

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КВРКІ 022007.22.01.76 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група K12-22-1


Підпис

Олександр
БУГАЄНКО
Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Дмитро ДЕНИСЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер канд. фіз.-мат. наук, доц.т
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
«01» червня 2026 р.


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

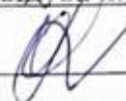
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІС

 Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бугаснку Олександр Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА

Керівник проекту (роботи) Денисюк Дмитро Олександрович, старший викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Аналіз апаратно-програмного комплексу _____

Проектування апаратного комплексу _____

Програмно апаратна реалізація апаратного-комплексу _____

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Апаратне забезпечення проекту _____

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи _____

Електрична _____ принципова _____ схема _____ проекту _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.



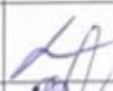

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач  Олександр БУГАЄНКО
Підпис Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи  Дмитро ДЕНИСЮК
Підпис Імя, ПРІЗВИЩЕ

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ с кз	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Пояснювальна записка	64		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ Е8	Апаратне забезпечення проекту	1		
3		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ Е8	Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи	1		
4		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ Е8	Електрична принципова схема проекту	1		

КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ						
Зм	Ар к	№ докум	Підпи с	Дат а		
Розроби в		Бугасько		01.06		
Перевір.		Денисюк		01.06		
Н. контр.		Кисіль				
Затв.		Павлова		01.06		
Відомість проекту				Літера	Арку ш	Аркуш ів
				У	1	64
				ХНУ, КІ2-22-1		

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА».

Автор роботи: Олександр Бугаєнко.

Керівник роботи: Дмитро ДЕНИСЮК.

Пояснювальна записка: 67 с., 15 рис., 1 табл., 3 дод., 16 джерел.


Графічна частина: 3 креслення.

ESP32-S3, АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС, ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ, АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ, РОБОЧЕ МІСЦЕ МОНТАЖНИКА РЕА, СЕНСОРИ.

Метою дипломної роботи є розробка та дослідження апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури, який забезпечує моніторинг параметрів повітряного середовища, автоматичний вибір режиму очищення та інформування користувача про поточний стан робочої зони.

Об'єктом дослідження є процес контролю якості повітря та керування локальним очищенням у робочій зоні монтажника радіоелектронної апаратури під час виконання операцій паяння, складання та обслуговування електронних вузлів.




Предметом дослідження є архітектура, апаратна частина, програмні алгоритми та режими функціонування апаратно-програмного комплексу адаптивного очищення повітря з використанням мікроконтролера ESP32-S3, сенсорів контролю середовища та виконавчих елементів локальної вентиляції.


Підпис студента

30.05.2026

Дата

№ р я д к а	ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ е кз	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Пояснювальна записка	64		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ Е8	Апаратне забезпечення проекту	1		
3		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ Е8	Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи	1		
4		КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ Е8	Електрична принципова схема проекту	1		

КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ				
Зм	Ар к	№ докум	Підпи с	Дат а
Розробив		Бугаєнко		01.06
Перевір.		Денисюк		01.06
Н. контр. Затв.		Кисіль Павлова		01.06
Відомість проекту				
Літера		Арку ш	Аркуш ів	
У		1	64	
ХНУ, КІ2-22-1				

Висновки	57
Перелік джерел	59
Додаток А Копія креслення «Апаратне забезпечення проєкту»	65
Додаток Б Копія креслення «Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи»...	66
Додаток В Копія креслення «Електрична принципова схема проєкту».....	67

					КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена необхідністю зниження впливу шкідливих випарів, аерозольних домішок і супутніх факторів мікроклімату на безпеку праці під час виконання монтажних операцій.

Сучасні виробничі процеси дедалі більше інтегрують елементи автоматизації та інтелектуального керування, що наближує їх до концепції кіберфізичних систем. Такі системи активно застосовуються у промисловості, зокрема для підвищення безпеки та якості виконання технологічних операцій. Одним із важливих напрямів є забезпечення належних умов праці на робочих місцях, пов'язаних із монтажем радіоелектронної апаратури.

У даному дослідженні розглядається апаратно-програмний комплекс як різновид кіберфізичної системи, що забезпечує адаптивне керування процесом очищення повітря. Використання датчиків контролю параметрів повітря, алгоритмів обробки даних та виконавчих механізмів дозволяє підвищити ефективність очищення, оптимізувати енергоспоживання та створити більш безпечні умови праці.

На практиці робоче місце монтажника РЕА (Радіо електронної апаратури) не є ізольованою технічною зоною, де достатньо просто встановити витяжку і вважати проблему вирішеною. Під час паяння, ремонту плат, використання флюсів і термообробки матеріалів склад повітря змінюється нерівномірно: у певні моменти домішок майже немає, а під час активної роботи концентрація випарів може швидко зростати саме біля зони дихання працівника. Тому система очищення має реагувати не лише на факт увімкнення робочого місця, а й на реальний стан середовища.

Особливість цієї роботи полягає в поєднанні задач охорони праці, вбудованих систем та автоматичного керування. Розроблюваний комплекс не замінює загальнообмінну вентиляцію приміщення, але доповнює її локальним інтелектуальним рівнем. Він повинен виявляти погіршення параметрів повітря,

					КВРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінювати інтенсивність очищення, повідомляти користувача про небезпечні стани та водночас не створювати зайвого шуму чи дискомфорту у періоди нормальної роботи [23, 24, 25].

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати джерела забруднення повітря на робочому місці монтажника РЕА, розглянути наявні технічні рішення очищення повітря, обґрунтувати вибір сенсорів і мікроконтролерної платформи, розробити структуру комплексу, описати алгоритм адаптивного керування, реалізувати апаратну і програмну частини та оцінити ефективність запропонованого рішення в умовах, наближених до реальної експлуатації [26, 27, 32].

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонований підхід може бути використаний не тільки у виробничих майстернях, а й у навчальних лабораторіях, сервісних центрах та невеликих дільницях ремонту електроніки. Для таких місць часто характерні обмежений бюджет, змінне навантаження та потреба у простому обслуговуванні обладнання, тому модульний апаратно-програмний комплекс на базі ESP32-S3 є доцільним і технічно виправданим рішенням.

Метою дипломної роботи є розробка та дослідження апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури для підвищення ефективності очищення та забезпечення безпечних умов праці.

Об'єктом дослідження є моніторинг якості повітря на робочому місці монтажника радіоелектронної апаратури.

Предметом дослідження є методи та засоби адаптивного моніторингу та керування системою очищення повітря з використанням апаратно-програмних рішень.

апаратури, де під час паяння та обробки компонентів виникають шкідливі випари.

Поширення сенсорних технологій, мікропроцесорної техніки та систем автоматичного керування сприяло переходу від пасивних фільтраційних установок до систем, що здійснюють безперервний контроль стану повітря, аналізують отримані дані та коригують режими роботи обладнання з урахуванням поточних умов.

На рисунку 1.2 подано узагальнену схему впливу забрудненого повітря на робоче середовище монтажника радіоелектронної апаратури. У процесі паяння та обробки компонентів у повітря надходять аерозолі, пари флюсів і дрібнодисперсний пил, які накопичуються у зоні дихання працівника.



Рисунок 1.2 – Як на організм людини впливає забруднене повітря [18]

Тривалий вплив таких домішок може призводити до подразнення дихальних шляхів, зниження працездатності та погіршення самопочуття.

Зображені фактори підкреслюють необхідність ефективного локального очищення повітря безпосередньо в місці утворення забруднень.

Для робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури характерна локальність виникнення забруднення. Джерело шкідливих домішок зазвичай розташоване не в усьому приміщенні, а безпосередньо біля паяльної станції, друкованої плати, ванночки з флюсом або ділянки механічної підготовки компонентів. Через це загальнообмінна вентиляція не завжди встигає відвести забруднене повітря саме з тієї зони, де ним дихає працівник. Навіть за нормальної кратності повітрообміну в приміщенні біля столу можуть утворюватися короточасні, але відчутні піки концентрації випарів [15].

Основними джерелами домішок під час монтажних робіт є пари флюсів, продукти термічного розкладання органічних речовин, аерозольні частинки припою, залишки очищувальних розчинників, пил від механічної обробки корпусів і плат. Їхній вплив залежить не лише від концентрації, а й від тривалості контакту, температури жала паяльника, режиму роботи вентиляції та положення голови оператора відносно джерела випарів. Саме тому у роботі доцільно розглядати не абстрактну якість повітря в приміщенні, а стан повітряного середовища в робочій зоні [28,29,30].

Кіберфізичний характер запропонованого комплексу проявляється у постійному зв'язку між фізичним процесом забруднення повітря та програмною логікою прийняття рішень. Сенсори вимірюють параметри середовища, мікроконтролер обробляє ці дані, а виконавчі елементи змінюють режим очищення. Така схема дає змогу перейти від ручного або фіксованого керування до адаптивної роботи, коли інтенсивність очищення визначається фактичною ситуацією, а не лише суб'єктивним відчуттям користувача.

Важливою функціональною особливістю системи є її реакція на зміну умов у часі. Під час підготовки робочого місця або паузи між операціями система може працювати в економному режимі. Коли монтажник починає паяння, рівень домішок поступово або стрибкоподібно зростає, і комплекс повинен підсилити відсмоктування. Після завершення активної фази роботи вентиляція не має різко вимикатися, оскільки залишкові випари ще певний час перебувають у зоні столу.

					КВРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього потрібні затримки, гістерезис і фільтрація показників, які зменшують кількість помилкових перемикань.

Окремої уваги потребує ергономічний аспект. Система очищення повітря не повинна заважати точним ручним операціям, перекривати освітлення, створювати надмірний шум або вимагати від працівника постійної взаємодії з налаштуваннями. Для монтажника важливо бачити простий і зрозумілий стан: чи нормальне повітря, чи працює посилене очищення, чи є аварійне попередження. Тому апаратно-програмний комплекс має бути не лише технічно працездатним, а й зручним у щоденному використанні.

З позиції надійності система повинна коректно поводитися при нестабільних показниках датчиків, тимчасовому збою окремого модуля або різкій зміні умов середовища. Наприклад, газовий сенсор MQ-135 може реагувати не тільки на пари флюсу, а й на інші леткі речовини, тому його показники доцільно трактувати як індикатор загального погіршення повітря, а не як лабораторно точне вимірювання конкретної речовини [5]. Таке розуміння дозволяє коректно сформулювати вимоги до системи: вона має своєчасно виявляти небажану тенденцію і запускати очищення, а не виконувати функції сертифікованого вимірювального приладу [35,36,37].

1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень апаратно-програмного комплексу

Існуючі системи очищення повітря на робочих місцях можна розділити на загальнообмінні вентиляційні системи, локальні витяжні установки та автономні фільтраційні пристрої.

Загальнообмінна вентиляція є базовим елементом безпеки виробничого приміщення, однак її можливості обмежені, коли забруднення виникає малими порціями безпосередньо біля обличчя працівника. Її перевагою є здатність підтримувати загальний повітрообмін, але недоліком є низька адресність.

Система може забезпечувати нормативний рівень вентиляції для кімнати загалом, проте не гарантувати швидкого відведення випарів саме від паяльної точки.



Рисунок 1.3 – Вентиляція виробничих приміщень[19]

Автономні фільтраційні установки з механічними або комбінованими фільтрами забезпечують очищення повітря шляхом його пропускання через систему фільтрів.



Рисунок 1.4 – Система фільтрації повітря Powermatic PM1200[17]

Проведений аналіз показує, що існуючі рішення переважно не забезпечують адаптивного керування процесом очищення повітря на основі даних про фактичний стан повітряного середовища.[10]

Локальні витяжні пристрої краще відповідають специфіці монтажних робіт, оскільки наближають зону забору повітря до джерела забруднення. Вони прості, зрозумілі та ефективні при правильному розташуванні. Разом з тим більшість недорогих локальних витяжок працює у фіксованому режимі: користувач самостійно вмикає або вимикає пристрій, а інтенсивність очищення майже не змінюється. У реальній роботі це призводить до двох крайнощів: або витяжка працює надмірно довго, створюючи шум і витрачаючи енергію, або її вмикають запізно, коли випари вже накопичилися [31,33,34].

Автономні фільтраційні установки з механічними, вугільними або комбінованими фільтрами мають перевагу у мобільності та відносній незалежності від вентиляційних каналів. Вони можуть бути корисними для невеликих майстерень і навчальних лабораторій, де немає можливості швидко модернізувати загальну вентиляцію. Проте такі пристрої також часто не мають розвиненого зворотного зв'язку. Користувач не завжди розуміє, наскільки ефективно працює фільтр, коли його треба замінити і чи достатньою є поточна продуктивність.

Для порівняння існуючих рішень доцільно використовувати кілька критеріїв: швидкість реагування на зміну стану повітря, близькість зони забору до джерела забруднення, рівень автоматизації, енергоефективність, вартість впровадження, простота обслуговування та зрозумілість для користувача. За цими критеріями традиційні рішення добре виконують окремі функції, але рідко утворюють єдину адаптивну систему. Саме ця прогалина і визначає актуальність розроблення апаратно-програмного комплексу.

Додатковим недоліком багатьох готових рішень є відсутність гнучкої інтеграції з цифровими засобами контролю. Якщо пристрій не збирає дані про стан середовища, його неможливо об'єктивно оцінити в динаміці. Для відповідального за лабораторію або виробничу дільницю важливо бачити не лише факт роботи вентилятора, а й характер навантаження: як часто виникають небезпечні стани, як довго система перебуває у посиленому режимі, чи є ознаки

погіршення роботи фільтра. Це відкриває простір для використання мікроконтролерів, сенсорів та простих алгоритмів аналізу.

Отже, адаптивне керування є логічним розвитком локальних систем очищення повітря. Воно поєднує фізичне відведення забруднень, сенсорний контроль і програмну реакцію на зміну параметрів. У межах кваліфікаційної роботи такий підхід дозволяє не тільки запропонувати окремий пристрій, а й показати цілісну архітектуру кіберфізичної системи, яка враховує технічні, експлуатаційні та людські чинники.

1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження

У якості апаратної основи пропонується використання мікроконтролерної платформи ESP32-S3, яка поєднує достатню обчислювальну потужність, енергоефективність та можливості бездротового обміну даними.



Рисунок. 1.5 – Порівняння Arduino, ESP8266 і ESP32[21]

Програмна реалізація системи здійснюється у середовищі PlatformIO із використанням фреймворку Arduino. [7]

Порівняльну таблицю характеристик можна наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна таблиця характеристик датчиків моніторингу клімату

Характеристика	DHT11	DHT22 (AM2302)	BME280
Вимірювані величини	Температура, вологість	Температура, вологість	Температура, вологість, тиск
Температурний діапазон	0...50 °C	-40...80 °C	-40...85 °C
Похибка температури	±2 °C (0...50 °C)	±0,5 °C (у всьому діапазоні)	±1,0 °C (типова)
Вологісний діапазон	~20...80 % RH	0...100 % RH	0...100 % RH
Похибка вологості	±5 % RH	±2 % RH (типова), до ±5 %	±3 % RH
Роздільна здатність	~1 °C; ~1 % RH	~0,1 °C; ~0,1 % RH	~0,01 °C; ~0,008 % RH (16-bit ADC)
Частота оновлення	≤1 Hz (1 вимір/с)	≤0,5 Hz (1 вимір/2 с)	До ~100 Hz
Інтерфейс зв'язку	Однодротовий (протокол DHT)	Однодротовий (протокол DHT)	I ² C або SPI (цифрова шина)
Живлення	3,0–5,5 В	3,0–6,0 В	1,71–3,6 В (чип); 3,3–5 В (модуль)
Споживання струму	~50 μA (очікування);	~50 μA (очікування); до 2,5 мА при вимірі	~3,6 μA (при 1 Hz); 0,1 μA (сон)

Основою запропонованого підходу є використання мікроконтролерної платформи ESP32 S3 (рис 1.6), що поєднує достатню обчислювальну потужність, енергоефективність та можливості бездротового обміну даними. Програмна

реалізація системи передбачається із використанням середовища розробки PlatformIO з використанням фреймворку Arduino. [8, 38,39,40,41,42,43,44]

Таким чином, для розробки апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря оптимальним вибором є ESP32-S3 N16R8, оскільки він поєднує високу продуктивність, багатофункціональність та економічну доцільність.[1]



Рисунок 1.6 – ESP32-S3 N16R8

Датчики моніторингу величин для розробки апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря є різні, з яких можна виділити такі як BME280, DHT22 (AM2302), DHT11

Для реалізації апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря обрано сенсор BME280 (рис. 1.7) . Цей датчик дозволяє вимірювати температуру, відносну вологість та атмосферний тиск, що робить його більш універсальним порівняно з іншими сенсорами, такими як DHT11 або DHT22 (AM2302), які здатні вимірювати лише температуру та вологість. [3]

Серед переваг BME280:

- Широкий температурний діапазон: від -40 до $+85$ °C, що забезпечує стабільну роботу у різних умовах приміщення.
- Висока точність: похибка вимірювання температури ± 1 °C (типова) та вологості ± 3 % RH, що дозволяє отримувати достовірні дані для адаптивного керування.
- Висока роздільна здатність: $\sim 0,01$ °C для температури та $\sim 0,008$ % RH для вологості завдяки 16-бітному АЦП, що забезпечує плавний та точний контроль змін параметрів повітря.[3]

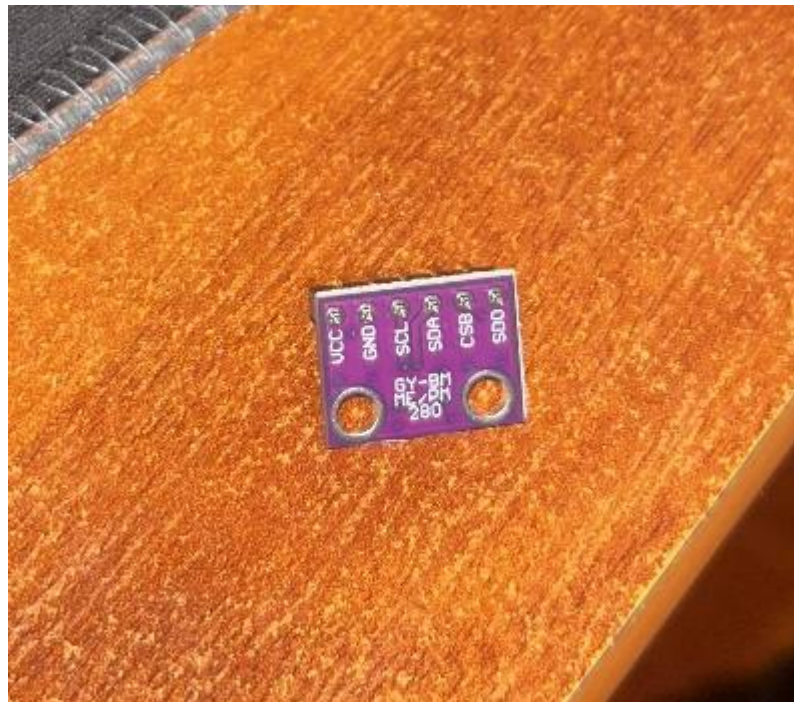


Рисунок. 1.7 – VME280

VME280 є оптимальним вибором для побудови системи адаптивного керування очищенням повітря робочого місця монтажника РЕА, оскільки дозволяє отримувати точні дані в реальному часі та забезпечує надійну роботу при мінімальному енергоспоживанні.[2]

Для регулювання яскравості дисплею доцільно застосувати фоторезистор 5528, який реагує на рівень освітленості навколишнього середовища. Використання такого сенсора дозволяє автоматично змінювати інтенсивність

підсвітки дисплею залежно від зовнішніх умов, що підвищує зручність користування пристроєм та зменшує енергоспоживання.



Рисунок. 1.8. – Фоторезистор 5528

Звукові індикації відіграють важливу роль у подібних пристроях, оскільки забезпечують оперативне сповіщення користувача про зміни стану системи або досягнення певних порогових значень параметрів. У цьому проєкті для цих цілей планується використання зумера 12085, який відзначається надійністю, компактними розмірами та достатньою гучністю для ефективного сповіщення навіть у виробничому середовищі.

Використання зумера дозволяє реалізувати різні режими звукових сигналів, зокрема попереджувальні сигнали при перевищенні допустимих рівнів забруднення повітря, підтвердження дій користувача або індикацію аварійних ситуацій. Простота підключення до мікроконтролера та низьке енергоспоживання роблять його зручним елементом для вбудованих систем керування.

Таким чином, використання зумера 12085 підвищує інформативність і зручність експлуатації пристрою, забезпечуючи своєчасне реагування користувача на зміни параметрів повітряного середовища робочого місця.

На рис 1.9 зображено зумер 12085



Рисунок. 1.9 – Зумер 12085

Для контролю присутності людини в робочій зоні доцільно використовувати датчик присутності або руху. Оптимальним рішенням є компактний інфрачервоний датчик TZT SR602 MINI, який поєднує малі габарити, низьке енергоспоживання та достатню чутливість для виявлення руху в межах робочого місця.

Використання такого датчика дозволяє автоматично визначати наявність оператора поблизу системи та відповідно адаптувати режими її роботи. Наприклад, система може активувати очищення повітря при появі людини або переходити в енергоощадний режим за її відсутності. Це підвищує ефективність функціонування пристрою та зменшує зайве енергоспоживання.

Датчик TZT SR602 MINI (Рисунок 1.10) характеризується простотою підключення до мікроконтролера, стабільною роботою та швидкою реакцією на зміни у зоні контролю. Завдяки своїм технічним характеристикам він є доцільним елементом системи адаптивного керування очищенням повітря робочого місця монтажника РЕА, забезпечуючи автоматизацію процесів та підвищення рівня безпеки праці.



Рисунок. 1.10 – TZT SR602 MINI

Дисплей для відображення інформації є важливою складовою апаратно-програмного комплексу, оскільки саме через нього користувач отримує актуальні дані про стан повітряного середовища та роботу системи.



Рисунок 1.11 – Дисплей з тачскріном ILI9341

Для мікроконтролера ESP32-S3-N16R8 дисплей ILI9341 є доцільним і ефективним рішенням завдяки сумісності, достатній швидкодії обміну даними

та простоті інтеграції. Роздільна здатність 320×240 пікселів забезпечує чітке відображення текстової інформації, графіків і піктограм, що дозволяє зручно візуалізувати показники температури, вологості, концентрації газів та інші параметри системи.

Датчик MQ-135 є елементом системи для контролю якості повітря на робочому місці монтажника РЕА. Він призначений для виявлення шкідливих газів, таких як аміак, бензол, CO₂ та інші забруднювачі.



Рисунок 1.12 – Модуль датчика концентрації газів MQ-135

Завдяки високій чутливості та швидкій реакції датчик MQ-135 забезпечує своєчасне виявлення підвищеної концентрації шкідливих газів і домішок у повітрі робочої зони. Отримані вимірювальні дані передаються на мікроконтролер ESP32-S3-N16R8, де здійснюється їх подальша обробка, аналіз і порівняння з установленими пороговими значеннями.

Це дає змогу системі оперативно реагувати на погіршення якості повітря, автоматично активувати очищення, формувати попереджувальні сигнали та відображати актуальний стан середовища на дисплеї. Таким чином, використання MQ-135 підвищує точність моніторингу повітря та сприяє ефективній роботі системи адаптивного керування.

Під час вибору апаратної платформи важливо враховувати кількість доступних входів і виходів, ESP32-S3 є доречним вибором, оскільки підтримує достатню кількість цифрових та аналогових інтерфейсів, має запас продуктивності для обробки сенсорних даних, може працювати з дисплеями та за потреби забезпечує бездротовий обмін даними [6]. Для дипломної роботи це дає можливість розглядати комплекс не як одноразовий макет, а як основу для масштабованого рішення.

Обрані сенсори виконують різні ролі у системі. BME280 дає інформацію про мікроклімат, який впливає на комфорт працівника та може опосередковано позначатися на роботі газового сенсора [4]. MQ-135 використовується як індикатор погіршення якості повітря, тобто як елемент, що сигналізує про появу домішок у робочій зоні. Датчик присутності SR602 дозволяє враховувати, чи перебуває оператор біля робочого місця, а фоторезистор допомагає автоматично адаптувати індикацію до освітлення. Разом ці модулі формують не випадковий набір компонентів, а систему, у якій кожен сенсор уточнює контекст роботи.

Важливо також правильно визначити межі Використання комплексу. Він не зможе повністю замінити промислові системи аспірації у великих цехах і не виконує функцій сертифікованого газоаналізатора. Його завдання полягає в оперативному локальному контролі та адаптивному керуванні очищенням на окремому робочому місці. Саме така постановка робить систему реалістичною для невеликих майстерень, лабораторій, сервісних центрів та навчальних аудиторій.

Програмна частина повинна забезпечувати узгоджену роботу всіх апаратних модулів. Це означає, що зчитування сенсорів, оновлення дисплея, перевірка аварійних умов і керування вентилятором мають виконуватися без помітних затримок для користувача. У простих мікроконтролерних проєктах поширеною проблемою є надмірне використання блокуючих затримок, через які система повільно реагує на події. Тому при розробленні алгоритму доцільно застосовувати циклічну логіку з часовими інтервалами опитування.

Базова версія має бути зрозумілою й надійною: вона повинна запускатися без складної конфігурації, показувати користувачеві основні параметри та автоматично підтримувати безпечніший режим очищення повітря.

1.4 Постановка задачі

Завданнями даної роботи є розглянути процедури функціонування систем очищення повітря та моніторингу параметрів мікроклімату робочого місця монтажника РЕА, провести теоретичний аналіз предметної області, включаючи питання контролю якості повітря, вологості, температури та освітленості, а також охарактеризувати структуру робочого місця та визначити критичні точки забруднення повітря та параметри мікроклімату.

Розглядається підсистема адаптивного керування системою очищення повітря, проводиться її тестування та оцінка роботи, після чого робляться висновки щодо доцільності використання системи на робочих місцях монтажників РЕА. Крім того, робота визначає об'єкт і мету для подальших досліджень та дозволяє оцінити ступінь досягнення поставлених завдань.

Задача розроблення комплексу може бути сформульована як створення локальної системи, що поєднує вимірювання, аналіз і керування в одному робочому циклі. На вхід системи надходять показники сенсорів, які характеризують стан повітря, мікроклімат, наявність користувача та умови відображення інформації. На виході формується керуюча дія для вентиляційного або фільтраційного вузла, а також інформаційні повідомлення для монтажника.

До функціональних вимог комплексу належать безперервне опитування датчиків, фільтрація випадкових коливань, визначення рівня забруднення, автоматичне перемикання режимів очищення, візуальне відображення параметрів і звукове попередження при небезпечних станах. До нефункціональних вимог слід віднести простоту обслуговування, доступність

компонентів, енергоефективність, компактність, стійкість до типових збоїв і можливість подальшої модернізації.

Важливо, що система має працювати не відокремлено від людини, а в реальному робочому процесі. Монтажник не повинен витратити увагу на постійне ручне налаштування очищення, адже його основна діяльність пов'язана з точними рухами, контролем якості паяння та роботою з дрібними компонентами. Тому автоматизація у цьому випадку має не ускладнювати робоче місце, а навпаки знімати частину рутинного контролю і підвищувати впевненість у безпечності умов праці.

1.5 Висновки до першого розділу

У межах розділу 1 проведено детальний аналіз структурних і функціональних особливостей апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури. Розглянуто загальну архітектуру системи, її основні складові елементи та принципи їх взаємодії в умовах змінного рівня забруднення повітряного середовища.

Виконано аналіз програмно-апаратного забезпечення, що використовується для збору, обробки та інтерпретації даних із датчиків контролю якості повітря. Окрему увагу приділено методам обробки сигналів, вибору мікроконтролерних платформ, а також особливостям реалізації алгоритмів адаптивного керування виконавчими механізмами системи очищення.

Здійснено постановку задачі адаптивного керування процесом очищення повітря, яка полягає у визначенні оптимальних режимів роботи системи залежно від поточного рівня забруднення, інтенсивності монтажних робіт та зовнішніх умов. Визначено основні критерії ефективності функціонування системи, зокрема рівень очищення повітря, енергоспоживання та швидкодію реакції на

зміну параметрів середовища. Крім цього, проведено аналіз основних джерел забруднення повітря під час монтажу радіоелектронної апаратури, серед яких пари флюсу, аерозолі припою та дрібнодисперсний пил. Описано їх фізичні властивості, характер поширення в робочій зоні та вплив на здоров'я працівника і якість виконання монтажних операцій.

Також розглянуто існуючі системи очищення повітря, що застосовуються у виробничих умовах, проаналізовано їхні переваги та недоліки, а також наведено класифікацію за принципом дії, конструктивним виконанням і рівнем автоматизації. Це дозволило обґрунтувати доцільність розробки адаптивного апаратно-програмного комплексу, здатного ефективно працювати в умовах змінного навантаження та локального характеру забруднення

					КВРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

2.1 Визначення апаратних і програмних підсистем апаратно-програмного комплексу

Проєктування апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури базується на необхідності безперервного контролю параметрів повітряного середовища, своєчасного виявлення зростання концентрації шкідливих домішок та автоматичної зміни режиму роботи виконавчих елементів.

Підсистема збору даних забезпечує вимірювання параметрів навколишнього середовища у зоні виконання монтажних робіт. Обчислювально-аналітична підсистема реалізується на базі мікроконтролера ESP32-S3 N16R8 і виконує функції опитування датчиків, попередньої обробки та фільтрації сигналів, порівняння вимірних значень із допустимими порогоми, формування керуючих команд та ведення логіки адаптивного керування.



Рисунок 2.1 – Мікроконтролер ESP32-S3 як центральний вузол апаратно-програмного комплексу

Підсистема керування виконавчими пристроями призначена для практичної реалізації рішень, сформованих мікроконтролером. До неї входять вентиляційні елементи, модулі локального відсмоктування, блоки живлення та силові ключі, за допомогою яких здійснюється вмикання, вимикання або регулювання інтенсивності очищення повітря.

Підсистема інформування користувача необхідна для відображення поточного стану середовища та режиму роботи комплексу. Її доцільно реалізувати за допомогою графічного дисплея ІІ9341 та зумера, який подає звукові сигнали у випадку перевищення критичних значень забруднення або виникнення аварійного режиму.

Під час проектування підсистем збору даних необхідно враховувати різну природу сигналів. ВМЕ280 передає цифрові дані через інтерфейс І2С або SPI, тому його показники менш вразливі до завад на коротких з'єднаннях. MQ-135, навпаки, часто використовується з аналоговим виходом, і якість його сигналу залежить від стабільності живлення, прогріву чутливого елемента та налаштування входу мікроконтролера. Це означає, що для газового сенсора потрібні усереднення, перевірка допустимого діапазону та можливість визначення базового фонових рівня.

Підсистема обробки даних повинна виконувати не лише просте порівняння з порогом. У реальних умовах показники датчиків можуть коливатися через рух повітря, наближення руки до сенсора, випадкове потрапляння потоку від вентилятора або короткочасне використання допоміжних матеріалів.

Якщо реагувати на кожне одиничне відхилення, система буде часто змінювати режими й дратувати користувача. Тому в алгоритм доцільно включити ковзне усереднення, мінімальний час перебування у режимі та гістерезис між порогами вмикання й вимикання.

Підсистема керування виконавчими пристроями має бути відокремлена від логічної частини за електричними параметрами. Мікроконтролер працює з низьковольтними сигналами, тоді як вентилятор або інший виконавчий елемент

може споживати значно більший струм. Тому доцільно використовувати силовий ключ, транзисторний каскад, MOSFET-модуль або релейний елемент залежно від типу навантаження. Такий підхід підвищує надійність і зменшує ризик пошкодження ESP32-S3.

Підсистема інформування користувача має працювати у двох рівнях деталізації. Перший рівень призначений для щоденної експлуатації і містить прості повідомлення: нормальний режим, посилене очищення, аварійний стан, помилка датчика.

Другий рівень використовується під час налагодження і може відображати числові значення сенсорів, службові стани та параметри калібрування. Таке розділення робить інтерфейс зрозумілим для користувача і водночас корисним для розробника або техника.

Важливим проєктним рішенням є визначення частоти опитування датчиків. Надто рідкі вимірювання знижують оперативність реакції, а надто часті можуть створити зайве навантаження на мікроконтролер і ускладнити фільтрацію.

Для параметрів мікроклімату достатньо меншої частоти оновлення, адже температура й вологість змінюються повільно. Для газового сенсора доцільно використовувати частіше опитування з подальшим усередненням, оскільки саме він визначає швидку реакцію на появу випарів.

У структурі комплексу слід передбачити і аварійну логіку. Якщо показники сенсора виходять за фізично можливі межі, зникає зв'язок із модулем або система отримує нестабільні дані протягом тривалого часу, користувач має побачити відповідне повідомлення.

У такій ситуації безпечніше перевести очищення у підсилений або службовий режим, ніж залишити вентилятор вимкненим. Це відповідає загальному принципу безпечної відмови, коли при невизначеності система обирає менш ризиковану дію.

2.2 Розроблення структурної схеми апаратно-програмного комплексу

Структурна схема апаратно-програмного комплексу має відображати рух інформації від сенсорів до виконавчих механізмів і користувача. На вході системи розміщуються вимірювальні елементи, встановлені безпосередньо в зоні розташування робочого місця монтажника РЕА, а їхні показники передаються до центрального обчислювального вузла.

Центральним елементом структурної схеми є мікроконтролер ESP32-S3 N16R8, який виконує роль координуючого ядра системи. Після обробки даних із датчиків він формує інформаційні сигнали для відображення поточного стану системи та керуючі сигнали для виконавчих пристроїв очищення повітря.

До виконавчої частини комплексу доцільно віднести вентилятор локального відсмоктування, блок фільтрації та силовий модуль керування навантаженням. Залежно від рівня забруднення повітря система може працювати в черговому, нормальному, інтенсивному або аварійному режимі.

Через дисплей оператор отримує відомості про поточні параметри середовища, активний режим очищення та попереджувальні повідомлення, що дає змогу контролювати стан системи й оперативно реагувати на небезпечні умови праці.

Структурна схема комплексу повинна відображати не тільки перелік модулів, а й логіку проходження інформації. Дані від сенсорів спочатку надходять до мікроконтролера, де виконуються первинна перевірка, приведення до зручного формату та фільтрація. Після цього формується узагальнена оцінка стану повітря. Вона є основою для вибору режиму очищення, відображення інформації та подання звукового сигналу.

Таким чином, кожен блок схеми має чітке місце в загальному циклі керування.

Блок-схема інтерфейсу користувача та калібрування

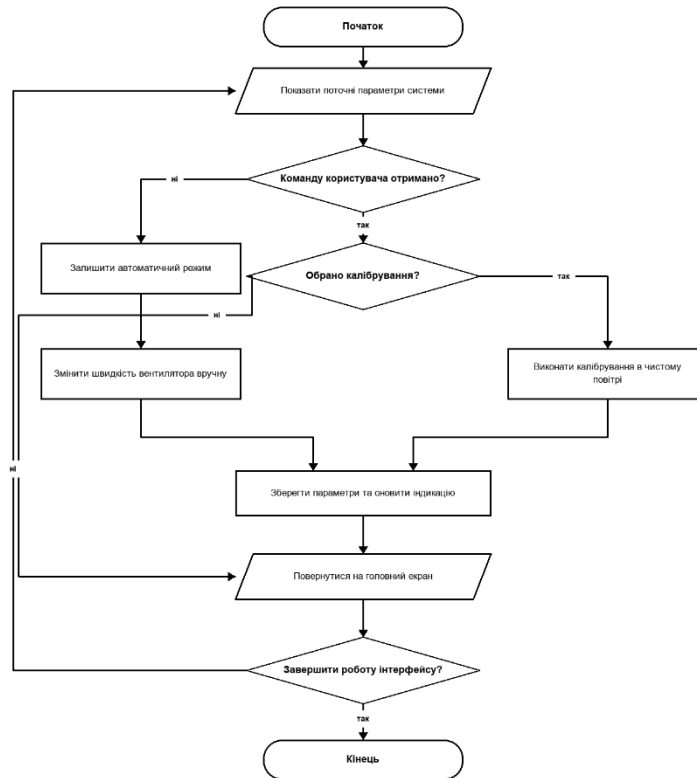


Рисунок 2.2 – Алгоритм інтерфейсу, користувача та калібрування

При розміщенні сенсорів необхідно уникати ситуації, коли вони вимірюють не стан робочої зони, а наслідок роботи самої вентиляції. Якщо газовий сенсор встановити безпосередньо у сильному потоці очищеного повітря, він може занижувати рівень забруднення. Якщо ж розташувати його надто близько до джерела випарів, система буде реагувати на дуже локальні піки, які не завжди характеризують загальну небезпеку для користувача. Оптимальним є компромісне розміщення поблизу зони дихання, але без прямого контакту з гарячим потоком.

Для зменшення впливу електричних завад у структурі доцільно передбачити розділення силових і сигнальних ліній. Проводи до вентилятора, реле або силового ключа не варто прокладати впритул до ліній I2C чи аналогового входу MQ-135. У разі потреби можуть використовуватися фільтрувальні конденсатори, спільна точка заземлення та короткі сигнальні

апаратні можливості, однак у базовій реалізації пріоритетом залишається автономна робота без залежності від мережі. Такий підхід є практичним: навіть якщо Wi-Fi недоступний, комплекс має виконувати основну функцію очищення та попередження користувача.

2.3 Розроблення алгоритму функціонування системи адаптивного керування очищенням повітря

Алгоритм функціонування комплексу має забезпечувати безперервне спостереження за станом повітряного середовища, оцінювання поточної ситуації та вибір оптимального режиму очищення повітря.

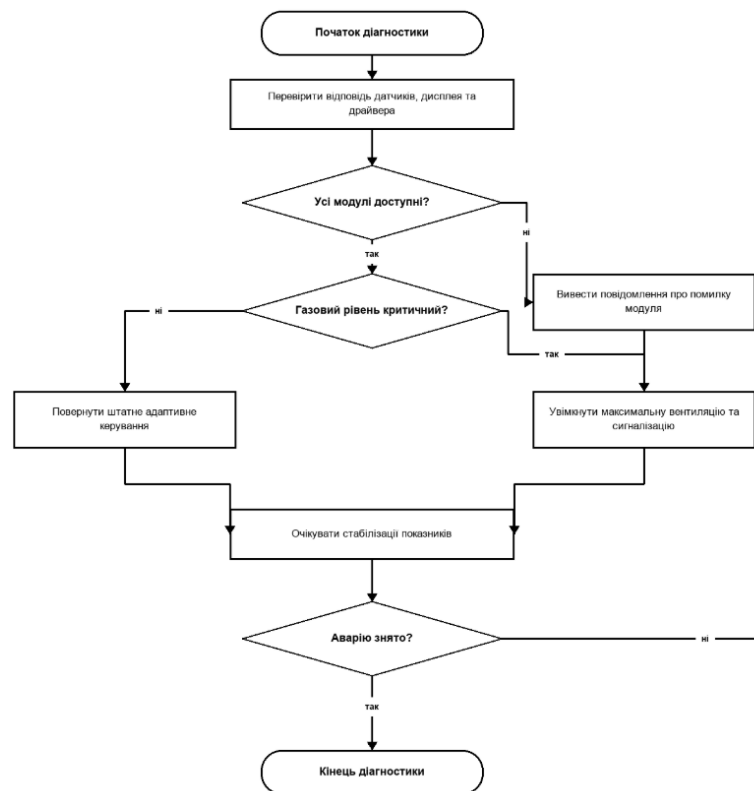


Рисунок 2.4 – Алгоритм діагностики та аварійного реагування

Принцип адаптивного керування полягає у зміні режиму роботи виконавчих елементів залежно від фактичних умов експлуатації.

Якщо рівень забруднення є низьким, а оператор відсутній, система переходить у черговий режим. За наявності користувача та нормальних показників повітря активується базовий режим очищення.

У випадку зростання концентрації газових домішок система автоматично підвищує продуктивність вентилятора, а за критичних значень вмикається аварійний режим із максимальною інтенсивністю очищення та звуковим сповіщенням.

На кожній ітерації алгоритму виконуються зчитування даних із датчиків температури, вологості, газового забруднення, освітленості та присутності користувача. Для зменшення впливу випадкових відхилень доцільно застосовувати програмну фільтрацію та усереднення послідовних вимірювань.

Паралельно з формуванням керуючих сигналів алгоритм забезпечує оновлення даних на дисплеї. На екран виводяться поточні виміряні параметри, оцінений стан повітря, режим роботи системи та службові повідомлення.

Алгоритм адаптивного керування доцільно будувати як систему станів. У черговому стані комплекс підтримує мінімальну активність, контролює наявність користувача і періодично оновлює дані. У нормальному стані система забезпечує базове очищення та відображає параметри середовища.

У посиленому стані підвищується продуктивність вентиляції, а користувач отримує візуальне попередження. В аварійному стані активується максимальна інтенсивність очищення і звуковий сигнал.

Перехід між станами має залежати від сукупності факторів, а не від одного миттєвого значення. Наприклад, зростання показника MQ-135 може бути підставою для переходу у посилений режим лише тоді, коли воно підтверджується кількома послідовними вимірюваннями.

Якщо датчик присутності показує, що користувач відсутній, система може зменшити активність, але при високому рівні забруднення все одно повинна продовжити очищення до стабілізації показників.

Гістерезис у такому алгоритмі виконує роль захисту від частих перемикань. Якщо межа переходу в посилений режим становить певне умовне значення забруднення, то повернення до нормального режиму має відбуватися при нижчому значенні. Це дозволяє уникнути ситуації, коли система багато разів за хвилину змінює швидкість вентилятора через незначні коливання показників біля порогу.

Часові затримки також мають практичне значення. Після увімкнення посиленого очищення система повинна дати вентилятору час на фактичне відведення забрудненого повітря, а сенсору - на стабілізацію показника.

Надто швидке повернення до базового режиму може створити враження нестійкої роботи. Тому у програмі доцільно передбачити мінімальну тривалість кожного режиму, особливо для аварійного та посиленого станів.

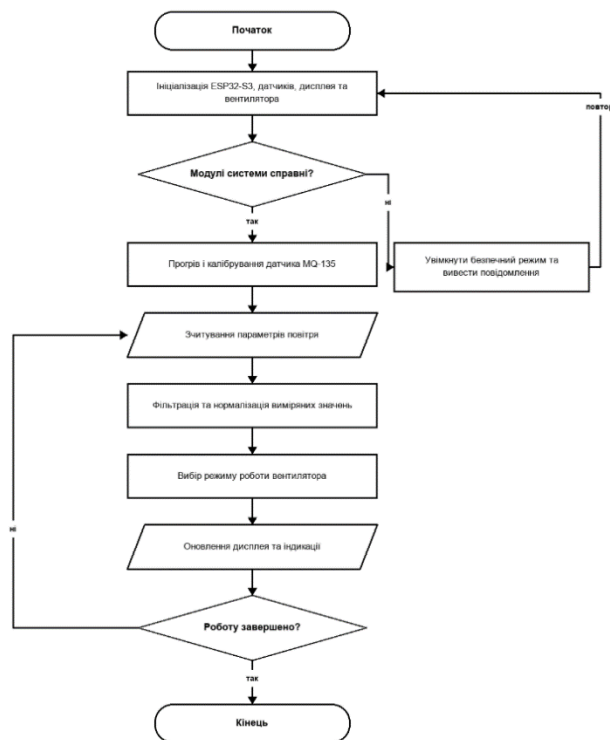


Рисунок 1.11 – Алгоритм загальної роботи системи очищення повітря

Алгоритм має передбачати обробку помилок. Якщо ВМЕ280 не відповідає на запит, на дисплеї слід показати повідомлення про збій сенсора, але система не повинна повністю зупиняти очищення.

Якщо некоректні дані надходять від MQ-135, доцільно перейти в обережний режим і повідомити користувача про необхідність перевірки датчика. Такий підхід підвищує довіру до комплексу, бо користувач бачить не мовчазну відмову, а зрозумілу реакцію системи.

У програмній логіці важливо уникати перевантаження користувача числовими даними.

Для інженера під час налагодження сирі значення датчиків є корисними, але для монтажника важливіше бачити стан системи у зрозумілій формі. Тому алгоритм має формувати не тільки керуючий сигнал, а й коротке смислове повідомлення, яке пояснює поточний режим роботи.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі виконано проектування апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури. Визначено основні функціональні підсистеми комплексу, сформовано структурну схему та розроблено алгоритм функціонування системи адаптивного керування.

Показано, що запропонована структура забезпечує можливість реалізації замкненого циклу керування, у межах якого результати моніторингу безпосередньо впливають на режим роботи системи очищення. Це дає змогу підвищити ефективність очищення повітря, знизити енергоспоживання та покращити безпеку умов праці монтажника РЕА.

Отже, результати другого розділу формують завершену проєктну основу для подальшої програмно-апаратної реалізації комплексу.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ МОНТАЖНИКА РЕА

3.1 Реалізація апаратної частини апаратно-програмного комплексу

Програмно-апаратна реалізація розробленого комплексу виконується з урахуванням специфіки робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури, де основними джерелами забруднення є продукти пайки, випари флюсів, мікрочастинки пилу та локальні теплові навантаження. Тому апаратна частина системи має забезпечувати не лише вимірювання параметрів повітря, а й стабільну роботу у безпосередній близькості до інструментів, джерел живлення та елементів локальної витяжки.



Рисунок 3.1 – Робоче місце з локальним відсмоктуванням випарів під час паяння [22]

Основою апаратної частини комплексу обрано мікроконтролерну платформу ESP32-S3 N16R8, що поєднує достатню обчислювальну потужність,

Сенсор BMP280 підключається до мікроконтролера за інтерфейсом I2C: лінія SDA заведена на GPIO8, а SCL – на GPIO9. Аналоговий вихід MQ-135 підключено до GPIO4, фоторезистор – до GPIO5, датчик присутності – до GPIO6, керування вентилятором через PWM/MOSFET – до GPIO10, а індикатори стану та зумер підключені до GPIO15, GPIO16, GPIO17 і GPIO18 відповідно. Для резистивного сенсорного шару дисплея використано контролер ХРТ2046 з окремою SPI-лінією: T_DIN – GPIO2, T_OUT – GPIO41, T_CLK – GPIO42, T_CS – GPIO1 [48].

Піни самого TFT-дисплея в програмі окремо не задаються, оскільки вони визначаються у файлі налаштувань бібліотеки TFT_eSPI. Це зменшує ризик конфлікту між дисплейною шиною та зовнішніми сенсорами.

У скетчі винесено тільки піни зовнішніх модулів, що дає змогу швидко змінювати апаратну конфігурацію без перероблення всієї програми.

Виконавча частина системи орієнтована на керування засобами локального очищення повітря. У найпростішому випадку до її складу входить вентилятор локального відсмоктування, силовий модуль комутації навантаження та вузол керування швидкістю обертання. Якщо конструкція комплексу передбачає багаторівневу фільтрацію, у виконавчу частину можуть бути додатково включені модулі перемикачів режимів подачі повітря, індикація стану фільтра та засоби аварійного відключення у разі перегріву або перевантаження.

Особливу увагу під час реалізації апаратної частини приділено електроживленню. Оскільки система поєднує слаботочні цифрові компоненти та виконавчі елементи з підвищеним споживанням струму, доцільним є розділення ліній живлення логічної та силової частин.

Таке рішення зменшує ризик впливу перешкод на точність вимірювань, підвищує стабільність роботи мікроконтролера та знижує ймовірність помилкових спрацювань при вмиканні вентилятора або інших навантажень.

фундаментальної структури системи. Таким чином забезпечується масштабованість технічного рішення.

Отже, реалізована апаратна частина комплексу поєднує засоби моніторингу, обробки сигналів і керування очищенням повітря в єдину технічну систему, придатну до використання на робочому місці монтажника радіоелектронної апаратури та орієнтовану на безперервне адаптивне реагування на зміну стану повітряного середовища.

Під час апаратної реалізації особливу увагу слід приділити фізичному розміщенню модулів. Мікроконтролер, силовий ключ і блок живлення бажано розміщувати так, щоб вони були захищені від пилу, випадкового дотику та потоку гарячого повітря.

Сенсор газових домішок, навпаки, повинен мати доступ до повітря робочої зони. Якщо розташувати його всередині закритого корпусу без вентиляційних отворів, система буде реагувати із запізненням або взагалі не побачить короточасні піки забруднення.

Підключення дисплея ILI9341 реалізовано через бібліотеку TFT_eSPI, а графічний інтерфейс побудовано засобами LVGL. Дисплей працює у портретній орієнтації 240x320 пікселів, що відповідає фактичному формату модуля з резистивним сенсорним шаром. Сенсорне введення реалізовано не через стандартний механізм TFT_eSPI, а через окрему бібліотеку XPT2046_Touchscreen, оскільки саме така схема стабільно працює з використаним дисплейним модулем [45,46,47,49,50].

Зумер як елемент звукового сповіщення має бути достатньо помітним, але не надмірно нав'язливим. У робочому середовищі постійний різкий сигнал швидко втомлює і може призвести до того, що користувач почне ігнорувати попередження. Тому реалізація звукових повідомлень повинна передбачати короткі сигнали для звичайних подій і виразніший повторюваний сигнал лише для аварійного стану.

При підключенні вентилятора або витяжного модуля важливо врахувати пусковий струм. Навіть якщо номінальне споживання пристрою невелике, у момент запуску навантаження може бути більшим. Силовий елемент повинен мати запас за струмом, а живлення мікроконтролера не повинно просідати при ввімкненні вентилятора. У протилежному випадку можливі перезавантаження ESP32-S3, помилки датчиків або нестабільна робота дисплея.

Апаратна частина має бути зручною для обслуговування. Фільтр, вентилятор і сенсорна зона повинні бути доступними для очищення та перевірки, адже система, що працює з забрудненим повітрям, поступово накопичує пил і залишки аерозолів. Якщо обслуговування ускладнене, навіть технічно правильне рішення швидко втрачає ефективність у реальній експлуатації.

3.2 Реалізація програмного забезпечення та алгоритмів адаптивного керування

Програмне забезпечення комплексу є центральною складовою, що забезпечує перетворення результатів вимірювання параметрів середовища на конкретні керуючі дії. Воно реалізує логіку опитування датчиків, фільтрації та нормалізації даних, аналізу поточного стану повітря, визначення режиму роботи системи очищення, відображення інформації на дисплеї та формування попереджувальних повідомлень.

Програмну реалізацію виконано у середовищі Arduino IDE для плати ESP32S3 Dev Module. У скетчі використано бібліотеки WiFi та WebServer для створення точки доступу й веб-сторінки моніторингу, TFT_eSPI для роботи з дисплеєм, LVGL для побудови графічного інтерфейсу, XPT2046_Touchscreen для обробки натискань сенсорного екрана та Adafruit_BMP280 для зчитування температури й атмосферного тиску. Такий набір бібліотек відповідає фактичній програмній реалізації комплексу.

Логічну архітектуру програмного забезпечення доцільно поділити на кілька функціональних модулів: модуль опитування сенсорів, модуль фільтрації та нормалізації даних, модуль оцінювання стану повітряного середовища, модуль керування виконавчими елементами, модуль інтерфейсу користувача та модуль обробки виняткових ситуацій. Така декомпозиція спрощує супровід коду, зменшує ймовірність помилок та дає змогу окремо тестувати кожен компонент.

На етапі ініціалізації програмне забезпечення налаштовує цифрові та аналогові входи, PWM-канал вентилятора, зумер, I2C-шину для BMP280, окрему SPI-шину сенсорного контролера ХРТ2046, TFT-дисплей і LVGL-буфер виведення. Після цього ESP32-S3 запускає власну Wi-Fi-точку доступу з назвою AirCleaner_ESP32S3 і паролем 11111111, а також HTTP-сервер на порту 80 для перегляду параметрів зі смартфона або комп'ютера.

Після завершення ініціалізації система переходить до циклічного режиму роботи. У межах кожного циклу виконується зчитування даних із датчиків, перевірка їх коректності, усереднення кількох послідовних вимірювань та перетворення значень у форму, зручну для подальшого аналізу. Для зменшення випадкових коливань показників доцільно застосовувати прості алгоритми цифрової фільтрації, наприклад ковзне середнє або обмеження швидкості зміни сигналу між сусідніми ітераціями.

Ключовою функцією програмного забезпечення є оцінювання стану повітря в робочій зоні за показниками MQ-135, температури й тиску з BMP280, освітленості та наявності оператора. Оскільки MQ-135 використовується як індикативний сенсор, програма передбачає калібрування базового рівня чистого повітря та порівняння поточного значення з відносними порогоми попередження й аварії. Показник вологості в цій версії комплексу не використовується.

На практиці доцільно використовувати не одне жорстке порогове значення, а систему умовних зон якості повітря. Наприклад, безпечна зона відповідає нормальному стану, зона попередження означає потребу в підсилненні

вентиляції, а критична зона вимагає переходу в аварійний режим. Подібний підхід спрощує інтерпретацію стану системи та дозволяє більш гнучко налаштувати реакцію комплексу.

Адаптивний характер керування реалізується через логіку переходу між кількома режимами роботи. У режимі очікування система підтримує мінімальну активність і знижене енергоспоживання. Базовий режим застосовується при нормальному робочому навантаженні та допустимому рівні забруднення. Інтенсивний режим активується при перевищенні порогів за концентрацією домішок, а аварійний режим запускається при досягненні критичних значень, за яких необхідне максимально можливе очищення повітря й негайне інформування користувача.

Програмне керування виконавчими елементами може бути реалізоване як дискретно, так і зі зміною інтенсивності впливу. У найпростішій конфігурації система вмикає або вимикає вентилятор залежно від визначеного режиму. У більш гнучкому варіанті застосовується широтно-імпульсна модуляція, що дозволяє регулювати швидкість обертання вентилятора та змінювати продуктивність витяжки відповідно до поточного рівня забруднення без різких переходів між станами.

Для підвищення стійкості роботи в алгоритмі доцільно передбачити гістерезис і часові затримки переключення режимів. Це запобігає частому перемиканню вентилятора при коливанні параметрів поблизу порогових значень, зменшує механічне навантаження на виконавчі елементи та робить поведінку системи більш передбачуваною для користувача. Подібний підхід особливо важливий у реальних умовах, де показники газового забруднення можуть змінюватися короткочасно та нерівномірно.

До програмного забезпечення доцільно включити модуль внутрішньої діагностики, який контролює допустимість значень сенсорів, наявність відповіді від периферійних пристроїв та логічну узгодженість режимів. Наприклад, якщо показники забруднення різко зростають, а виконавчий модуль не переходить у

посилений режим, система повинна зафіксувати невідповідність і сформувати повідомлення про помилку.

Окремий програмний модуль реалізує формування попереджувальних повідомлень і обробку нештатних ситуацій. До таких ситуацій належать відсутність зв'язку з одним із датчиків, отримання явно некоректних значень, перевищення критичних порогів забруднення, а також можливе зникнення живлення окремих вузлів. У таких випадках система повинна переходити до безпечного режиму, інформувати користувача та, за можливості, підтримувати очищення повітря на підвищеному рівні до усунення несправності.

Крім локального екрана, програмне забезпечення формує веб-інтерфейс і JSON-відповідь за адресою 192.168.4.1 у мережі, яку роздає сам ESP32-S3. На веб-сторінці відображаються температура, тиск, індекс MQ-135, базове значення калібрування, освітленість, присутність користувача, режим вентилятора та стан системи. Через веб-сторінку також можна перемикає автоматичний і ручний режими, змінювати швидкість вентилятора, виконувати калібрування MQ-135 та переглядати службові дані у форматі JSON.

Таким чином, програмне забезпечення комплексу виконує не лише допоміжну, а визначальну функцію, забезпечуючи інтелектуальну координацію всієї системи, адаптивне керування виконавчими елементами та підтримання безпечного повітряного середовища на робочому місці монтажника РЕА.

Програмне забезпечення комплексу доцільно поділити на кілька логічних модулів: модуль ініціалізації, модуль зчитування сенсорів, модуль фільтрації даних, модуль оцінювання стану повітря, модуль керування виконавчими пристроями, модуль індикації та модуль обробки помилок. Такий поділ полегшує розуміння коду і дає змогу змінювати окремі частини без переписування всієї програми.

Якщо BMP280 або дисплей не відповідає, користувач отримує службовий стан, а програма продовжує роботу з доступними модулями. Для непідключених аналогових датчиків у скетчі передбачені програмні прапорці USE_MQ135,

USE_LDR, USE_PIR та USE_BMP280. Це важливо, оскільки незадіяні аналогові входи ESP32 можуть зчитувати випадкові значення; тому невідключені модулі відображаються як N/A і не впливають на алгоритм керування.

Основний цикл програми має працювати без довгих блокуючих затримок. Для цього можна використовувати перевірку часу останнього виконання окремих операцій: сенсори опитуються з одним інтервалом, дисплей оновлюється з іншим, а звукові сигнали формуються окремо. Така організація дозволяє системі швидко реагувати на погіршення повітря, навіть якщо в цей момент відбувається оновлення екрана або обробка службового повідомлення.

Фільтрація даних у програмі може бути реалізована простим ковзним середнім або експоненціальним згладжуванням. Для дипломної роботи достатньо використати зрозумілий алгоритм, який не потребує значних обчислювальних ресурсів, але зменшує вплив випадкових стрибків. Важливо зберегти баланс: надмірне згладжування робить систему повільною, а його відсутність призводить до нестійких перемикаць режимів.

Логіка вибору режиму роботи повинна бути прозорою. Кожен режим має чіткі умови входу та виходу, а всі порогові значення бажано винести в окремий блок налаштувань. Це спрощує експериментальний підбір параметрів і дозволяє адаптувати комплекс до різних умов: навчальної лабораторії, домашньої майстерні або невеликої виробничої ділянки.

Обробка помилок є не менш важливою, ніж основна функція очищення. Якщо програма не враховує можливість відмови сенсора, користувач може отримувати хибно спокійний стан. Тому доцільно передбачити контроль допустимих меж, тайм-аути відповіді модулів, індикацію несправності та перехід до безпечнішого режиму. Це підвищує практичну надійність комплексу і робить його поведінку передбачуваною.

3.3 Реалізація інтерфейсу користувача та режимів функціонування комплексу

Ефективність апаратно-програмного комплексу значною мірою залежить від того, наскільки зрозуміло й оперативно користувач отримує інформацію про стан середовища та роботу системи. Саме тому інтерфейс користувача має бути інформативним, лаконічним і придатним до сприйняття в умовах реального робочого процесу, коли оператор виконує монтажні операції та не може постійно відволікатися на детальний аналіз показників.



Рисунок 3.2 – TFT-дисплей для відображення параметрів системи очищення повітря

Інтерфейс реалізовано за допомогою LVGL у червоній кольоровій схемі. На екрані відображаються температура, тиск, індикативне значення MQ-135, освітленість, наявність оператора, швидкість вентилятора, IP-адреса точки доступу та координати останнього натискання сенсорного екрана

У штатному режимі на екрані відображаються службові англomовні позначення, оскільки стандартні шрифти LVGL без додаткової генерації не завжди коректно містять кирилицю. Такий підхід підвищує стабільність відображення на мікроконтролері й не впливає на функціональність комплексу.

Для зручності користувача реалізовано сенсорні кнопки AUTO/MAN, збільшення та зменшення швидкості вентилятора, а також калібрування базового рівня MQ-135.

Крім візуального відображення даних, доцільно реалізувати звукове інформування за допомогою зумера. Звуковий сигнал особливо важливий у ситуаціях, коли користувач зайнятий виконанням технологічної операції й не стежить за екраном. При цьому тональність або тривалість сигналів можуть відрізнятися залежно від характеру події: наприклад, короткий одиночний сигнал при переході в інтенсивний режим і повторюваний сигнал при аварійному стані.

Реалізація режимів функціонування комплексу має враховувати специфіку робочого циклу монтажника. Якщо датчик присутності фіксує відсутність користувача, система переводиться у черговий режим і підтримує мінімальну активність. Після повернення оператора та початку роботи система автоматично переходить у базовий режим. У разі збільшення забруднення повітря відбувається автоматичне підсилення вентиляції без необхідності ручного втручання.

Для зручності користувача в програмі передбачено не лише обробку подій LVGL, а й додаткову ручну перевірку координат натискання в нижній частині екрана. Це зроблено для підвищення надійності роботи з резистивним ХРТ2046, оскільки такі сенсорні панелі можуть мати похибку натискання або не завжди коректно формувати подію натискання кнопки через графічну бібліотеку. Фактичні межі екрана після калібрування становлять 0...239 по осі X та 0...319 по осі Y.

У сервісному режимі користувач може бачити координати останнього натискання у форматі T:x,y, що полегшує перевірку сенсорного шару. Для калібрування ХРТ2046 використано контрольні точки: верхній лівий кут 0,0, верхній правий 239,0, нижній лівий 0,319, нижній правий 239,319. Це дозволяє

зіставити сирі значення контролера з реальними координатами екрана та забезпечити коректне спрацювання сенсорних зон.

Якщо система використовується в навчальній лабораторії або на кількох робочих місцях, інтерфейс може бути доповнений індикацією історії останніх подій: часу останнього перевищення порогу, тривалості роботи вентилятора у посиленому режимі та кількості аварійних спрацювань за зміну. Така інформація корисна як для користувача, так і для викладача, майстра чи відповідального за технічний стан обладнання.

Загалом реалізований інтерфейс користувача забезпечує прозору взаємодію між оператором і системою, підвищує довіру до роботи комплексу та сприяє своєчасному реагуванню на погіршення умов повітряного середовища без відволікання від основної діяльності.

Інтерфейс користувача у реалізованій системі є простим і прикладним: він не перевантажує екран другорядною інформацією, але показує ті параметри, які потрібні для оцінювання роботи комплексу. Якщо окремих модулів не підключений, замість випадкового значення виводиться N/A, що робить інтерфейс чесним і зрозумілим під час налагодження.

Колірна або текстова індикація режимів допомагає швидко оцінити ситуацію. Наприклад, нормальний стан може позначатися спокійним повідомленням, посилене очищення - попереджувальним написом, а аварійний стан - контрастним повідомленням і звуковим сигналом. Такий підхід відповідає практиці побудови людино-машинних інтерфейсів, де користувач повинен швидко зрозуміти не тільки числове значення, а й його наслідок.

Для монтажника важливо, щоб взаємодія з комплексом не відволікала від основної роботи. Тому більшість рішень має прийматися автоматично, а ручні дії варто обмежити переглядом стану, скиданням попередження після усунення причини або переходом у сервісний режим. Це робить систему ближчою до реального виробничого Використання, де зайві налаштування часто не використовуються або виконуються неправильно.

Також було реалізовано корпус пристрою для комфортного використання. Модель була створена та роздрукована на 3D-принтері. Приклад готової 3D-моделі наведено на рисунку 3.3. Для проєктування використовувалося програмне забезпечення для тривимірного моделювання, що дозволило врахувати всі конструктивні особливості майбутнього виробу та забезпечити точність виготовлення деталей.

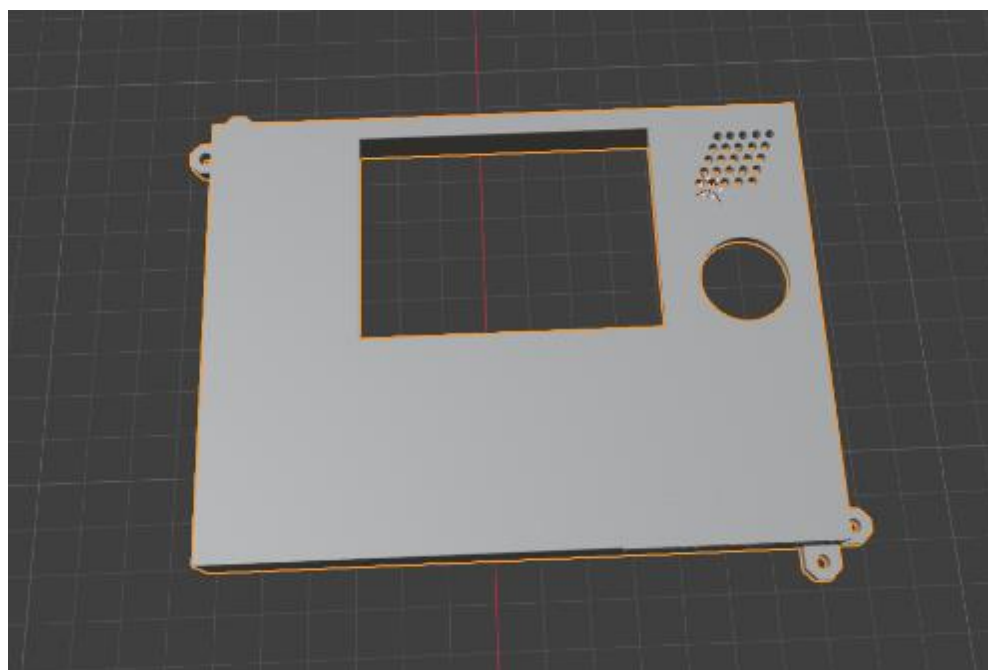


Рисунок 3.3 – Модель першої частини корпусу

Конструктивно модель складається з двох основних частин: верхньої та нижньої. Верхня частина виконує роль кришки корпусу та призначена для захисту внутрішніх компонентів від механічних пошкоджень, пилу та інших зовнішніх впливів. Крім того, вона забезпечує зручний доступ до внутрішніх елементів під час обслуговування або модернізації пристрою.

Нижня частина корпусу є основною несучою конструкцією, на якій розміщуються всі внутрішні компоненти пристрою. У ній передбачені спеціальні посадкові місця та отвори для кріплення електронних модулів, друкованих плат, елементів живлення та інших складових.

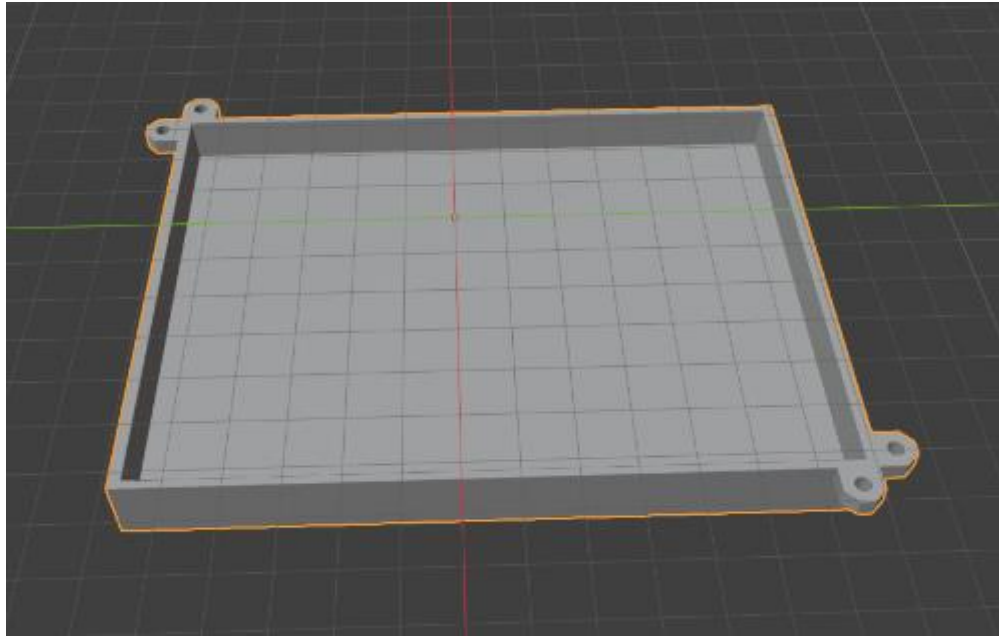


Рисунок 3.4 – Модель другої частини корпусу

Також конструкція містить технологічні отвори для виведення роз'ємів, кнопок керування та вентиляції.

Для з'єднання верхньої та нижньої частин корпусу передбачено кріпильні елементи, що забезпечують надійну фіксацію конструкції та можливість багаторазового розбирання без пошкодження деталей. Такий підхід спрощує складання пристрою та полегшує виконання ремонтних робіт у разі необхідності.

Використання технології 3D-друку дозволило швидко виготовити прототип корпусу, перевірити правильність розташування всіх компонентів та за необхідності оперативно внести зміни до конструкції. Завдяки цьому вдалося зменшити витрати на виготовлення та скоротити час розробки виробу.

3.4 Налагодження та експериментальне дослідження роботи комплексу

Після реалізації апаратної та програмної частин комплексу необхідним етапом є його налагодження та перевірка працездатності в умовах, наближених до реальної експлуатації. Метою цього етапу є встановлення коректності роботи

датчиків, підтвердження правильності алгоритмів керування, визначення практичної швидкодії системи та оцінювання реакції комплексу на зміну стану повітряного середовища.

Налагодження доцільно розпочинати з поетапної перевірки окремих модулів. Спочатку контролюється стабільність живлення та запуск ESP32-S3, після чого перевіряється обмін даними з BMP280, зчитування аналогового сигналу MQ-135, робота фоторезистора, датчика присутності, PWM-виходу вентилятора, світлодіодної індикації та зумера. Окремо перевіряється TFT-дисплей, запуск LVGL і робота сенсорного контролера ХРТ2046.

Наступним кроком є калібрувальне налагодження сенсорів і сенсорного екрана. Для BMP280 воно полягає у перевірці стабільності показників температури та атмосферного тиску. Для MQ-135 важливим є визначення фонових значень у чистому повітрі й натискання програмної кнопки CAL, яка записує поточне значення як базовий рівень. Для ХРТ2046 перевіряється відповідність натискань реальним координатам дисплея та коректність спрацювання нижніх сенсорних зон керування.

Під час первинного налагодження доцільно порівнювати показники комплексу з контрольними приладами або еталонними умовами. Навіть якщо система орієнтована не на метрологічно точне вимірювання концентрацій, а на прийняття керуючих рішень, порівняльна перевірка дозволяє оцінити стабільність показників, виявити систематичні відхилення та коригувати коефіцієнти перетворення.

Експериментальну перевірку роботи комплексу доцільно проводити в кількох характерних режимах. Перший режим відповідає фоновим умовам без виконання пайки. Другий режим моделює звичайне навантаження під час короткочасних монтажних робіт. Третій режим відображає інтенсивне утворення випарів, наприклад під час тривалої пайки або одночасної роботи з кількома джерелами забруднення. Четвертий режим може імітувати аварійне погіршення параметрів повітряного середовища.

Під час проведення досліджень фіксуються значення сенсорних параметрів, моменти зміни режимів роботи, час реакції системи, тривалість досягнення стабільного стану та характер відображення інформації користувачеві. Окремо аналізується, чи не виникають помилкові переходи між режимами, чи не спостерігається надмірна чутливість до випадкових коливань і чи забезпечується достатня швидкість реагування на реальне погіршення якості повітря.

Корисним є також проведення тривалого тесту безперервної роботи. Такий тест дозволяє оцінити накопичення помилок, стабільність показників у часі, можливі проблеми із перегрівом, зависанням програмних процесів або збоєм периферійних модулів. Для систем, призначених до реального використання впродовж усієї робочої зміни, такий вид перевірки є обов'язковим.

Важливим результатом налагодження є встановлення параметрів гістерезису, часових затримок і порогів спрацювання. Якщо ці параметри обрані надто чутливими, система може часто перемикати режими, що знижує комфорт експлуатації й збільшує зношування виконавчих елементів. Якщо ж вони надто інерційні, погіршується оперативність реагування на небезпечне зростання забруднення. Тому підбір параметрів має здійснюватися на основі серії повторюваних експериментів.

За результатами експериментального дослідження можна зробити висновок, що адаптивний принцип керування є доцільним для локальних систем очищення повітря робочого місця монтажника РЕА. Система здатна автоматично збільшувати інтенсивність очищення у відповідь на погіршення умов і повертатися до економнішого режиму після стабілізації показників без необхідності постійної участі користувача.

Отримані під час налагодження результати також дають підстави для подальшого вдосконалення комплексу. Зокрема, можливим є підключення додаткового датчика вологості, розширення функцій журналювання, збереження

історії веб-моніторингу, передавання JSON-даних до зовнішньої системи та впровадження більш складних алгоритмів оцінювання якості повітря.

Експериментальну перевірку варто проводити поетапно, щоб не змішувати різні причини можливих помилок. Спочатку перевіряється стабільність живлення та запуск мікроконтролера. Потім окремо тестуються сенсори, дисплей, зумер і виконавчий вузол. Лише після цього доцільно переходити до перевірки повного циклу: вимірювання, обробка, прийняття рішення, вмикання очищення та відображення результату.

Для газового сенсора важливо зафіксувати фоновий рівень у приміщенні без активного паяння. Це значення не є універсальним, бо залежить від вентиляції, температури, матеріалів і навіть часу прогріву сенсора. Тому калібрування в контексті цієї роботи слід розуміти як практичне налаштування порогів для конкретного робочого місця, а не як лабораторне визначення точної концентрації окремої речовини.

Під час тестування адаптивного алгоритму доцільно спостерігати не лише за тим, чи вмикається вентилятор, а й за характером переходів між режимами. Якщо система надто швидко повертається до нормального режиму, залишкові випари можуть не встигати відводитися. Якщо ж вона занадто довго залишається в аварійному стані після стабілізації показників, це знижує комфорт користувача. Тому параметри затримки та гістерезису мають підбиратися експериментально.

Окремим етапом є перевірка поведінки при помилках. Можна тимчасово від'єднати один із сенсорів або змоделювати некоректний сигнал, щоб переконатися, що програма не зависає і не переходить у хибно нормальний стан. Такий тест є важливим, бо в реальній експлуатації відмова окремого модуля не повинна робити всю систему небезпечною.

Результати налагодження доцільно оцінювати не лише за числовими показниками, а й за зручністю користування. Якщо монтажник швидко розуміє повідомлення на дисплеї, не змушений постійно втручатися у роботу системи і бачить логічну реакцію на погіршення повітря, то комплекс виконує свою

прикладну функцію. Саме поєднання технічної працездатності та зручності робить розробку практично цінною.

3.5 Оцінювання ефективності впровадженого апаратно-програмного комплексу

Оцінювання ефективності під якою ми розуміємо покращення безпеки праці, доцільно здійснювати за сукупністю технічних, експлуатаційних та функціональних критеріїв. До основних критеріїв належать швидкість реагування на зміну стану повітряного середовища, здатність підтримувати безпечні умови праці, стабільність функціонування у тривалому режимі, енергоефективність та зручність взаємодії з користувачем.

З технічної точки зору реалізований комплекс забезпечує безперервний моніторинг параметрів повітря та мікроклімату в локальній робочій зоні. На відміну від звичайних витяжних систем із фіксованим режимом роботи, запропоноване рішення адаптує інтенсивність очищення до фактичного навантаження, що дає змогу уникати як недостатньої вентиляції, так і невиправданого перевитрачання енергії.

Функціональна ефективність системи полягає в автоматичному зв'язку між вимірюванням та керуванням. Користувач не лише бачить стан повітряного середовища, а й отримує практичний результат у вигляді автоматичного підвищення продуктивності локального очищення при зростанні рівня забруднення. Це особливо важливо для робочих місць, де оператор концентрується на точних ручних операціях і не може постійно контролювати параметри довкілля самостійно.

Експлуатаційна ефективність проявляється у зниженні навантаження на користувача та підвищенні зручності використання. Реалізований інтерфейс дає змогу швидко оцінити поточний стан системи, а звукове попередження забезпечує додатковий рівень безпеки. Завдяки модульній побудові апаратної

частини система може бути обслуговувана, модернізована та адаптована до різних варіантів організації робочих місць без повної зміни архітектури комплексу.

Окремо слід оцінити ефективність системи з точки зору безпеки праці. Наявність автоматизованого моніторингу знижує ризик тривалого перебування монтажника в умовах підвищеної концентрації шкідливих випарів. Навіть якщо система не усуває всі шкідливі фактори повністю, вона суттєво скорочує час запізненого реагування порівняно з ручним контролем або пасивною витяжкою без датчиків.

З позицій енергоефективності комплекс має перевагу над традиційним підходом постійної роботи вентиляції на максимальному рівні. Адаптивне керування дозволяє використовувати інтенсивне очищення лише тоді, коли це дійсно необхідно, а в періоди низького навантаження або відсутності користувача переходити до режимів зі зменшеним споживанням ресурсів. Це підвищує економічну доцільність впровадження системи у виробничу або навчальну практику.

Організаційний ефект від впровадження комплексу полягає також у підвищенні керованості робочого середовища. Наявність системи, яка фіксує стан повітря й наочно відображає його користувачеві, сприяє формуванню культури безпечної праці, полегшує технічний контроль обладнання і може використовуватися як складова навчального процесу при підготовці фахівців із комп'ютерної інженерії та автоматизації.

Отже, оцінювання ефективності свідчить, що реалізований апаратно-програмний комплекс є технічно виправданим і практично корисним засобом адаптивного керування очищенням повітря на робочому місці монтажника радіоелектронної апаратури. Його Використання сприяє підвищенню безпеки праці, покращенню умов експлуатації локальної витяжки та раціональнішому використанню енергетичних ресурсів.

Ефективність комплексу не можна зводити лише до факту ввімкнення вентилятора. Важливо оцінити, наскільки система допомагає підтримувати безпечніший і керованіший стан робочої зони. У цьому сенсі головною перевагою є автоматична реакція на зміну умов. Користувач не повинен чекати, поки запах випарів стане відчутним, адже система отримує сигнал від сенсора і переходить до активнішого очищення раніше.

Другим важливим показником є сталість роботи. Комплекс має зберігати працездатність протягом тривалої зміни, не зависати, не втрачати зв'язок із сенсорами без повідомлення і не створювати надмірну кількість помилкових попереджень. Для цього у програмній частині передбачаються перевірки стану модулів, фільтрація даних і часові затримки між перемиканнями режимів.

З економічної точки зору адаптивне керування дозволяє уникнути постійної роботи вентилятора на максимальній продуктивності. Це зменшує шум, споживання енергії та зношування виконавчих елементів. Для невеликої майстерні або лабораторії такий ефект може бути не лише технічним, а й організаційним: обладнання працює тоді, коли це потрібно, і не створює зайвого дискомфорту під час пауз.

Водночас розроблений комплекс має певні обмеження. Його показники залежать від правильного розташування сенсорів, стану фільтра, стабільності живлення та якості налаштування порогів. MQ-135 не дає точного розподілу домішок за хімічним складом, тому систему слід розглядати як практичний індикатор і засіб керування, а не як метрологічний прилад. Усвідомлення цих обмежень важливе для коректного впровадження.

Перспективним напрямом удосконалення є додавання журналу подій. Якщо система зберігатиме час переходу в посилений режим, тривалість аварійних станів і частоту спрацювань, відповідальний працівник зможе краще оцінити реальні умови праці. Також можливе підключення до локальної мережі, передавання даних на сервер або створення кількох вузлів моніторингу для різних робочих місць.

Додатково слід зазначити, що ефективність локального очищення значною мірою залежить від дисципліни використання робочого місця. Навіть найкращий алгоритм не компенсує ситуацію, коли повітрязабірник розташовано надто далеко від джерела випарів або фільтр давно потребує заміни. Тому апаратно-програмний комплекс варто розглядати разом із простими організаційними правилами: правильним розташуванням витяжки, регулярним очищенням фільтрувальних елементів і перевіркою показників перед початком роботи.

У навчальній лабораторії така система має ще одну перевагу: вона наочно демонструє студентам зв'язок між технологічною операцією та станом робочого середовища. Коли під час паяння змінюються показники сенсора і система переходить у посилений режим, користувач бачить, що випари є не абстрактною небезпекою, а реальним фактором. Це формує уважніше ставлення до охорони праці та культури організації робочого місця.

Для виробничого Використання важливою є повторюваність поведінки комплексу. Якщо при однакових умовах система щоразу реагує подібним чином, користувач швидко звикає до її логіки і починає довіряти показникам. Якщо ж реакція здається випадковою, навіть технічно справний пристрій сприйматиметься як незручний. Тому стабільність алгоритму є не менш важливою, ніж точність окремого сенсора.

Ще одним аспектом є технічна ремонтпридатність. У запропонованій структурі більшість компонентів є типовими модулями, які можна замінити без повної переробки системи. Це важливо для дипломного проєкту прикладного характеру, оскільки робота має показувати не тільки принципову можливість реалізації, а й практичну доцільність використання доступної елементної бази.

Порогові значення у системі не слід сприймати як раз і назавжди сталі. У різних приміщеннях фоновий рівень може відрізнятися, а інтенсивність монтажних робіт залежить від кількості операцій, типу флюсу та тривалості нагрівання. Тому програмна частина має передбачати можливість коригування

порогів без зміни апаратної схеми. Це робить комплекс гнучкішим і придатним до адаптації під конкретне робоче місце.

Під час практичної експлуатації корисним є введення простих сервісних повідомлень. Наприклад, система може нагадувати про необхідність перевірити фільтр після певної кількості годин роботи у посиленому режимі. Навіть якщо така функція реалізована умовно, вона підкреслює важливу ідею: якість очищення залежить не лише від електроніки, а й від стану механічної та фільтраційної частини.

Запропонований комплекс також може бути розглянутий як складова ширшої системи безпечного робочого середовища. У майбутньому до нього можна додати датчики дрібнодисперсного пилу, контроль летких органічних сполук або модуль обліку часу роботи. Однак базова архітектура вже містить головні елементи кіберфізичної системи: сенсорний рівень, обчислювальний рівень, виконавчий рівень і рівень взаємодії з людиною.

З позиції програмної інженерії доцільно документувати основні режими роботи та причини переходів між ними. Це спрощує налагодження, пояснення роботи системи на захисті та подальшу модернізацію. Коли алгоритм описаний не лише у кодї, а й у пояснювальній записці, легше довести, що рішення є обґрунтованим, а не випадковим набором умов.

Варто враховувати і акустичний комфорт. Постійна робота вентилятора на високій швидкості може заважати концентрації під час точного монтажу. Саме тому адаптивне керування має практичний сенс: воно дозволяє посилювати очищення у моменти підвищеного ризику, але не тримати систему у шумному режимі без потреби. Для користувача це часто відчувається не менш важливо, ніж економія електроенергії.

Оскільки комплекс працює біля електронних компонентів, бажано передбачити акуратне розміщення проводів і корпусних елементів. Вони не повинні заважати рухам рук, торкатися гарячих інструментів або перекривати робочу поверхню. Зручне компонування підвищує ймовірність того, що система

буде реально використовуватися, а не залишиться формальним додатком до робочого місця.

Результати роботи можуть бути корисними для подальших студентських проєктів. На базі цієї розробки можна створити мережевий варіант з кількома робочими місцями, додати веб-інтерфейс або реалізувати збереження статистики. Така спадковість є перевагою мікроконтролерної платформи ESP32-S3, оскільки вона має достатній запас можливостей для розвитку без повної заміни апаратної основи.

Підсумовуючи практичний аспект, можна зазначити, що головна цінність комплексу полягає у перенесенні контролю якості повітря з рівня припущень на рівень вимірюваних показників і автоматичних дій. Монтажник отримує не просто витяжку, а систему, яка спостерігає за умовами роботи, реагує на їх зміну і допомагає підтримувати безпечніше середовище протягом усього робочого циклу.

У разі впровадження комплексу в реальну майстерню бажано провести початковий період спостереження, протягом якого фіксуються типові фонові значення та реакція на звичайні операції. Це дозволить налаштувати пороги не теоретично, а з урахуванням конкретного столу, вентиляції, матеріалів і стилю роботи користувача. Такий підхід робить систему більш точною саме для свого місця Використання.

Окрему роль відіграє візуальна довіра до пристрою. Якщо на дисплеї зрозуміло показано, чому система перейшла у певний режим, користувач менше схильний вимикати її вручну або ігнорувати попередження. Тому текстові повідомлення та стабільна логіка індикації є частиною загальної ефективності комплексу, а не другорядною прикрасою.

Загалом розробка демонструє, що навіть відносно доступні компоненти можуть утворити корисну систему, якщо вони поєднані правильною логікою. Сам по собі сенсор не очищує повітря, а вентилятор без сенсора не розуміє

реальної ситуації. Ефект виникає саме тоді, коли вимірювання, аналіз і керування працюють як єдиний цикл.

Для повнішого оцінювання ефективності комплексу доцільно враховувати не тільки технічні показники, а й сценарії реальної поведінки користувача. У звичайній роботі монтажник може на певний час залишити робоче місце, повернутися до пайки, змінити тип флюсу або виконувати операції з різною інтенсивністю. Якщо система коректно супроводжує такі зміни без ручного втручання, це свідчить про практичну придатність адаптивного принципу керування.

Окремим критерієм можна вважати зменшення часу перебування працівника в умовах підвищеного забруднення. У традиційній схемі користувач часто реагує вже після появи помітного запаху або дискомфорту. У запропонованому комплексі рішення приймається на основі сенсорного сигналу, тому посилене очищення може запускатися раніше. Навіть якщо вимірювання має індикативний характер, скорочення затримки реакції є важливою перевагою для безпеки праці.

Під час оцінювання також слід враховувати стабільність показників після багаторазових циклів перемикання режимів. Якщо система після кожного переходу повертається до передбачуваного стану, не накопичує помилок і не потребує перезапуску, її можна вважати придатною для тривалої експлуатації.

Така перевірка особливо важлива для мікроконтролерних пристроїв, які працюють у середовищі з електричними завадами та змінним навантаженням.

Практичне впровадження комплексу потребує простого регламенту обслуговування. До нього можна віднести періодичну перевірку чистоти повітрязбірника, стану фільтра, надійності контактів, коректності показників сенсорів і реакції звукового сповіщення.

Наявність такого регламенту не ускладнює використання пристрою, але допомагає зберегти його ефективність протягом тривалого часу.

Для підвищення достовірності оцінювання варто порівнювати поведінку комплексу у кількох повторюваних робочих циклах.

Якщо при однакових умовах паяння система демонструє близький час реакції, подібний характер переходу в посилений режим і стабільне повернення до нормального стану, це підтверджує правильність вибраної логіки керування.

Така повторюваність є особливо важливою для практичного пристрою, який має працювати не один раз під час демонстрації, а регулярно в реальних умовах.

Загальний результат упровадження комплексу проявляється у тому, що робоче місце стає більш керованим. Монтажник отримує зрозумілий зворотний зв'язок про стан повітря, а система бере на себе рутинне рішення щодо інтенсивності очищення.

Це не скасовує необхідності дотримання правил охорони праці, але робить їх виконання більш природним і менш залежним від суб'єктивної уважності користувача.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі виконано програмно-апаратну реалізацію апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури. Описано реалізацію апаратної частини на базі мікроконтролера ESP32-S3, сенсора BMP280 для температури й тиску, датчика MQ-135, фоторезистора, датчика присутності, TFT-дисплея ILI9341 із сенсорним контролером ХРТ2046 та виконавчих елементів локального очищення.

Розглянуто принципи побудови програмного забезпечення в Arduino IDE, використання бібліотек WiFi, WebServer, TFT_eSPI, LVGL, ХРТ2046_Touchscreen та Adafruit_BMP280, алгоритми обробки даних і

адаптивного перемикання режимів роботи, а також реалізацію локального сенсорного інтерфейсу й веб-моніторингу через точку доступу ESP32-S3.

Отримані результати підтверджують можливість практичної реалізації системи адаптивного керування очищенням повітря, здатної відображати параметри на локальному сенсорному екрані, передавати моніторингові дані через Wi-Fi-точку доступу, змінювати режим вентилятора в автоматичному або ручному режимі та забезпечувати більш наочний контроль умов у робочій зоні монтажника РЕА.

					КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальне завдання розроблення апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури. Актуальність теми зумовлена необхідністю зниження впливу шкідливих випарів, аерозольних домішок і супутніх факторів мікроклімату на безпеку праці під час виконання монтажних операцій.

У першому розділі виконано аналіз предметної області, розглянуто особливості робочого місця монтажника РЕА, визначено основні джерела забруднення повітря та обґрунтовано доцільність використання адаптивного принципу керування системою очищення. Також проведено вибір елементної бази майбутнього комплексу та сформульовано постановку задачі дослідження.

У другому розділі здійснено проектування апаратно-програмного комплексу. Визначено його функціональні підсистеми, розроблено структурну схему взаємодії сенсорів, мікроконтролера, виконавчих елементів і засобів інформування користувача, а також сформовано алгоритм адаптивного керування очищенням повітря залежно від рівня забруднення, присутності оператора та поточного стану робочого середовища.

У третьому розділі подано програмно-апаратну реалізацію розробленого комплексу. Описано апаратну частину на базі ESP32-S3, сенсорів контролю параметрів повітря та мікроклімату, виконавчих елементів локальної вентиляції, а також програмне забезпечення, що забезпечує опитування датчиків, обробку й фільтрацію даних, адаптивне перемикавання режимів очищення, відображення інформації користувачеві та обробку нештатних ситуацій.

У результаті виконаної роботи показано, що запропонований апаратно-програмний комплекс здатний автоматично реагувати на зміну параметрів повітряного середовища, підвищувати інтенсивність очищення у разі зростання концентрації шкідливих домішок, зменшувати енергоспоживання за рахунок

					КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переходу до економних режимів та покращувати інформованість користувача про поточний стан робочої зони.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості Використання запропонованого комплексу на робочих місцях монтажу радіоелектронної апаратури, у навчальних лабораторіях та малих виробничих дільницях, де необхідне локальне очищення повітря з автоматизованим контролем параметрів середовища. Запропоноване рішення є масштабним і може бути доповнене новими сенсорами, засобами журналювання та віддаленого моніторингу.

Отже, поставлену мету роботи досягнуто, а сформульовані завдання виконано. Розроблений апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря може розглядатися як технічно обґрунтована основа для подальшого вдосконалення локальних засобів забезпечення безпечних умов праці монтажника радіоелектронної апаратури.

					КвРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Апаратно-програмні засоби IoT на базі ESP32: навчальний посібник / уклад. О. В. Ковальчук, В. М. Бондар. Хмельницький: ХНУ, 2023. 186 с.
2. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. 4th ed. Sebastopol: Maker Media, 2022. 240 p.
3. Benton M. Exploring ESP32. New York: Apress, 2022. 336 p.
4. Bosch Sensortec. BME280 Combined Humidity and Pressure Sensor. Datasheet. Bosch Sensortec GmbH, 2021. 55 p.
5. Winsen Electronics. MQ-135 Gas Sensor Manual. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, 2021. 6 p.
6. Espressif Systems. ESP32-S3 Series Datasheet. Shanghai: Espressif Systems, 2024. 89 p.
7. Barrett S., Pack D. Atmel AVR Microcontroller Programming and Interfacing. San Rafael: Morgan & Claypool, 2020. 188 p.
8. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. 5th ed. Cham: Springer, 2016. 758 p.
9. Rashid M. H. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications. 4th ed. Harlow: Pearson, 2014. 983 p.
10. United States Environmental Protection Agency. Indoor Air Quality Basics for Workplaces. Washington: EPA, 2023. 42 p.
11. World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines. Geneva: WHO, 2021. 360 p.
12. Saha H. K., Auddy S. Embedded Systems and Robotics with Open-Source Tools. Boca Raton: CRC Press, 2020. 290 p.
13. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2021. 192 p.
14. Bhattacharyya S., Pal S. Internet of Things and Sensor Networks in Engineering Applications. Cham: Springer, 2023. 311 p.

					КВРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування // Єдина державна електронна система у сфері будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152?doc_type=2 (дата звернення: 27.05.2026).

16. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями: нормативний документ. Київ: Держпраці України, 2021. 128 с.

17. Система фільтрації повітря JET Powermatic PM1200 // Інтернет-магазин МОТОБЛОК. URL: <https://www.motoblok.biz/ua/catalog/14015/vuzkospetsializovane-obladnannya/67636/sistema-filtraciyi-povitrya-jet-powermatic-pm1200.html> (дата звернення: 27.05.2026).

18. Як на організм людини впливає забруднене повітря. Інфографіка // ТСН. Наука та ІТ. URL: https://tsn.ua/nauka_it/yak-na-organizm-lyudini-vplivaye-zabrudnene-povitrya-1161195.html (дата звернення: 27.05.2026).

19. Вентиляція виробничих приміщень: призначення, будова, формули розрахунку місцевої та загальнообмінної систем. Remontu. URL: <https://remontu.com.ua/ventilyaciya-virobnichix-primishhen-priznachennya-budova-formuli-rozrachunku-miscevo-ta-zagalnoobminno-sistem> (дата звернення: 27.05.2026).

20. Очищувач повітря JET AFS-400: фото, відгуки, характеристики // ROZETKA. URL: <https://bt.rozetka.com.ua/ua/jet-afs-400/p434727923/> (дата звернення: 27.05.2026).

21. Порівняння Arduino, ESP8266 і ESP32: що обрати для проєкту // Gazteh. 2025. URL: <https://gazteh.com.ua/porivnyannya-arduino-esp8266-i-esp32-shho-obraty-dlya-proyektu/> (дата звернення: 27.05.2026).

22. Fume extractor (soldering) // Wikipedia, The Free Encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Fume_extractor_%28soldering%29 (дата звернення: 27.05.2026).

23. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (дата звернення: 27.05.2026).

24. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> (дата звернення: 27.05.2026).

25. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони : наказ МОЗ України від 14.07.2020 № 1596 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0741-20> (дата звернення: 27.05.2026).

26. Occupational Safety and Health Administration. Indoor Air Quality. URL: <https://www.osha.gov/indoor-air-quality> (дата звернення: 27.05.2026).

27. Occupational Safety and Health Administration. 29 CFR 1910.94 - Ventilation. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.94> (дата звернення: 27.05.2026).

28. Centers for Disease Control and Prevention; NIOSH. Rosin core solder, pyrolysis products (as formaldehyde) // NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0547.html> (дата звернення: 27.05.2026).

29. Health and Safety Executive. Solder fume and you : An employee's guide. INDG248. HSE Books, 2015. URL: <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg248.pdf> (дата звернення: 27.05.2026).

30. Health and Safety Executive. Controlling health risks from rosin (colophony)-based solder flux fume. INDG249(rev1). HSE Books, 2015. URL: <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg249.pdf> (дата звернення: 27.05.2026).

31. Health and Safety Executive. Controlling airborne contaminants at work : A guide to local exhaust ventilation (LEV). HSG258. HSE Books, 2011. URL: <https://books.hse.gov.uk/gempdf/hsg258.pdf> (дата звернення: 27.05.2026).

					КВРКІ 022007.22.01.76 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

32. ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality. URL: <https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standards-62-1--62-2> (дата звернення: 27.05.2026).

33. BS EN ISO 16890-1:2016. Air filters for general ventilation - Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM). London : BSI Standards Limited, 2016. DOI: 10.3403/30266375. URL: <https://www.iso.org/standard/57864.html> (дата звернення: 27.05.2026).

34. BS EN 1822-1:2019. High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) - Part 1: Classification, performance testing, marking. London : BSI Standards Limited, 2019. DOI: 10.3403/01386856u. URL: <https://www.en1822.info/> (дата звернення: 27.05.2026).

35. United States Environmental Protection Agency. How to Use Air Sensors: Air Sensor Guidebook. URL: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/how-use-air-sensors-air-sensor-guidebook> (дата звернення: 27.05.2026).

36. United States Environmental Protection Agency. Air Sensor Performance Targets and Testing Protocols. URL: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/air-sensor-performance-targets-and-testing-protocols> (дата звернення: 27.05.2026).

37. Karagulian F., Barbieri M., Kotsev A., Spinelle L., Gerboles M., Lagler F., Redon N., Crunaire S., Borowiak A. Review of the Performance of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring // Atmosphere. 2019. Vol. 10, No. 9. Article 506. DOI: 10.3390/atmos10090506. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/9/506> (дата звернення: 27.05.2026).

38. Espressif Systems. ESP32-S3 Technical Reference Manual. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_technical_reference_manual_en.pdf (дата звернення: 27.05.2026).

39. Espressif Systems. ESP32-S3-WROOM-1 & ESP32-S3-WROOM-1U Datasheet. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf (дата звернення: 27.05.2026).

40. Espressif Systems. ESP-IDF Programming Guide for ESP32-S3. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s3/> (дата звернення: 27.05.2026).

41. Espressif Systems. Arduino-ESP32 Core Documentation. URL: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/> (дата звернення: 27.05.2026).

42. PlatformIO. Espressif 32 Development Platform. URL: <https://docs.platformio.org/en/latest/platforms/espressif32.html> (дата звернення: 27.05.2026).

43. Arduino. Language Reference. URL: <https://docs.arduino.cc/language-reference/> (дата звернення: 27.05.2026).

44. FreeRTOS. The FreeRTOS Kernel. URL: <https://www.freertos.org/Documentation/02-Kernel/01-About-the-FreeRTOS-kernel/01-FreeRTOS-kernel> (дата звернення: 27.05.2026).

45. LVGL. Arduino platform documentation. URL: <https://docs.lvgl.io/8/get-started/platforms/arduino.html> (дата звернення: 27.05.2026).

46. Bodmer. TFT_eSPI : Arduino and PlatformIO IDE compatible TFT graphics library. GitHub repository. URL: https://github.com/Bodmer/TFT_eSPI (дата звернення: 27.05.2026).

47. Stoffregen P. XPT2046_Touchscreen : Arduino library for XPT2046 touchscreens // Arduino Documentation. URL: https://docs.arduino.cc/libraries/xpt2046_touchscreen/ (дата звернення: 27.05.2026).

48. Bosch Sensortec. BMP280 Digital Pressure Sensor : Datasheet. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp280-ds001.pdf> (дата звернення: 27.05.2026).

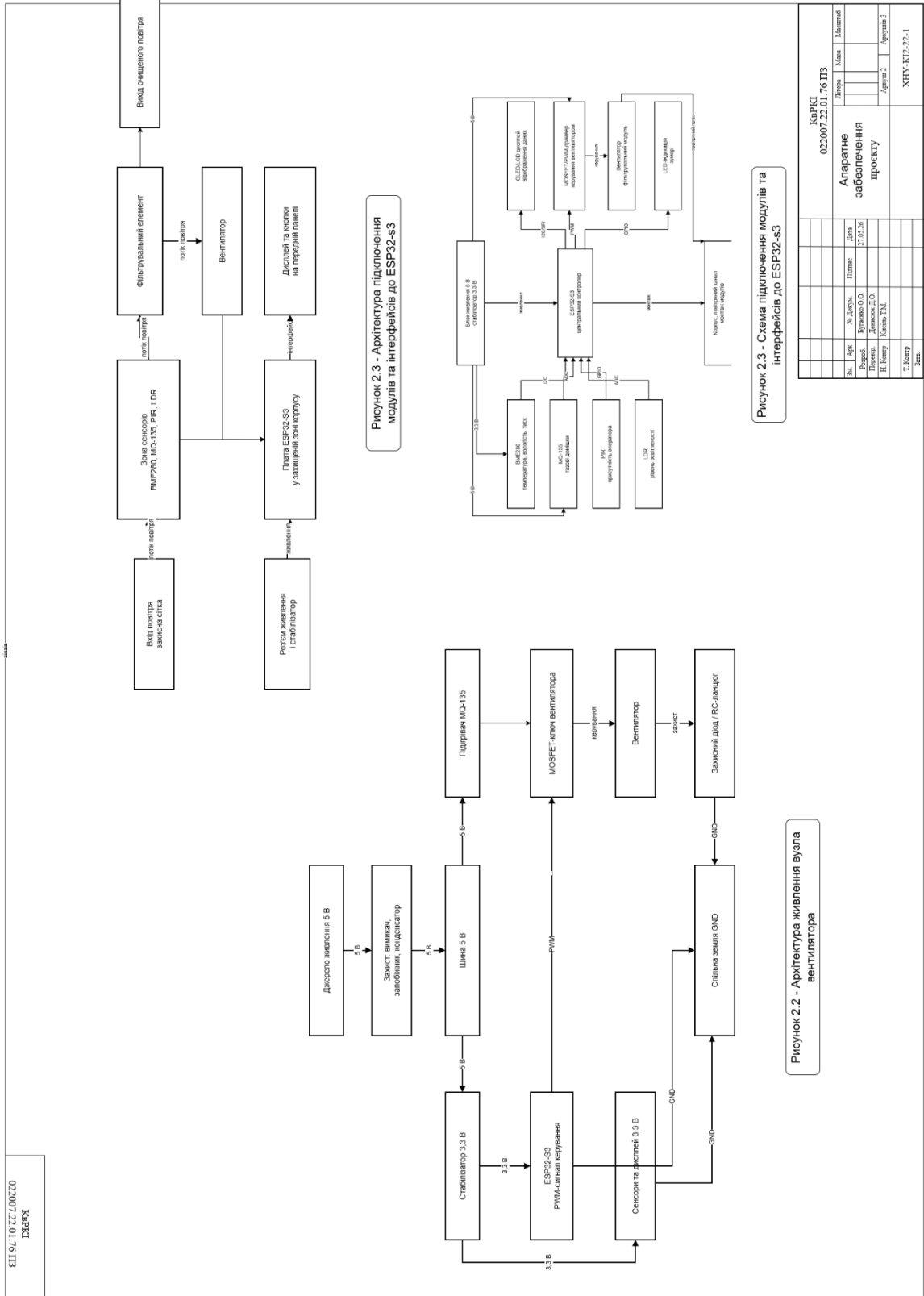
49. Ilitek. ILI9341 a-Si TFT LCD Single Chip Driver : Datasheet. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf> (дата звернення: 27.05.2026).

50. ХРТЕК. XPT2046 Touch Screen Controller : Datasheet. URL: <https://www.buydisplay.com/download/ic/XPT2046.pdf> (дата звернення: 27.05.2026).

ДОДАТОК А

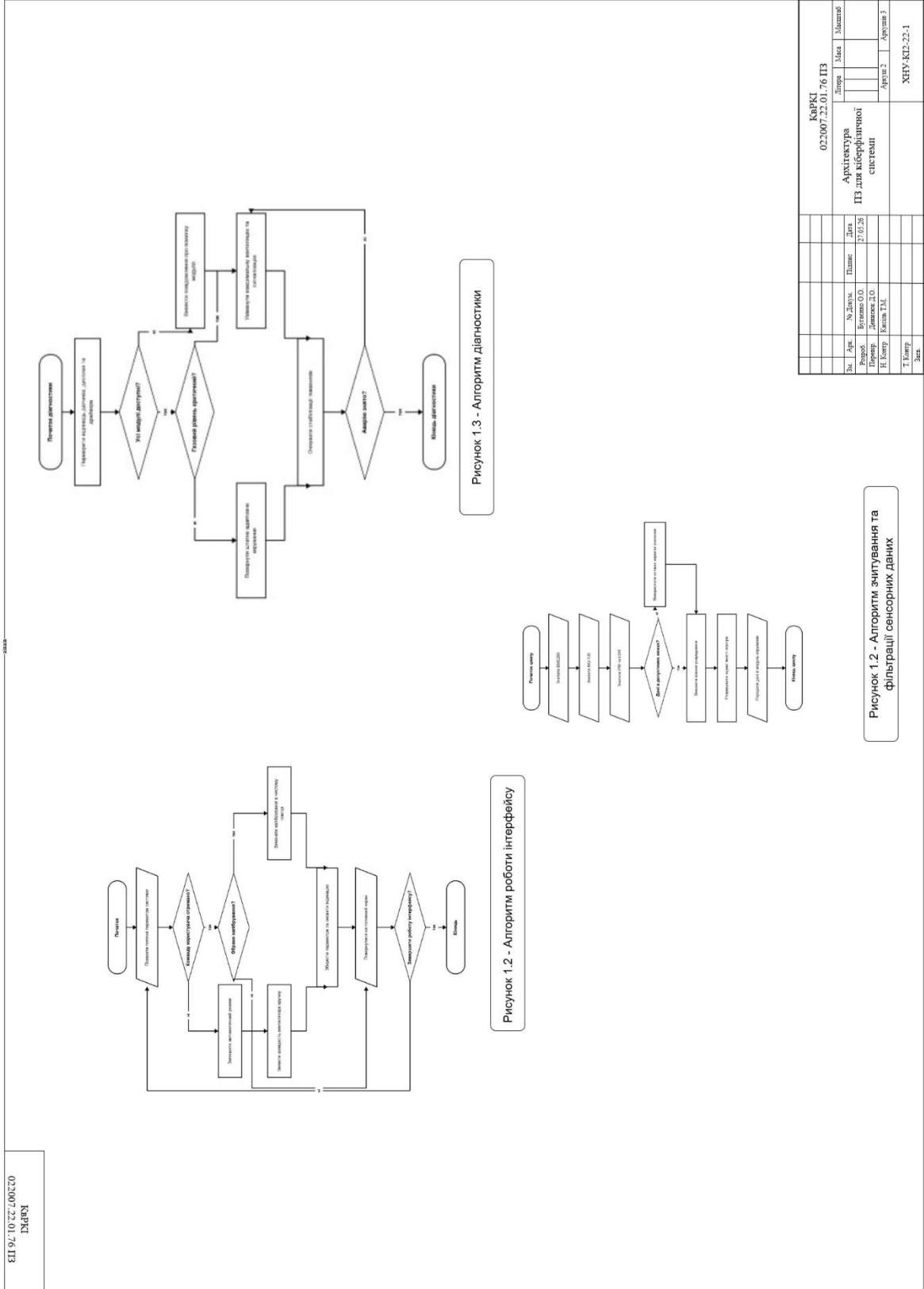
(обоув'язковий)

Копія креслення «Апаратне забезпечення проєкту»



ДОДАТОК Б (обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи»



КІБФКІ 022007.22.01.76 ПЗ		Листів	Місяць	Матриця
Зм.	Апр.	№ докум.	Дата	
Вірш.	Відмова ОО	Відмова ОО	27/03/26	
Н. Бондар	Відмова ОО	Відмова ОО		Листів 3
Т. Кошар	Відмова ОО	Відмова ОО		Листів 2
Дата:				Листів 1
				ХЕНУ-КІД-22-1

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Олександр БУГАЄНКО

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 9.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%

ID: 273919 Назва: БКР Апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА Додано в БД: 2026-06-07 Автора: Олександр БУГАЄНКО Керівники: Дмитро ДЕНИСЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	90868	675	10415 (11%)	85 (13%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Олександр БУГАСНКО

Співавтор:

Назва: Апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА

Експерт: Дмитро ДЕНИСЮК

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 4.85%

Коефіцієнт подібності 2: 2.06%

Мікропробіли: 8

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-07 15:27:06.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-07

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Бугаснко Олександр Олександрович

Тема: Апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою дипломної роботи є розробка та дослідження апаратно-програмного комплексу адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника радіоелектронної апаратури

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: у першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області, розглянуто сучасні підходи до контролю якості повітря в приміщеннях, проаналізовано сенсорні модулі для вимірювання параметрів навколишнього середовища, засоби мікропроцесорного керування, принципи роботи систем вентиляції та очищення повітря, а також виконано постановку задачі дослідження. У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проєктування апаратно-програмної системи очищення повітря, визначено її структурну організацію, обґрунтовано вибір мікроконтролера ESP32-S3, сенсорів BME280, MQ-135, PIR, LDR, дисплея, виконавчого вузла вентилятора та елементів індикації, розроблено алгоритми зчитування й фільтрації сенсорних даних, адаптивного вибору режимів очищення, діагностики несправностей та взаємодії з користувачем. У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано практичну реалізацію апаратно-програмного комплексу, описано підключення основних модулів, реалізовано програмну логіку

керування мікроконтролером, організовано обробку даних із датчиків, формування керуючого PWM-сигналу для вентилятора, відображення інформації на дисплеї, індикацію аварійних режимів та перевірку працездатності системи в основних режимах роботи.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: Обмежена перевірка точності показників датчиків у різних умовах експлуатації.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Петляк Наталія Серіївна, доцент кафедри КБ

"11" червня 2026 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Апаратно-програмний комплекс адаптивного керування системою очищення повітря робочого місця монтажника РЕА

Автор Олександр Бугаско

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: Дмитро ДЕНИСЮК

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту;
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 4,85%; та системою Anti-Plagiarism складає 9%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис


Підпис


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дмитро ДЕНИСЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ