.05. 2025	Виконано
11	Передзахисти	27.05. 2025	Виконано
12	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	19.06.2025	Виконано
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	20.06. 2025	Виконано

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Здобувач

Нікіта КІМ

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи

К. Т. Н. , доцент

Олег ЩЕСЮК

«__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

Кім Н.Т. Автоматизована система знезараження повітря.

Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 2025.

У бакалаврській роботі представлено розробку автоматизованої системи знезараження повітря, що призначена для забезпечення безпечного мікроклімату у приміщеннях за рахунок використання ультрафіолетового (UV-C) випромінювання, вентиляції та сенсорного моніторингу повітряного середовища.

Розроблено апаратну платформу на основі мікроконтролера Arduino Uno з використанням датчиків температури, вологості, концентрації CO₂, рівня ультрафіолету, освітленості та модуля реального часу. Здійснено управління виконавчими пристроями: УФ-лампою та вентилятором. Передача даних організована через модуль ESP32 та IoT-інтерфейс "AirSafety".

Створено структурну, функціональну та електричну принципову схеми, розроблено алгоритм роботи системи. Реалізовано програмне забезпечення та проведено моделювання роботи системи у середовищі MATLAB/Simulink із застосуванням нечіткої логіки для адаптивного управління процесом знезараження.

У роботі також розглянуто питання охорони праці під час експлуатації УФ-обладнання та електротехнічних компонентів системи. Запропонована система дозволяє забезпечити ефективне очищення повітря в медичних, освітніх та виробничих приміщеннях.

Актуальність: В умовах зростання загрози вірусних та бактеріальних інфекцій, особливо в громадських місцях, медичних установах та

промислових об'єктах, необхідність у ефективних методах знезараження повітря є надзвичайно важливою. Традиційні методи дезінфекції мають обмежену ефективність або вимагають постійного втручання людини, тоді як автоматизовані системи можуть забезпечити безперервне знезараження із мінімальними експлуатаційними витратами.

Мета: розробка та впровадження автоматизованої системи знезараження повітря використання сучасних методів автоматизації для забезпечення безперервного контролю, оптимальної ефективності та безпеки експлуатації.

Об'єкт дослідження: методи та засоби автоматизації процесу знезараження повітря .

Предмет дослідження: автоматизована система знезараження повітря для забезпечення ефективної дезінфекції в замкнених приміщеннях, яка включає мікропроцесорну систему, датчики контролю якості повітря та алгоритми управління.

Сторінок – 94. Рисуноків – 28. Таблиць – 12. Посилань – 43. Додатків – 1.

Ключові слова: автоматизація, знезараження повітря, ультрафіолетове випромінювання, Arduino Uno, ESP32, сенсори якості повітря, нечітка логіка, MATLAB/Simulink, УФ-С лампа, мікроконтролерна система.

ABSTRACT

Kim N.T. Automated air disinfection system.

Bachelor's qualification work in specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies". – Mykolaiv, Petro Mohyla Chernivtsi National University, 2025.

The bachelor's work presents the development of an automated air disinfection system designed to ensure a safe microclimate in rooms through the use of ultraviolet (UV-C) radiation, ventilation and sensor monitoring of the air environment.

A hardware platform based on the Arduino Uno microcontroller has been developed using sensors for temperature, humidity, CO₂ concentration, ultraviolet level, illumination and a real-time module. The executive devices are controlled: a UV lamp and a fan. Data transmission is organized via the ESP32 module and the "AirSafety" IoT interface.

A structural, functional and electrical schematic diagram has been created, and an algorithm for the system operation has been developed. Software has been implemented and the system operation has been simulated in the MATLAB/Simulink environment using fuzzy logic for adaptive control of the disinfection process.

The work also considers the issue of occupational safety during the operation of UV equipment and electrical components of the system. The proposed system allows for effective air purification in medical, educational and industrial premises.

Relevance: In the context of the growing threat of viral and bacterial infections, especially in public places, medical institutions and industrial facilities, the need for effective methods of air disinfection is extremely important. Traditional disinfection methods have limited effectiveness or require constant human

intervention, while automated systems can provide continuous disinfection with minimal operating costs.

Purpose: development and implementation of an automated air disinfection system using modern automation methods to ensure continuous control, optimal efficiency and safety of operation.

Object of research: methods and means of automating the air disinfection process.

Subject of research: automated air disinfection system to ensure effective disinfection in closed rooms, which includes a microprocessor system, air quality control sensors and control algorithms.

Pages – 94. Figures – 28. Tables – 12. References – 43. Appendices – 1.

Keywords: automation, air disinfection, ultraviolet radiation, Arduino Uno, ESP32, air quality sensors, fuzzy logic, MATLAB/Simulink, UV-C lamp, microcontroller system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	13
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ	14
1.1 Теоретичні відомості.....	14
1.2 Ультрафіолетове випромінювання	17
1.3 Визначення вимог до системи знезараження повітря	24
1.4 Патенти	26
1.5 Визначення головних задач автоматизованих систем знезараження повітря	29
1.6 Завдання на проектування	31
Висновок до розділу 1	33
2 КОНЦЕПЦІЯ РЕАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	34
2.1 Розробка функціональної схеми	34
2.2 Апаратне забезпечення	36
2.3 Розробка алгоритму та блок-схем функціонування системи	46
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	49
3.1 Розрахунок часу знезараження повітря.....	49
3.2 Програмне забезпечення системи	51
3.3 IoT платформа	57
3.4 Модель автоматизованої системи знезараження повітря на основі ультрафіолетового випромінювання.....	60
3.5 Моделювання роботи нечіткого регулятора в середовищі Simulink	65
Висновок до розділу 3.....	67
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОВІТРЯ	69
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	69
ВСТУП.....	70

4.1 Нормативна документація щодо забезпечення охорони праці під час експлуатації автоматизованих систем знезараження повітря.....	71
4.2 Вплив шкідливих факторів на організм людини	72
4.3 Вимоги до приміщення і монтажу автоматизованої системи знезараження повітря.....	74
4.4 Вимоги до роботи з автоматизованою системою знезараження повітря ..	76
4.5 Вимоги до евакуації в разі надзвичайної ситуації	79
Висновок до розділу 4.....	82
ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	84
ДОДАТОК	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Скорочення / Позначення	Розшифрування / Значення
АСЗП	Автоматизована система знезараження повітря
УФ	Ультрафіолет
УФ-С	Ультрафіолетове випромінювання діапазону С (≈ 254 нм)
IoT	Інтернет речей (<i>Internet of Things</i>)
RTC	Модуль реального часу (<i>Real-Time Clock</i>)
PWM	Широтно-імпульсна модуляція (<i>Pulse Width Modulation</i>)
I ² C	Інтерфейс послідовного двопровідного зв'язку
CO ₂	Вуглекислий газ
IAQ	Індекс якості повітря (<i>Indoor Air Quality</i>)
ppm	Частин на мільйон (<i>parts per million</i>)
RH	Відносна вологість (<i>Relative Humidity</i>)
AM2320	Датчик температури та вологості
MH-Z19B	Датчик вмісту CO ₂
VEML7700	Цифровий датчик освітленості
GUVA-S12SD	Датчик рівня УФ-випромінювання
DS3231	Годинник реального часу
ESP32	Wi-Fi / Bluetooth мікроконтролер
ADC	Аналого-цифровий перетворювач
Simulink	Середовище моделювання у MATLAB
мкА	Мікроампер
Вт	Ват

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система знезараження повітря

мВт·с/см ²	Мікроват-секунда на квадратний сантиметр
м ³ /год	Кубічний метр на годину
кВт·год	Кіловат-година
МС	Мікроконтролерна система

ВСТУП

Якість повітря відіграє ключову роль у здоров'ї людини, особливо в умовах зростання екологічних проблем та ризиків поширення інфекційних захворювань. Сучасні методи знезараження такі як фільтрація або хімічна обробка мають обмеження. Це стимулює на розробку ефективніших автоматизованих систем. Використання UV-C випромінювання у поєднанні з системами керування дозволяє забезпечити високий рівень безпеки та ефективності очищення повітря.

Автоматизовані системи знезараження поєднують мікропроцесорні контролери, датчики якості повітря та алгоритми штучного інтелекту, що забезпечує оптимізацію режимів роботи, зниження енергоспоживання та підвищену адаптивність. Інтеграція нечіткої логіки сприяє точному реагуванню на зміни складу повітря, що особливо важливо для медичних установ, громадських приміщень та промислових об'єктів.

Мета роботи – розробка та аналіз автоматизованої системи знезараження повітря з використанням UV-C випромінювання та сучасних засобів контролю. Буде розглянуто принципи роботи системи, вибір параметрів автоматизації, а також проведено моделювання для оцінки ефективності запропонованого рішення.

Таким чином, автоматизовані системи знезараження повітря є важливим кроком до підвищення рівня безпеки та створення комфортного середовища для життєдіяльності людини.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ

1.1 Теоретичні відомості

Індекс якості повітря – це показник, який застосовують державні органи для інформування населення про поточний рівень забрудненості атмосфери. Він враховує концентрацію основних шкідливих речовин, що мають найбільший вплив на здоров'я людей і стан навколишнього середовища. Підвищення цього індексу свідчить про зростання загроз для здоров'я, особливо для вразливих груп населення. Варто зазначити, що в різних країнах використовуються власні нормативи та методики оцінки якості повітря відповідно до національних екологічних стандартів.[1]

Індекс якості повітря	Наслідки для здоров'я
Добрий (0-50)	Мінімальний вплив
Задовільний (51-100)	Може викликати незначний дискомфорт при диханні у чутливих людей
Помірно забруднений (101-200)	Може спричинити дискомфорт при диханні у людей із захворюваннями легенів, таких як астма
Високий (201-300)	Може викликати дискомфорт при диханні за тривалого впливу
Дуже високий (301-400)	Може викликати респіраторні захворювання у людей при тривалому впливі
Небезпечний (401-500)	Може вплинути навіть на здорових людей, і спричинити серйозні наслідки для здоров'я людей із захворюваннями легень чи серця

Рисунок 1.1 – Індекс якості повітря

Для визначення якості повітря робляться заміри 5 показників: О₃ (Озон), NO₂ (діоксид азоту), SO₂ (діоксид сірки), PM_{2,5} та PM₁₀ (вміст у повітрі зважених часток діаметром менше 2,5 мікронів і менше 10 мікронів відповідно).

PM_{2.5} (дрібнодисперсні частинки)

- Розмір частинок: до 2.5 мікрметра (≈ 30 разів менше діаметра людської волосини).
- Джерела: вихлопні гази транспорту, спалювання біомаси, промислові процеси, пил із будівництва.

- Вплив на здоров'я: проникають глибоко в легені і навіть у кров, викликаючи серцево-судинні та легеневі захворювання, астму, а також посилюють ризик передчасної смерті.
- Нормативні значення: ВООЗ рекомендує середню добову концентрацію не більше 15 мкг/м³.

PM10 (великодисперсні частинки)

- Розмір частинок: до 10 мікрометрів.
- Джерела: пил від доріг, будівництво, сільськогосподарська діяльність, промисловість.
- Вплив на здоров'я: осідають у верхніх дихальних шляхах, викликаючи алергії, подразнення слизових оболонок та проблеми з диханням.

Озон (O₃)

- Тип забруднювача: вторинний (утворюється в атмосфері під впливом сонячного світла з оксидів азоту (NO_x) і летких органічних сполук (VOC)).
- Джерела: транспорт, промислові процеси, розкладання органічних речовин.
- Вплив на здоров'я: подразнює легені, викликає кашель, знижує функцію легенів, особливо у дітей, людей із хронічними захворюваннями дихальної системи та літніх людей.

Діоксид азоту (NO₂)

- Джерела: автомобільні вихлопи, спалювання вугілля, промислові процеси.
- Вплив на здоров'я: сприяє розвитку астми, запалення дихальних шляхів, збільшує сприйнятливості до інфекцій.
- Вплив на довкілля: утворює кислотні дощі, які руйнують ґрунт і рослини.

Діоксид сірки (SO₂)

- Джерела: спалювання сірковмісного палива (вугілля, нафта), металургія, виробництво паперу.
- Вплив на здоров'я: подразнює слизові оболонки очей, горла та дихальних шляхів; високі концентрації можуть призвести до набряку легенів.
- Вплив на довкілля: формує кислотні дощі, які шкодять водоймам, ґрунтам і лісам.

Монооксид вуглецю (CO)

- Джерела: неповне згоряння палива в транспорті, промисловості, побуті.
- Вплив на здоров'я: перешкоджає транспорту кисню в крові, викликаючи головний біль, запаморочення, у високих концентраціях – смертельну інтоксикацію.

Категорія AQI (Діапазон)	PM ₁₀ (24 год)	PM _{2.5} (24 год)	NO ₂ (24 год)	O ₃ (8 год)	CO (8 год)	SO ₂ (24 год)	NH ₃ (24 год)	Pb (24 год)
Хороший (0-50)	0-50	0-30	0-40	0-50	0-1.0	0-40	0-200	0-0.5
Задовільний (51-100)	51-100	31-60	41-80	51-100	1.1-2.0	41-80	201-400	0.5-1.0
Помірно забруднений (101-200)	101-250	61-90	81-180	101-168	2.1-10	81-380	401-800	1.1-2.0
Високий (201-300)	251-350	91-120	181-280	169-208	10-17	381-800	801-1200	2.1-3.0
Дуже високий (301-400)	351-430	121-250	281-400	209-748	17-34	801-1600	1200-1800	3.1-3.5
Небезпечний (401-500)	430+	250+	400+	748+	34+	1600+	1800+	3.5+

Рисунок 1.2 – Категорії індексу якості повітря

51-100 – це рівень помірного забруднення, який може викликати респіраторні проблеми у людей з підвищеною чутливістю. У цей період не варто займатися фізичними навантаженнями на вулиці.

Показник забруднення на рівні 101-150 є підвищеним, що представляє небезпеку для людей із підвищеною чутливістю.

151-200 одиниць - це небезпечний рівень, який може негативно вплинути на здоров'я. Особливо вразливі групи населення можуть відчувати значно більш серйозні проблеми зі здоров'ям.

201-300 – це рівень забруднення, який є дуже небезпечним для всіх категорій населення. Враховуючи значний вплив, краще уникати виходів на вулицю та перебувати в безпеці всередині приміщення.

Значення від 301 до 500 є дуже високим загрозою для здоров'я, усім людям загрожує серйозний ризик негативних наслідків. Уникнення виходу на вулицю та перебування в приміщенні є необхідним. В діапазоні від 0 до 50 якості повітря відмінна, не виявлено ніяких небезпек.[2]

1.2 Ультрафіолетове випромінювання

Ультрафіолетове випромінювання – це тип електромагнітного випромінювання, розташований у спектрі між видимим світлом і рентгенівським діапазоном. Довжина хвиль ультрафіолету коливається від 10 до 400 нанометрів, що відповідає частотам у межах $7,5 \times 10^{14}$ до 3×10^{16} герц. У повсякденному вжитку часто вживається спрощена назва «ультрафіолет».[3]

Назва області	Скорочення	Довжина хвилі нанометри	Енергія на фотон електронвольти
Ближня область	NUV	400—300 нм	3,10—4,13 еВ
Ультрафіолет А довгі ультрафіолетові хвилі або чорне світло	UVA	400—315 нм	3,10—3,94 еВ
Середня область	MUV	300—200 нм	4,13—6,20 еВ
Ультрафіолет В середні ультрафіолетові хвилі	UVB	315—280 нм	3,94—4,43 еВ
Ультрафіолет С короткі ультрафіолетові хвилі	UVC	280—100 нм	4,43—12,4 еВ
Вакуумна область	VUV	200—10 нм	6,20—124 еВ
Далека область	FUV	200—122 нм	6,20—10,2 еВ
Лайман-альфа водню	H Lyman-α	121,57—121,58 нм	— еВ
Екстремально далека	EUV	121—10 нм	10,2—124 еВ

Рисунок 1.3 – Види ультрафіолетового випромінювання

Ультрафіолетові лампи застосовуються для дезінфекції води, повітря та поверхонь у різних сферах діяльності людини від побуту до медицини та промисловості. УФ-випромінювання дозволяє значно знизити кількість патогенних мікроорганізмів, проте досягти повної стерильності лише за його допомогою неможливо. Деякі бактерії, окремі види грибків, а також пріони виявляють стійкість до впливу ультрафіолету.

У найпоширеніших низьконапірних ультрафіолетових лампах основна частина випромінювання припадає на довжину хвилі 253,7 нм, що дуже близьке до максимального значення бактерицидної активності 265 нм. Саме на цій довжині хвилі ультрафіолетове випромінювання найбільш ефективно поглинається молекулами ДНК, викликаючи їх пошкодження. Хоча точка максимальної дії знаходиться на 265 нм, хвиля 254 нм, що характерна для більшості УФ-ламп, практично не поступається їй за ефективністю.

Бактерицидну активність проявляє випромінювання в ультрафіолетовому діапазоні довжин хвиль від 205 до 315 нм. Воно викликає фотохімічні зміни в структурі ДНК мікроорганізмів, що призводить до порушень процесів поділу клітин, накопичення мутацій і, зрештою, до пригнічення або повного припинення розмноження. Найефективніший діапазон впливу з точки зору знищення мікроорганізмів належить спектру UVC, з особливим максимумом ефективності на рівні 254 нм.

Такі лампи використовуються в різноманітних дезінфекційних пристроях зокрема, в бактерицидних опромінювачах і рециркуляторах. Їх застосовують для знезараження повітря, води та поверхонь. При цьому важливою перевагою є відсутність залишкового впливу: після завершення обробки ультрафіолет не продовжує діяти, що зменшує потенційну шкоду для людей, тварин і довкілля. Наприклад, при обробці стічних вод УФ-променями

не виникає загрози екосистемам, як це буває у випадку використання хлору, який зберігає активність навіть після потрапляння у водойми.

Часто ультрафіолетові лампи з бактерицидною дією називають просто бактерицидними. Окремо варто згадати кварцові лампи, які також мають бактерицидний ефект, однак їхня назва походить не від принципу дії, а від матеріалу колби кварцового скла. [3]

Фотокаталітична оксидація

Фотокаталіз – це процес прискорення хімічних реакцій під впливом світла за участі спеціальної речовини каталізатора. Світлове випромінювання в поєднанні з таким каталізатором активізує перебіг реакції, яка без нього відбувалася б значно повільніше або не відбувалася зовсім. Сам термін походить від грецьких слів: «фотос» світло та «каталіз» руйнування або перетворення. [4]

Фотокаталітична оксидація (ФКО) являє собою метод, який застосовує ультрафіолетове випромінювання, найчастіше в діапазоні UV-A або UV-C, спільно з фотокаталізатором, таким як діоксид титану (TiO_2), для розкладання як органічних, так і неорганічних забруднюючих речовин.

Коли ультрафіолетове випромінювання впливає на поверхню фотокаталізатора, відбувається збудження електронів, що сприяє утворенню вільних радикалів, таких як гідроксильні ($\text{OH}\cdot$) і супероксидні (O_2^-) частинки. Ці радикали мають високу окислювальну здатність і ефективно знищують різні:

- Бактерії, віруси та грибові мікроорганізми, шляхом окислення їх клітинних оболонок.
- Летучі органічні сполуки (ЛОС), наприклад, формальдегід, бензол і ацетальдегід, які можуть знаходитися в приміщеннях.

- Неприємні запахи, шляхом окислення молекул, відповідальних за їх появу.

Процес фотокаталітичної оксидації включає декілька ключових етапів:

1. Поглинання фотонів, в процесі якого діоксид титану (TiO_2) активується під впливом ультрафіолетового світла з довжиною хвилі від 254 до 365 нанометрів.
2. Генерація активних форм кисню, що призводить до утворення сильнودیючих гідроксильних радикалів.
3. Розпад шкідливих з'єднань.

Фотокаталітичні системи знаходять широке застосування в області дезінфекції повітря, особливо в медичних установах, лабораторіях, громадських будівлях, транспорті та житлових приміщеннях.

На додаток, дослідження продемонстрували, що поєднання плазмових технологій з фотокаталітичною оксидацією може істотно підвищити ефективність процесів дезінфекції.

Іонізація повітря

Іонізація, рідше йонізація – утворення електрично заряджених частинок, вільних електронів та іонів з електрично нейтральних частинок середовища. Може здійснюватися шляхом відриву від атому, що входить до складу молекулярної частинки, одного або декількох електронів з утворенням іона

або шляхом переходу електрона (електронів) від однієї частинки до іншої з набуттям ними зарядів. [5]

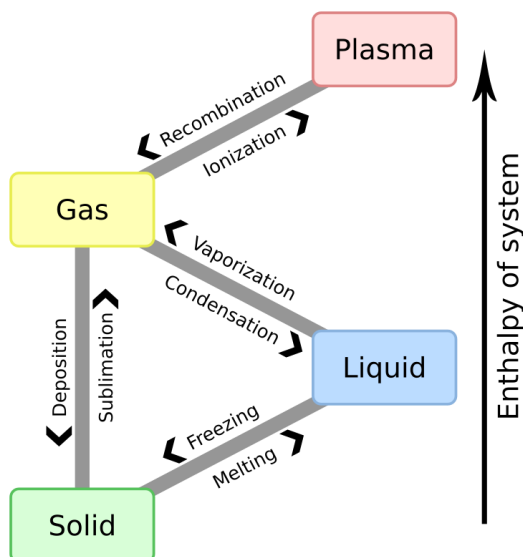


Рисунок 1.4 – Іонізація

Іонізація повітря – це процес утворення в повітряному середовищі позитивно заряджених іонів (катіонів) та негативно заряджених іонів (аніонів). Такий процес сприяє очищенню повітря в закритих приміщеннях, зменшуючи вміст пилу, патогенних мікроорганізмів, алергенів, вірусів та інших шкідливих частинок. [6]

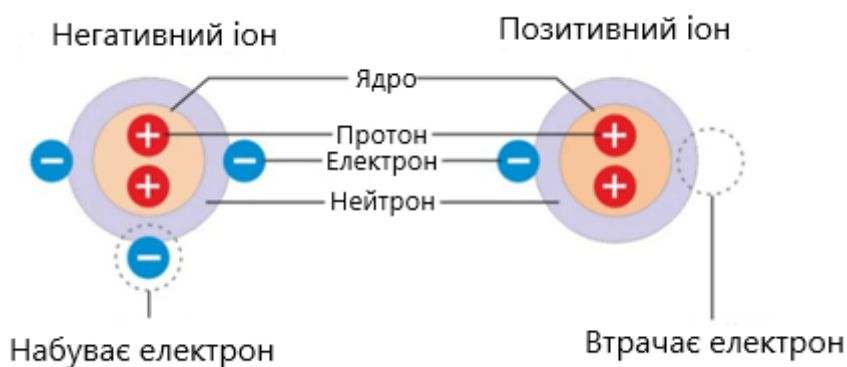


Рисунок 1.5 – Іонізація повітря

Іонне очищення повітря продемонструвало свою ефективність в поєднанні з іншими технологіями очищення, такими як ультрафіолетове випромінювання типу С. Більш того, пристрої для іонізації можуть бути інтегровані в автоматизовані системи очищення, які здатні відстежувати рівень забрудненості в реальному часі і інтенсивно.

Процес іонного очищення здійснюється за таким алгоритмом:

1. Джерело іонізації, або іонізатор, генерує електрони або коронний розряд, який взаємодіє з молекулами повітря.
2. В результаті цієї взаємодії утворюються негативно заряджені іони (O_2^- , OH^- , NO_3^-), які з'єднуються з частинками пилу, вірусами, бактеріями та іншими забруднюючими речовинами.
3. Забруднюючі елементи стають більш важкими і або осідають на поверхні, або руйнуються завдяки електролітичним реакціям.

Існує кілька категорій іонізаторів повітря, що відрізняються за принципом їхньої дії:

- Ультрафіолетові іонізатори – використовують УФ-випромінювання для ініціації утворення іонів.
- Коронні іонізатори – створюють електричний заряд на спеціалізованих електродах або голках.
- Плазмові іонізатори – застосовують плазму для отримання великої кількості іонів.
- Генератори легких іонів – функціонують без значної освіти озону.

Озонування

Озонування – це процес окислення органічних речовин за допомогою озону, який виступає як потужний окисник. У лабораторних умовах цей метод часто застосовується для отримання карбонових сполук. Завдяки високій окисній здатності озону, технологія озонування широко використовується для

глибокого очищення води та повітря від шкідливих органічних забруднень, зокрема залишків нафтопродуктів. Також озон ефективно знезаражує, дезодорує та знебарвлює середовище. [7]

Озонування є одним з найбільш дієвих методів очищення атмосфери, заснований на застосуванні озону (O_3), який є потужним окислювачем, здатним знищувати віруси, бактерії, грибки та інші шкідливі мікроорганізми. Цей процес включає в себе руйнування клітинних мембран мікроорганізмів і пошкодження їх ДНК, що в результаті веде до загибелі патогенів.



Рисунок 1.6 – Озонування та дезінфекція

Розглянемо приклади застосування цього методу:

- У медичних закладах озон використовується для стерилізації палат, операційних та реанімаційних відділень.
- Автоматизовані системи дезінфекції, що функціонують у вентиляційних системах: озоногенератори інтегруються в системи HVAC, забезпечуючи безперервне очищення повітря.

- У промислових та громадських просторах: такі як торгові центри, аеропорти та офіси, впроваджуються системи очищення повітря на основі озону, спрямовані на усунення вірусів та бактерій.

Наукові дослідження продемонстрували, що озон здатний знищувати до 99,9% бактерій та вірусів у повітрі. Тим не менш, для безпечного застосування необхідно ретельно контролювати концентрацію озону. Встановлено, що інтеграція озонових систем у вентиляцію значно покращує якість повітря в приміщеннях без необхідності додаткового використання фільтрів.

Згідно з міжнародними стандартами, гранично допустима концентрація (ГДК) озону в повітрі становить:

- 0.2 мг/м³ (0.1 ppm) для житлових приміщень.
- 0.05 ppm (0.1 мг/м³) для робочих зон (OSHA, 2021)

1.3 Визначення вимог до системи знезараження повітря

Автоматизована система очищення повітря призначена для видалення шкідливих мікроорганізмів, вірусів, бактерій та інших забруднюючих речовин.

Загальні положення

- Автоматизовані системи очищення повітря (АСОП) призначені для усунення бактеріологічних, вірусних, грибкових та хімічних забруднень у приміщеннях різного призначення.
- Ці системи використовуються в медичних установах, промислових об'єктах, громадських місцях, житлових зонах і на транспортних засобах для забезпечення належної якості повітря.
- Вимоги до АСОП формуються на основі міжнародних стандартів, санітарно-епідеміологічних норм та екологічних регуляцій. [8]

Функціональні вимоги

- АСОП повинні забезпечувати очищення повітря з використанням різних методів, таких як фільтрація, ультрафіолетове опромінення, іонізація, озонування та інші високоефективні технології.
- Система зобов'язана автоматично контролювати якість повітря з допомогою сенсорів і коригувати режим роботи в залежності від рівня забруднення.
- Передбачено кілька режимів роботи: автоматичний, ручний, економічний, турбо та нічний.
- Важлива наявність можливості інтеграції з іншими системами управління кліматом.
- Користувач повинен отримувати повідомлення про стан системи та необхідність обслуговування. [9]

Технічні вимоги до обладнання

Пропускна здатність: пристрій повинен обробляти не менше X м³/година (параметр визначається виходячи з обсягу приміщення).

Ефективність дезінфекції:

- Не менше 99% для бактерій та вірусів.
- Не менше 95% для пилу та аерозольних частинок.
- Час повного очищення приміщення: не повинен перевищувати 15-30 хвилин залежно від обсягу.

Методи дезінфекції:

- ультрафіолетове випромінювання (УФ-С, 254 нм).
- Озонування (концентрація не більше 0,1 ppm у робочій зоні).
- Фільтрування (HEPA-фільтри класу H13 чи H14).
- Іонізація та фотокаталітичне очищення. [10]

Експлуатаційні вимоги

- Температурний діапазон роботи: система повинна функціонувати при температурах від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$.
- Автоматичне регулювання: підтримка режимів роботи залежно від часу доби, завантаженості приміщення та рівня забруднення.
- Швидкість реакції: система повинна починати знезараження не пізніше ніж через 10 секунд після виявлення перевищення допустимих норм забруднення.
- Зручність експлуатації: наявність інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для користувачів та можливість швидкого доступу до налаштувань.
- Обслуговування: проведення профілактичних перевірок та заміни витратних матеріалів не рідше одного разу на 6 місяців.[11]

1.4 Патенти

Патент на корисну модель «Пристрій для очищення повітря від діоксиду вуглецю»

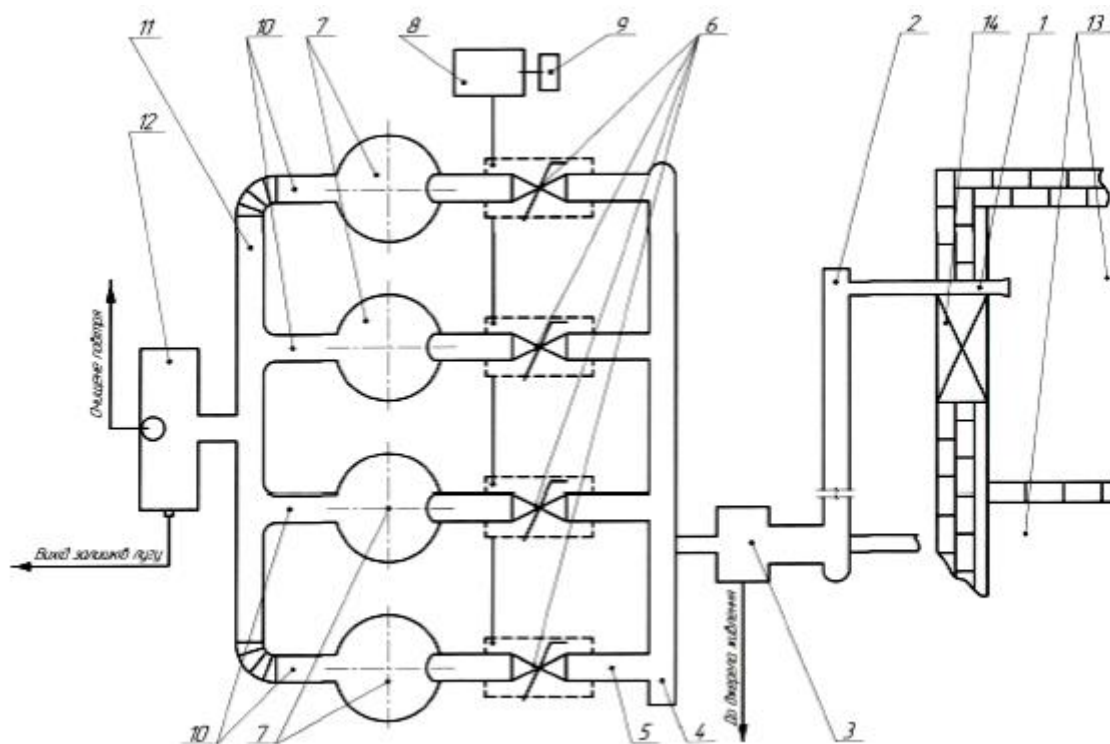
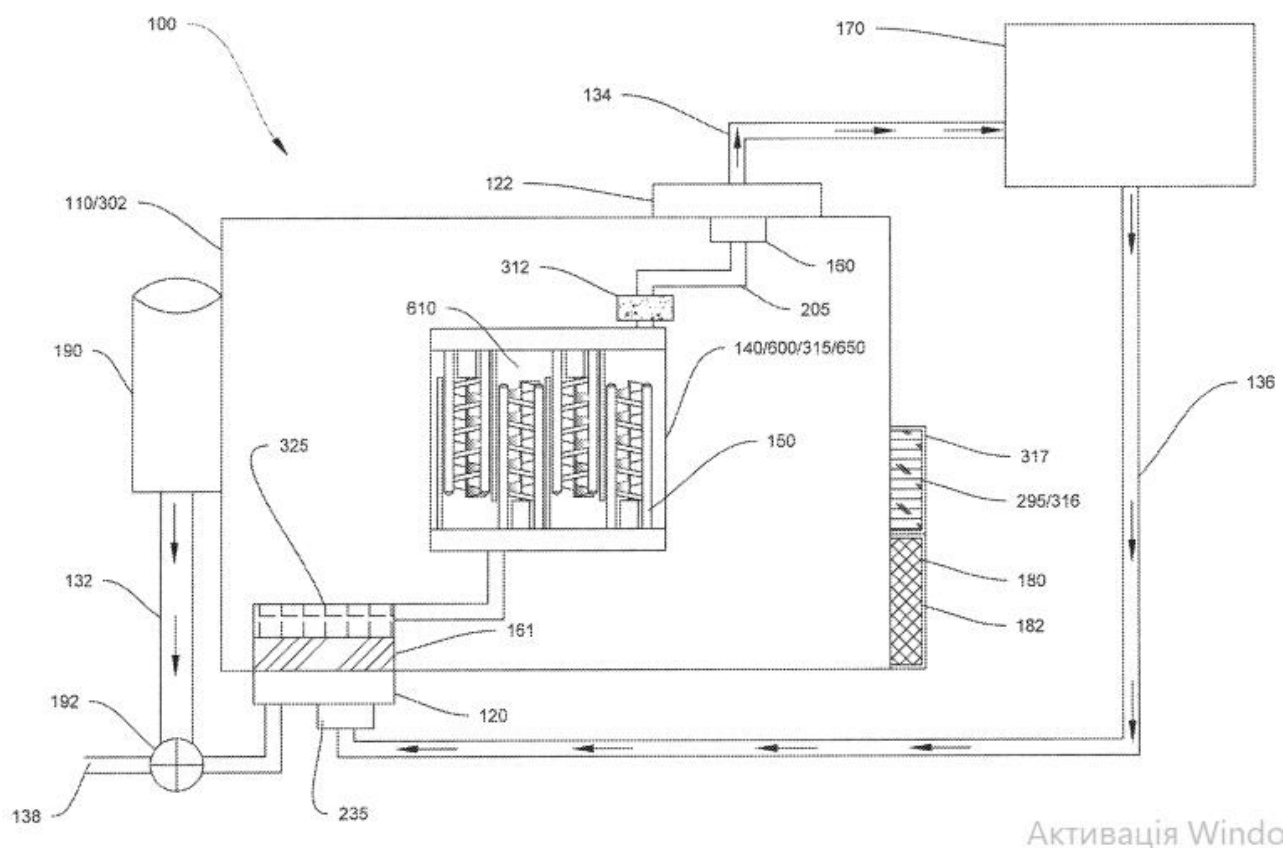


Рисунок 1.7 – Пристрій для очищення повітря від діоксиду вуглецю

1 Збірник брудного повітря; 2 Колектор повітря; 3 Безшумний вентилятор; 4 Повітророзподільний трубопровід; 5 Патрубки; 6 Автоматичні запірно-розпірними крани; 7 Ємності; 8 Блок автоматичного регулювання; 9 Контролер; 10 Патрубки; 11 Повітрозбірник; 12 Сепаратор; 13 Умовне приміщення; 14 Вікна.

Цей патент описує пристрій, призначений для сорбційного очищення повітря від CO_2 у приміщеннях, таких як гаражі та підземні паркінги. Використання сорбентів для видалення специфічних газів може бути інтегровано в комплексні системи знезараження повітря, забезпечуючи покращення його якості.[12]

Патент на «Апарат та методи використання для очищення та дезінфекції повітря»



Активация Windo

Рисунок 1.8 – Апарат та методи використання для очищення та дезінфекції повітря

Система очищення і знезараження повітря включає в себе апарат, що має корпус, камеру ультрафіолетової дезінфекції, повітропривод і повітророзподільний вузол, сполучений з камерою дезінфекції. Повітря проходить через дезінфекційну камеру, де воно очищається та знезаражує перед тим, як через повітророзподільний блок потрапити до користувача апарату. Апарат може бути налаштований як система відкритого або закритого контуру. Систему можна налаштувати для очищення повітря в літаку, конференц-залі, класі або як портативний пристрій для окремого користувача. Як портативний пристрій дезінфекційну камеру можна вставити в рюкзак, жилет, гаманець, портфель, сумку через плече, шийний комір або будь-який інший формат для носіння користувачем.[13]

Патент на «Інтелектуальна система вентиляції з дезінфекцією повітря»

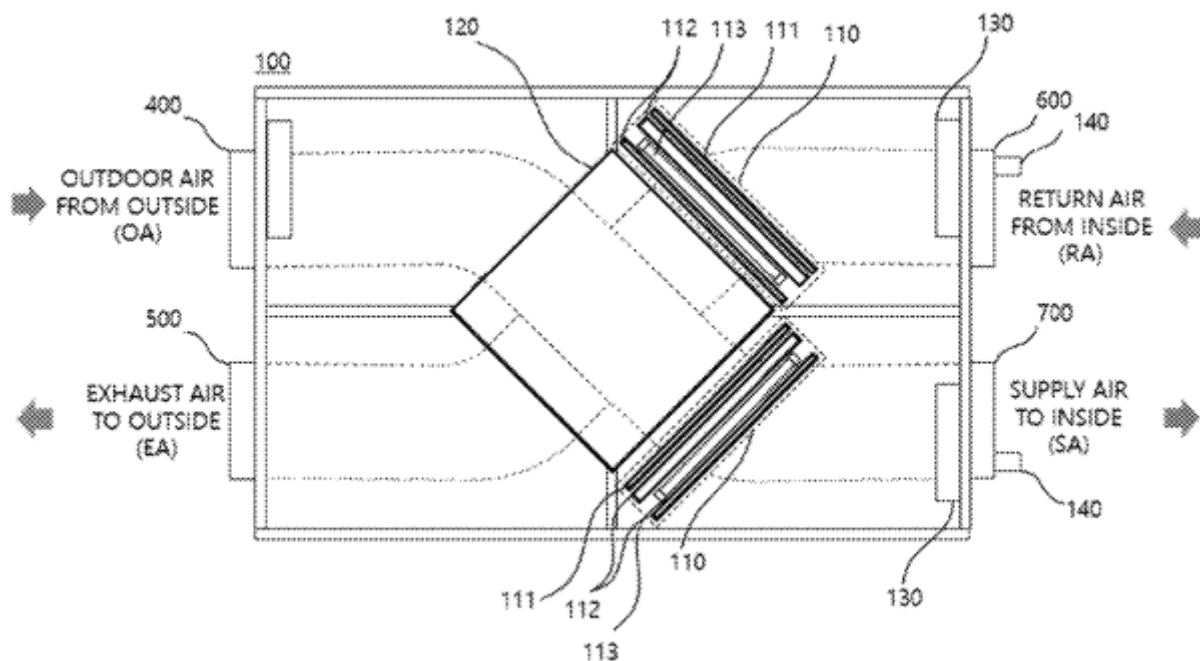


Рисунок 1.9 – Інтелектуальна система вентиляції з дезінфекцією повітря

Забезпечено інтелектуальну систему вентиляції дезінфекції повітря та метод, який може виконувати стерилізацію плаваючих бактерій і плаваючих вірусів у повітрі приміщень, призначених для мінімізації шкідливості для людського організму та може мінімізувати споживання енергії.[14]

1.5 Визначення головних задач автоматизованих систем знезараження повітря

Автоматизовані системи очищення повітря відіграють ключову роль у підтримці чистоти та безпеки атмосферного повітря в різних приміщеннях, що в свою чергу сприяє зниженню ймовірності поширення шкідливих мікроорганізмів.

Спочатку, необхідно проводити моніторинг якості повітря, який включає в себе систематичне відстеження рівня забрудненості, включаючи концентрації бактерій, вірусів, пилу та інших небезпечних речовин, за допомогою сенсорів і аналітичних систем.

Другим аспектом є автоматизоване керування процесом дезінфекції. Слід також відзначити застосування ефективних методів дезінфекції, таких як ультрафіолетове випромінювання (UV-C), іонізація, озонування та інші технології, які спрямовані на нейтралізацію патогенів та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Крім того, важливим аспектом є оптимізація споживання енергії. Це включає в себе регулювання роботи системи для економії електроенергії та продовження терміну служби обладнання без зниження ефективності дезінфекції, а також використання енергоефективних компонентів.

Не менш значущим є забезпечення безпеки експлуатації, що передбачає мінімізацію впливу шкідливих факторів на людину під час роботи системи. Це може бути досягнуто за допомогою спеціальних захисних механізмів, які захищають від надмірного впливу ультрафіолетового та озонowego випромінювання.

Також необхідно підкреслити важливість автоматичного обслуговування та діагностики. Це включає своєчасне виявлення несправностей, оповіщення про необхідність заміни фільтрів, ламп та інших ключових компонентів, а також прогнозування технічного обслуговування для запобігання аварійним ситуаціям.

Інтеграція з іншими системами автоматизації є ще однією важливою складовою.

Нарешті, адаптація до різних умов експлуатації забезпечує ефективну роботу системи в різних типах приміщень, таких як лікарні, офіси, школи та

виробничі об'єкти, з урахуванням специфічних вимог до рівня очищення повітря.

1.6 Завдання на проектування

Спираючись на поставлене завдання за темою бакалаврської роботи, було визначено основні задачі проектування автоматизованої системи знезараження повітря:

1. Вивчити сучасні методи знезараження повітря та технології, що застосовуються у сфері очищення повітря в приміщеннях.
2. Проаналізувати існуючі автоматизовані системи знезараження повітря, зокрема з використанням ультрафіолетового випромінювання, іонізації, озонування та інших методів.
3. Сформулювати функціональні та технічні вимоги до автоматизованої системи знезараження повітря на основі чинних нормативів і санітарно-гігієнічних вимог.
4. Створити загальний опис системи, включаючи її основні функціональні блоки, взаємодію компонентів та архітектуру системи.
5. Розробити блок-схему роботи автоматизованої системи знезараження з урахуванням роботи сенсорів, виконавчих пристроїв та контролера.
6. Обрати апаратне забезпечення (датчики, виконавчі пристрої, мікроконтролер, модулі зв'язку) та програмне середовище для реалізації автоматизованої системи.
7. Розробити функціональну, структурну та електричну принципову схеми системи.
8. Реалізувати програмне забезпечення системи, включаючи алгоритми керування та логіку роботи системи на базі мікроконтролера Arduino.

9. Побудувати модель роботи системи в середовищі MATLAB/Simulink з використанням нечіткої логіки для адаптивного керування процесом знезараження.
10. Провести аналіз питань охорони праці при експлуатації системи, зокрема безпеки при роботі з УФ-випромінюванням, електричними пристроями та організації евакуації в разі аварійної ситуації.

Висновок до розділу 1

У першому розділі було проведено комплексний аналіз актуальності автоматизації процесів знезараження повітря в умовах зростаючих екологічних викликів та потреб у створенні безпечного середовища для людини. Розглянуто сучасні методи очищення повітря, серед яких ультрафіолетове опромінення (UV-C), озонування, іонізація та фотокаталітична оксидація. Ці технології мають високий потенціал для застосування в автоматизованих системах, що забезпечують ефективне знищення шкідливих мікроорганізмів і покращення якості повітря.

Окрему увагу приділено аналізу технічних рішень, які вже реалізовані в існуючих системах знезараження повітря та описані в патентах. Наведено приклади інноваційних розробок, зокрема систем із використанням сорбційних фільтрів, УФ-камер та інтелектуального керування.

Також були визначені основні функціональні та технічні вимоги до автоматизованої системи очищення повітря, серед яких: автоматичний контроль забруднення, багаторежимність роботи, енергоефективність, безпечність для користувача та можливість інтеграції з іншими системами.

На основі проведеного аналізу сформовано головні задачі, які повинна вирішувати така система: моніторинг параметрів повітря, автоматичне керування процесами знезараження залежно від умов середовища, оптимізація енергоспоживання, безпечна експлуатація та зручне обслуговування.

2 КОНЦЕПЦІЯ РЕАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Розробка функціональної схеми

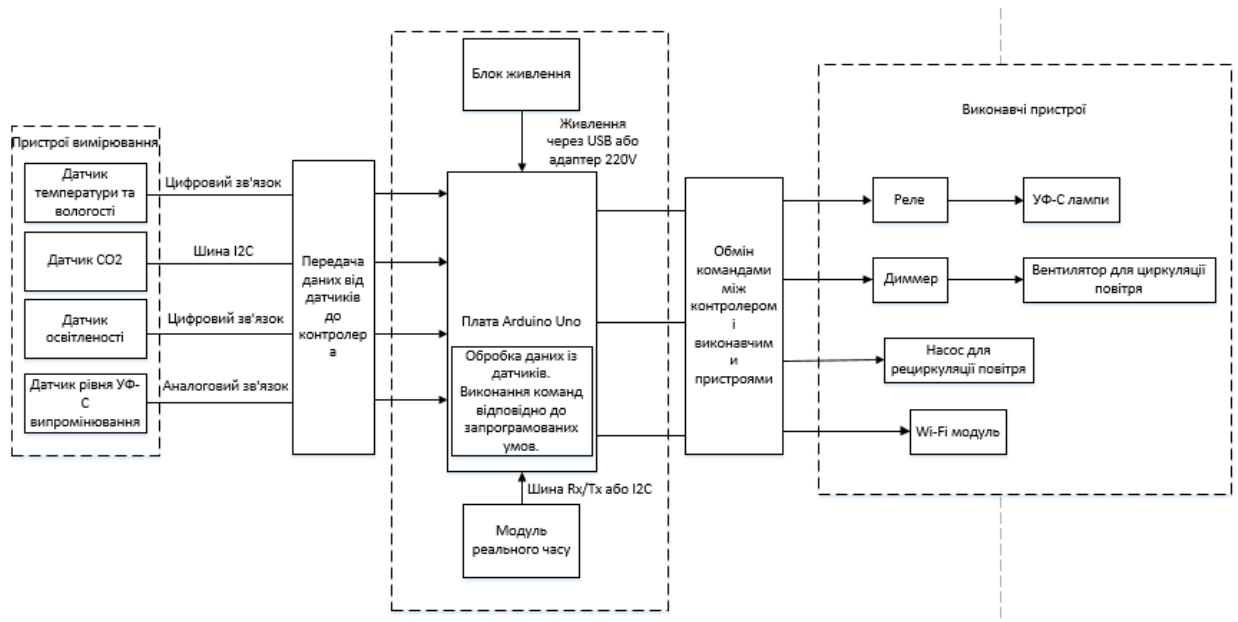


Рисунок 2.1 – Функціональна схема автоматизованої системи знезараження повітря

Ця функціональна схема відображає автоматизовану систему знезараження повітря на базі Arduino Uno з використанням сенсорів, виконавчих механізмів та зв'язку з іншими пристроями. Вона забезпечує моніторинг навколишнього середовища, прийняття рішень на основі зібраних даних та керування процесом знезараження повітря за допомогою УФ-С лампи, вентилятора для рециркуляції.

Основні блоки системи

Блок вимірювання

Датчик температури та вологості (цифровий сигнал)

- Вимірює поточну температуру та рівень вологості в приміщенні.
- Дані можуть використовуватися для коригування роботи вентилятора або інших пристроїв.

Датчик CO₂ (шина I2C)

- Контролює рівень вуглекислого газу.
- Високий рівень CO₂ може вказувати на недостатню вентиляцію, тому система може включати циркуляційний вентилятор.

Датчик освітленості (аналоговий сигнал)

- Використовується для визначення рівня освітлення.
- Якщо приміщення освітлене природним світлом, система може автоматично адаптувати рівень роботи УФ-С лампи.

Датчик рівня УФ-С випромінювання (аналоговий сигнал)

- Контролює рівень ультрафіолетового випромінювання.
- Допомогає уникнути надмірного опромінення та оптимізує ефективність знезараження.

Контролер Arduino Uno

Центральний елемент системи, який:

- Отримує сигнали від сенсорів та обробляє їх.
- Визначає, чи необхідно увімкнути або вимкнути виконавчі пристрої.
- Передає команди через релейні модулі, димери та Wi-Fi зв'язок.
- Використовує шини Rx/Tx або I2C для комунікації з іншими пристроями.
- Має модуль реального часу (RTC) для точного керування процесами в залежності від розкладу.
- Живиться через USB або адаптер 220V.

Виконавчі пристрої

Після обробки даних Arduino Uno передає команди виконавчим механізмам:

- Реле – використовується для керування УФ-С лампою, яка знезаражує повітря.

- Димер – контролює вентилятор для циркуляції повітря, змінюючи швидкість його обертання в залежності від необхідності.
- Вентилятор для рециркуляції повітря – активується у разі потреби для покращення руху повітря в системі.
- Wi-Fi модуль – забезпечує віддалений контроль і моніторинг параметрів повітря та стану системи через інтернет.

Блок живлення

Забезпечує подачу електроенергії для роботи контролера та виконавчих механізмів. Живлення може здійснюватися через:

- USB-підключення
- Адаптер 220V → 5V (для роботи від електромережі)

Принцип роботи системи

1. Датчики зчитують параметри повітря та передають їх на Arduino Uno.
2. Контролер аналізує отримані дані і визначає необхідність увімкнення або вимкнення виконавчих пристроїв.
3. При досягненні критичних рівнів CO₂, вологості або інших показників система активує відповідні пристрої:
 - Увімкнення УФ-С лампи для знезараження.
 - Регулювання швидкості вентилятора для покращення циркуляції.
 - Використання насоса для покращення повітряного потоку.
4. Через Wi-Fi модуль можна віддалено контролювати систему та отримувати дані про якість повітря.

2.2 Апаратне забезпечення

Arduino Uno - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. До його складу входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14

цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися як ШИМ-виходи), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP) та кнопка скидання. [14]



Рисунок 2.2 – Arduino Uno

Таблиця 2.1 – Характеристики

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (гранична)	6-20В
Цифрові входи/виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися як ШИМ-виходи)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Максимальний вихідний струм виведення 3.3V	50 мА

Flash-пам'ять	32 КБ (АТmega328) з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2 КБ (АТmega328)
EEPROM	1 КБ (АТmega328)
Тактова частота	16 МГц

Цифровий датчик температури та вологості підвищеної точності АМ2320 має заводське калібрування та характеризується низьким енергоспоживанням. [15]

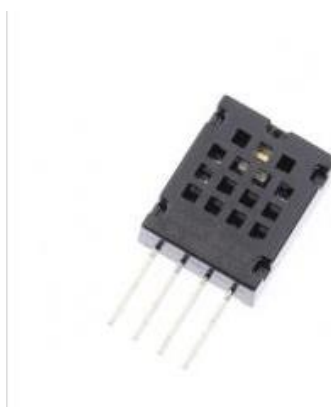


Рисунок 2.3 – Датчик температури та вологості АМ2320

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики АМ2320

Живлення	DC: 3,1 - 5,5 В
Діапазон виміру	Температура: -40 – 80 °C Вологість: 0 - 99,9% RH
Точність (25°C навколишнє середовище)	Температура: $\pm 0,5$ °C Вологість: $\pm 3\%$ RH (10 ... 90% RH)
Точність вимірювань	Температура: 0,1 °C Вологість: 0,1% RH
Значення загасання	Температура: $< 0,1$ °C/рік

	Вологість: <1% RH/рік
Тип датчика	Температура: резистивний Вологість: ємнісний
Час відгуку	Температура: 5 с Вологість: 5S 1 / е (63%)
Діапазон робочих температур	-40 – 80° С
Матеріал корпусу	Пластик
Вага	0.5 г

Компактний та енергоефективний інфрачервоний оптичний датчик МН-Z19В Gas Sensor для вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO₂ – діоксид вуглецю) у повітрі. [16]



Рисунок 2.4 – Датчик CO₂ МН-Z19В

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики МН-Z19В

Параметр	Значення
Живлення	4.5...5.5 В
Споживаний струм (середній)	60 мА
Вихідний сигнал	UART і PWM
Діапазон вимірювання	0..5000 ppm
Діапазон робочих температур	0°С...+50°С
Допустимий діапазон вологості	0...90% (без конденсації)

Розміри	33x20x9 мм
Термін експлуатації	> 5 років

VEML7700 це високоточний, цифровий сенсор освітленості від компанії Vishay. Підключення просте цей датчик використовує простий універсальний I2C. [17]



Рисунок 2.5 – Датчик освітленості VEML7700

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики VEML7700

Параметр	Значення
Тип датчика	Цифровий датчик освітленості
Діапазон вимірювання	0.003 – 120,000 lx
Роздільна здатність	16-біт
Спектр чутливості	Близький до людського ока
Інтерфейс	I ² C (адреса: 0x10)
Напруга живлення	2.5V – 3.6V (зазвичай 3.3V)
Споживана потужність	Низька
Час вимірювання	100 – 800 мс
Робоча температура	-40°C до +85°C
Функції	Автоматичне налаштування діапазону, компенсація затемнення

Модуль датчика ультрафіолету на GUVA-S12SD ідеально підходить для конструкцій, що вимірюють рівень ультрафіолетового випромінювання. Лінійна залежність датчика вимірювань дозволяє працювати без перетворень, знижуючи швидкість і точність вимірювань. [18]



Рисунок 2.6 – Датчик рівня УФ-С випромінювання GUVA-S12SD

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики GUVA-S12SD

Характеристика	Значення
Тип датчика	Аналоговий датчик УФ-світла
Вимірюваний спектр	УФ-С (глобально 240–280 нм)
Робоча напруга	3.3 V – 5 V
Вихід	Аналоговий (0 – 5 V)
Чутливість	0.1 V/мВт/см ² (приблизно)
Максимальна температура роботи	85°C
Температурний коефіцієнт	-0.2%/°C (відносно чутливості)
Розмір	20 мм x 16 мм x 6 мм
Вага	3 г
Час розгону	< 1 секунда
Робоча температура	-40°C до 85°C
Прецизійність	±10% для рівня УФ випромінювання
Кут огляду	60°

Модуль годинника реального часу DS3231 RTC високоточний годинник реального часу (Real Time Clock) з вбудованим інтерфейсом I2C, термокомпенсованим кварцевим генератором (TCXO) і кварцевим резонатором. [19]



Рисунок 2.7 – Модуль реального часу DS3231

Таблиця 2.6 – Характеристики модуля реального часу DS3231

Характеристика	Значення
Напруга живлення	3.3V – 5.5V
Інтерфейс	I2C (SDA, SCL)
Точність ходу	± 2 ppm (при 0°C до +40°C) $\approx \pm 1$ хв/рік
Діапазон температур	-40°C до +85°C
Часовий формат	24-годинний або 12-годинний (з AM/PM)
Вбудований генератор	Є (температурно компенсований)
Підтримка батареї	CR2032 (3V) – збереження часу при вимкненні живлення
Будильник (Alarm)	Два будильники (Alarm 1 і Alarm 2)
Вбудований датчик температури	Так ($\pm 3^\circ\text{C}$)
Додаткові можливості	Генерація частот 1Hz, 32.768kHz, 1.024kHz, 8.192kHz
Розміри модуля	Приблизно 38×22 мм (може змінюватись)

AC Light Dimmer Module, 1 Channel, 3.3V/5V logic, AC 50/60hz, 220V/110V це модуль диммера для керування потужністю пропускання змінного струму за допомогою будь-якого мікроконтролера. [20]

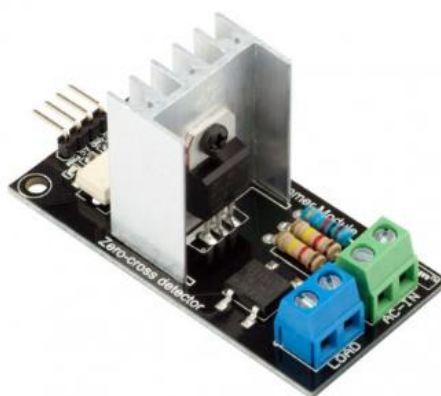


Рисунок 2.8 – Диммер AC Light Dimmer Module

Таблиця 2.7 – Характеристика Диммер AC Light Dimmer Module

Характеристика	Значення
Кількість каналів	1
Сумісність з логікою	3.3V / 5V (Arduino, ESP8266, ESP32, STM32 тощо)
Напруга живлення навантаження	110–220 В змінного струму (AC)
Частота мережі	50/60 Гц
Максимальний струм навантаження	8 А (рекомендовано до 5–6 А для безпеки)
Максимальна потужність навантаження	~1500–2000 Вт (залежить від охолодження)
Тип симістора	ВТА16-600В або аналог
Тип оптосимістора	МОС3021 (або МОС3041 із вбудованим детектором нуля)
Детектор нуля	Так
Гальванічна розв'язка	Так (через оптопару)
Інтерфейс керування	PWM / цифровий пін (з бібліотекою RBDDimmer)
Піни для підключення до Arduino	Z-CROSS (нульовий перехід), PWM (або «IN»), GND
Температурний діапазон	-20°C ... +85°C

Розміри	~50 × 35 × 25 мм (може відрізнятись у різних виробників)
Вага	~30 г
Тип навантаження	Резистивне (лампи розжарювання, галогенки тощо)

ESP32 це потужний мікроконтролер із вбудованими модулями Wi-Fi і Bluetooth, розроблений компанією Espressif Systems. [20]

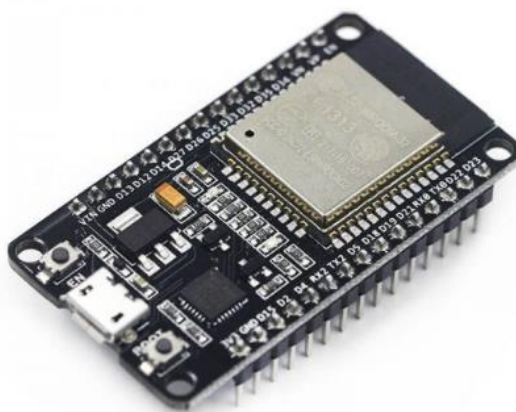


Рисунок 2.9 – Wi-Fi модуль ESP32

Таблиця 2.8 – Характеристика Wi-Fi модуль ESP32

Характеристика	Значення / Опис
Виробник чипа	Espressif Systems
Модель чипа	ESP32 (наприклад, ESP32-WROOM-32, ESP32-WROVER)
Процесор (CPU)	Двоядерний Tensilica Xtensa LX6, до 240 МГц
Оперативна пам'ять (SRAM)	520 КБ
Флеш-пам'ять	Зазвичай 4 МБ (залежно від модуля — до 16 МБ)
Wi-Fi	802.11 b/g/n, 2.4 ГГц
Bluetooth	Так, Bluetooth 4.2 + BLE (Bluetooth Low Energy)

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система знезараження повітря

Кількість GPIO	До 34, більшість — багатоцільові (програмно налаштовуються)
Аналогові входи (ADC)	До 18 каналів, розрядність 12 біт
Цифрові входи/виходи (GPIO)	До 34 (залежно від плати)
PWM (ШИМ)	Є, до 16 каналів
Інтерфейси I2C / SPI / UART	Присутні, по кілька портів кожного типу
Ethernet	Можна підключити через зовнішній PHY
RTC (годинник реального часу)	Є
Живлення	3.0–3.6 В (зазвичай 3.3 В)
Споживання енергії	Дуже низьке у сплячому режимі (~10 мкА), до 500 мА в активному режимі Wi-Fi
Робоча температура	Від -40°C до +125°C
Розміри модуля (WROOM-32)	Приблизно 18 мм x 25.5 мм

2.3 Розробка алгоритму та блок-схем функціонування системи

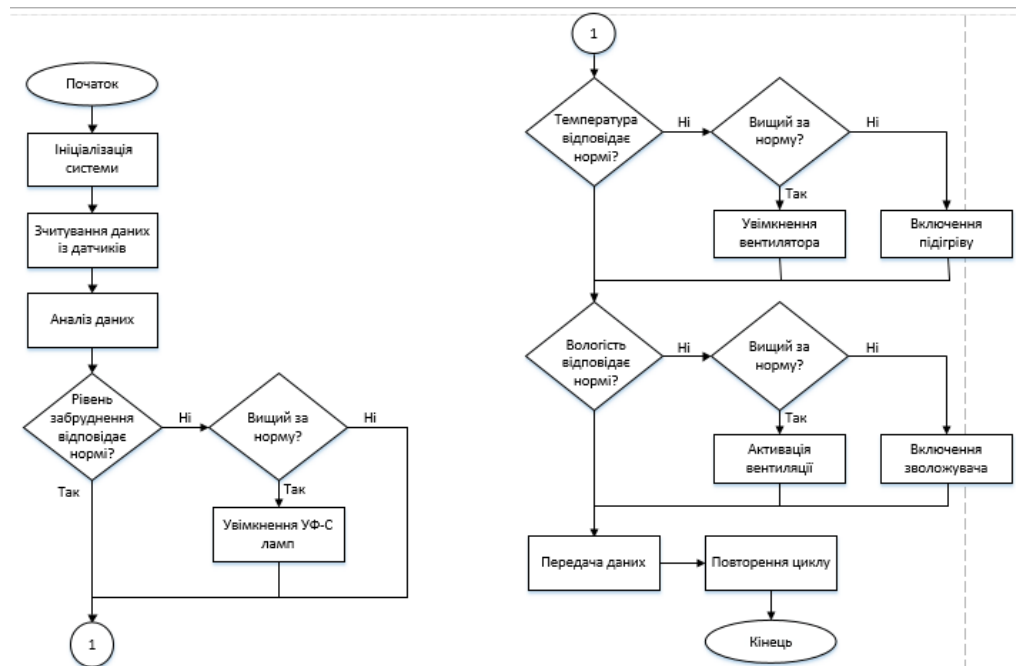


Рисунок 2.10 – Блок-схема роботи системи

Ця блок-схема описує алгоритм роботи автоматизованої системи знезараження. Алгоритм починається з ініціалізації системи, після чого відбувається зчитування даних із датчиків та їх аналіз. Спочатку перевіряється рівень забруднення повітря, якщо він вищий за норму, система активує УФ-С лампу для знезараження, інакше переходить до наступного етапу. Наступний етап проводиться контроль температури, якщо вона виходить за допустимі межі, вмикається вентилятор для охолодження або підігрів для підвищення температури. Аналогічно перевіряється рівень вологості, при перевищенні норми активується вентиляція, а при надто низькому рівні включається зволожувач. Після всіх перевірок система передає отримані дані та повертається до початку циклу. Таким чином, система працює в режимі реального часу, забезпечуючи автоматичний моніторинг якості повітря, його очищення за необхідності та підтримання оптимальних умов.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система знезараження повітря

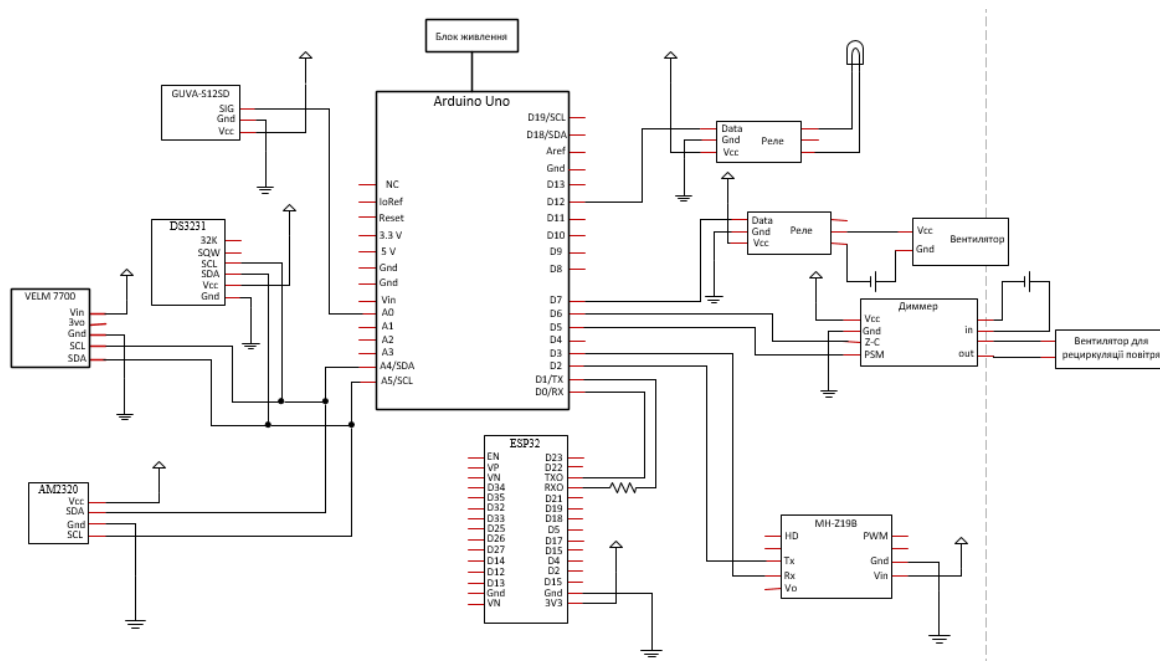


Рисунок 2.11 – Електрична принципова схема системи

Схема представляє собою розумну систему спостереження та керування на основі мікроконтролера Arduino Uno з бездротовим модулем ESP32. До системи підключено кілька датчиків: GUV-A-S12SD для вимірювання ультрафіолетового світла, VELM7700 – для визначення рівня освітлення, AM2320 – датчик температури і вологості, DS3231 – модуль реального часу (RTC) для точного відліку час, та MH-Z19B – датчик CO₂. Передача даних між Arduino и ESP32 робиться через послідовний інтерфейс використовуючи резистор для узгодження логічних рівнів. Усі сенсори (крім GUV-A-S12SD і MH-Z19B) підключені до Arduino через шину I²C (контакти A4 – SDA а A5 – SCL).

Висновок до розділу 2

У другому розділі реалізовано концептуальну розробку автоматизованої системи знезараження повітря на базі платформи Arduino Uno. Побудовано функціональну схему системи, яка включає сенсорні модулі для контролю основних параметрів мікроклімату (температура, вологість, рівень CO₂, освітленість, УФ-випромінювання) та виконавчі механізми (УФ-С лампа, вентилятор).

Розроблено структурну побудову, в якій мікроконтролер здійснює обробку вхідних даних, приймає логічні рішення щодо активації знезараження і передає дані на Wi-Fi модуль для віддаленого моніторингу. Система підтримує декілька режимів роботи, включаючи автоматичний контроль на основі значень сенсорів, що дає змогу адаптивно реагувати на зміни якості повітря в приміщенні.

Також реалізовано електричну принципову схему, яка демонструє взаємозв'язки між компонентами системи. Вибрані датчики та модулі характеризуються високою точністю, надійністю та енергоефективністю, що забезпечує тривалу стабільну роботу системи навіть у складних умовах.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розрахунок часу знезараження повітря

Для ефективного знезараження повітря в діапазоні довжин хвиль 254 нм необхідна доза випромінювання:

$$H = D * t$$

де:

H – енергія дози, мкВт·с/см² (норма: 7200 мкВт·с/см² для бактерицидного ефекту)

D – потужність опромінення, мкВт/см²

t – час експозиції, с

Для розрахунку тривалості знезараження повітря врахуємо:

- Об'єм приміщення
- Швидкість рециркуляції вентилятора : $Q = 100 \text{ м}^3/\text{год}$
- Кратність обробки повітря : мінімум 3 рази для ефективного знезараження

Розмір приміщення(приблизно):

- Довжина – 5 м
- Ширина – 4 м
- Висота – 2.5 м

$$V = L * W * H = 5 * 4 * 2.5 = 50 \text{ м}^3$$

Розрахунок мінімальної бактерицидної дози:

$$D = 6.6 \frac{\text{мДж}}{\text{см}^2} = 66 \text{ Дж/м}^2$$

Це доза для знищення 99% бактерій при довжині хвилі 254 нм.

Інтенсивність УФ-опромінення:

Наприклад УФ-С лампа має потужність 15 Вт, з яких 30% – ефективне УФ-випромінювання:

$$P_{UVC} = 0.3 * 15 = 4.5 \text{ Вт}$$

Допустимо відстань від лампи до повітряного потоку 1 м.

Інтенсивність по центру променю:

$$E = \frac{P}{S} = \frac{4.5}{4\pi r^2} = \frac{4.5}{4\pi(1)^2} = 0.36 \text{ Вт/м}^2 = 360 \text{ мкВт/см}^2$$

Час опромінення:

$$D = 66 \text{ Дж/м}^2$$

$$t = \frac{D}{E} = \frac{66}{0.36} = 183 \approx 3 \text{ хв}$$

Час необхідний для повного знезараження повітря з урахуванням кратності рециркуляції $k = 3$ та потужності вентилятора $Q = 100 \text{ м}^3/\text{год}$:

$$t_{\text{все}} = \frac{V * k}{Q} = \frac{50 * 3}{100} = 1.5 \text{ год} = 90 \text{ хв}$$

При інтенсивному режимі (наприклад, турбо), вентилятор може працювати на $150 \text{ м}^3/\text{год}$, що скорочує час до:

$$t_{\text{турбо}} = \frac{V * k}{Q} = \frac{50 * 3}{150} = 1 \text{ год} = 60 \text{ хв}$$

Кількість циклів на добу:

$$N = \frac{24 \text{ год}}{1.5 \text{ год}} = 16 \text{ циклів/добу}$$

Таблиця 4 Енергоспоживання за добу

Компонент	Потужність	Час на добу	Енерговитрати
УФ-С лампа	15 Вт	24 год	360 Вт·год
Вентилятор	10 Вт	24 год	240 Вт·год
Arduino + ESP32	2 Вт	24 год	48 Вт·год

Разом	—	—	648 Вт·год = 0.648 кВт·год
-------	---	---	----------------------------

Термін служби лампи

Якщо лампа наприклад має 8000 год, то при безперервній роботі:

$$T = \frac{8000}{24} = 333 \text{ днів}$$

Або при 8-годинному режимі роботи:

$$T = \frac{8000}{8} = 1000 \text{ днів} \approx 2,7 \text{ років}$$

3.2 Програмне забезпечення системи

Код для Arduino Uno

Цей код відповідає за керування автоматизованою системою знезараження повітря. Основне завдання коду зчитувати данні з датчиків, аналізувати їх та керувати виконавчими пристроями (вентилятором і УФ-С лампою), а також передавати інформацію ESP2 для бездротового моніторингу.

```

1  #include <SoftwareSerial.h>
2  #include <Wire.h>
3  #include <Adafruit_Sensor.h>
4  #include <Adafruit_AM2320.h>
5
6  #define FAN_PIN 5
7  #define UV_LAMP_RELAY 6
8  #define CO2_RX 10 // Arduino receives data from CO2 sensor
9  #define CO2_TX 11 // Arduino transmits to CO2 sensor
10
11 Adafruit_AM2320 am2320 = Adafruit_AM2320();
12 SoftwareSerial espSerial(2, 3); // RX, TX to ESP32
13 SoftwareSerial co2Serial(CO2_RX, CO2_TX); // CO2 sensor serial
..

```

Рисунок 3.1 – Бібліотеки

На рисунку 3.1 можна побачити підключені бібліотеки, SoftwareSerial для програмної реалізації послідовного порту (для зв'язку з ESP32), Wire для взаємодії за протоколом I2C, а також Adafruit_Sensor та Adafruit_AM2320 для

роботи з цифровим датчиком температури та вологості AM2320. Далі визначаються піни, вентилятор до цифрового піну 5, реле керуюче ультрафіолетовою лампою до піну 6 та піни 10 і 11 для програмного з датчиком CO₂ MH-Z19B. Наступне створюється об'єкт am2320 для взаємодії датчиком, об'єкт espSerial призначений для зв'язку з ESP32, а також co2Serial теж для зв'язку з датчиком CO₂ MH-Z19B.

```
15 void setup() {  
16     Serial.begin(9600);  
17     espSerial.begin(9600);  
18     co2Serial.begin(9600);    // MH-Z19B default baudrate  
19  
20     Wire.begin();  
21     am2320.begin();  
22  
23     pinMode(FAN_PIN, OUTPUT);  
24     pinMode(UV_LAMP_RELAY, OUTPUT);  
25 }
```

Рисунок 3.2 – Виконання ініціалізації

Спочатку виконується ініціалізація різних інтерфейсів. Serial.begin(9600) запускає стандартне послідовне з'єднання зі швидкістю 9600 та виводить інформація на комп'ютер. espSerial.begin(9600) це програмне UART-з'єднання для зв'язку з ESP32. co2Serial.begin(9600) він відкриває серійний порт для зчитування даних з датчика. Wire.begin() запускає I2C-шини для взаємодії з датчиком. am2320.begin() це ініціалізація цифрового датчика температури та вологості AM2320. Далі налаштовуються режим роботи пінів.

```
int readCO2() {  
    byte cmd[] = { 0xFF, 0x01, 0x86, 0, 0, 0, 0, 0, 0x79 };  
    byte response[9];  
  
    co2Serial.write(cmd, 9);  
    delay(100);  
  
    if (co2Serial.available() >= 9) {  
        for (int i = 0; i < 9; i++) {  
            response[i] = co2Serial.read();  
        }  
        if (response[0] == 0xFF && response[1] == 0x86) {  
            int ppm = (int)response[2] * 256 + (int)response[3];  
            return ppm;  
        }  
    }  
    return -1; // Error  
}
```

Рисунок 3.3 – Читання даних з датчика

Спочатку іде запит на зчитування даних з датчика відповідно до протоколу. Далі надсилається команда в 9 байт по серійному порту до датчика та чекаємо 100 мс. Перевіряємо відповідь щонайменше 9 байт (повна відповідь). Якщо все добре формується 16-бітне значення рівня CO₂. Якщо щось пішло не так повертається до -1.

```
46 void loop() {
47     float temp = am2320.readTemperature();
48     float humid = am2320.readHumidity();
49     int co2 = readCO2();
50
51     // --- Керування УФ-лампою по CO2 ---
52     if (co2 > 1000) digitalWrite(UV_LAMP_RELAY, HIGH);
53     else digitalWrite(UV_LAMP_RELAY, LOW);
54
55     // --- Керування вентилятором по температурі/вологості ---
56     if (temp > 28 || humid > 65) digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);
57     else digitalWrite(FAN_PIN, LOW);
58
59     // Надсилання даних на ESP32
60     espSerial.print("CO2:"); espSerial.print(co2);
61     espSerial.print(";TEMP:"); espSerial.print(temp);
62     espSerial.print(";HUMID:"); espSerial.println(humid);
63
64     delay(3000);
65 }
```

Рисунок 3.4 – Цикл керування

Спочатку іде зчитування даних з датчиків, а саме температура, вологість та рівень вуглекислого газу. На основі отриманих даних виконується керування УФ-лампою та вентилятором. Якщо рівень CO₂ перевищує 1000 ppm, УФ-лампа вмикається в іншому випадку вона вимикається. Вентилятор вмикається у випадку, якщо температура перевищує 28 °C або вологість перевищує 65 %, інакше вимикається. Далі всі значення передаються на ESP32 через програмний порт espSerial у вигляді зрозумілих міток.

Код для ESP32 (Wi-Fi відправка на сервер / моніторинг):

Код призначений для роботи на ESP32, який відповідає за бездротову передачу даних через Wi-Fi. Він отримує показники з датчиків від Arduino Uno через послідовний порт (Serial) і відображає їх у вигляді веб-сторінки, доступної по IP-адресі ESP32 у локальній мережі.

```

1  #include <WiFi.h>
2  #include <WebServer.h>
3
4  const char* ssid = "YOUR_WIFI_SSID";
5  const char* password = "YOUR_WIFI_PASSWORD";
6
7  String sensorData = "Очікування даних...";
8  WebServer server(80);
9

```

Рисунок 3.5 – Бібліотеки та Wi-Fi

Спочатку підключаються бібліотеки `WiFi.h` для з'єднання з Wi-Fi мережею та `WebServer.h` для створення простого HTTP-сервера. Далі вводяться назва та пароль Wi-Fi, а також змінна `sensorData`, яка містить дані датчика. Початкове значення змінної "Очікування даних...", сервер створюється на порті 80.

```

10 void handleRoot() {
11     String html = "<!DOCTYPE html><html><head><meta charset='utf-8'><title>Моніторинг повітря</title></head><body>";
12     html += "<h2>Стан якості повітря</h2><pre>" + sensorData + "</pre>";
13     html += "<p>Сторінка оновлюється кожні 5 секунд</p>";
14     html += "<script>setTimeout(()=>location.reload(), 5000);</script>";
15     html += "</body></html>";
16     server.send(200, "text/html", html);
17 }

```

Рисунок 3.6 – Обробка запиту

Ця частина коду відповідає за обробку запиту до головної сторінки сайту ("/"). Вона створює HTML-сторінку, яка містить заголовок, відображає дані із змінної `sensorData`, повідомлення про оновлення сторінки кожні 5 секунд та JavaScript-код для перезавантаження сторінки (`setTimeout(()=>location.reload(), 5000)`).

```

19 void setup() {
20     Serial.begin(9600); // з'єднання з Arduino Uno
21     WiFi.begin(ssid, password);
22     Serial.println("Підключення до Wi-Fi...");
23
24     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
25         delay(500);
26         Serial.print(".");
27     }
28
29     Serial.println("");
30     Serial.print("Підключено до Wi-Fi. IP: ");
31     Serial.println(WiFi.localIP());
32
33     server.on("/", handleRoot);
34     server.begin();
35 }

```

Рисунок 3.7 – Ініціалізація Wi-Fi та HTTP

Тут іде ініціалізація серійного порту (`Serial.begin(9600)`), який використовується для отримання даних від Arduino Uno. Далі підключається до Wi-Fi мережі через `WiFi.begin()`. Поки з'єднання не буде встановлено (`WiFi.status() != WL_CONNECTED`), пристрій виводить крапки у серійну консоль кожні 500 мс. Коли з'єднання буде встановлено, виводиться IP-адреса ESP32. Далі іде обробник маршруту для кореневого шляху `/`, який викликає функцію `handleRoot()`, та запускається веб-сервер за допомогою `server.begin()`.

```

37 void loop() {
38     server.handleClient();
39
40     // зчитування даних з Arduino Uno
41     if (Serial.available()) {
42         sensorData = Serial.readStringUntil('\n');
43         sensorData.trim(); // прибирає пробіли/переноси
44     }
45 }

```

Рисунок 3.8 – Цикл обробки та зчитування даних

Ця функція викликає `сервер.handleClient()` для обробки HTTP-запитів. Паралельно перевіряється на нові дані на серійному порту від Arduino (`Serial.available()`). Якщо є дані, зчитується рядок до символу нового рядка (`Serial.readStringUntil('\n')`), обрізаються зайві пробіли (`trim()`), і текст зберігається у змінну `sensorData`, яка відображається на веб-сторінці.

3.3 IoT платформа

Для більшої досконалості системи та кращої ефективності слід додати спосіб перевірки показників незалежно від розташування.

Інтернет речей (IoT) – це концепція об'єднання фізичних пристроїв в єдину мережу, де вони можуть взаємодіяти між собою та з іншими системами через інтернет. Оснащені датчиками, програмним забезпеченням і різноманітними технологіями, ці пристрої збирають та передають дані, забезпечуючи автоматизацію процесів і тісну інтеграцію між реальним та цифровим світами.

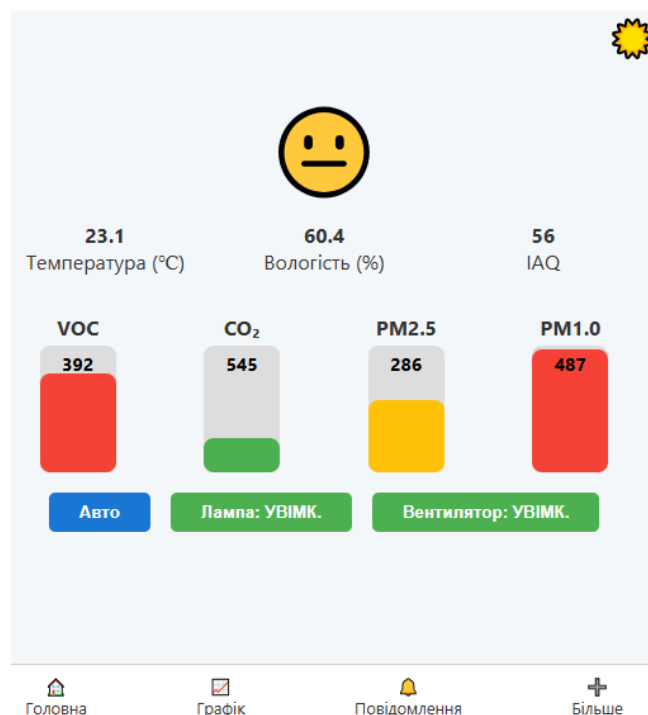


Рисунок 3.9 – IoT AirSafety світла тема

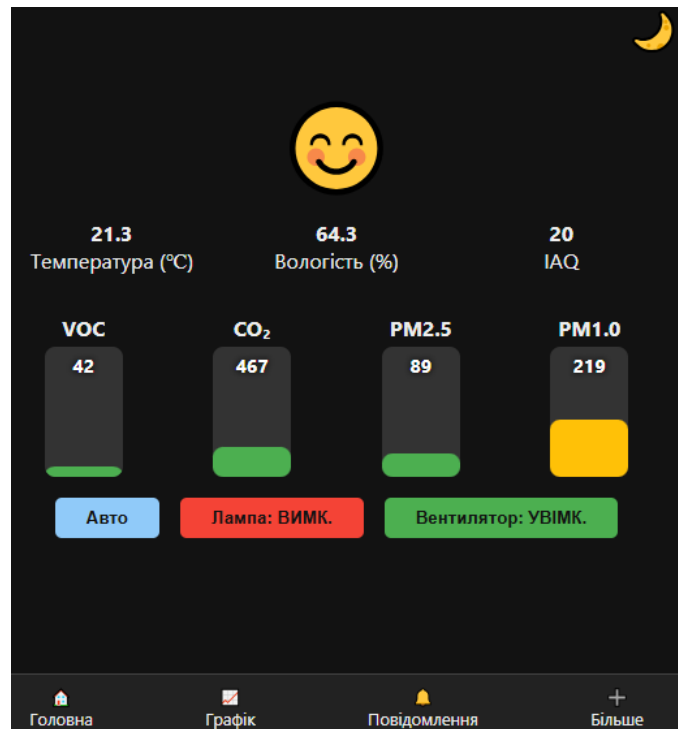


Рисунок 3.10 – IoT AirSafety темна тема

На рисунках 3.9 та 3.10 можна побачити зроблену IoT платформу "AirSafety". Графічний інтерфейс дозволяє моніторити параметри повітря та керувати автоматизованою системою знезараження/вентиляції повітря. Посередині можна побачити індикатор якості повітря смайлик, загалом є лише поки три стану : у масці, нейтральний та усміхнений відповідно до показників. Числові значення загалом поки рандомні, крім якості повітря воно розраховується згідно до показників. З право зверху реалізована зміна теми на світлу та темну. Нижня панель інтерактивна в можна переключатися між сторінками. Керування можна переключити на ручне управління.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система знезараження повітря

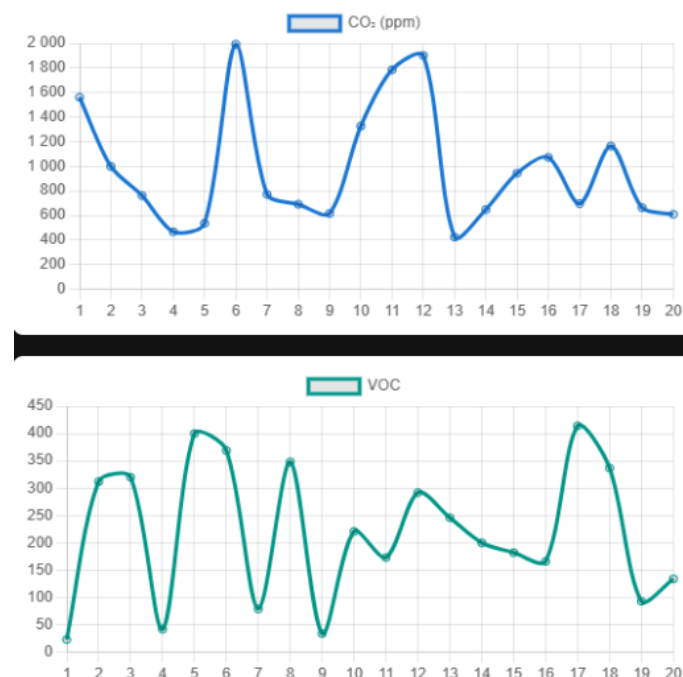


Рисунок 3.11 – Графіки показників CO₂ і VOC

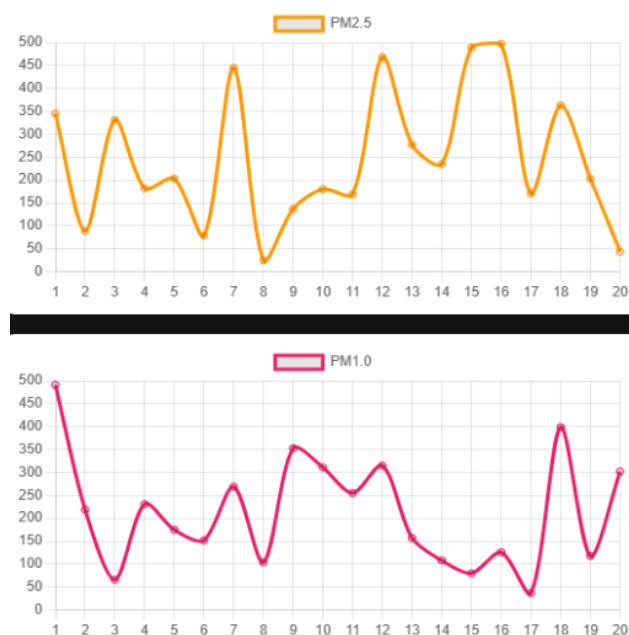


Рисунок 3.12 – Графіки показників PM_{2.5} і PM_{1.0}

Можна побачити на рисунках 3.11 і 3.12 графіки показників. Переключившись на вкладку "Графік" можна побачити всі графіки в реальному часі. Перший графік (CO₂, ppm) демонструє концентрацію вуглекислого газу. Другий графік (PM_{2.5}) показує забруднення

дрібнодисперсними частинками. Третій графік (VOC) відображає рівень летких органічних сполук. На четвертий графік (PM1.0) можна побачити концентрацію найдрібніших частинок, небезпечних для здоров'я.

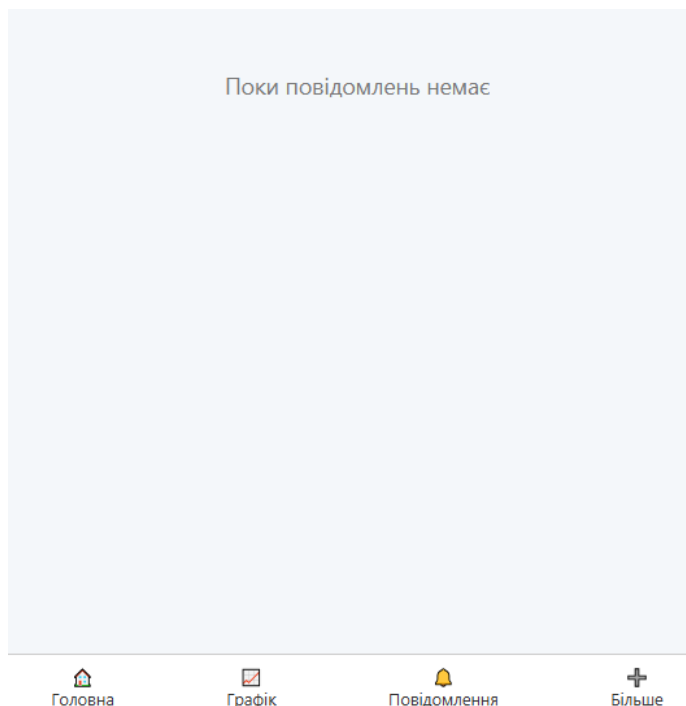


Рисунок 3.13 – Повідомлення

На рисунку 3.13 показана вкладка "Повідомлення". Сюди будуть приходити сповіщення про показники, важлива інформація, повідомлення про оновлення і т.д. Вкладка "Більше" поки ще не реалізована, але в майбутньому туди буде додано, як мінімум зворотній зв'язок та більш детальна інформація про IoT AirSafety.

3.4 Модель автоматизованої системи знезараження повітря на основі ультрафіолетового випромінювання

Для створення моделі системи знезараження повітря на основі ультрафіолетового випромінювання в середовищі MATLAB можна реалізувати систему з використанням Fuzzy Logic Designer, щоб адаптувати

управлінські параметри в залежності від різних змінних, таких як рівень забруднення повітря та інтенсивність ультрафіолетового випромінювання.

Було задано три змінні ,перша , рівень забруднення в діапазоні від 0 до 500; друга змінна це температура з діапазоном від 0 до 50 градусів; третя змінна вологість в діапазоні від 0 до 100.

Ключові правила:

1. If (Рівень забруднення is Хороший) og (Температура is Дуже_низька) og (Вологість is Дуже_низька) then (Потужність_UV_ламп is Низька) (1)
2. If (Рівень забруднення is Задовільний) og (Температура is Низька) og (Вологість is Низька) then (Потужність_UV_ламп is Низька) (1)
3. If (Рівень забруднення is Помірно забруднений) og (Температура is Середня) og (Вологість is Середня) then (Потужність_UV_ламп is Середня) (1)
4. If (Рівень забруднення is Високий) og (Температура is Висока) og (Вологість is Висока) then (Потужність UV ламп is Висока) (1)
5. If (Рівень забруднення is Дуже високий) og (Температура is Дуже висока) og (Вологість is Дуже висока) then (Потужність UV ламп is Дуже висока) (1)

Модель системи знезараження повітря на основі ультрафіолетового випромінювання.

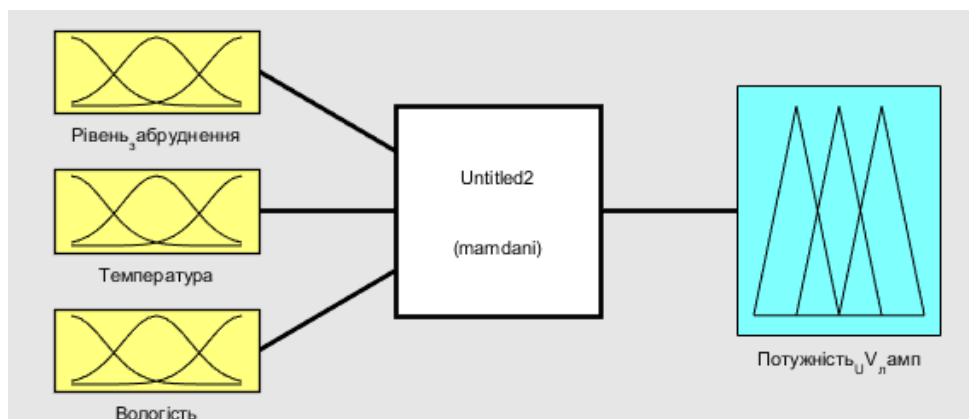


Рисунок 3.14 – Основна модель

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система знезараження повітря

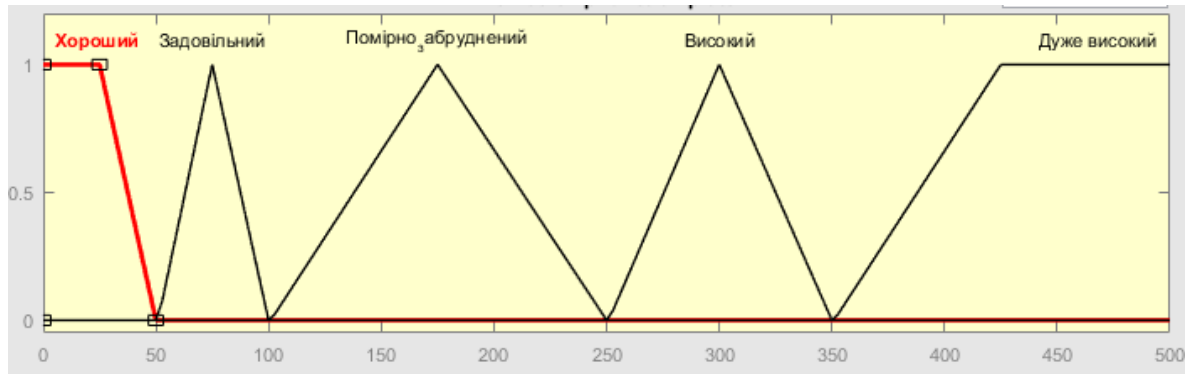


Рисунок 3.15 – Рівень забруднення

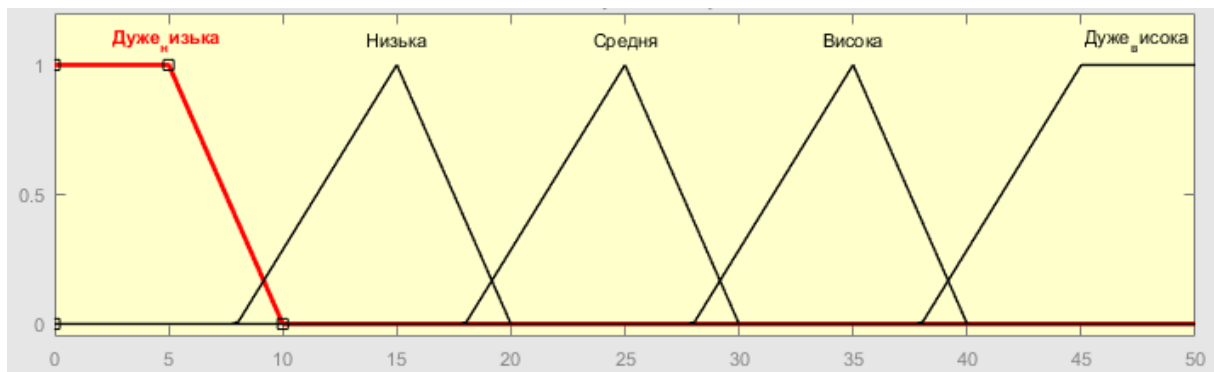


Рисунок 3.16 – Рівень температури

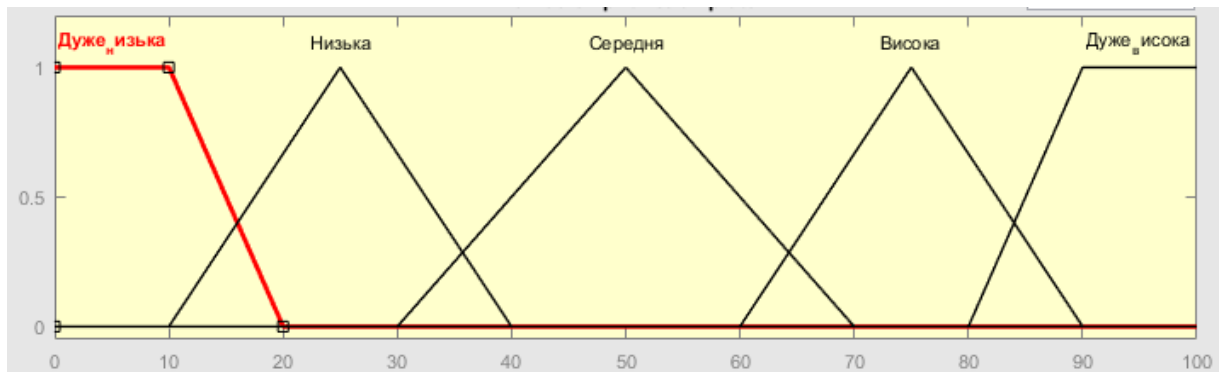


Рисунок 3.17 – Рівень вологості

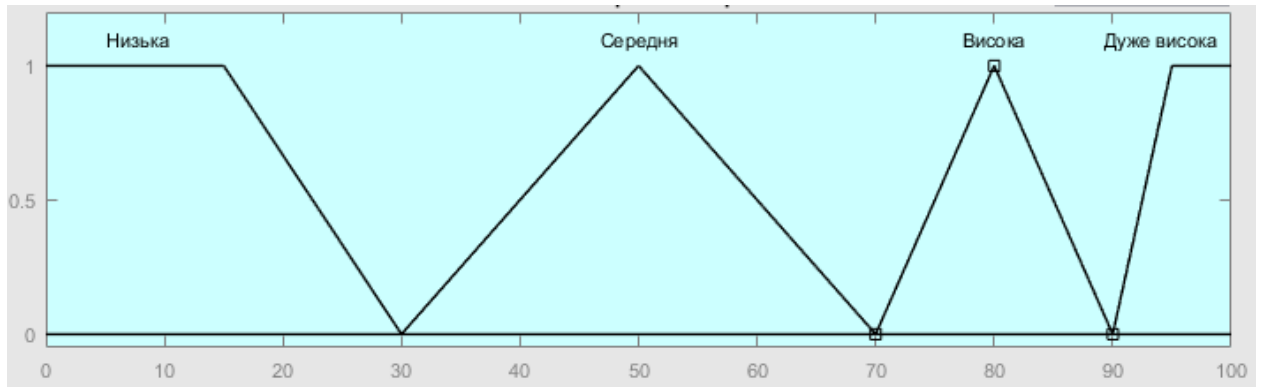


Рисунок 3.18 – Потужність UV лампи

На рисунку 3.14 показано модель системи знезараження повітря на основі ультрафіолетового випромінювання. Також на рисунках 3.15 – 3.18 налаштовані графіки функцій задіяних змінних у системі.

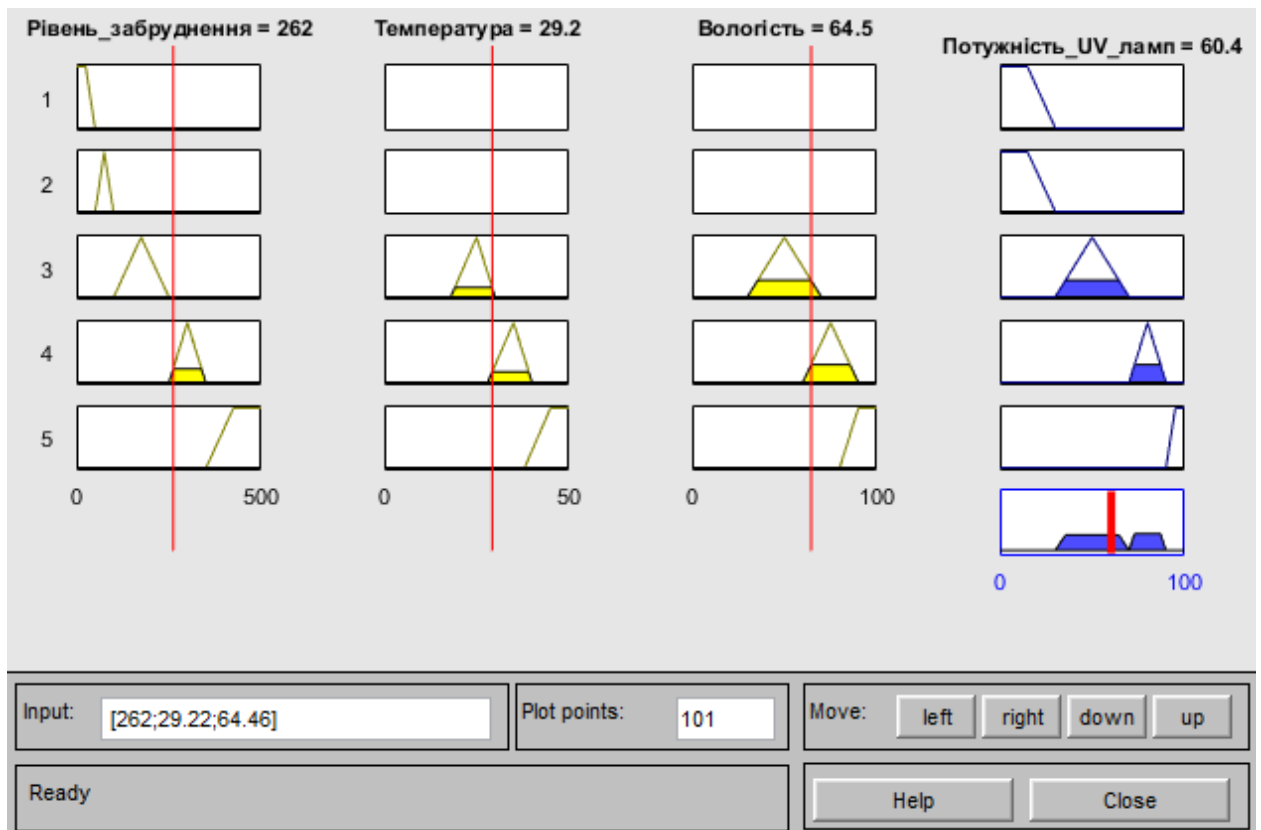


Рисунок 3.19 – Rule Viewer

Рисунок 3.19 показує графічний інтерфейс для роботи з нечіткою логікою (Fuzzy Logic) у MATLAB. Для перевірки системи було задано випадкові значення та отримали результат.

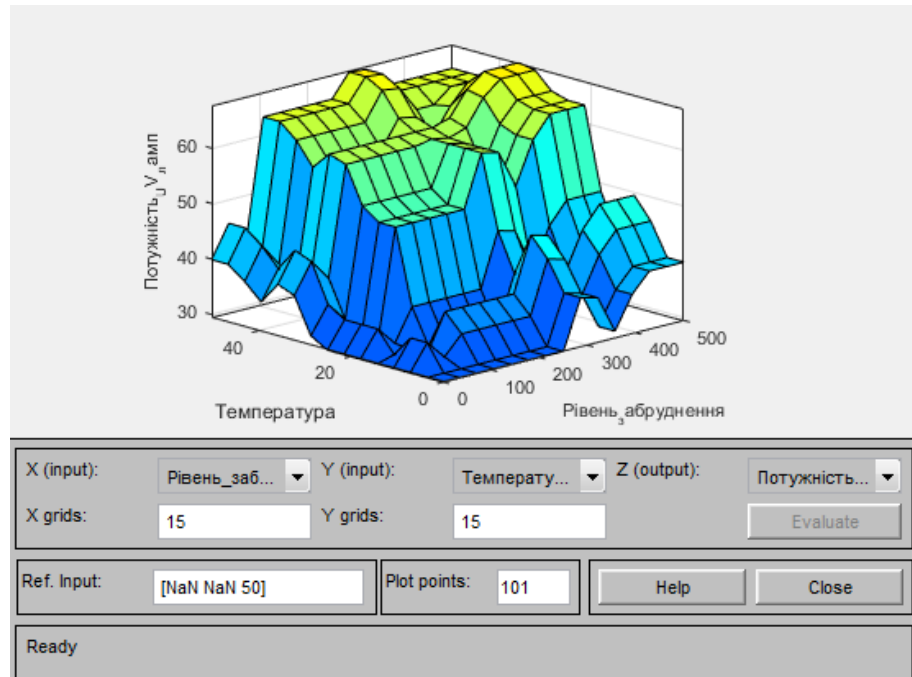


Рисунок 3.20 – Рівень забруднення та температура

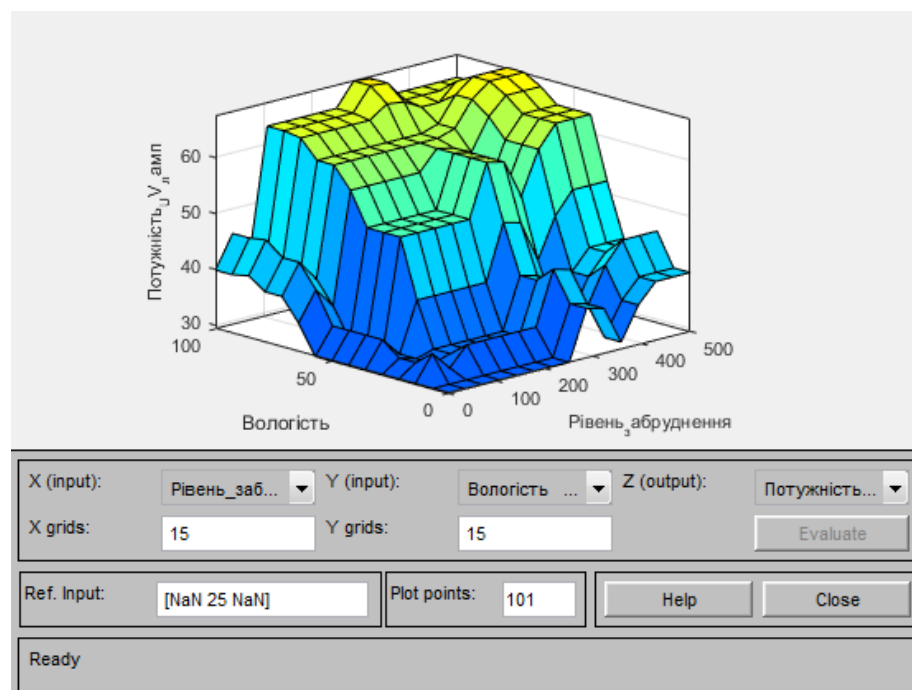


Рисунок 3.21 – Рівень забруднення та вологість

На рисунках 3.20 та 3.21 можна побачити візуалізацію Surface Viewer та залежність змінних .

3.5 Моделювання роботи нечіткого регулятора в середовищі Simulink

Для забезпечення адаптивного керування параметрами мікроклімату в приміщенні, доцільно застосувати методи нечіткої логіки. Такий підхід дозволяє враховувати невизначеність вхідних даних, а також формалізувати експертні правила прийняття рішень у вигляді лінгвістичних змінних.

У межах даної роботи було розроблено модель системи керування на основі нечіткого регулятора, реалізовану в середовищі MATLAB/Simulink із використанням Fuzzy Logic Toolbox. Вхідними параметрами моделі є дані сенсорів температури, вологості та рівня CO₂, а вихідним — керуючий сигнал для активації виконавчих пристроїв (наприклад, УФ-лампи або вентиляційного модуля).

Нижче наведено структурну схему моделі та графік вихідного сигналу регулятора при змінних вхідних параметрах.

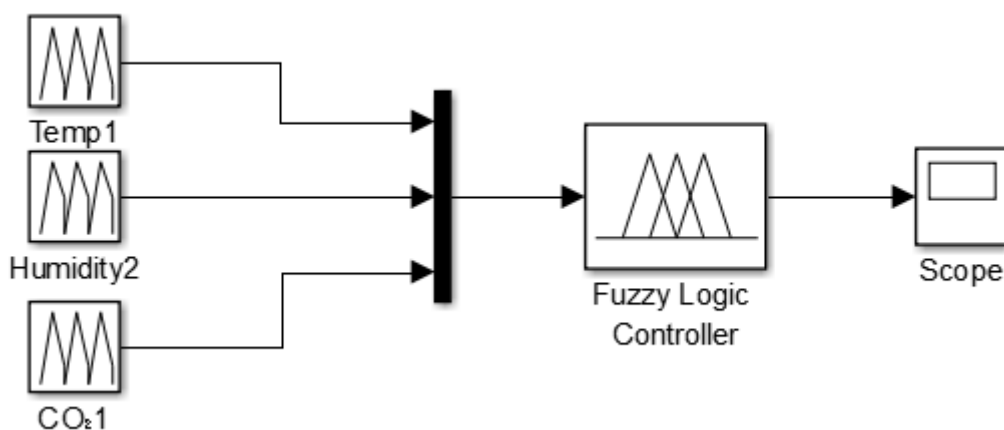


Рисунок 3.23 – Структурна схема системи з нечітким регулятором

На рисунку 3.23 представлена структурна схема моделі системи управління якістю повітря, реалізована в середовищі Simulink. Як вхідні параметри до нечіткого регулятора (Fuzzy Logic Controller) подаються значення температури (Temp1), вологості (Humidity2) та концентрації CO₂ (CO₂1). Сигнали об'єднуються за допомогою мультиплексора та надходять до

регулятора, який формує відповідний вихідний керуючий сигнал. Результат виводиться на блок Score для подальшого аналізу.

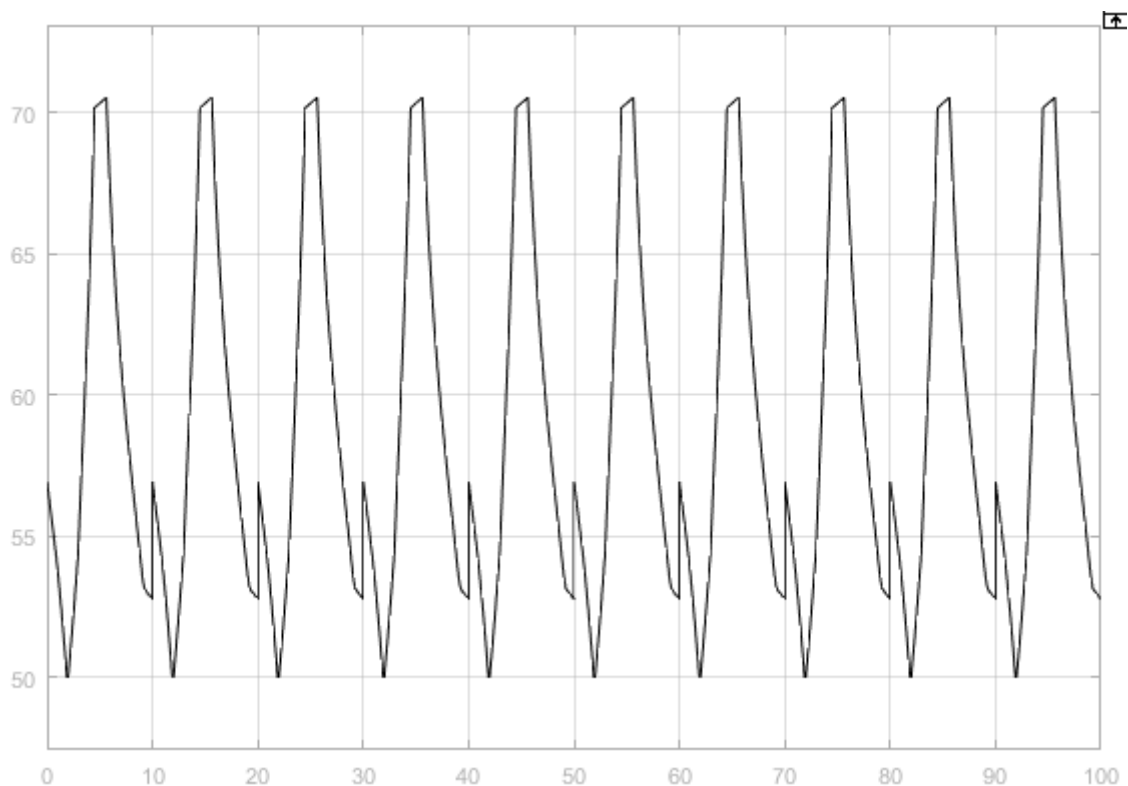


Рисунок 3.24 – Графік вихідного сигналу нечіткого регулятора

Можна побачити на рисунку 3.24 графік вихідного сигналу нечіткого регулятора. Сигнал має періодичний характер, що свідчить про адаптивну роботу регулятора у відповідь на зміни входних параметрів. Форма сигналу вказує на імпульсне або циклічне керування виконавчим пристроєм (наприклад, УФ-лампою або вентилятором) для підтримання оптимального мікроклімату.

Висновок до розділу 3

У третьому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування та інженерні розрахунки основних параметрів системи. Розраховано необхідний час повного знезараження повітря в приміщенні на основі його об'єму, кратності рециркуляції повітря та продуктивності вентилятора. Встановлено, що при об'ємі приміщення 50 м^3 та триразовій рециркуляції з вентилятором на $100 \text{ м}^3/\text{год}$ повне очищення відбувається протягом 90 хвилин, а при використанні інтенсивного режиму ($150 \text{ м}^3/\text{год}$) – 60 хвилин.

Оцінено сумарне енергоспоживання системи, що включає роботу УФ-лампи, вентилятора та мікроконтролера. Отримані дані свідчать про доцільність застосування даного підходу в умовах підвищеної уваги до енергоефективності та сталого розвитку.

Також у розділі подано програмне забезпечення для Arduino Uno. У коді реалізовано зчитування сенсорів температури, вологості та CO_2 , логіку прийняття рішень щодо активації УФ-лампи при перевищенні допустимого рівня CO_2 (1000 ppm), а також увімкнення вентилятора при підвищенні температури чи вологості. Крім того, здійснено передачу всіх зібраних даних до ESP32 через UART.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система знезараження повітря

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОВІТРЯ
СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА З ОХОРОНИ ПРАЦІ
ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДРИЄМСТВІ З
УРАХУВАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОВІТРЯ

Спеціальність «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – КРБ – 471. 22117106

Студент

_____ Кім Н.Т.
«___» _____ 2025 р.

Консультант кандидат наук, доцент

_____ Алексєєва А.О.
«___» _____ 2025 р.

Миколаїв – 2025

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОВІТРЯ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Скорочення	Розшифрування
АСЗП	Автоматизована система знезараження повітря
ГДК	Гранично допустима концентрація
ЗІЗ	Засоби індивідуального захисту
УФ	Ультрафіолетове випромінювання
ВДТ	Відеодисплейний термінал
СНиП	Строительные нормы и правила
ДБН	Державні будівельні норми
ДСН	Державні санітарні норми
ПУЕ	Правила улаштування електроустановок
ССБП	Система стандартів безпеки праці
КПО	Коефіцієнт природного освітлення
ISO	International Organization for Standardization
ДСТУ	Державний стандарт України
МОЗ	Міністерство охорони здоров'я

ВСТУП

У сучасних умовах автоматизація технологічних процесів має не лише підвищувати ефективність і надійність виробництва, але й гарантувати безпеку персоналу, що бере участь у розробці, монтажі та експлуатації систем. При створенні та впровадженні автоматизованої системи знезараження повітря (АСЗП) важливе місце займає дотримання вимог охорони праці, що спрямовані на зниження рівня професійних ризиків і запобігання нещасним випадкам.

З огляду на те, що система може працювати з потенційно небезпечними фізичними (ультрафіолетове випромінювання), хімічними (озон), електричними та мікробіологічними факторами, особливої уваги потребує аналіз умов її використання та впливу на здоров'я персоналу. У даному розділі розглядаються основні потенційні небезпеки, заходи безпеки при експлуатації обладнання, вимоги до організації робочого місця, а також нормативно-правова база, що регулює ці аспекти.

Метою є обґрунтування комплексу технічних і організаційних заходів, які забезпечують безпечні умови праці під час експлуатації автоматизованої системи знезараження повітря відповідно до чинних стандартів і норм з охорони праці в Україні.

4.1 Нормативна документація щодо забезпечення охорони праці під час експлуатації автоматизованих систем знезараження повітря

Для забезпечення безпечної експлуатації автоматизованих систем знезараження повітря в приміщеннях необхідно керуватися чинною нормативно-правовою базою України у сфері охорони праці, гігієни праці, санітарних норм та правил. Основною метою застосування цих норм є недопущення професійних захворювань, отруєнь, нещасних випадків та інших порушень безпеки працівників під час впровадження й використання систем очищення повітря, особливо якщо до їх складу входять озонатори, ультрафіолетові лампи, хімічні фільтри тощо.

Основні законодавчі та нормативні акти, що регламентують охорону праці:

1. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» – зобов'язує суб'єктів господарювання дотримуватися встановлених санітарних норм, включаючи допустимі концентрації озону, аерозолів, парів дезінфікуючих речовин тощо.[23]
2. ГОСТ 12.1.005-88 "Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони" – встановлює гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі, таких як озон ($0,1 \text{ мг/м}^3$), оксиди азоту (5 мг/м^3), пил (4 мг/м^3), що є критично важливими для вибору та налаштування систем дезінфекції.[24]
3. ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень" – визначає температурні, вологісні й швидкісні параметри повітря, яких слід дотримуватись у приміщеннях, де встановлені автоматизовані системи знезараження. Зміни мікроклімату внаслідок їх роботи не повинні перевищувати допустимі норми.[25]
4. Санітарні правила і норми ДСанПіН 3.3.2.007-98 – встановлюють вимоги до розміщення устаткування в приміщеннях, вимоги до

природної і штучної вентиляції, особливо при роботі з джерелами ультрафіолету, озонаторів та аерозольних установок.[26]

5. СНиП 2.04.05-91 та ДБН В.2.5-67:2013 – регламентують проєктування систем вентиляції, припливно-витяжних установок, вимоги до повітрообміну, що має велике значення для запобігання накопиченню небезпечних концентрацій речовин.[27]
6. Гігієнічні нормативи №2152-80 щодо рівнів іонізації повітря – нормують вміст позитивних та негативних іонів, які можуть утворюватися в процесі роботи озонаторів та УФ-генераторів. Відповідно до вимог, оптимальна концентрація негативних іонів має становити 3000–5000 йон/см³. [28]
7. ДСН 3.3.6.096-2002 "Гігієнічні вимоги до ультрафіолетового випромінювання" – визначають межі опромінення та заходи безпеки при використанні УФ-ламп для знезараження повітря. Передбачено обмеження часу перебування персоналу в зоні дії випромінювання та використання екранів або автоматичного вимкнення при виявленні руху.[29]

4.2 Вплив шкідливих факторів на організм людини

При експлуатації автоматизованих систем знезараження повітря можливий вплив на працівників ряду фізичних, хімічних і біологічних факторів, що за певних умов можуть призводити до професійних захворювань і функціональних розладів організму.

Одним з головних шкідливих факторів є озон, який утворюється в процесі роботи УФ-ламп або електростатичних фільтрів. Озон — сильнодіючий окислювач, що подразнює дихальні шляхи, викликає кашель, задишку, головний біль, а при тривалому впливі — ураження легень.

Встановлено, що озон має канцерогенну активність, тому його гранично допустима концентрація (ГДК) у повітрі робочої зони не повинна перевищувати 0,1 мг/м³ [24].

Іншим поширеним забруднювачем повітря є оксиди азоту (NO, NO₂), які утворюються при роботі деяких знезаражувальних пристроїв, особливо у високотемпературних режимах. Вдихання оксидів азоту викликає ураження легенів, зниження імунітету та серцево-судинні порушення. ГДК оксидів азоту на робочому місці становить 5 мг/м³ [24].

Також слід враховувати вплив ультрафіолетового випромінювання (УФ), яке використовується для знезараження. УФ-випромінювання, особливо спектр В (280–315 нм) і С (100–280 нм), має фотохімічну дію на шкіру та очі. Воно може викликати фотодерматити, опіки, кон'юнктивіт, а у випадку хронічного впливу — фотостаріння та підвищений ризик раку шкіри. Інтенсивність УФ-випромінювання повинна контролюватися та не перевищувати нормативні значення відповідно до [30].

Під час роботи знезаражувального обладнання також можливе підвищення температури та зниження вологості повітря, що негативно впливає на терморегуляцію, слизові оболонки та загальне самопочуття працівника. Параметри мікроклімату мають відповідати нормам ДСН 3.3.6.042-99: температура повітря в холодний період має становити 21–24 °С, вологість — 40–60% [25].

Крім того, варто враховувати можливість впливу шуму від вентиляційних систем та електромеханічного обладнання, що може призвести до зниження працездатності, стомлюваності та порушень сну. Рівні шуму мають відповідати нормам ДСанПіН 3.3.2.007-98, а в разі перевищення — слід передбачити шумозахисні екрани чи ізоляцію [26].

Також на здоров'я можуть впливати іонізація повітря та електромагнітне випромінювання, яке супроводжує роботу високовольтних елементів систем. Надмірна іонізація може викликати головний біль, втому, порушення серцевого ритму. Оптимальні рівні іонів у повітрі мають становити: позитивних — 1500–3000 іонів/см³, негативних — 3000–5000 іонів/см³ [31].

Для зменшення ризиків обов'язковим є використання припливно-втяжної вентиляції, технічне обслуговування систем знезараження та дотримання регламентів безпеки відповідно до чинного законодавства.

4.3 Вимоги до приміщення і монтажу автоматизованої системи знезараження повітря

Приміщення, в яких встановлюються автоматизовані системи знезараження повітря, повинні відповідати комплексним вимогам охорони праці, санітарним нормам та будівельним стандартам. Це дозволяє мінімізувати негативний вплив на працівників, які обслуговують обладнання або перебувають у зоні його дії.

Об'ємно-планувальні вимоги

Розміщення систем знезараження допускається лише у приміщеннях, що мають належну вентиляцію, забезпечують вільний доступ до всіх вузлів обладнання та можливість проведення технічного обслуговування. Відповідно до СНиП 2.09.04-87 та ДСанПіН 3.3.2.007-98:

- Мінімальна площа приміщення на одне знезаражувальне обладнання має бути не менше 6 м², об'єм — не менше 20 м³;
- Висота стель повинна становити не менше 2,5 м, щоб забезпечити ефективну циркуляцію повітря;
- Не допускається розміщення систем у підвальних приміщеннях без механічної вентиляції.

Вимоги до освітлення

- Природне освітлення має надходити через вікна, орієнтовані на північ або північний схід. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) повинен бути не менше 1,5%;
- Штучне освітлення — рівномірне, комбіноване. Освітленість у зоні обслуговування системи має становити не менше 300 лк;
- Освітлювальні прилади повинні бути пилозахищеними та стійкими до впливу ультрафіолетового випромінювання.[26]

Вимоги до вентиляції

- Усі приміщення повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує не менше трьохкратного повітрообміну на годину;
- У разі використання озонуючих або УФ-генеруючих пристроїв необхідно забезпечити розведення концентрацій озону до рівня, не вищого за 0,1 мг/м³ (відповідно до ГОСТ 12.1.005-88);
- Рекомендується створення позитивного тиску в зоні установки системи для недопущення проникнення забрудненого повітря з інших приміщень.[24]

Електробезпека та монтаж

- Усі електричні з'єднання системи повинні відповідати вимогам ПУЕ (Правила улаштування електроустановок);
- Системи повинні бути обладнані захисним заземленням, автоматичними вимикачами, а також аварійною кнопкою відключення живлення, якщо в приміщенні працює більше 3-х одиниць обладнання;
- Кабельні лінії слід прокладати у металевих лотках або вогнетривких каналах. Не допускається використання легко займистих матеріалів;

- Монтаж обладнання повинен здійснюватися на віброізоляційних прокладках для зменшення шумового та вібраційного навантаження на персонал.

Захисні бар'єри та безпечне обслуговування

- Зона дії системи повинна бути чітко маркована. У разі використання УФ або озону — позначена попереджувальними знаками;
- Заборонено знаходження персоналу в приміщенні під час активної фази знезараження, якщо система не передбачає безпечну присутність людей;
- Доступ до вузлів обслуговування має бути вільним, без необхідності демонтажу інших елементів системи.

Вимоги до матеріалів та оздоблення

- Всі оздоблювальні матеріали мають бути стійкими до впливу хімічних реагентів, УФ-випромінювання та легко очищуваними;
- Стіни рекомендується оздоблювати матеріалами з високим коефіцієнтом відбивання світла, але без блискучих поверхонь, що можуть спричинити відблиски.[32]

4.4 Вимоги до роботи з автоматизованою системою знезараження повітря

Забезпечення безпечної експлуатації автоматизованих систем знезараження повітря (АСЗП) є критично важливим фактором у структурі охорони праці на підприємствах із підвищеними вимогами до якості повітря — у медичних, фармацевтичних, харчових, електронних і офісних приміщеннях. Знезараження повітря необхідне для видалення або нейтралізації мікробіологічних, хімічних та механічних забруднень, які можуть становити небезпеку для здоров'я працівників та технологічного процесу.

Основні вимоги до системи

Автоматизована система знезараження повітря повинна забезпечувати:

- Надійне знезараження повітря в усьому об'ємі приміщення згідно з нормами гранично допустимих концентрацій (ГДК) біологічних та хімічних забруднювачів; [33]
- Автоматичний режим роботи з використанням сенсорів якості повітря (наприклад, рівень CO₂, кількість мікроорганізмів, летких органічних сполук);
- Інтеграцію з системами вентиляції та кондиціонування повітря, а також резервне живлення на випадок аварійного відключення електроенергії;
- Віддалене керування та моніторинг показників через панель керування або інтерфейс програмного забезпечення;
- Автоматичне попередження персоналу у разі зниження ефективності або виявлення помилок у роботі системи.

Вимоги до приміщення

Приміщення, де встановлена АСЗП, повинно відповідати вимогам до санітарно-гігієнічних та електротехнічних норм:

- Стіни, підлога та стеля повинні бути легко миючими, волого- та хімічностійкими (відповідно до ДБН В.2.2-10:2017); [34]
- Об'єм приміщення має дозволяти рівномірну циркуляцію повітря, без «мертвих зон»;
- Висота установки УФ- або плазмових знезаражувачів має відповідати стандартам для уникнення впливу на людей (наприклад, УФ-лампи встановлюються на висоті понад 2,1 м або в закритих модулях).

Вимоги до обслуговування та експлуатації

Система знезараження повинна обслуговуватись кваліфікованим персоналом, який пройшов інструктаж з охорони праці. Вимоги до експлуатації:

- Регулярна перевірка стану фільтрів, УФ-ламп, озонаторів та іншого обладнання відповідно до регламенту технічного обслуговування (не рідше 1 разу на місяць);
- Ведення журналу обслуговування, у якому фіксуються всі огляди, заміни компонентів та інциденти;
- Заборонено відкривати корпуси з активними УФ- або озоногенераторами без вимкнення живлення;
- Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) під час обслуговування (окуляри, респіратори, рукавички) — згідно з ГОСТ 12.4.011-89. [35]

Електробезпека та автоматизація

Система повинна бути оснащена:

- Захистом від перенапруги та короткого замикання (відповідно до ДСТУ EN 60204-1:2017; [36])
- Аварійним вимикачем (при обслуговуванні або екстреному зупиненні);
- Індикаторами несправності або зменшення ефективності роботи (LED-індикація, звукова сигналізація).

Усі елементи автоматизації повинні бути протестовані та сертифіковані згідно з ССБП — Системою стандартів безпеки праці.

Вимоги до персоналу

- Особи, що працюють із системою, мають бути проінформовані про можливі шкідливі фактори (озон, ультрафіолет), пройти первинний інструктаж та повторний інструктаж кожні 6 місяців ;
- Працівники повинні проходити періодичні медичні огляди згідно з наказом МОЗ №246 від 21.05.2007; [37]
- У приміщенні повинна бути аптечка з засобами надання першої допомоги при опіках та ураженнях дихальних шляхів.

4.5 Вимоги до евакуації в разі надзвичайної ситуації

Евакуація працівників і учнів у разі виникнення надзвичайної ситуації (пожежі, витоку небезпечних речовин, короткого замикання, задимлення тощо) має здійснюватися відповідно до затвердженого плану евакуації приміщення з урахуванням ДБН В.2.5-56:2014, ДСН 711-99 та НПАОП 0.00-4.33-99. [38] [39] [40]

Основні принципи евакуації

- Безпечність — шляхи евакуації повинні бути вільними, добре освітленими та не захащеними;
- Швидкість — евакуація має бути завершена в мінімальні терміни без створення паніки;
- Організованість — дії всіх осіб регламентуються посадовими інструкціями або інструктажами.

Вимоги до шляхів евакуації

- Ширина основного евакуаційного проходу має становити не менше 1,2 м, двері повинні відкриватися за напрямком евакуації; [40]
- Евакуаційні виходи повинні бути позначені світловими знаками та дублюватися фотолюмінесцентними покажчиками;
- На шляхах евакуації заборонено розміщення меблів, техніки, коробок або кабелів, які можуть заважати вільному руху людей;
- Сходи, коридори та дверні прорізи повинні мати неслизьке покриття та відповідати нормам СНиП 2.01.02-85. [41]

План евакуації

- У кожному кабінеті, зокрема й у приміщеннях із автоматизованими системами (АСЗП), має бути наявний план евакуації, виконаний згідно з вимогами ДСТУ ISO 23601:2019; [42]

- План евакуації повинен бути розміщений на видному місці біля входу в приміщення на висоті 1,5–1,7 м від підлоги;
- План має містити:
 - схему приміщення;
 - місце розташування пожежного інвентарю (вогнегасник, пожежна сигналізація);
 - основний та запасний вихід;
 - умовні позначення та маршрут евакуації.

Дії персоналу при евакуації

1. При виявленні загрози (пожежа, задимлення, витік газу, аварія обладнання):
 - негайно повідомити чергового або адміністрацію;
 - увімкнути пожежну сигналізацію або натиснути кнопку тривоги;
 - вимкнути електроживлення приміщення за допомогою аварійного вимикача;
 - організовано, без паніки, залишити приміщення згідно з планом евакуації.
2. Викладач або відповідальна особа:
 - виводить людей з приміщення згідно з маршрутом;
 - перевіряє, чи не залишилися люди в приміщенні;
 - за можливості — бере журнал обліку присутніх;
 - повідомляє рятувальні служби про наявність у приміщенні систем зі шкідливими факторами (УФ-випромінювання, озонатори тощо).
3. Усі працівники та учні:
 - повинні знати місце збору після евакуації;
 - повинні пройти первинний інструктаж з питань евакуації;

- забороняється користуватись ліфтами (за наявності) під час евакуації.

Засоби оповіщення та безпеки

- У приміщенні має бути встановлено систему пожежного сповіщення або автономні детектори диму;
- На видному місці мають бути вогнегасники (вуглекислотні або порошкові) згідно з вимогами ДСТУ EN 3-7:2004; [43]
- Для інформування слід використовувати звукову і світлову сигналізацію, бажано з голосовим супроводом.

Висновок до розділу 4

У четвертому розділі розроблено вебінтерфейс моніторингу системи на основі контролера ESP32. Після підключення до бездротової мережі ESP32 створює вебсервер, який дозволяє користувачам переглядати поточні значення CO₂, температури та вологості через звичайний браузер. Реалізовано автооновлення сторінки для виводу актуальної інформації в режимі реального часу.

Інформаційний обмін з Arduino Uno реалізований через послідовний інтерфейс UART. Для забезпечення безпеки передавання сигналу використано узгодження логічних рівнів. Передані дані формуються у вигляді текстового рядка, зручного для обробки та виводу на HTML-сторінку.

Сторінка вебінтерфейсу побудована за принципом мінімалізму та високої читабельності, що забезпечує швидкий доступ до основної інформації, а також може бути легко розширена в майбутньому – наприклад, додаванням кнопок керування, графіків, сповіщень або історії змін параметрів.

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було проведено комплексне дослідження та розроблено автоматизовану систему знезараження повітря з використанням ультрафіолетового випромінювання.

На основі аналізу сучасних технологій очищення повітря визначено доцільність використання UV-C ламп у поєднанні з мікроконтролерними системами керування. Розроблено структурну, функціональну та електричну схеми системи, реалізовано програмне забезпечення для Arduino Uno та ESP32, що забезпечує моніторинг параметрів повітря, керування виконавчими механізмами та передачу даних на веб-інтерфейс.

Створено IoT-платформу "AirSafety" для зручного спостереження за станом мікроклімату в режимі реального часу. Розроблено та змодельовано адаптивну систему керування на основі нечіткої логіки в середовищі MATLAB/Simulink, що дозволяє підвищити ефективність реагування на зміну умов середовища. Розглянуто питання безпеки та охорони праці при експлуатації системи.

У перспективі розроблена система може бути вдосконалена шляхом інтеграції додаткових сенсорів (наприклад, твердих частинок PM2.5/PM10, летких органічних сполук VOC), впровадження алгоритмів машинного навчання для прогнозування забруднення повітря, підтримки мобільного застосунку для керування та моніторингу, а також автоматичного оновлення програмного забезпечення через інтернет. Такий підхід забезпечить ще більшу надійність, гнучкість та ефективність у майбутніх умовах експлуатації.

Результати роботи апробовані на Міжнародній науковій конференції «Ольвійський форум – 2025».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вікіпедія. Індекс якості повітря. URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Індекс_якості_повітря (дата звернення:
15.11.2024)
2. CleanAir. Все, що потрібно знати про AQI. URL:
<https://cleanairlove.com/vse-shcho-potribno-znati-pro-indeks-yakosti-povitrya-aqi/> (дата звернення: 16.11.2024)
3. Вікіпедія. Ультрафіолетовое излучение. URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультрафиолетовое_излучение (дата
звернення: 17.11.2024)
4. Вікіпедія. Фотокаліз. URL:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7> (дата
звернення: 18.11.2024)
5. Вікіпедія. Іонізація. URL:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F> (дата звернення: 21.11.2024)
6. Вікіпедія. Іонізація повітря. URL:
https://h2voda.com/ua/ionizacziya-povitrya-shho-cze-ta-dlya-chogo-potribno/?srsltid=AfmBOoqSedsOMd4d-RbVxY40-omHxjiUBDi5FlKqIPfr9Y0k_b1QVao&utm_source=chatgpt.com (дата
звернення: 11.12.2024)
7. Вікіпедія. Озонування. URL:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F>(дата звернення:
14.01.2025)

8. ДСТУ Б А.3.2-12:2009. Системи вентиляційні. Загальні вимоги. URL: zakon.isu.net.ua(дата звернення: 10.02.2025)
9. ДСТУ EN 13053:2013. Системи вентиляції та кондиціонування повітря. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage?id_doc=59973&utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.02.2025)
10. ДСТУ 9077:2021. Засоби очищення повітря захисних споруд цивільного захисту. URL: https://www.novabezpeka.com.ua/wp-content/uploads/2023/08/dstu-90772021-zasobi-ochischennya-povitrya.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 18.02.2025)
11. Published description. Пристрій для очищення повітря від діоксиду вуглецю. URL:
12. https://sis.nipo.gov.ua/media/UTILITY_MOD/2024/u202400248/published_description.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 19.02.2025)
13. Google Patents. Апарат та методи використання для очищення та дезінфекції повітря. URL: <https://patents.google.com/patent/US11511013B2/en?q=US11511013>(дата звернення: 19.02.2025)
14. Google Patents. Интеллектуальная система вентиляции с дезинфекцией воздуха. URL: <https://patents.google.com/patent/US20240068683A1/en> (дата звернення: 19.02.2025)
15. Arduino Uno. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата звернення: 24.03.2025)
16. Датчик температури і температури AM2320. URL: <https://arduino.ua/ru/prod3563-datchik-vlajnosti-i-temperatyri->

- [am2320?srsltid=AfmBOorHg18xgNBEM36qi6fm04MJ9M1JEfjRrzUjK5YpVBboFGjrcy6m](https://www.mini-tech.com.ua/datchik-co2) (дата звернення: 25.03.2025)
17. Датчик вуглекислого газу CO2 MH-Z19B модуль. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-co2> (дата звернення: 25.03.2025)
18. Adafruit VEML7700 Lux Sensor — I2C Light Sensor. URL: <https://raspberry.com.ua/p/adafruit-veml7700-lux-sensor-i2c-light-sensor/> (дата звернення: 26.03.2025)
19. Датчик ультрафіолету на GUVА-S12SD. URL: <https://arduino.ua/ru/prod1430-datchik-yltrafioleta-na-guva-s12sd?srsltid=AfmBOor0qUIFvw390otmvrwW7wbYKFcTXrLL-rk2hDoDpJHqtqwTNIR5> (дата звернення: 27.03.2025)
20. Модуль годинника реального часу DS3231 RTC. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/real-time-clock-module-ds3231-rtc> (дата звернення: 27.03.2025)
21. AC Light Dimmer Module, 1 Channel, 3.3V/5V logic, AC 50/60hz, 220V/110V. URL: https://miniboard.com.ua/moduli/722-dimmer-peremennogo-toka-robotdyn.html?srsltid=AfmBOooRfpjsiAYI3UyGXMFwLZzUSf23WhbNmfbka1os_PIw17zEROSR (дата звернення: 28.03.2025)
22. Плата розробника ESP-WROOM-32 ESP32 30 Pin. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/developer-board-esp-wroom-32-esp-32-wi-fi-bluetooth> (дата звернення: 29.03.2025)
23. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [Електронний ресурс]. URL: — <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12> (дата звернення: 15.05.2025)
24. ГОСТ 12.1.005-88. Повітря робочої зони [Електронний ресурс]. URL: — <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата звернення: 15.05.2025)

25. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату [Електронний ресурс]. URL: — <https://dnaop.com/html/34094/doc> (дата звернення: 15.05.2025)
26. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Умови праці з ВДТ [Електронний ресурс]. URL: — <https://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445> (дата звернення: 15.05.2025)
27. СНиП 2.04.05-91 / ДБН В.2.5-67:2013. Вентиляція [Електронний ресурс]. URL: — <https://dnaop.com/html/45541/doc> (дата звернення: 16.05.2025)
28. Санітарно-гігієнічні норми №2152-80 [Електронний ресурс]. URL: — <https://dnaop.com/html/2296/doc> (дата звернення: 16.05.2025)
29. ДСН 3.3.6.096-2002. УФ-випромінювання [Електронний ресурс]. URL: — <https://dnaop.com/html/34307/doc> (дата звернення: 16.05.2025)
30. СН 4557-88. Санітарні норми ультрафіолетового випромінювання [Електронний ресурс]. URL: — https://dnaop.com/html/2299/doc-CH_4557-88 (дата звернення: 17.05.2025)
31. Гігієнічні норми №2152-80. Рівні іонізації повітря [Електронний ресурс]. URL: — https://dnaop.com/html/2296/doc-ГН_2152-80 (дата звернення: 18.05.2025)
32. СНиП II-4-79. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс]. URL: — <https://dnaop.com/html/45036/doc> (дата звернення: 18.05.2025)
33. ДСП 9.9.5-080-2001. Повітря робочої зони. Загальні гігієнічні вимоги. [Електронний ресурс]. URL: — <https://zakon.isu.net.ua/site/law/43823/> (дата звернення: 19.05.2025)
34. ДБН В.2.2-10:2017. Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я [Електронний ресурс]. URL: — https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71161 (дата звернення: 19.05.2025)

- 35.ГОСТ 12.4.011-89 . ССБП. Засоби захисту робітників. Загальні вимоги та класифікація [Електронний ресурс]. URL: — <https://docs.cntd.ru/document/1200003723> (дата звернення: 21.05.2025)
- 36.ДСТУ EN 60204-1:2017. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1 [Електронний ресурс]. URL: — https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73017(дата звернення: 21.05.2025)
- 37.Наказ МОЗ №246 від 21.05.2007.Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій [Електронний ресурс]. URL: — <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0846-07#Text> (дата звернення: 25.05.2025)
- 38.ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Пожежна сигналізація [Електронний ресурс]. URL: — https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59915 (дата звернення: 25.05.2025)
- 39.ДСН 711-99. Правила пожежної безпеки для навчальних закладів [Електронний ресурс]. URL: — <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0711281-99> (дата звернення: 26.05.2025)
- 40.НПАОП 0.00-4.33-99. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [Електронний ресурс]. URL: — <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0155-05#Text> (дата звернення: 27.05.2025)
- 41.СНиП 2.01.02-85. Протипожежні норми проектування будівель [Електронний ресурс]. URL: — https://dnaop.com/html/2297/doc-СНиП_2.01.02-85 (дата звернення: 27.05.2025)

42.ДСТУ ISO 23601:2019. Безпека. Схеми евакуації [Електронний ресурс].

URL: — https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92011 (дата звернення: 28.05.2025)

43.ДСТУ EN 3-7:2004. Вогнегасники переносні [Електронний ресурс].

URL: — https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59792 (дата звернення: 28.05.2025)

ДОДАТОК

Код Arduino Uno:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_AM2320.h>

#define FAN_PIN 5
#define UV_LAMP_RELAY 6
#define CO2_RX 10 // Arduino receives data from CO2 sensor
#define CO2_TX 11 // Arduino transmits to CO2 sensor

Adafruit_AM2320 am2320 = Adafruit_AM2320();
SoftwareSerial espSerial(2, 3); // RX, TX to ESP32
SoftwareSerial co2Serial(CO2_RX, CO2_TX); // CO2 sensor serial

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  espSerial.begin(9600);
  co2Serial.begin(9600); // MH-Z19B default baudrate

  Wire.begin();
  am2320.begin();

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

```
int readCO2() {  
    byte cmd[] = { 0xFF, 0x01, 0x86, 0, 0, 0, 0, 0, 0x79 };  
    byte response[9];  
  
    co2Serial.write(cmd, 9);  
    delay(100);  
  
    if (co2Serial.available() >= 9) {  
        for (int i = 0; i < 9; i++) {  
            response[i] = co2Serial.read();  
        }  
        if (response[0] == 0xFF && response[1] == 0x86) {  
            int ppm = (int)response[2] * 256 + (int)response[3];  
            return ppm;  
        }  
    }  
    return -1; // Error  
}  
  
void loop() {  
    float temp = am2320.readTemperature();  
    float humid = am2320.readHumidity();  
    int co2 = readCO2();  
  
    // --- Керування УФ-лампою по CO2 ---  
    if (co2 > 1000) digitalWrite(UV_LAMP_RELAY, HIGH);
```

```

else digitalWrite(UV_LAMP_RELAY, LOW);

// --- Керування вентилятором по температурі/вологості ---
if (temp > 28 || humid > 65) digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);
else digitalWrite(FAN_PIN, LOW);

// Надсилення даних на ESP32
espSerial.print("CO2:"); espSerial.print(co2);
espSerial.print(";TEMP:"); espSerial.print(temp);
espSerial.print(";HUMID:"); espSerial.println(humid);

delay(3000);
}

Код для ESP32:
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>

const char* ssid = "YOUR_WIFI_SSID";
const char* password = "YOUR_WIFI_PASSWORD";

String sensorData = "Очікування даних...";
WebServer server(80);

void handleRoot() {
    String html = "<!DOCTYPE html><html><head><meta charset='utf-8'><title>Моніторинг повітря</title></head><body>";
    html += "<h2>Стан якості повітря</h2><pre>" + sensorData + "</pre>";
    html += "<p>Сторінка оновлюється кожні 5 секунд</p>";
}

```

```
html += "<script>setTimeout(=>location.reload(), 5000);</script>";  
html += "</body></html>";  
server.send(200, "text/html", html);  
}
```

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // з'єднання з Arduino Uno  
  WiFi.begin(ssid, password);  
  Serial.println("Підключення до Wi-Fi...");
```

```
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    delay(500);  
    Serial.print(".");  
  }
```

```
  Serial.println("");  
  Serial.print("Підключено до Wi-Fi. IP: ");  
  Serial.println(WiFi.localIP());
```

```
  server.on("/", handleRoot);  
  server.begin();  
}
```

```
void loop() {  
  server.handleClient();
```

```
  // зчитування даних з Arduino Uno
```

```
if (Serial.available()) {  
    sensorData = Serial.readStringUntil('\n');  
    sensorData.trim(); // прибирає пробіли/переноси  
}  
}
```