

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри АСНК

_____ Галина БОГДАН

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології в приладобудуванні»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

**на тему: «Автоматизована система керування мікрокліматом в
приміщенні»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-11

Сокол Іван Олегович _____

Керівник:

доцент, к.т.н.,

Муравйов Олександр Володимирович _____

Рецензент:

доцент, к.т.н.,

Безугла Наталя Василівна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Пояснювальна записка	88	
3	A2	ПК 1119.01.00.0000 ЕП	Схема електрична принципова	1	
4	A2	ПК 1119.02.00.0000 ЕП	Схема електрична принципова	1	
5	A2	ПК 1119.01.00.0000	Алгоритм роботи програми	1	
6	A1	ПК 1119.02.00.0000	Алгоритм роботи програми	1	
7	A1	ПК 1119.01.00.0000 СК	Складальний кресленик	1	
8	A1	ПК 1119.02.00.0000 СК	Складальний кресленик	1	
9	A2	ПК 1119.00.00.0000 Е1	Схема структурна	1	

				ПК 1119.00.00.0000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Сокол І.О.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Муравйов. О.В.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-11	
Н/контр.						
В.о. зав.каф.	Богдан Г.А.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування
мікрокліматом в приміщенні»**

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АСНК

_____ Галина БОГДАН

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Соколу Івану Олеговичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування мікрокліматом в приміщенні», керівник проєкту Муравйов Олександр Володимирович, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. № 1765-с
2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2025 року.
3. Вихідні дані до проєкту : Параметри для вимірювання: температура, відносна вологість повітря, концентрація CO₂ та TVOC; наявність веб-інтерфейсу для аналізу та візуалізації даних з датчиків системи.
4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Аналітичний огляд; Розділ 2. Розробка системи; Розділ 3. Проєктування електричної схеми та розробки програмного забезпечення; Розділ 4. Розробка конструкції корпусів пристроїв.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема електрична принципова монітору системи, схема електрична принципова хабу системи, алгоритм роботи програми монітору системи, алгоритм роботи програми хабу системи, складальний кресленик монітору системи, складальний кресленик хабу системи, схема структурна, презентація доповіді.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання 17 березня 2025 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналітичний огляд	29.04.2025	
2	Автоматизація системи	02.05.2025	
3	Підбір компонентів	05.05.2025	
4	Розробка програмного забезпечення	15.05.2025	
5	Розробка 3D-моделей корпусів	18.05.2025	
6	Виготовлення корпусів та тестування системи	20.05.2025	
7	Розробка графічного матеріалу	29.05.2025	
8	Формування загальних висновків	01.06.2025	
9	Остаточне формування дипломного проєкту	02.06.2025	

Студент

Іван СОКОЛ

Керівник

Олександр МУРАВЬОВ

АНОТАЦІЯ

Метою даного дипломного проєкту є розробка системи автоматизованого керування мікрокліматом в приміщенні, яка складається з двох окремих пристроїв – монітору якості повітря та хабу керування мікрокліматом. Також система передбачає виведення інформації про поточний стан мікроклімату та виконавчих механізмів у веб-інтерфейс.

В межах даного проєкту було досліджено фізичні основи вимірювання температури, вологості та концентрації газів, проаналізовано результати медичних досліджень щодо впливу параметрів мікроклімату на здоров'я людини, виконано підбір необхідних для роботи системи компонентів, розроблено електричні принципові схеми, алгоритми роботи програм, складальні кресленики, веб-інтерфейс для реалізації віддаленого моніторингу та спроектовано і виготовлено повністю робочі прототипи обох приладів.

Робота викладена на 88 сторінках (без додатків), містить 4 розділи, 43 рисунки та 42 літературних джерела.

Ключові слова: автоматизована система, мікроклімат, якість повітря, металооксидний напівпровідник, гігроскопічний полімер, вологість, температура, концентрація, діоксид вуглецю, леткі органічні сполуки.

ABSTRACT

The objective of this diploma project is to develop an automated indoor microclimate control system, comprising two separate devices: an air quality monitor and a microclimate control hub. The system also includes a web interface for displaying information about the current state of the microclimate and the status of actuators.

Within the framework of this project, the physical principles of measuring temperature, humidity, and gas concentrations were studied. The results of medical research regarding the impact of microclimate parameters on human health were analyzed. The necessary components for system operation were selected, electrical schematic diagrams were developed, software operation algorithms were created, assembly drawings were prepared, and a web interface for remote monitoring was implemented. Fully functional prototypes of both devices were designed and manufactured.

The work is presented on 88 pages (excluding appendices) and includes 4 chapters, 43 figures, and 42 references.

Keywords: automated system, microclimate, air quality, metal-oxide semiconductor, hygroscopic polymer, humidity, temperature, concentration, carbon dioxide, volatile organic compounds.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Актуальність теми дослідження	10
1.2 Вплив параметрів мікроклімату на комфорт і здоров'я людини	11
1.3 Підбір оптимальних та граничних значень параметрів	12
1.4 Фізичні основи вимірювання температури, вологості та концентрації газів	15
1.4.1 Фізичні основи вимірювання температури	15
1.4.2 Фізичні основи вимірювання вологості	18
1.4.3 Фізичні основи вимірювання концентрації газів	19
1.5 Огляд існуючих рішень	20
1.6 Постановка технічного завдання	24
Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ	26
2.1 Автоматизація системи	26
2.1.1 Опис в загальному вигляді природи технологічного об'єкту керування і процесів, що протікають в ньому	26
2.1.2 Визначення та опис регульованих параметрів, збурень і можливих дій керування	28
2.1.3 Складання параметричної схеми ОК	29
2.1.4 Складання структурної схеми автоматизації системи керування та опис її роботи в загальному вигляді	31
2.2 Визначення основних елементів системи	32
2.3 Підбір елементної бази для автоматизованої системи керування мікрокліматом	33
2.3.1 Підбір датчика температури та вологості	33
2.3.2 Підбір датчиків CO ₂ та TVOC	35

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування мікрокліматом в приміщенні				Літера	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Сокол І.О.									н	5	88
Перевір.									ПБФ, ПК11			
Реценз.												
Н. Контр.												
Затверд.	Муравйов О. В.											

2.3.3 Підсумок вибору датчиків.....	36
2.3.4 Підбір мікроконтролерів	38
2.3.5 Підбір індикатора	39
2.3.6 Підбір реле	43
2.3.7 Підбір інших електронних компонентів.....	45
Висновки до розділу 2	47
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ТА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	49
3.1 Розробка електричної принципової схеми	49
3.2 Макетування прототипів	50
3.3 Розробка алгоритму для роботи програмного забезпечення.....	51
3.3.1 Алгоритм роботи програми для моніторингу параметрів мікроклімату	52
3.3.2 Алгоритм роботи програми для автоматичного керування мікрокліматом.....	54
3.4 Розробка програмного забезпечення для роботи монітору системи якості повітря.....	59
3.5 Розробка програмного забезпечення для роботи хабу системи якості повітря	60
3.6 Тестування роботи програмного забезпечення.....	62
Висновки до розділу 3	67
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСІВ ПРИСТРОЇВ	69
4.1 Розташування компонентів	69
4.2 Розробка дизайну та конструктиву корпусу монітора системи	70
4.3 Розробка дизайну та конструктиву корпусу хабу системи.....	73
4.4 Прототипування корпусів	76
Висновки до розділу 4	80
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТКИ.....	89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОК – об'єкт контролю

МК – мікроконтролер

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ДСН – державні санітарні норми

Wi-Fi – Wireless Fidelity (стандарт бездротового зв'язку)

CO₂ – діоксид вуглецю

ppm – частин на мільйон (одиниця вимірювання концентрації)

TVOC – Total Volatile Organic Compounds (загальні леткі органічні сполуки)

ppb – частин на мільярд (одиниця вимірювання концентрації)

OLED дисплей – Organic Light-Emitting Diode дисплей (тип дисплею)

ПЗ – програмне забезпечення

МОХ – оксид металу

ADC – аналого-цифровий перетворювач

MCU – Micro Controller Unit (мікроконтролер)

SDA – лінія даних

SCL – лінія синхронізації, лінія тактування

AJAX – Asynchronous JavaScript And XML (технологія передачі даних)

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Їжа, вода та повітря є основними ресурсами, без яких існування людини просто неможливе. Вони є частиною нашого щоденного життя, і від їхньої якості залежить не лише здоров'я, а й загальне самопочуття та тривалість життя. Якщо про якість їжі й води людство вже давно піклується за допомогою розроблених стандартів та сучасних технологій очищення, то повітря, яке люди вдихають щосекунди, нерідко залишається поза увагою. Це є серйозною проблемою, адже, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, погана якість повітря є одним із головних факторів, що провокують розвиток серцево-судинних і респіраторних захворювань, а також щорічно стає причиною мільйонів передчасних смертей. Згідно з дослідженнями, сучасна людина проводить в приміщенні близько 90% свого часу [1]. Тому забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні є одним із найбільш впливових аспектів у житті людини. Належний рівень якості та оптимальний рівень вологості, температури повітря, вмісту в ньому CO₂ та летких органічних сполук є основними параметрами які впливають на самопочуття, когнітивні функції, стан шкіри і волосся, продуктивність та працездатність особи.

У світі сучасних технологій та автоматизації процесів єдиним правильним рішенням є розробка автоматизованої системи для вирішення проблеми з підтримання оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні. Користувач такої системи матиме змогу займатися своїми справами не відволікаючись на контролювання та коригування параметрів мікроклімату. Це дозволить підвищити його працездатність, покращити самопочуття та уникнути зайвих проблем зі здоров'ям та виключаючи можливість впливу людського фактору на підтримання оптимальних параметрів мікроклімату.

Саме тому, метою цієї роботи буде розробка сучасного, зручного, енергоефективного та автоматизованого рішення для контролю та

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювання параметрів мікроклімату в приміщенні. Система буде базуватися на використанні мікроконтролера у поєднанні високочутливими датчиками та зручними для користувача методами виводу інформації. Це дозволить отримувати точну інформацію про поточний стан контрольованих параметрів, швидко обробляти отримані дані та без участі людини регулювати їх рівень для забезпечення найбільш сприятливого для здоров'я людини мікроклімату.

Реалізація такого проєкту є особливо актуальною в контексті сучасних тенденцій автоматизації та розвитку технологій «розумного будинку», а простота використання та відносна доступність дозволить розширити коло користувачів та надати їм можливість з найменшими зусиллями зробити великий крок до підвищення якості життя та зміцнення здоров'я.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Актуальність теми дослідження

По-справжньому сучасне житло важко уявити без використання новітніх технологій. Сфера автоматизації будинку останні роки стрімко розвивається, люди прагнуть звільнити себе від рутинних обов'язків, перекласти виконання простих але часозатратних речей на автоматизовані системи.

Поряд з роботами-пилосмоктами, автополивом, адаптивним освітленням, розумними чайниками, холодильниками та розетками, обов'язково мають стояти пристрої які будуть стояти на варті безпеки та здоров'я людини. Такі пристрої напряду не впливають на економію часу користувача, але їх вклад у життя власника такого пристрою неоціненний. Це стає очевидним при аналізі їхнього впливу на життя протягом тривалого періоду часу. Одного разу такий пристрій захистить будинок під час прориву труби у ванній кімнаті, іншого разу попередить загоряння оселі, а деякі навіть можуть повідомити користувача та викликати охоронну службу при розбитті скла злоумисником.

Пристрій, який запропоновано розробити в цій роботі, направлений на забезпечення здорового та продуктивного самопочуття його власника. Питання здоров'я та якості повітря в наш час є дуже актуальним, оскільки проблему його забруднення в останні роки сильно відчували мешканці міст, особливо мегаполісів. Якщо додати до цього сучасні реалії України, з постійними ракетними обстрілами та прильотами БпЛА, картина стає ще гіршою [2, 3]. Такий пристрій буде корисний абсолютно всім групам населення, від літніх людей з хворобами дихальних шляхів чи проблемами з серцево-судинною системою, до молодих осіб які прагнуть прожити якісне життя, доглядають за своєю шкірою та волоссям і хочуть щоб їх дитина дихала чистим та в міру зволженим повітрям.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Вплив параметрів мікроклімату на комфорт і здоров'я людини

Основними параметрами які охоплює мікроклімат в приміщенні є температура, вологість, концентрація CO₂ та TVOC (загальна кількість летких органічних сполук). Кожен з цих параметрів суттєво впливає на продуктивність, фізичний стан та самопочуття людини [4].

1. Температура:

- Комфортна температура залежить від пори року, рівня фізичної активності та індивідуальних особливостей людини.
- Висока температура може спричинити перевтому, зниження працездатності, ризик теплового удару та зневоднення.
- Низька температура може призвести до переохолодження, що в свою чергу негативно вплине на імунітет.

2. Вологість:

- Низька вологість (менше 30%) призводить до пересихання слизових оболонок, це підвищує ризик інфекційних захворювань. Також низька вологість негативно впливає на стан шкіри та волосся.
- Надмірна вологість (більше 60%) сприяє розвитку цвілі та грибків, що шкідливо впливає на дихальну систему. Також занадто висока вологість протипоказана чутливим групам людей з хворобами дихальних шляхів.

3. Концентрація CO₂:

- Підвищений рівень вуглекислого газу знижує когнітивні здібності людини, при 1200ppm (частини на мільйон) кровоносні судини в мозку розширюються, активність нейронів зменшується, а обсяг комунікації між окремими регіонами мозку скорочується [5].

4. TVOC (загальні леткі органічні сполуки):

- TVOC включають велику групу хімічних речовин, що виділяються з будівельних матеріалів, меблів, засобів для чищення тощо.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Ефекти TVOC залежать від їх хімічного складу. Ці сполуки можуть викликати подразнення очей, носа та горла, головні болі. Можуть призвести до втрати координації і нудоти. Також можуть спричинити ураження печінки, нирок і центральної нервової системи. Деякі органічні речовини можуть спричиняти рак у тварин, а деякі ймовірно чи точно, викликають рак у людей [6].

Можна зробити висновок, що забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату є критично важливим для підтримки гарного самопочуття, міцного здоров'я та працездатності людини. Інтеграція автоматизованої системи для контролю та регулювання цих параметрів є єдиним сучасним рішенням для створення комфортного та здорового середовища в приміщенні.

1.3 Підбір оптимальних та граничних значень параметрів

Визначення оптимальних та крайніх значень параметрів є основним завданням для створення правильної логіки керування мікрокліматом. Окрім впливу на здоров'я людини, такі параметри будуть визначати, коли система має вмикатися для початку коригування параметрів мікроклімату та вимикатися по досягненню бажаних значень параметрів.

Завданням цього підпункту буде визначення найбільш оптимальних значень параметрів при яких мікроклімат в приміщенні буде сприяти покращенню самопочуття людини, а також забезпечить високу енергоефективність та довговічність системи керування.

Оптимальні мікрокліматичні умови – це сукупність параметрів, які при тривалому впливі підтримують нормальний тепловий стан організму без необхідності активізації механізмів терморегуляції. Вони сприяють відчуттю теплового комфорту та створюють умови для високої продуктивності.

Розглянемо наступну таблицю визначену нормами ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень":

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1. Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень [7]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний період року	Легка 1а	22–24	60–40	0,1
	Легка 1б	21–23	60–40	0,1
	Середньої важкості IIа	19–21	60–40	0,2
	Середньої важкості IIб	17–19	60–40	0,2
	Важка III	16–18	60–40	0,3
Теплий період року	Легка 1а	23–25	60–40	0,1
	Легка 1б	22–24	60–40	0,2
	Середньої важкості IIа	21–23	60–40	0,3
	Середньої важкості IIб	20–22	60–40	0,3
	Важка III	18–20	60–40	0,4

Зважаючи на те, що приміщення під які проєктується система (житло, освітній заклад, готель, офісне приміщення, медична установа) передбачають легку роботу або відпочинок користувачів, варто орієнтуватися на найлегшу категорію робіт із вказаних в таблиці.

Тоді маємо оптимальну температуру 22 – 24 °С в холодний період року, або 23 – 25 °С в теплий період року. Найбільш комфортними границями оптимальної температури візьмемо 22 – 24 °С, оскільки розроблювана система може забезпечувати будь-яку температуру незалежно від зовнішнього впливу, а більшість медичних досліджень все ж орієнтуються на показники 22 – 24 °С як ідеальну температуру для забезпечення нормальної життєдіяльності людини.

Тоді ж керування температурою буде наступним:

- Якщо температура повітря менше 22 °С – увімкнення обігрівача доки температура не досягне 23 °С.
- Якщо температура вище 24 °С – увімкнення охолоджувача доки температура не досягне 23 °С.

Керування вологістю матиме наступну логіку:

- Якщо вологість менше 40% – увімкнення зволожувача доки вологість не досягне 50%.
- Якщо вологість більше 60% – увімкнення осушувача доки вологість не досягне 50%.

Для визначення оптимального і критичного рівня концентрації діоксиду вуглецю (CO₂) розглянемо наступні висновки дослідження бюро охорони здоров'я Канади в 2020 році:

Концентрація CO₂ рівна 1000 ppm зростає ризик появи наступних симптомів:

- Симптоми з боку слизової оболонки або дихальних шляхів (наприклад, подразнення очей, біль або сухість у горлі, закладеність носа або нежить, чхання, кашель та риніт).
- Зниження успішності в тестах (наприклад, прийняття рішень, виконання завдань, результати стандартизованих тестів).
- Нейрофізіологічні симптоми (такі як головний біль, втома, виснаження, запаморочення або труднощі з концентрацією уваги) [8].

Медичний журнал RENVА, у 2021 році виклав статтю, щодо моніторингу CO₂ та якості повітря в приміщенні. Згідно цієї статті, концентрація CO₂ від 350 до 450 ppm вважається нормальною концентрацією в свіжому повітрі, а концентрація від 600 до 800 ppm вважається нормальною концентрацією CO₂ в приміщенні. Тоді як концентрація в 1000 ppm визнається верхньою допустимою границею норми [9].

Отже, зважаючи на дослідження, було прийняте рішення вважати нормальною концентрацію CO₂ від 350 до 1000 ppm, а при перевищенні 1000 ppm необхідно увімкнути вентиляцію, та не вимикати її доки концентрація не досягне 700 ppm.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стосовно TVOC ще немає достовірних досліджень, але більшість інтернет-ресурсів вказують на нормальну концентрацію TVOC в діапазоні від 0 до 250 ppb, допустиму концентрацію в діапазоні від 250 до 500 ppb, та небезпечну концентрацію від 900 ppb.

Виходячи з даної інформації, увімкнення вентиляції буде відбуватися при досягненні концентрації у 900 ppb, а вимкнення при досягненні 300 ppb.

1.4 Фізичні основи вимірювання температури, вологості та концентрації газів

Визначення параметрів фізичного середовища, таких як температура, вологість та концентрація газів, є фундаментальною передумовою для проведення багатьох наукових досліджень, оптимізації технологічних процесів та здійснення ефективного контролю стану навколишнього середовища [10, 11]. Розуміння фізичних принципів, що покладені в основу методів вимірювання зазначених величин, є ключовим для обґрунтованого вибору засобів вимірювальної техніки та коректної інтерпретації отриманих даних.

1.4.1 Фізичні основи вимірювання температури

Температура – фізична величина, що характеризує середню кінетичну енергію хаотичного (теплого) руху частинок системи, що перебуває в стані термодинамічної рівноваги [12]. Розглянемо основні фізичні явища, які використовуються для кількісної оцінки температури.

1. Теплове розширення тіл.

Більшість речовин демонструють властивість змінювати свої лінійні розміри та об'єм при зміні температури. Цей принцип лежить в основі роботи рідинних (наприклад, ртутних, спиртових) та біметалічних термометрів.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміна лінійних розмірів тіла описується наступним співвідношенням:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T , \quad (1)$$

де ΔL – зміна довжини, α – коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу, L_0 – початкова довжина, ΔT – зміна температури.

Зміна об'єму тіла визначається за наступною формулою:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T , \quad (2)$$

де ΔV – зміна об'єму, β – коефіцієнт об'ємного теплового розширення матеріалу (для ізотропних твердих тіл $\beta \approx 3\alpha$), V_0 – початковий об'єм, ΔT – зміна температури [13, 14].

2. Залежність електричного опору від температури.

Електричний опір провідникових та напівпровідникових матеріалів є функцією температури.

Розглянемо металеві терморезистори. Для металів (наприклад, платини, міді, нікелю) залежність опору від температури в певному діапазоні є близькою до лінійної [15]:

$$R_T = R_0(1 + \alpha_R(T - T_0)) , \quad (3)$$

де R_T – опір при температурі T , R_0 – опір при референтній температурі T_0 (зазвичай 0°C), α_R – температурний коефіцієнт опору.

Також варто згадати термістори – напівпровідникові резистори, що характеризуються значним температурним коефіцієнтом опору [16, 17]. Для NTC (Negative Temperature Coefficient) термісторів опір експоненційно зменшується зі зростанням температури, що описується наступним рівнянням:

$$R_T = R_0 \exp(B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})) , \quad (4)$$

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де R_T – опір при температурі T , R_0 – опір при референтній температурі T_0 (зазвичай $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), B – константа, що характеризує матеріал термістора (в Кельвінах).

PTC (Positive Temperature Coefficient) термістори демонструють різке зростання опору при досягненні певної характеристичної температури [18].

3. Вимірювання температури за тепловим випромінюванням (пірометрія).

Усі тіла, температура яких вища за абсолютний нуль, випромінюють електромагнітні хвилі. Інтенсивність та спектральний склад цього випромінювання залежать від температури тіла.

Відповідно до закону Стефана-Больцмана, повна енергія (P), що випромінюється з одиниці поверхні абсолютно чорного тіла за одиницю часу, пропорційна четвертому степеню його абсолютної температури:

$$P = \sigma T^4, \quad (5)$$

де σ – стала Стефана-Больцмана.

Для реальних тіл (сірих тіл) вводиться коефіцієнт випромінювання ϵ (емісивність), тоді формула виглядає наступним чином:

$$P = \epsilon \sigma T^4 \quad (6)$$

Закон зміщення Віна визначає довжину хвилі λ_{max} , на яку припадає максимум енергії випромінювання абсолютно чорного тіла, як обернено пропорційну його абсолютній температурі:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}, \quad (7)$$

де b – стала Віна.

З підвищенням температури максимум випромінювання зміщується в бік коротших хвиль [19].

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.4.2 Фізичні основи вимірювання вологості

Вологість повітря характеризує вміст водяної пари в атмосфері. Виділяють наступні характеристики вологості:

Абсолютна вологість (ρ_α) визначається як маса водяної пари, що міститься в одиниці об'єму повітря (г/м^3).

Розраховується за наступною формулою:

$$\rho_\alpha = \frac{m_v}{V}, \quad (8)$$

де m_v – маса водяної пари, V - об'єм повітря.

Відносна вологість (RH), являє собою відношення фактичного парціального тиску водяної пари p_v в повітрі до тиску насиченої водяної пари p_{vs} при даній температурі, виражене у відсотках. Формула знаходження виглядає наступним чином:

$$RH = \frac{p_v}{p_{vs}(T)} \cdot 100\% \quad (9)$$

Тиск насиченої водяної пари $p_{vs}(T)$ є функцією температури і може бути розрахований за допомогою емпіричних залежностей, наприклад, формули Магнуса:

$$p_{vs}(T) = A \exp\left(\frac{mT}{T+T_n}\right), \quad (10)$$

де A , m , T_n – емпіричні константи.

Основним фізичним принципом вимірювання вологості що використовується в сучасних датчиках, є **принцип зміни електричних властивостей гігроскопічних матеріалів**. Низка матеріалів (зокрема, деякі полімери та солі) здатні адсорбувати водяну пару, що призводить до зміни їхніх електричних параметрів (діелектричної проникності, електричного опору).

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За даним фізичним принципом існує два способи виміряти вологість:

1. Ємнісні датчики: зміна діелектричної проникності гігроскопічного матеріалу, розташованого між обкладками конденсатора, внаслідок адсорбції вологи призводить до зміни ємності конденсатора.
2. Резистивні датчики: електричний опір чутливого елемента з гігроскопічного матеріалу змінюється залежно від кількості адсорбованої вологи [20].

1.4.3 Фізичні основи вимірювання концентрації газів

Концентрація газу визначає кількість даної газоподібної речовини в одиниці об'єму або маси суміші чи розчину. Концентрація може виражатися в об'ємних частках (ppm, ppb, %), масовій концентрації (мг/м³, г/л), або молярній концентрації (моль/л) [21].

Вимірювання концентрації газів сучасними датчиками базується на наступних основних фізичних принципах:

1. Оптична абсорбційна спектрофотометрія. Багато газів мають характерні спектри поглинання в інфрачервоній (ІЧ), ультрафіолетовій (УФ) або видимій областях електромагнітного спектру. Інтенсивність поглинання світла на специфічній довжині хвилі корелює з концентрацією газу. Закон Бера-Ламберта-Бугера встановлює зв'язок між інтенсивністю випромінювання, що пройшло через поглинаюче середовище, та концентрацією речовини:

$$I = I_0 \exp(-\epsilon cl), \quad (11)$$

або у формі оптичної густини:

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = \epsilon cl, \quad (12)$$

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де I_0 – інтенсивність падаючого світла, I – інтенсивність світла, що пройшло через газ, ϵ – коефіцієнт поглинання (молярний коефіцієнт екстинкції), c – концентрація газу, l – довжина оптичного шляху [22].

2. Напівпровідникові (MOS – Metal Oxide Semiconductor) сенсори.

Принцип дії заснований на зміні електричного опору чутливого шару з оксиду металу (наприклад, SnO_2 , WO_3 , ZnO) при адсорбції молекул газу на його поверхні. Характер та величина зміни опору корелюють з концентрацією газу.

Залежність опору сенсора R_s від концентрації газу c часто апроксимується степеневою функцією:

$$R_s = A \cdot c^{\pm\beta}, \quad (13)$$

де A і β – константи, що залежать від типу газу та матеріалу сенсора.

Кожен з перелічених методів характеризується певними перевагами, недоліками, робочими діапазонами вимірювань та селективністю до різних газів, що визначає доцільність їх застосування для конкретних аналітичних задач [23].

1.5 Огляд існуючих рішень

На сьогоднішній день автоматизація мікроклімату в приміщеннях є популярним напрямком розвитку технологій. Готові рішення для автоматизації цієї сфери набувають все більшої популярності серед користувачів, адже дозволяють створити комфортні умови та автоматично контролюють всі необхідні параметри. У цьому розділі представлено аналіз найпоширеніших готових продуктів для контролю мікроклімату.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1. Розумний термостат Google Nest Learning Thermostat Gen3

Розумний термостат Nest отримує дані з датчиків температури, вологості, руху, освітленості, а також інших пристроїв Nest. Він запам'ятовує звички та спосіб життя власників будинку, щоб налаштувати оптимальний, економічний і комфортний режим роботи системи опалення.

Процес навчання термостата триває близько тижня, після чого пристрій потребує мінімального втручання. Управління можливе через єдиний додаток Nest App, доступний для пристроїв Apple і Android. Також термостат може працювати автономно.

Переваги:

- Автоматичне навчання для підвищення ефективності роботи.
- Можливість дистанційного доступу через мобільний додаток.
- Зменшення споживання енергії завдяки адаптивним алгоритмам.

Недоліки:

- Досить висока вартість у порівнянні з іншими моделями.
- Основна увага зосереджена лише на регулюванні температури [24].

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



Рис. 2. Монітор якості повітря Airthings Wave Plus

Дана система моніторингу якості повітря відстежує шість параметрів, включаючи рівень радону, концентрацію CO₂, летючі органічні сполуки (TVOC), вологість, температуру та атмосферний тиск.

Переваги:

- Висока точність вимірювань.
- Велика кількість вимірюваних параметрів.
- Довготривала робота від батареї.
- Інтуїтивно зрозумілий та зручний додаток.

Недоліки:

- Відсутність можливості керування мікрокліматом.
- Висока ціна у порівнянні з конкурентами [25].



Рис. 3. Монітор якості повітря Awair Element

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Awair Element – це система моніторингу, яка фокусується на аналізі якості повітря, враховуючи рівні температури, вологості, концентрації CO₂, TVOC та PM2.5.

Переваги:

- Велика кількість важливих параметрів у порівнянні з аналогічними пристроями.
- Зручне відображення інформації в додатку.

Недоліки:

- Лише пасивний моніторинг параметрів, без функцій керування та автоматизації [26].



Рис. 4. Розумний датчик якості повітря Ajax Life Quality

Life Quality — це розумний датчик якості повітря, оснащений сенсорами температури, вологості та рівня CO₂. Пристрій контролює зміни якості повітря в будь-яких приміщеннях, зокрема вдома, в офісі чи на виробництві. Користувач отримує високоточні вимірювання та детальну інформацію через додаток.

Переваги:

- Точне відстеження основних параметрів повітря.
- Інтеграція з іншими пристроями Ajax.
- Практичні рекомендації щодо покращення мікроклімату.

Недоліки:

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Обмеження у взаємодії поза екосистемою.
- Відсутність функцій автоматизації.
- Сигнальний діод надає інформацію лише про рівень CO₂ [27].

1.6 Постановка технічного завдання

Проаналізувавши існуючі рішення, можна побачити тенденцію, що всі пристрої діляться на 4 категорії:

1. Не мають можливості впливати та корегувати параметри мікроклімату, але аналізують багато параметрів.
2. Мають функцію автоматизації, але аналізують лише невелику кількість з усіх можливих і важливих для здоров'я параметрів мікроклімату.
3. Мають доступну ціну, але виконані дуже неякісно і мають датчики низької точності.
4. Коштують дуже дорого, тому доступні лише невеликому колу споживачів.

Виходячи з цього аналізу, можемо скласти технічне завдання для даного дипломного проєкту:

1. Контроль великої кількості важливих параметрів мікроклімату.
2. Наявність функцій автоматизації для впливу на параметри мікроклімату.
3. Датчики високої точності для виводу правдивої інформації.
4. Вивід інтуїтивно-зрозумілої інформації як на корпус пристрою так і в додаток на смартфон.
5. Передача даних на смартфон через Wi-Fi.
6. Висока енергоефективність для забезпечення економічної роботи пристрою.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Можливість керування приладами будь-якої компанії не залежно від екосистеми.
8. Доступна ціна для розширення кількості користувачів.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було проведено аналітичний огляд, що дозволило зрозуміти актуальність теми дослідження, проаналізувати вплив параметрів мікроклімату на комфорт та здоров'я людини, підібрати оптимальні та граничні значення параметрів і розібрати основні фізичні принципи вимірювання досліджуваних параметрів.

Завдяки аналізу досліджень та норм, була розроблена логіка керування мікрокліматом в залежності від стану його параметрів, що дозволить системі автоматично коригувати параметри та досягати найбільш оптимальних та здорових показників для забезпечення комфорту та гарного самопочуття кінцевого користувача.

Також було розглянуто різні існуючі рішення. Аналіз таких рішень є дуже важливим під час розробки будь-якого пристрою, бо одна з найголовніших характеристик продукту на ринку, це його конкурентна спроможність. Але при цьому також варто враховувати ринок таких пристроїв та їх цільову аудиторію, щоб при розробці досягнути золотієї середини між функціональністю та доступною ціною такого пристрою.

Завдяки проаналізованій в цьому розділі інформації було поставлене продумане та чітке технічне завдання, яке дозволить розроблюваному пристрою контролювати всі найбільш впливові та важливі параметри мікроклімату, детектувати правдиву та точну інформацію, бути зручним та зрозумілим будь-якій групі людей, та мати змогу керувати приладами будь-якої компанії не залежно від екосистеми.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ

2.1 Автоматизація системи

Процес автоматизації системи керування мікрокліматом є важливим кроком у створенні сучасного підходу до забезпечення комфортних умов у приміщеннях. Основна ціль цього етапу полягає в досягненні ефективного та стабільного управління ключовими параметрами мікроклімату, такими як температура, вологість, концентрація вуглекислого газу, летючих органічних сполук та інших факторів, які безпосередньо впливають на якість повітря і загальне самопочуття людини.

Всебічний аналіз можливостей автоматизації системи дозволяє закласти фундамент для створення сучасної системи керування, яка відповідає вимогам ефективності, енергозбереження і надійності, а також здатна забезпечити високий рівень комфорту в умовах будь-якого приміщення [28].

2.1.1 Опис в загальному вигляді природи технологічного об'єкту керування і процесів, що протікають в ньому

Технологічним об'єктом керування у даній роботі є мікроклімат приміщення, який включає сукупність фізичних і хімічних параметрів повітря, таких як температура, вологість, вміст вуглекислого газу (CO₂), концентрація летючих органічних сполук (TVOC), а також інші параметри, які можуть впливати на комфорт і здоров'я людей [29].

Мікроклімат характеризується складними взаємодіями між зовнішнім середовищем, технічним обладнанням (наприклад, системами вентиляції, кондиціонування, зволоження чи осушення повітря) та внутрішньою діяльністю в приміщенні (кількість людей, використання техніки тощо).

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікроклімат – це динамічний об’єкт багатофакторного керування, в якому кожен параметр може змінюватися під впливом низки зовнішніх і внутрішніх умов. Серед основних впливів можна відокремити:

- Зовнішнє середовище: температура і вологість повітря, рівень забруднення зовнішньої атмосфери.
- Внутрішні чинники: присутність людей, використання техніки, особливості освітлення.
- Системи кліматичного обладнання: робота пристроїв для підтримання заданих параметрів повітря.

Особливість мікроклімату як об’єкта керування полягає у взаємозалежності його параметрів. Наприклад, підвищення температури повітря може вплинути на рівень відносної вологості.

Мікроклімат формується під впливом низки процесів, які можна умовно поділити на кілька категорій:

1. Теплові процеси:

- Зміни температури в результаті дії зовнішніх і внутрішніх джерел тепла або охолодження.
- Процеси випаровування чи конденсації водяної пари, що впливають на вологість.

2. Газообмінні процеси:

- Накопичення та видалення вуглекислого газу, що утворюється в результаті дихання.
- Притік свіжого повітря та видалення забруднених газів через вентиляцію.

3. Процеси очищення повітря:

- Видалення пилу, алергенів і дрібних частинок.
- Зменшення концентрації летючих органічних сполук і запахів.

4. Процеси регуляції вологості:

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Додавання вологи за допомогою зволожувачів у разі надмірної сухості.
- Усунення надлишків вологи для запобігання утворенню конденсату чи цвілі.

2.1.2 Визначення та опис регульованих параметрів, збурень і можливих дій керування

Визначимо регульовані параметри:

- Температура в приміщенні.
- Вологість повітря.
- Концентрація вуглекислого газу (CO₂).
- Загальна концентрація летких органічних сполук (TVOC).

Визначимо можливі збурення:

- Робота кліматичного обладнання.
- Тимчасове або довгострокове відкриття дверей чи вікон.
- Знаходження людини або багатьох людей в приміщенні.
- Забруднення повітря антропогенним чинником (приготування їжі, використання парфумерії, фарбування нігтів, паління, тощо).
- Руйнування приміщення або виникнення інших форс-мажорних обставин.

Якщо проаналізувати запропоновані збурення, можна побачити, що деякі з них хоч і різного походження, але будуть призводити до однакових дій керування АСК. Наприклад, у випадку знаходження людини або багатьох людей в приміщенні система розпізнає підвищення концентрації вуглекислого газу та подасть відповідний сигнал для увімкнення вентиляції. У випадку забруднення повітря антропогенними чинниками, система побачить значене перевищення TVOC і також подасть сигнал на увімкнення вентиляції. При такому сценарії керування, до приміщення потрапить повітря з вулиці, яке

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

може бути доволі сухим, чи навпаки, вологим, може бути теплим, чи холодним. В такому випадку система зіштовхується з новим збуренням – робота кліматичного обладнання. Аналогічним такому збуренню може бути вплив ще одного збурення, тимчасове чи довгострокове відкриття дверей чи вікон, але в цих випадках варто розрізняти вплив таких збурень, оскільки повітря з вентиляції, завдяки фільтрам не може принести з собою часточки бруду, пилу, чи інших дрібнодисперсних речовин, а повітря з вікон чи дверей може спричинити як погіршення параметрів температури та вологості так і забруднить повітря. Але якщо кліматичним обладнанням виявиться осушувач чи обігрівач, тоді система вимушена буде застосувати ще й сценарій зволоження повітря.

Допоки на мікроклімат в приміщенні будуть впливати різні збурення – вона намагатиметься виправити ситуацію вмикаючи та вимикаючи необхідне кліматичне обладнання, і буде це робити до тих пір, поки не приведе всі контрольовані параметри до норми. У стандартному, штатному випадку, АСК без проблем впорається з усіма вищезгаданими збуреннями, але у форс-мажорних ситуаціях, таких як руйнування цілісності приміщення чи пожежа, вона ніяк не зможе подолати всі чинники і для вирішення проблем такого масштабу обов’язково потрібно буде втручання людини.

2.1.3 Складання параметричної схеми ОК

Параметрична схема області керування являє собою схему на якій зображено канали впливу ОК. Кожен об’єкт керування має один або декілька виходів (керованих параметрів), а також відповідні їм входи: керувальні впливи x_i та збурення λ_i . Наявність функціональної залежності між вихідним параметром і відповідним вхідним сигналом об’єкта розглядається як існування у системі керування каналу впливу [30].

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис.5 зображено параметричну схему ОК, нижче вказані фізичні величини вхідних, вихідних сигналів та збурюючих впливів.

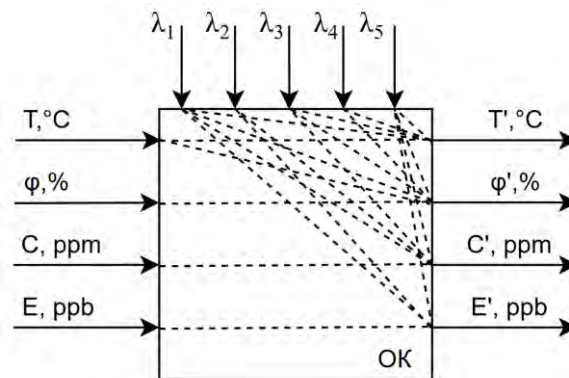


Рис. 5. Параметрична схема ОК

Керувальні впливи:

$T, ^\circ\text{C}$ – задана температура повітря;

$\phi, \%$ – задана відносна вологість повітря;

C, ppm – задана концентрація вуглекислого газу;

E, ppb – заданий рівень летких органічних сполук (TVOC);

Збурення:

λ_1 – відкриття вікон чи дверей;

λ_2 – антропогенні чинники забруднення повітря;

λ_3 – знаходження людей в приміщенні;

λ_4 – робота компліментарного кліматичного обладнання;

λ_5 – форс-мажорні обставини.

Вихідні параметри:

$T', ^\circ\text{C}$ – вихідна температура повітря;

$\phi', \%$ – задана відносна вологість повітря;

C', ppm – задана концентрація вуглекислого газу;

E', ppb – заданий рівень летких органічних сполук (TVOC);

Розпишемо рівняння описаних впливів:

$$T' = F(T, \lambda_1, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5);$$

$$\varphi' = F(\varphi, T, \lambda_1, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5);$$

$$C' = F(C, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_5);$$

$$E' = F(E, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_5).$$

2.1.4 Складання структурної схеми автоматизації системи керування та опис її роботи в загальному вигляді

Надається за запитом до авторів

Рис. 6. Структурна схема автоматизації

$X_{\text{зад}}$ – задані параметри;

$Y_{\text{вих}}$ – вихідні параметри;

МК1 – мікроконтролер 1;

МК2 – мікроконтролер 2;

ВІ – веб інтерфейс;

ВМ – виконавчий механізм;

ОК – об'єкт керування;

РО – регулюючий орган;

Д – дисплей;

ДД – множина датчиків.

Опис роботи структурної схеми:

Спочатку обираються задані параметри (ініціалізуються), після чого ці дані поступають в мікроконтролер 1, він оброблює їх, та передає сигнал пристроям, які реалізують задані параметри, тобто вмикаються необхідні прилади (виконавчі механізми) на певних заданих показниках які є необхідними для забезпечення оптимального мікроклімату в приміщенні. У ці

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прилади вбудовані регулюючі органи, які відповідають за передачу нових кліматичних умов від приладу до ОК. Паралельно з цим мікроконтролер 1 передає інформацію на мікроконтролер 2 який у свою чергу реалізує висвітлення поточних параметрів у веб-інтерфейсі. Після цього, датчики вимірюють вихідні параметри, і надсилають виміряні результати до мікроконтролера 1, який у свою чергу аналізує їх із заданими та приймає рішення користуючись прописаним у коді алгоритмом. Після аналізу даних він знову посилає сигнал відповідним пристроям і цикл продовжується, що в кінцевому результаті приводить до постійної підтримки оптимального мікроклімату в приміщенні.

2.2 Визначення основних елементів системи

Визначення основних елементів системи є важливим етапом у створенні автоматизованої системи керування мікрокліматом. На цьому етапі обираються основні компоненти, які будуть наявні в системі, та продумуються способи взаємодії між ними. Основною метою даного розділу, є досягнення балансу між продуктивністю, надійністю та зручністю використання системи.

До основних елементів системи належать датчики, які збирають дані про мікроклімат, мікроконтролери, які будуть оперувати отриманими даними, виконавчі пристрої, такі як реле чи регулятори, а також, комунікаційні модулі та індикатори.

З огляду на сучасні рішення систем автоматичного керування, було прийнято рішення розділити всі компоненти між двома пристроями. Таке рішення дозволить користувачу встановити монітор якості повітря безпосередньо в місці, де потрібно вимірювати параметри мікроклімату, а хаб системи в шафі, коридорі або іншому місці, де буде зручно підключити до нього всі необхідні прилади. Ці пристрої будуть комунікувати між собою за

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою Wi-Fi мережі, що дозволить уникнути монтажу зайвих дротів та зробити систему мобільною, навіть після встановлення.

Загальна схема функціонування системи зображена на рис. 7.

Надається за запитом до авторів

Рис. 7. Загальна схема функціонування системи

При такому компонуванні компонентів, користувач зможе якісно взаємодіяти з монітором системи для отримання інформації щодо поточного стану мікроклімату, а цей пристрій свою чергу зможе моніторити показники мікроклімату безпосередньо в зоні активності користувача.

2.3 Підбір елементної бази для автоматизованої системи керування мікрокліматом

Вибір компонентів для автоматизованих систем керування мікрокліматом має вирішальне значення для забезпечення їх точної, ефективної та стабільної роботи. Особливу увагу варто приділити сенсорам, які вимірюють параметри якості повітря, мікроконтролерам для обробки інформації та модулям зв'язку для успішної та якісної передачі даних. Важливими критеріями є точність, енергоспоживання, сумісність із протоколами передачі даних та вартість, що дозволяє створити оптимальну та ефективну систему.

2.3.1 Підбір датчика температури та вологості

Датчики температури та вологості є ключовими компонентами автоматизованих систем керування мікрокліматом. Від їхньої точності, стабільності роботи та технічних характеристик залежить якість моніторингу

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і регулювання параметрів навколишнього середовища. Правильний підбір цих датчиків забезпечує ефективність роботи системи, дозволяє мінімізувати похибки вимірювань та оптимізувати витрати на обладнання.



Рис. 8. Модуль датчика вологості і температури HDC1080

Модуль HDC1080 від Texas Instruments – економний та компактний цифровий сенсор для одночасного вимірювання температури й відносної вологості через інтерфейс I2C. Завдяки вбудованій калібрувальній логіці та малому енергоспоживанню він ідеально підходить для енергоефективних рішень.

Характеристики:

- Діапазон вимірювання датчика вологості: 0 ~ 100% RH
- Точність датчика вологості: похибка 14 біт $\pm 2\%$ відносної вологості
- Час вимірювання вологості: 8 біт 2,5 мс, 11 біт 3,85 мс, 14 біт 6,5 мс
- Діапазон вимірювання датчика температури: $-20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$
- Точність датчика температури: $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ (температура навколишнього середовища $+5^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$)
- Час вимірювання температури: 11 біт / 3,85 мс, 14 біт / 6,5 мс
- Робоча частота інтерфейсу I2C: 400 кГц
- Напруга живлення: рекомендується 3,3 В [31]

Принцип роботи:

1. Вимірювання вологості: Для вимірювання вологості використовується ємнісний сенсор на основі гігроскопічного

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полімеру, нанесеного між електродами на кремнієвій підкладці. Зміна вологості змінює діелектричну проникність полімеру та, відповідно, ємність сенсора.

2. Вимірювання температури: Для вимірювання температури навколишнього середовища використовується біполярний температурний датчик із прецизійною bandgap-структурою. Вихідна напруга лінійно залежить від температури. Результати вимірювання зчитуються через I2C-інтерфейс. Роздільна здатність температурного вимірювання може бути налаштована на 11 або 14 біт. Для більшої точності використовується 14-бітова роздільна здатність [32].

2.3.2 Підбір датчиків CO₂ та TVOC

Датчики для вимірювання CO₂ і TVOC є невід'ємною частиною систем керування мікрокліматом, оскільки вони дозволяють контролювати якість повітря. Під час вибору таких сенсорів важливо враховувати їх чутливість, швидкість реакції, стабільність у тривалому використанні та рівень енергоспоживання. Додатково слід зважати на умови експлуатації, зокрема вологість і температуру, щоб забезпечити точність вимірювань у реальних умовах.



Рис. 9. Модуль датчика якості повітря CCS811

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Модуль датчика CCS811 – компактний цифровий газовий сенсор для моніторингу якості повітря. Він використовує технологію на основі оксиду металу (МОКС) для вимірювання загальної кількості летких органічних сполук (TVOC) та еквівалентного рівня CO₂ (eCO₂). У датчику інтегрований мікроконтролер (MCU), зчитування даних здійснюється через інтерфейс I2C.

Характеристики:

- Напруга живлення: рекомендується 3.3 В
- Потужність: до 60мВт
- Робоча частота інтерфейсу I2C: 400 кГц
- Діапазон вимірювання TVOC: 0 ~ 1187ppb
- Діапазон вимірювання eCO₂: 400 ~ 8192ppm
- 5 режимів роботи, від найшвидшого до найбільш економічного.
- Автоматичний час корекції вихідних умов сенсора: 24 години
- Час прогрівання: не менше 20 хвилин [32]

Принцип роботи:

Молекули летких органічних сполук (TVOC) або інших окиснювальних газів взаємодіють із поверхнею чутливого шару, змінюючи його електричний опір. Ця зміна опору є пропорційною до концентрації газів.

Вбудований MCU перетворює зміну опору на цифрові значення концентрацій TVOC (в ppb) та eCO₂ (в ppm) з використанням алгоритмів компенсації та калібрування.

2.3.3 Підсумок вибору датчиків

Одною з найбільших переваг обраних датчиків є існування модуля, який поєднує в собі ці чотири датчики.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Рис. 10. Модуль датчиків якості повітря CCS811 та HDC1080

Цей модуль поєднує у собі два модулі датчиків – CCS811 і HDC1080 на одній платі. Дані з обох модулів можна окремо зчитувати через інтерфейс I2C. Показники газів, отримані датчиком CCS811, автоматично коригуються на основі значень температури та вологості, виміряних датчиком HDC1080, і відповідні дані записуються у внутрішні регістри CCS811 для врахування умов навколишнього середовища [32].

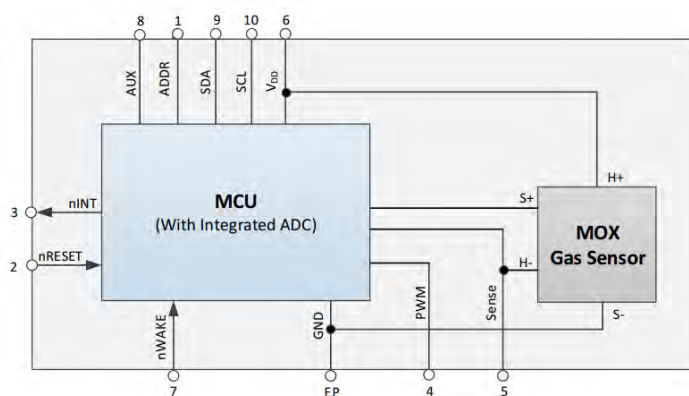


Рис. 11. Функціональні блоки датчика CCS811 [33]

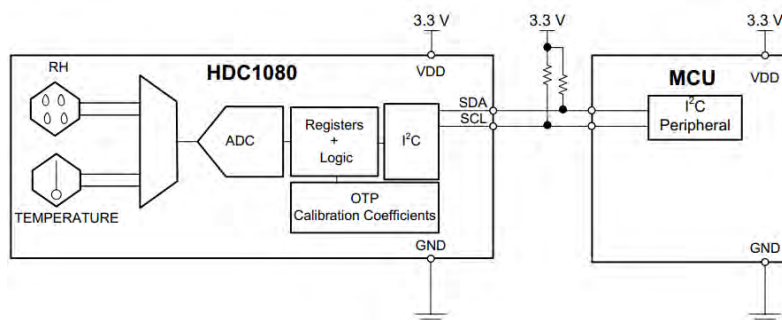


Рис. 12. Функціональні блоки датчика HDC1080 [34]

Завдяки цьому модулю можна зекономити багато простору всередині корпусу пристрою. Також отримання параметрів з одного високоточного датчика, скориговані параметрами іншого високоточного датчика значно зменшить вплив оточуючого середовища на достовірність показників.

2.3.4 Підбір мікроконтролерів

Мікроконтролери є центральним елементом автоматизованих систем керування мікрокліматом, оскільки вони забезпечують обробку даних, прийняття рішень і керування виконавчими пристроями. При виборі мікроконтролера варто врахувати його обчислювальну потужність, енергоефективність, кількість необхідних периферійних інтерфейсів та підтримку комунікаційних протоколів. Також важливим є забезпечення масштабованості та інтеграції мікроконтролера в архітектуру системи. Для даного дипломного проєкту розглядається лише готова плата розробника, оскільки використання «голого» мікроконтролера значно ускладнить прототипування робочого макету пристрою.



Рис. 13. ESP32-C3 Super Mini

ESP32-C3 Super Mini – плата розробника, яка базується на одноядерному мікроконтролері ESP32-C3FH4 (32-бітний RISC-V). Вона підтримує бездротові мережі Wi-Fi (2.4 ГГц, 802.11b/g/n, 802.11mc із швидкістю до 150

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Мбіт/с) і Bluetooth 5 (LE). Основною перевагою цієї плати є її компактний розмір – лише 23 x 18 мм – та низьке енергоспоживання (всього 5мА в режимі глибокого сну), що робить її ідеальним вибором для інтеграції в проекти Інтернету речей. Плата оснащена керамічною антеною, а також кнопками Boot і Reset. [35].

Характеристики:

- Мікроконтролер: однопоточний ESP32-C3FH4 (32-bit RISC-V)
- Тактова частота: 160 МГц
- Об'єм вбудованої пам'яті:
 - ROM: 384КБ SRAM: 400КБ (кеш-пам'ять 16 КБ) S
 - RAM (RTC): 8КБ
 - Флеш-пам'ять: 4Мб
- Вхідна напруга: 3.3 - 5 В
- Робочий струм: до 500мА
- Wi-Fi: 2.4 ГГц, 802.11b/g/n, 802.11ac (150 Мбіт)
- Bluetooth 5 (LE)
- GPIO I/O: 13, (SPI x 1, I2S x 1, I2C x 1, UART x 1, PWM та ADC 12-bit)
- Підключення USB: Type C
- Розміри: 23 на 18 мм [36]

Ця плата розробника є одним з найкращих варіантів для використання в невеликих пристроях для розумного будинку. Вона має доволі потужний процесор, вбудований Wi-Fi модуль, низьке енергоспоживання і режим сну.

Можливостей цього мікроконтролера та функцій цієї плати розробника повністю вистачить для забезпечення стабільної, швидкої та енергоефективної роботи системи автоматичного керування мікрокліматом в приміщенні.

2.3.5 Підбір індикатора

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Підбір індикатора є важливим етапом розробки автоматизованої системи керування мікрокліматом, оскільки якісна та зрозуміла індикація є одним з головних аспектів, які допомагають кінцевому користувачу успішно взаємодіяти з пристроєм. Вибір відповідного індикатора залежить від таких факторів, як умови експлуатації, енергоспоживання, розмір індикатора, його тип, кольорова гама та зручність інтеграції з іншими компонентами системи. Оптимально підібраний індикатор підвищує зручність користування системою та її загальну ефективність.

Одним з індикаторів в дані системі буде дисплей, на нього буде виводитися необхідна поточна інформація про поточний стан мікроклімату та його параметрів. Але у інформації на дисплеї є один великий недолік з точки зору користувача – її потрібно читати та обробляти, осмислити прочитане, а це займає певний час, і підійде не всім групам користувачів. А що точно підійде всім – кольори. Основними перевагами кольорової світлової індикації є те, що її видно здалеку, на обробку кольору мозок витрачає набагато менше часу ніж на читання та аналіз тексту і розуміння кольору не потребує ніякої освіти, тобто буде легко сприйматися дітьми.

Найбільш простим та найбільш універсальним рішенням буде використання RGB-світлодіодів.



Рис. 14. Світлодіод SMD 5050 RGB 5V

На рис. 14 зображено найбільш популярний та простий світлодіод. Він живиться від напруги 5 В, а керування кольором світіння відбувається завдяки подачі відповідного сигналу на червоний, зелений та синій канал.

Також важливо не забувати про користувацький досвід і умови експлуатації. Індикація має бути достатньо яскравою навіть в сонячний день, рівномірно світитися і не сліпити користувача. Тому для даного проекту було прийнято рішення використовувати RGB світлодіодну стрічку (рис. 15).



Рис. 15 RGB Світлодіодна стрічка 5В

Таке рішення дозволить значно спростити підключення не жертвуючи функціональністю та естетичною складовою індикатора.

Наступним кроком, виконаємо підбір дисплея. Необхідність у наявності дисплея в даній роботі обґрунтовується великою кількістю параметрів, оскільки світлова індикація лише допоможе краще та простіше розуміти стан мікроклімату, але необхідність вивести поточні його параметри в числовому вигляді залишається не закритою.

Основні типи дисплеїв:

- LCD-дисплеї (Рідкокристалічні) Це найбільш популярні дисплеї, доступні в конфігураціях 16×2 або 20×4 символів. Вони підходять для відображення текстової інформації та чисел, мають низьке енергоспоживання і доступну ціну.
 - Переваги: доступна ціна, низьке енергоспоживання, простота використання.
 - Недоліки: обмежена кількість символів, неможливість відображення графіки.
- OLED-дисплеї. Ці модулі забезпечують високу яскравість і контрастність, а також добре читаються під різними кутами огляду. Зазвичай використовуються моделі з роздільною здатністю 128×64 пікселів. OLED-дисплеї ідеальні для тексту, графіки та анімацій.

- Переваги: висока контрастність, яскравість, малий розмір, підтримка графіки, неактивні пікселі не споживають енергію.
- Недоліки: вища ціна порівняно з LCD, обмежена довговічність у режимі постійного відображення.
- TFT-дисплеї – підтримують відображення кольорових зображень і навіть відео. Є моделі із сенсорним управлінням, що дозволяє створювати інтерактивні інтерфейси для користувача.
 - Переваги: кольорове відображення, висока роздільна здатність, підтримка сенсорного управління.
 - Недоліки: високе енергоспоживання, складне програмування.

Всі вони є досить недорогими і можуть виводити символи, але суттєвим недоліком LCD дисплеїв є неможливість виведення графіки, лише символи. Також вони мають певний колір світіння, і вимкнути його можна лише припинивши живлення, а це буде дуже незручним для користувача. TFT дисплеї також постійно світяться при роботі, що в свою чергу призводить до великого енергоспоживання. OLED дисплеї не мають наведених недоліків, на них можна виводити як символи та числа, так і будь-яку графіку чи анімації [37]. Принцип роботи OLED дисплеїв полягає у ввімкненні лише необхідних пікселів, що значно економить енергію. Тобто якщо очистити дисплей від символів, всі пікселі залишаться чорні – тобто неактивні, і в такому стані дисплей майже не буде споживати енергію. Саме тому такий тип дисплеїв найкраще задовільнить вимоги даного проєкту.



Рис. 16. OLED дисплей 0,96", 128x64

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

OLED дисплей з розміром екрану 0,96" буде чудово доповнювати зовнішній вигляд пристрою, оскільки займатиме не багато місця, що дозволить легко вписати його в дизайн продукту. А підключення по протоколу I2C дасть можливість не займати багато пінів на мікроконтролері.

Характеристики:

- Розмір екрану 0.96 "
- Тип екрану OLED
- Роз'єм 4-pin (I2C)
- Напруга живлення +3.3~ +6 В
- Роздільна здатність дисплея 128 * 64 пікселів
- Товщина 4 мм
- Ширина 27 мм
- Висота 28 мм
- Вага 5 г [38]

2.3.6 Підбір реле

В сучасному світі існує дуже багато протоколів передачі даних в системах розумного будинку та автоматизації. Однак у цій роботі прийнято рішення використовувати реле для керування виконавчими механізмами. Це рішення ґрунтується на універсальності реле, які дозволяють взаємодіяти з різними пристроями незалежно від їх виробника чи екосистеми. Крім того, використання реле дає можливість інтегрувати вже наявне обладнання користувача без додаткових витрат на адаптацію або оновлення.

Існує два основні типи реле: механічні та твердотільні. Кожен із цих типів має свої характеристики, переваги та обмеження, що визначає їхнє застосування в конкретних умовах.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічні реле залишаються найпоширенішими завдяки своїй простій конструкції та універсальності. Вони функціонують за рахунок електромагнітного механізму, який фізично замикає або розмикає контакти в електричному колі. Їхніми основними перевагами є низька вартість, можливість роботи з високими струмами та напругами, а також надійність у простих схемах.

Для цієї роботи було прийнято рішення обрати саме механічне реле, оскільки вони мають більш доступну ціну та можуть комутувати навантаження до 10А та 250В, тобто до 2,5кВт, а згадані твердотільні реле лише до 2А і 240В, тобто 480Вт [39]. Оскільки даною системою автоматизованого керування передбачене використання нагрівальних приладів, єдиним можливим варіантом залишається механічне реле.

Модулі механічних реле в свою чергу діляться на два типи – високого та низького рівня. Проаналізувавши існуючі рішення, було вирішено обрати 6-канальний модуль реле з можливістю налаштування високого чи низького рівня (рис.17).

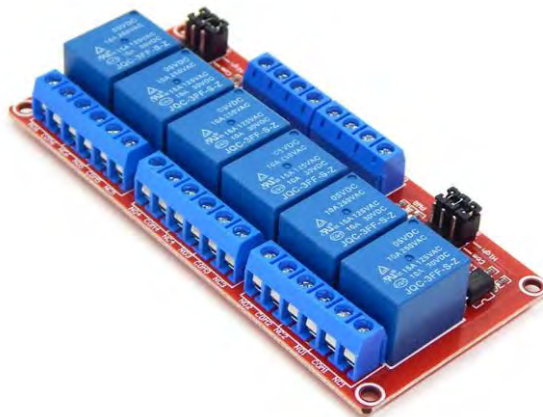


Рис. 17. 5В, 6-канальний модуль реле (низький/високий рівень)

Налаштування рівнів реле відбувається за допомогою джамперів, що дозволяє обрати рівень увімкнення для кожного каналу окремо. Це робить

систему більш гнучкою та залишає можливість зміни сценаріїв у ході тестування.

Характеристики:

- Струм і напруга комутації: 10 А, при АС 250В / DC 30В.
- Струм і напруга комутації: 15 А, при АС 125В.
- Робоча напруга модуля: 5 В.
- Модуль реле має джампер для встановлення високого або низького рівня керування.
- Зелений Індикатор живлення та червоний індикатор стану реле.
- Інтерфейс підключення – клемна колодка [40].

Таке рішення дозволить зручно встановити даний компонент в корпусі пристрою, завдяки кріпильним отворам на платі, та безпроблемно керувати всіма каналами підключивши лише один провідник до живлення 5В, один до землі мікроконтролера, та по одному провіднику логічного сигналу для кожного каналу.

2.3.7 Підбір інших електронних компонентів

У пошуках способів підвищення енергоефективності системи та подовження життєвого циклу компонентів було прийнято рішення вимикати всю індикацію після певного часу її активності. Таке рішення як зекономить досить велику кількість енергії так і убезпечить OLED-дисплей від швидкого вигорання пікселів та подовжить термін експлуатації світлодіодів на стрічці. Але щоб реалізувати такий функціонал, необхідно буде потім чимось вмикати індикацію. Для вирішення цієї проблеми буде чудово підходити звичайний сенсорний датчик.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



Рис. 18. Сенсорний датчик ТТР223

Принцип роботи такого сенсору досить простий. Мікросхема генерує електричний сигнал і постійно вимірює ємність сенсорної поверхні. У стані спокою ця ємність стабільна. А коли палець, або інший провідник наближається достатньо близько до сенсорної поверхні, загальна ємність змінюється, і мікросхема відразу виявляє таку зміну, та посилає відповідний сигнал на логічний вихід плати [41].

Використовуватись такий сенсор буде у стандартному «Momentary Mode», це значить, що вихід перебуває в стані HIGH тільки під час дотику.

Це найпростіший та найефективніший спосіб увімкнення індикації, оскільки для його встановлення не потрібно продумувати та реалізовувати ніяких додаткових отворів на корпусі пристрою. Буде достатньо закріпити його з внутрішньої сторони кришки у зручному для торкання із зовнішньої сторони місці.

Для світлодіодної стрічки варто підібрати резистори, щоб захистити світлодіоди від перевищення максимального струму. Формула для розрахунку опору резисторів виглядає наступним чином:

$$R = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{led}}}{I_{\text{led}}}, \quad (14)$$

де $U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга, U_{led} – напруга живлення світлодіода, I_{led} – споживаний світлодіодом струм.

Розрахуємо опір резистора для червоного каналу світлодіода:

$$R = \frac{5-2}{0,02} = 150 \text{ Ом},$$

і також для синього та зеленого каналів:

$$R = \frac{5-3}{0,02} = 100 \text{ Ом}$$

Для універсальності та подовження життєвого циклу світлодіодів було прийнято рішення використати резистори номіналом 330 Ом.

Також для зручності макетування були підібрані наступні компоненти:

- Макетна плата зі склотекстоліту для зручності припаювання всіх необхідних компонентів.
- Перемички для макетної плати.
- Провідники з конекторами «dupont» для імітування шлейфового підключення.

Висновки до розділу 2

У другому розділі даної роботи було проведено розробку системи автоматизації, а саме, опис природи технологічного об'єкту керування, визначення та опис регульованих параметрів і можливих збурень, що діють на ОК, розробка параметричної схеми ОК та структурної схеми автоматизації системи.

Також в даному розділі було визначено основні елементи системи, після чого відповідно до схеми функціонування системи було підібрано всі необхідні компоненти:

- Модуль датчиків повітря, вологості, концентрації CO₂ та TVOC який забезпечить систему високоточною інформацією щодо стану параметрів мікроклімату.
- Потужний але енергоефективний мікроконтролер ESP32-C3FH4 на базі плати розробника ESP32-C3 Super Mini, який забезпечить стабільну та ефективну роботу обох пристроїв, їх зв'язок між собою та з користувацьким веб-інтерфейсом, обробку отриманих з датчиків

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

параметрів, проведення необхідних логічних операцій та надсилання керуючого сигналу на виконавчі механізми.

- RGB світлодіодну стрічку 5В в ролі світлового індикатора, яка забезпечить інтуїтивно зрозуміле відображення поточного стану мікроклімату.
- OLED-дисплей, який буде виводити поточний стан всіх отриманих з датчиків параметрів та вказувати рівень задоволення поточним станом мікроклімату.
- 6-канальний модуль електромеханічного реле, який дає можливість під'єднати до системи керування мікрокліматом бажані користувачем виконавчі механізми не залежно від їх виробника.
- Сенсорний датчик на базі мікросхеми TTP223, який буде служити для увімкнення індикації на моніторі системи.

Завдяки дослідженій інформації з цього розділу, з'являється можливість перейти до проєктування електричної схеми та розробки програмного забезпечення автоматизованої системи керування мікрокліматом в приміщенні.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ТА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Розробка електричної принципової схеми

Правильне підключення компонентів дуже важливе для забезпечення коректної та стабільної роботи системи. При розробці макету підключення компонентів потрібно орієнтуватися на вказані в документації до цих компонентів вимоги та правила підключення.

Спочатку розглянемо електричну принципову схему монітору системи якості повітря (наведена в додатку А).

Головним компонентом схеми виступає мікроконтролер esp32-c3, до його виходів SDA та SCL підключенні модуль датчиків якості повітря та дисплей, щоб забезпечувати передачу даних по протоколу I2C.

До живлення 3,3В мікроконтролера підключені дисплей, модуль датчиків якості повітря та сенсорний датчик, а RGB стрічка підключена до 5В живлення мікроконтролера.

Контакти G, B, R стрічки підключені до аналогових пінів A0, A1 та A2 відповідно. Логічний вихід сенсора підключений до цифрового виходу GPIO3 мікроконтролера.

Дисплей, сенсорний датчик та модуль датчиків якості повітря підключені до загальної землі esp32-c3.

Таке підключення компонентів забезпечує стабільну роботу системи, та займає мінімум виходів та входів мікроконтролера, що в свою чергу мінімізує кількість дротів та робить збірку більш компактною.

Тепер розглянемо електричну принципову схему хабу системи якості повітря (наведена в додатку Б).

Головним компонентом схеми також виступає мікроконтролер esp32-c3, до його живлення 5В та землі підключений модуль реле до відповідних пінів

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на ньому. До пінів GPIO4 – GPIO0 підключені входи модуля реле In1 – In5 відповідно.

На цьому підключення компонентів завершено, і можна приступити до макетування прототипів.

3.2 Макетування прототипів

Для макетування прототипів використовувалась макетна плата під пайку та провідники з роз'ємами dupont. Макетна плата необхідна для того, щоб розширити місце для зручного з'єднання усіх провідників, а провідники з роз'ємами dupont дозволяють підключати та тестувати компоненти без необхідності припаювання.

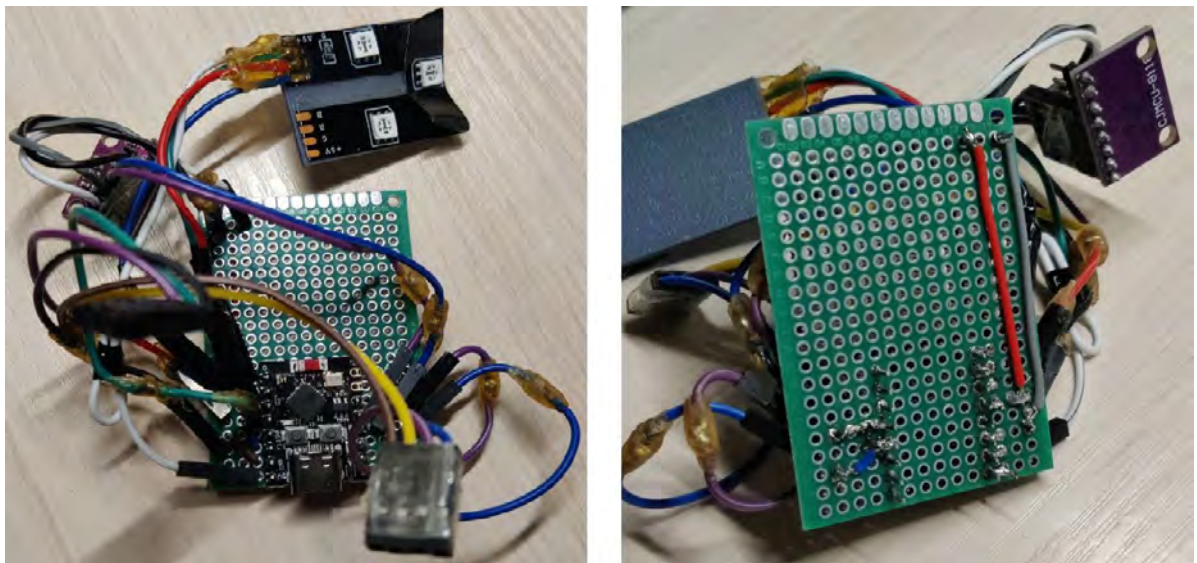


Рис. 19. Макет монітору якості повітря

Макетування монітору системи полягало у підключенні, припайці всіх необхідних компонентів та підготовці імітованих шлейфів для підключення екрану та сенсорного датчика.



Рис. 20. Макет хабу керування мікрокліматом

Макетування хабу системи полягало лише у підключенні імітованого шлейфу до плати розробника та підключення інших кінців провідників до клемної колодки модуля реле.

В такому стані макети пристроїв повністю готові до прошивки та тестування програмного забезпечення.

3.3 Розробка алгоритму для роботи програмного забезпечення

Розробка алгоритму є ключовим етапом створення програмного забезпечення для автоматизованої системи керування мікрокліматом. Від продуманості алгоритму залежить, наскільки ефективно й узгоджено працюватимуть всі компоненти системи, та наскільки швидко це відбуватиметься.

3.3.1 Алгоритм роботи програми для моніторингу параметрів мікроклімату

Спершу, необхідно розробити алгоритм роботи програми для монітору системи контролю якості повітря. Задача цього приладу – збирати інформацію за допомогою датчиків, опрацьовувати її, виводити на індикатори та надсилати оброблену інформацію на хаб системи. В додатку В представлений алгоритм роботи монітору системи контролю якості повітря у вигляді блок-схеми.

Робота пристрою розпочинається з підключення усіх необхідних бібліотек (блок 2), ініціалізації пінів усіх підключених компонентів (блок 3) та ініціалізації усіх змінних (блок 4). Далі система намагається підключитися до Wi-Fi (блок 5) та перевіряє, чи було підключення вдалим (блок 6). Якщо підключення вдалося, відбувається вивід SSID підключеного Wi-Fi та IP-адреси пристрою на дисплей (блок 7) та запуск сервера для підключення хабу системи (блок 8). Якщо ж підключення до Wi-Fi не вдалося, то на дисплей виводиться повідомлення про неуспішне підключення (блок 9) а запуск веб серверу пропускається. Далі, відбувається зчитування параметрів (температури, вологості, концентрації CO₂ та TVOC) з датчиків (блок 10). Наступним кроком, запускається функція обробки запитів клієнта, для того щоб забезпечити хаб системи інформацією зчитаною з датчиків (блок 11). Функція спершу перевіряє чи надійшов запит від клієнта (блок 13), і у випадку його успішного надходження, формує дані у json-рядок (блок 14) та надсилає ці дані клієнту (блок 15), і на цьому кроці функція завершує свою роботу.

Далі починається обробка отриманих з датчиків даних. Спершу система перевіряє чи не занадто низька температура, тобто чи не менше ніж 15 °C (блок 17). Якщо ж температура менша, то на дисплей виводиться сумний смайлик (блок 18) та вмикається червоний канал світлодіода (блок 19). Якщо ж температура не менше 15 °C, тоді відбувається перевірка чи не зависока температура, тобто чи не більше 30 °C (блок 20). У випадку якщо і ця перевірка

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

дала негативну відповідь, система перевіряє чи вологість не нижче 20% (блок 21). Якщо не нижча, тоді система перевіряє чи вологість не вища ніж 70% (блок 22). Якщо ці параметри в нормі, то система перевіряє чи CO₂ не вийшов за рівень у 1400 ppm (блок 23). А якщо і CO₂ в нормі, тоді відбувається перевірка чи не вище поточна концентрація TVOC ніж 1200 ppb (блок 24). Якщо хоч одна з цих перевірок параметрів дасть позитивну відповідь, то система перейде до блоків 18 та 19 і проінформує користувача про жахливий стан мікроклімату. А якщо всі перевірки дали негативну відповідь, тоді система продовжить перевірки параметрів, починаючи з перевірки нижньої границі допустимої температури, а саме перевірки чи поточна температура лежить в діапазоні від 15°C (включно) до 19 °C (не включно) (блок 25). Якщо дана перевірка дала позитивну відповідь, тоді на дисплей виведеться нейтральний смайлик (блок 26), а світлодіод засвітиться синім кольором (блок 27), що буде свідчити про поганий, але не жахливий стан мікроклімату. Якщо ж перевірка нижнього діапазону допустимої температури дасть негативну відповідь, тоді система перейде до перевірки верхнього діапазону допустимої температури, тобто від 27°C (не включно) до 30 °C (включно) (блок 28). Якщо температура не в цьому діапазоні, тоді відбудеться аналогічна перевірка діапазонів вологості, а саме чи вологість не в діапазоні від 20% (включно) до 30% (не включно) (блок 29) та верхнього діапазону від 60% (не включно) до 70% (включно) (блок 30). Якщо обидві ці перевірки дали негативну відповідь, тоді перевіряється концентрація CO₂, чи вона в діапазоні від 1000ppm (не включно) до 1400ppm (включно) (блок 31). Якщо ні, тоді відбувається остання перевірка параметрів, а саме чи TVOC в діапазоні від 900ppb (не включно) до 1200ppb (включно) (блок 32). Якщо хоча б одна перевірка діапазонів параметрів дала позитивну відповідь, відбудеться вивід на дисплей нейтрального смайлика (блок 26) та загоряння діоду синім кольором (блок 27). Але якщо всі перевірки діапазонів дали негативну відповідь, тоді система виведе на дисплей веселий смайлик (блок 33) та увімкне зелений канал

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

світлодіода (блок 34), після чого відбудеться виведення на дисплей усіх поточних параметрів (блок 35). Далі система, на випадок раптового відключення від Wi-Fi, перевіряє, чи підключено зараз пристрій до Wi-Fi (блок 36), і якщо підключено, то відбувається завершення першої ітерації циклу. Якщо ж Wi-Fi підключення справді пропало, тоді система звертається до блоку 5, і намагається знову підключитися до Wi-Fi, щоб спробувати увійти в наступну ітерацію циклу вже з повноцінним функціоналом, а не лише в ролі монітору.

3.3.2 Алгоритм роботи програми для автоматичного керування мікрокліматом

Наступний алгоритм відображає принцип роботи програми хабу системи. Задача цього приладу – приймати дані від монітору системи, обробляти їх, виводити отримані дані у веб-інтерфейс та застосовувати керувальні дії для коригування стану мікроклімату. В додатку Г представлений алгоритм роботи хабу системи контролю якості повітря у вигляді блок-схеми.

Робота хабу системи розпочинається з підключення усіх необхідних бібліотек (блок 2), ініціалізації пінів усіх підключених компонентів та усіх змінних (блок 3). Після чого система намагається підключитися до Wi-Fi (блок 4). Далі відбувається перевірка, чи вдалося підключитися до Wi-Fi (блок 5). Якщо підключення вдале, система переходить до налаштування веб сторінки (блок 6), але якщо не вдале, тоді відбувається перезавантаження пристрою (блок 7) та спроба повторного підключення до Wi-Fi (блок 4), оскільки даний пристрій, на відміну від монітору системи, не зможе коректно працювати без підключення до Wi-Fi. Далі, при успішному підключенні, відбувається запуск сервера (блок 8), після чого система відразу перевіряє, чи не зникло підключення до Wi-Fi (блок 9), і якщо все добре, тоді відбувається запуск

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функції обробки запитів клієнта (блок 10). Але якщо підключення зникло, тоді у веб-інтерфейс виводиться повідомлення про втрачене з'єднання та неактуальність даних (блок 11), після чого система намагається повторно підключитися до Wi-Fi (блок 4).

Якщо з підключенням все гаразд, тоді починається робота функції обробки запитів клієнта, а саме, перевірка чи надійшли дані від клієнта (блок 13). Якщо дані надійшли, тоді перевіряється, чи була натиснута кнопка скидання бажаної температури до значення за замовчуванням (блок 14), і якщо так, тоді в змінну T0 записується стандартне значення (блок 15) та у веб-інтерфейс виводиться повідомлення про успішне скидання значення бажаної температури (блок 16). Якщо ж кнопка скидання не була натиснута, відбувається уведення користувачем бажаної температури (блок 17). Якщо уведене користувачем значення входить в діапазон від 10 до 40 °C включно (блок 18), тоді введена температура записується в змінну T0 (блок 19), та виводиться повідомлення про успішне встановлення бажаної температури (блок 20). Після чого на основі змінної T0 оновлюються змінні Tmin та Tmax (блок 21), які визначають крайні значення для початку коригування температури. Але якщо уведена користувачем температура виходить за межі дозволеного діапазону, виводиться повідомлення: «Уведіть значення від 10 до 40 °C» (блок 22), і функція завершує свою роботу до наступного циклу. Так само, якщо від клієнта не надходило ніяких даних, функція завершує роботу і чекає наступного циклу.

Наступною запускається функція отримання даних від монітору системи (блок 24), і першим кроком, надсилає запит на отримання даних (блок 26). Далі відбувається перевірка, чи було отримано дані (блок 27). Якщо дані було успішно отримано, тоді у змінні T, H, S, V записуються отримані дані (блок 28) і функція завершує роботу. Але якщо дані не було отримано, виводиться повідомлення про застарілі чи відсутні дані (блок 29), і функція завершує свою роботу.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступною викликається функція запису даних у графіки (блок 31). Вона відразу перевіряє, чи були успішно отримані дані від монітору системи (блок 33), і якщо так, то записує отримані дані у графіки (блок 34) і завершує роботу. Але якщо дані не було отримано, то функція відразу завершує свою роботу.

Далі запускається функція керування мікрокліматом (блок 36), і також питає, чи успішно були отримані дані (блок 38). У випадку негативної відповіді вона відразу ж завершує свою роботу, і на цьому перша ітерація циклу завершується. Але якщо дані було отримано успішно, розпочинається перевірка отриманих параметрів. Перевірки різних параметрів відбуваються паралельно, завдяки чому за одну ітерацію циклу відбувається перевірка та коригування усіх параметрів одночасно. Розглянемо перевірку низької температури. Спочатку система перевіряє чи отримана температура не нижча ніж гранична мінімальна температура (блок 39). Якщо нижча, тоді перевіряється стань реле обігрівача (блок 40), і якщо воно увімкнене, тоді відбуваються перехід до наступних перевірок. Але якщо обігрівач вимкнено, тоді перевіряється чи увімкнено охолоджувач (блок 41), і якщо так, тоді реле охолоджувача вимикається (блок 42), і виводиться повідомлення про це (блок 43), а далі вмикається обігрівач (блок 44) та виводиться відповідне повідомлення (блок 45). Але якщо охолоджувач не було увімкнено, то система відразу переходить до блоку 44 та 45. Якщо ж поточна температура не менша за мінімальну дозволена, тоді відбувається перевірка чи поточна температура більша чи дорівнює бажаній (блок 46). І якщо так, тоді відбувається перевірка, чи увімкнено обігрівач (блок 47), і якщо його увімкнено, тоді відбувається його вимкнення (блок 48) та виводиться відповідне повідомлення (блок 49) і завершується перевірка на низьку температуру. А якщо обігрівач не увімкнено, чи поточна температура не менша і не дорівнює бажаній, відбувається закінчення перевірки на низьку температуру без ніяких дій. Таке

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завершення перевірки вказує на те, що всі параметри в нормі, або дії які потрібно було зробити вже застосовані.

Переходимо до перевірки на високу температуру, і розпочинається вона з перевірки, чи поточна температура вища за максимально допустиму (блок 50), і якщо так, тоді перевіряється, чи увімкнений охолоджувач (блок 51). Якщо охолоджувач увімкнено, перевірка завершується, але якщо ні, тоді перевіряється, чи увімкнено обігрівач (блок 52). Якщо обігрівач увімкнено, тоді відбувається вимкнення реле обігрівача (блок 53) та виводиться відповідне повідомлення (блок 54). Далі вмикається охолоджувач (блок 55), і також виводиться повідомлення про його вимкнення (блок 56). Якщо ж обігрівач не було увімкнено, тоді система відразу переходить до блоків 55 та 56 щоб увімкнути охолоджувач. Якщо поточна температура не вища за максимально допустиму, тоді відбувається перевірка, чи поточна температура нижча або дорівнює бажаній (блок 57). Якщо відповідь позитивна, тоді перевіряється чи увімкнено охолоджувач (блок 58), і якщо так, тоді відбувається його вимкнення (блок 59), виводиться повідомлення про це (блок 60) і система завершує поточну перевірку. Але якщо поточна температура не нижча і не дорівнює бажаній або охолоджувач не увімкнений, тоді система без ніяких дій завершує перевірку на високу температуру.

Наступною розглянемо перевірку на низьку вологість. Розпочинається вона з перевірки, чи поточна вологість менша 30% (блок 61). Якщо менша, тоді перевіряється, чи увімкнено зволожувач (блок 62), і якщо його увімкнено, перевірка на предмет низької вологості завершується. Але якщо зволожувач вимкнено, відбувається його увімкнення (блок 63) та виводиться відповідне повідомлення (блок 64). Після цього реле осушувача також вимикається (блок 65), виводиться повідомлення про цю дію (блок 66) та система закінчує цю перевірку. Але якщо поточна вологість була не меншою за 30%, тоді відбувається перевірка чи поточна вологість більша або дорівнює 45% (блок 67), і якщо так, тоді відбувається вимкнення зволожувача (блок 68) та

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виводиться повідомлення про його вимкнення (блок 69) і система завершує цю перевірку. Але якщо поточна вологість не більша і не дорівнює 45%, тоді система відразу завершує перевірку на низьку вологість.

Далі розглянемо перевірку на високу вологість. Починається вона з блоку 70, у якому перевіряється, чи вологість вища за 60%. Якщо вища, тоді перевіряється стан реле осушувача (блок 71), і якщо воно увімкнене, тоді система без ніяких дій завершує перевірку. Якщо ж осушувач вимкнений, тоді відбувається увімкнення реле осушувача (блок 72) та виведення повідомлення про це (блок 73). Далі вимикається зволожувач (блок 74) та виводиться відповідне повідомлення (блок 75) і система може завершувати поточну перевірку. Але якщо вологість не більша за 60%, тоді відбувається перехід до перевірки, чи вологість менша або дорівнює 45% (блок 76), і якщо так, тоді вимикається реле осушувача (блок 77) та виводиться відповідне повідомлення (блок 78). Після чого система завершує перевірку на високу вологість. Якщо ж значення вологості не меншим і не дорівнює 45%, тоді система відразу завершує перевірку на високу вологість.

Останнім є комплекс перевірок на високі концентрації CO₂ та TVOC. Розпочинається він з перевірки, чи CO₂ вище ніж 1000ppm (блок 79), якщо так, тоді відбувається перевірка на стан реле вентиляції (блок 80), і якщо воно увімкнене, система завершує даний комплекс перевірок. Якщо ж реле у вимкненому стані, тоді відбувається увімкнення реле вентиляції (блок 81) та виводиться відповідне повідомлення (блок 82). Але якщо CO₂ нижче 1000ppm, тоді відбувається перевірка, чи TVOC нижче ніж 900ppb (блок 83). Якщо вище, то система переходить до блоку 80, знову перевіряє стан реле вентиляції, та за потреби вмикає його. Але якщо TVOC нижче ніж 900ppb, тоді відбувається перехід на перевірку, чи CO₂ нижче або дорівнює 700ppm (блок 84), і якщо так, тоді перевіряється, чи TVOC нижче або дорівнює 300ppb (блок 85). Якщо відповідь позитивна, тоді реле вентиляції вимикається (блок 86) і виводиться відповідне повідомлення (блок 87). Але якщо CO₂ не нижче і не дорівнює

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

700ppm, система не застосовує ніяких дій і завершує всі перевірки. Також якщо TVOC не нижче і не дорівнює 300ppb, система не застосовує ніяких дій і завершує всі перевірки, тим самим дає змогу вентиляції продовжувати покращувати ці параметри.

На цьому етапі функція керування мікрокліматом завершила всі перевірки та система завершує першу ітерацію нескінченного циклу роботи програми хабу системи контролю якості повітря.

3.4 Розробка програмного забезпечення для роботи монітору системи якості повітря

Відповідно до алгоритму роботи програми монітору системи якості повітря було розроблено програмне забезпечення. Для огляду додано основні блоки коду, які наведено в додатку Г.

1) Блок підключення бібліотек та ініціалізацій

В даному блоці коду виконується підключення усіх необхідних бібліотек, підключення та налаштування OLED-дисплею, датчиків температури та вологості і датчиків CO₂ та TVOC. Також ініціалізація усіх пінів та змінних.

2) Блок підключення до Wi-Fi та запуск сервера

В даному блоці відбувається підключення до Wi-Fi, включаючи усі перевірки та дії у разі невдалого підключення. Підключення супроводжується виводом важливої для користувача інформації на дисплей, та виведенням важливої інформації щодо статусів підключення в serial monitor для зручності розробника. Також відбувається запуск сервера для подальшого надсилання даних на хаб системи.

3) Блок автоматичного перепідключення до Wi-Fi

В даному блоці розпочинається нескінченний цикл, і спершу проводиться перевірка на наявність підключення до Wi-Fi. Такий функціонал

є дуже важливим для автоматизованих систем, бо у випадку його відсутності, при вимкненні світла чи збоях в роботі Wi-Fi, система вийде в офлайн, і користувачу прийдеться вручну перезавантажувати пристрій. Якщо підключення по будь-яким причинам відсутнє, раз на хвилину відбувається спроба перепідключення. Якщо вдалося відновити з'єднання з Wi-Fi, викликається функція обробки запитів клієнта, і система продовжує працювати. Статус всіх процесів та необхідна розробнику інформація виводиться в serial monitor.

4) Блок оцінки якості параметрів мікроклімату

В даному блоці відбувається оцінка параметрів мікроклімату завдяки умовам перевірки. Створено 3 основні стани.

Жахливий стан мікроклімату: параметри сильно виходять за норму, небезпечне для здоров'я середовище, виводиться сумний смайлик та індикатор загорається червоним кольором.

Поганий стан мікроклімату: параметри трохи виходять за норму, короткочасне перебування не вплине на здоров'я але умови не є комфортними, виводиться нейтральний смайлик та індикатор загорається синім кольором.

Гарний стан мікроклімату: всі параметри в нормі, повністю здорове та комфортне середовище, виводиться усміхнений смайлик та індикатор загорається зеленим кольором.

3.5 Розробка програмного забезпечення для роботи хабу системи якості повітря

Відповідно до алгоритму роботи програми хабу системи якості повітря було розроблено програмне забезпечення. Для огляду додано основні блоки коду, які наведено в додатку Д.

1) Блок підключення бібліотек та ініціалізації

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даному блоці відбувається підключення усіх необхідних бібліотек, ініціалізація пінів для реле та змінних.

2) Блок керування мікрокліматом

У даному блоці прописані всі перевірки та дії для забезпечення правильного керування мікрокліматом. Функція «`applyClimateControlLogic`» починає виконуватися, якщо дані було успішно отримано від монітору системи. Вона аналізує всі отримані параметри, та визначає, чи потрібно увімкнути якийсь прилад, чи навпаки, потрібно вимкнути. Логіка функції продумана так, щоб унеможливити увімкнення двох компліментарних виконавчих механізмів. Також ця функція визначає, чи повернулися певні параметри в норму, і якщо так, то вимикає потрібний виконавчих механізм, що свідчить про успішне коригування параметрів мікроклімату.

3) Блок обробки отриманих даних

В даному блоці відбувається обробка отриманих від монітору системи та від клієнта даних. Отримання та передача даних у веб-інтерфейс відбувається за технологією AJAX. Така технологія дозволяє оновлювати дані без перезавантаження веб-сторінки. Веб-сторінка у фоновому режимі надсилає запити на сервер і завантажує потрібні їй дані [42].

4) Блок налаштування та створення веб-сторінки

В даному блоці функція `handleRoot()` налаштовує та створює HTML сторінку з використанням JavaScript та стилів CSS. Така веб-сторінка має гарний вигляд завдяки стилям CSS, всі необхідні поля та написи завдяки HTML та швидке і зручне оновлення та передачу даних завдяки JavaScript. Також на веб сторінці реалізовані графіки для усіх чотирьох параметрів, які записують дані кожні 15 секунд, та очищуються кожні 30 хвилин. Таке рішення було вимушеним, оскільки без наявності зовнішнього сервера, всі дані зберігаються в пам'яті мікроконтролера.

5) Блок підключення до Wi-Fi та запуску сервера

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даному блоці відбувається підключення до Wi-Fi, з усіма потрібними перевірками та механізмом перепідключення. Після успішного підключення до Wi-Fi відбувається запуск сервера для отримання даних про бажану температуру від користувача.

б) Блок перепідключення до Wi-Fi та виклику функцій

В даному блоці розпочинається нескінченний цикл, тому в ньому реалізовано механізм перепідключення до Wi-Fi та виклик функцій, що оброблюють та оновлюють дані. Таке рішення забезпечить автоматичне підключення до Wi-Fi у випадку блекаутів, та дасть змогу постійно завантажувати оновлені дані.

3.6 Тестування роботи програмного забезпечення

Для тестування роботи програмного забезпечення буде достатньо підключити обидва пристрої до комп'ютера за допомогою Type-C кабеля та провести потрібні дослідження.

Перевірка на відповідність даних на моніторі системи і на сайті

Підключаємо обидва пристрої до живлення, та дивимось чи співпадають зібрані з датчиків параметри:



Рис. 21. Перевірка на відповідність даних

Бачимо, що дані монітору на лівому фото, співпадають з даними на сайті на 2 фото. А дані з монітору на 2 фото, співпадають з даними на сайті на 3

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

фото. Це свідчить про правильне функціонування системи, оскільки дані на моніторі оновлюються кожні 1,5 секунди, а підтягуються на сайт кожні 2 секунди. Такий час опитування було встановлено, для того, щоб з урахуванням затримки відправки та отримання даних, не було помилки про неактуальність даних.

Перевірка на правильність виконання логіки оцінки стану та керування мікрокліматом

Для виконання заданої перевірки, достатньо примусово змінити параметри мікроклімату.

Реакція системи на подих людини:



Рис. 22. Реакція монітору системи на подих людини

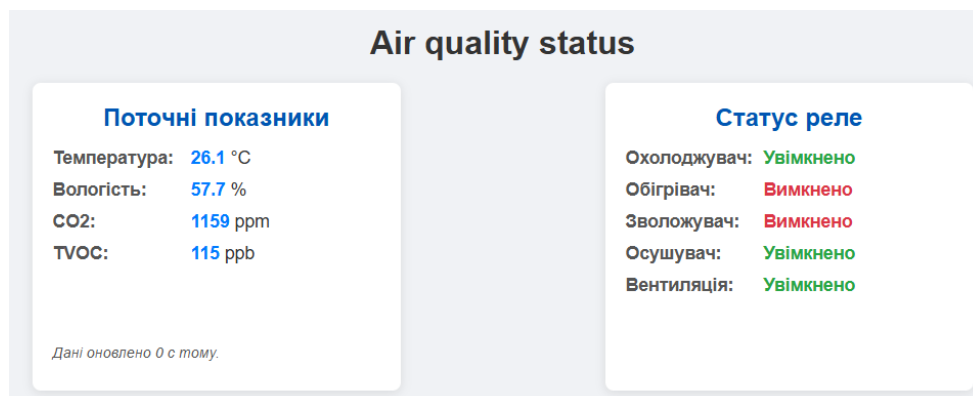


Рис. 23. Реакція хабу системи на подих людини

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

На рисунках 22 та 23 видно, що монітор вивів плоский смайлик та підсвітив індикатор синім кольором, оскільки CO₂ піднялося вище 1000 ppm. А хаб системи увімкнув реле вентиляції, осушувача та охолоджувача, оскільки CO₂ піднялося вище 1000 ppm, вологість піднімалася вище 60% але ще не опустилися до 45%, а температура перевищує 26 градусів.

Близький подих людини є достатньо сильним і комплексним чинником, оскільки викликає підвищення CO₂, вологості та температури.

Реакція системи пари спирту:



Рис. 24. Реакція монітору системи на пари спирту

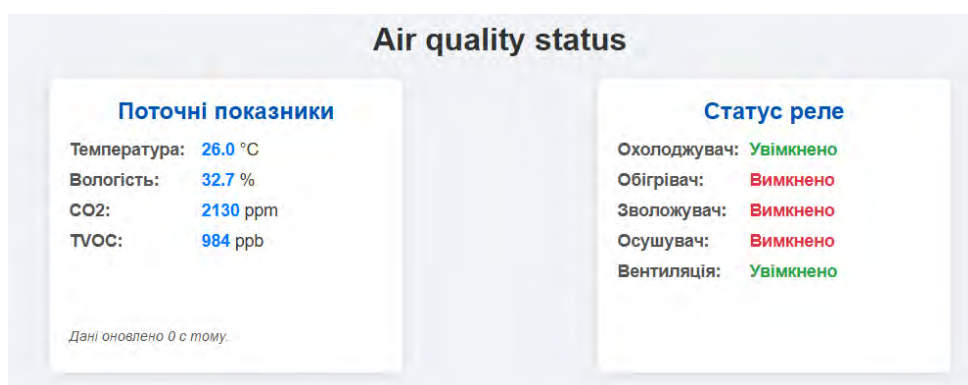


Рис. 25. Реакція хабу системи на пари спирту

На рисунках 24 та 25 видно, що датчики вловили високу дозу парів спирту, CO₂ та TVOC швидко вирости до 4039 ppm та 5001 ppb відповідно, тому монітор вивів сумний смайлик та засвітив індикатор червоним кольором.

Хаб також відреагував на таке збурення, тому увімкнув вентиляцію. Показники на моніторі та на сайті доволі різні, оскільки між фото монітору та знімком екрану сайту пройшло достатньо часу для того щоб пари спирту встигли відлетіти від чутливих елементів на датчиках.

Проаналізувавши реакцію системи на подих людини та на пари спирту, можна зробити висновок, що обидва прилади правильно виконують логіку аналізу та керування мікрокліматом.

Перевірка роботи веб-інтерфейсу та графіків

Air quality status

Поточні показники

Температура: 25.5 °C

Вологість: 32.8 %

CO₂: 410 ppm

TVOC: 1 ppb

Дані оновлено 0 с тому.

Статус реле

Охолоджувач: Вимкнено

Обігрівач: Увімкнено

Зволожувач: Вимкнено

Осушувач: Вимкнено

Вентиляція: Вимкнено

Налаштування температури

Бажана Т (°C):

Встановити Скинути (24°C)

Поточна ціль: 28.0 °C

Цільову температуру встановлено: 28°C

Рис. 26. Введення бажаної температури

При уведення бажаної користувачем температури, бачимо, що цільову температуру успішно змінено, і хаб системи прийняв рішення увімкнути обігрівач для досягнення мети.

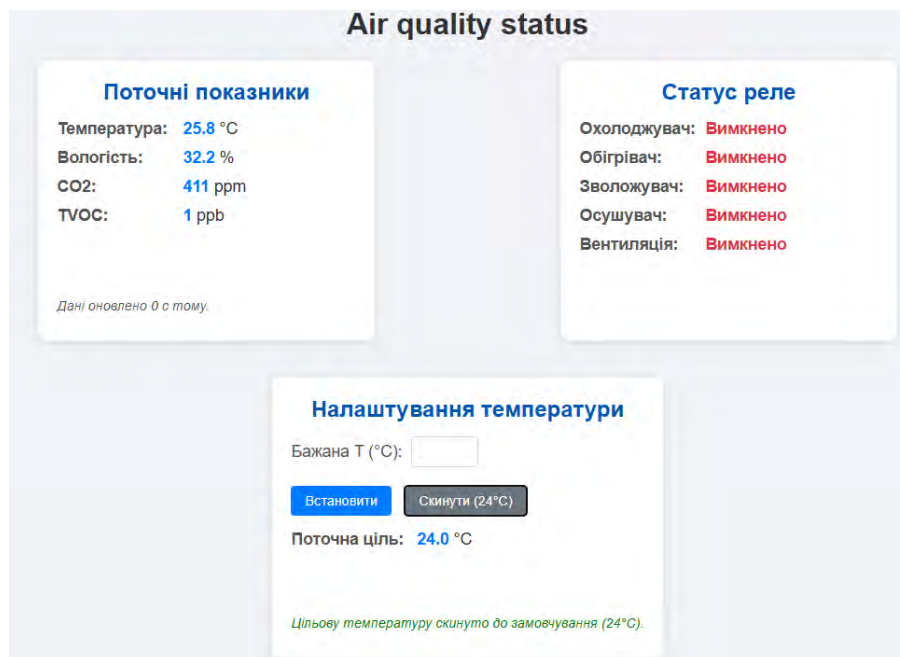


Рис. 27. Скидання цільової температури

При натисненні кнопки скидання цільової температури, видно, що вона температура була успішно скинута, а реле обігрівача вимкнено, оскільки поточна температура менше ніж на 2 градуси відрізняється від цільової.

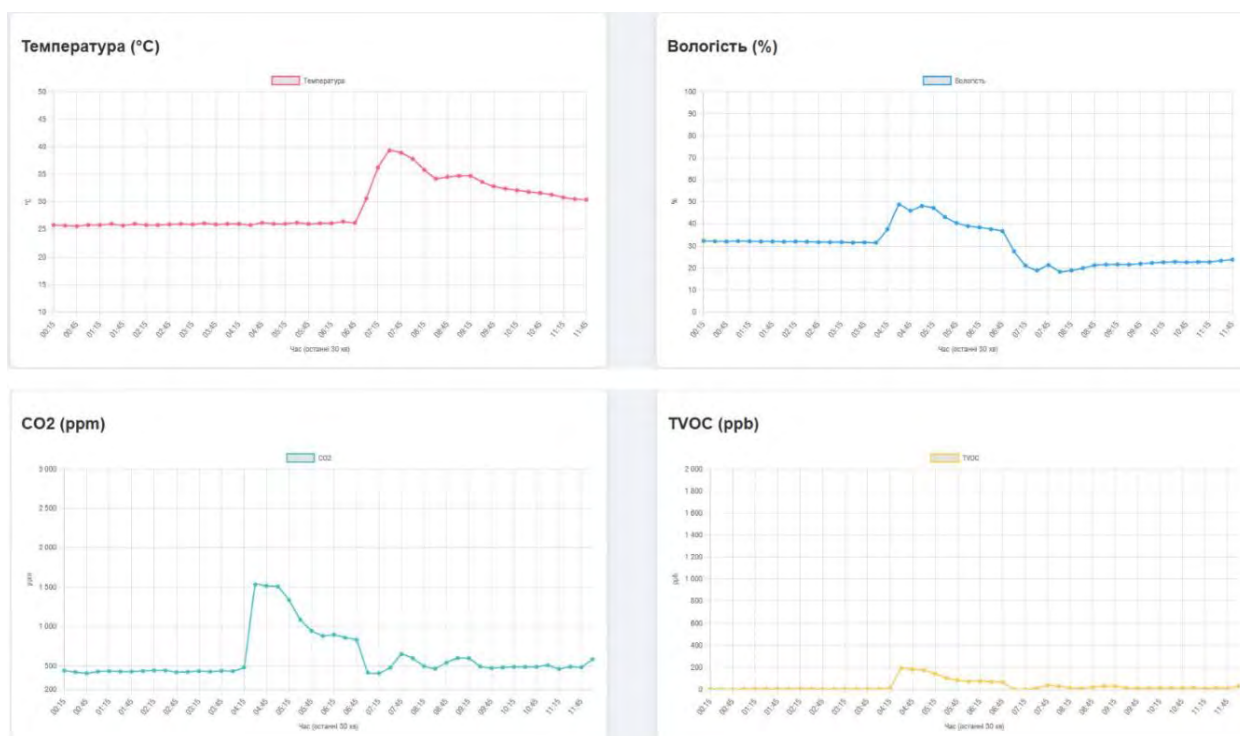


Рис. 28. Графіки усіх параметрів системи

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

На рис. 28 висвітлено графіки усіх чотирьох параметрів системи, дані в якій записано протягом певного часу застосування різних збурень на мікроклімат. Бачимо, що запис кожної точки відбувається кожні 15 секунд без пропусків, а під графіками висвітлено максимальний час збору даних (30 хв).

Проаналізувавши графіки, можна зробити висновок, що вони демонструють цілком правдиве відображення реального стану параметрів, і дані в них записуються та оновлюються коректно.

Розроблене програмне забезпечення успішно пройшло усі необхідні перевірки і може вважатися функціонально робочим.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі даної роботи було розроблено схеми підключення всіх компонентів монітору та хабу системи. На основі цих схем були зібрані макети пристроїв, які забезпечують функціональність системи та дають змогу протестувати її роботу в умовах, максимально наближених до реальних. При створенні макетів враховувалися вимоги до електричної безпеки, надійності з'єднань і зручності монтажу усіх компонентів у корпус.

Далі було розроблено ітераційні алгоритми роботи програмного забезпечення для обох пристроїв. Алгоритм роботи для монітору системи включає такі основні етапи: збирання даних із датчиків (температура, вологість, концентрація CO₂ і TVOC), передача цих даних до хабу системи через Wi-Fi, а також базова обробка інформації для оцінки стану мікроклімату та індикація отриманих результатів на OLED-дисплеї та світловому індикаторі.

Другий алгоритм, описує роботу хабу системи, а саме, реалізацію веб-сторінки, принцип отримання даних від монітору системи, та логіку керування параметрами мікроклімату для забезпечення найбільш оптимальних для людини умов.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

На основі розроблених алгоритмів було створено програмне забезпечення, яке охоплює всі функції системи. Програма для монітору забезпечує стабільний збір і передачу даних, а також локальну індикацію стану параметрів мікроклімату. Програмне забезпечення хабу системи реалізує прийом даних, виконання керувальних дій та взаємодію з користувачем через веб-інтерфейс. Веб-інтерфейс дозволяє користувачу в реальному часі переглядати поточний стан параметрів мікроклімату, аналізувати історичні дані у вигляді графіків і задавати бажану температуру для комфортного середовища.

На етапі тестування проведено перевірку роботи програмного забезпечення, злагодженості взаємодії компонентів системи та стабільності обміну даними в інтегрованому середовищі. Особливу увагу було приділено перевірці роботи системи в умовах підвищених і знижених значень параметрів мікроклімату для оцінки її здатності реагувати на збурення та коригувати їх. Отримані результати підтвердили відповідність роботи системи технічним вимогам, а також її здатність ефективно моніторити та регулювати параметри мікроклімату у приміщенні.

Загалом, виконані у цьому розділі розробка та тестування програмного забезпечення підтвердили коректність реалізації технічних рішень і життєздатність обраного підходу. Система продемонструвала високу ефективність і стабільність роботи, що дозволяє рекомендувати її для впровадження з метою забезпечення комфортного та безпечного мікроклімату в житлових або робочих приміщеннях.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСІВ ПРИСТРОЇВ

4.1 Розташування компонентів

Розташування елементів в корпусі визначають його розміри, спосіб його збірки та способи кріплення складових корпусу. Також наявність чутливих чи специфічних елементів створюють особливі вимоги до функціональних елементів в конструкції корпусу.

У випадку застосування датчика якості повітря, з'являються вимоги до його розташування – датчик має бути розташований на певній відстані від усіх елементів, які можуть нагріватися при роботі. Також корпус повинен мати спеціальні вентиляційні отвори для безперешкодного проходження повітря всередину приладу.

Також, свої вимоги має сенсорний датчик дотику. Його потрібно встановлювати на певній відстані (1-2 мм) від стінки корпусу, для того, щоб уникнути хибних спрацювань чи постійної активації сенсору стінкою корпусу.

Плати розробника також мають розташовуватись на певній відстані від корпусу, оскільки пластиковий корпус має погану теплопровідність, тому у випадку торкання платою корпусу, вона може перегріватися. Також при недостатній відстані від плати до корпусу, теплове випромінювання з плати може спричинити пошкодження корпусу. Окрім цих аспектів, також варто врахувати необхідність залишити отвір для живлення мікроконтролера, попередньо обдумавши його зручне місцерозташування на корпусі.

Розташування світлового індикатора повинно відбуватися так, щоб світло з нього, не потрапляло в корпус. Також варто зауважити, що RGB діоди мають розташовуватись на достатній відстані від отвору для виводу світла, оскільки світло з усіх трьох каналів має встигнути змішатися в один однотонний колір.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисплей потрібно розташувати так, щоб мінімізувати можливість його пошкодження у ході експлуатації. Також для забезпечення найкращого користувацького досвіду, варто встановлювати дисплей так, щоб між екраном та корпусом не було видно щілей. Екран дисплею має проглядатися з якомога більшого діапазону кутів.

Також при розташуванні елементів в корпусі варто врахувати, що його збірка має бути як можна простішою. Всі компоненти, шлейфи, кріпильні елементи та складові корпусу мають встановлюватися з виконанням як можна меншої кількості рухів. Реалізація такої вимоги забезпечить високу продуктивність на лінії виробництва під час збірки пристрою.

4.2 Розробка дизайну та конструктиву корпусу монітора системи

Дизайн – це одна з найважливіших характеристик будь-якого продукту, що впливає на його попит. Люди спершу оцінюють все по зовнішньому вигляду, а вже потім, якщо дизайн приладу сподобався, дивляться на його технічні характеристики, ціну та інші аспекти.

Дизайн пристрою має відповідати усім сучасним тенденціям і водночас забезпечувати реалізацію всіх технічних вимог та задумок. Також важливо враховувати вимоги цільового користувача та сферу застосування пристрою, тому що «обкладинка» має також відображати сенс пристрою, має натякати, для чого був створений цей пристрій та які функції він має.

Проаналізовані в першому розділі існуючі рішення, показують, що пристрій на дану тематику повинен бути простої форми, із заокругленими, гладкими краями, та натякати своєю формою на чистоту та безпеку.

Зважаючи на всі ці вимоги було розроблено наступний прототип дизайну монітору системи:

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 29. Дизайн розроблюваного монітору якості повітря

В дизайні індикатору проглядається силует вентиляції – тобто символ чистоти та свіжості. Всі краї корпусу заокруглені та гладкі, що символізує безпеку та комфорт. Зона для торкання пальцем виділена круглою виїмкою, щоб користувач міг навіть без інструкції зрозуміти як взаємодіяти з пристроєм.

Окрім дизайну також необхідно продумати всі конструктивні елементи.

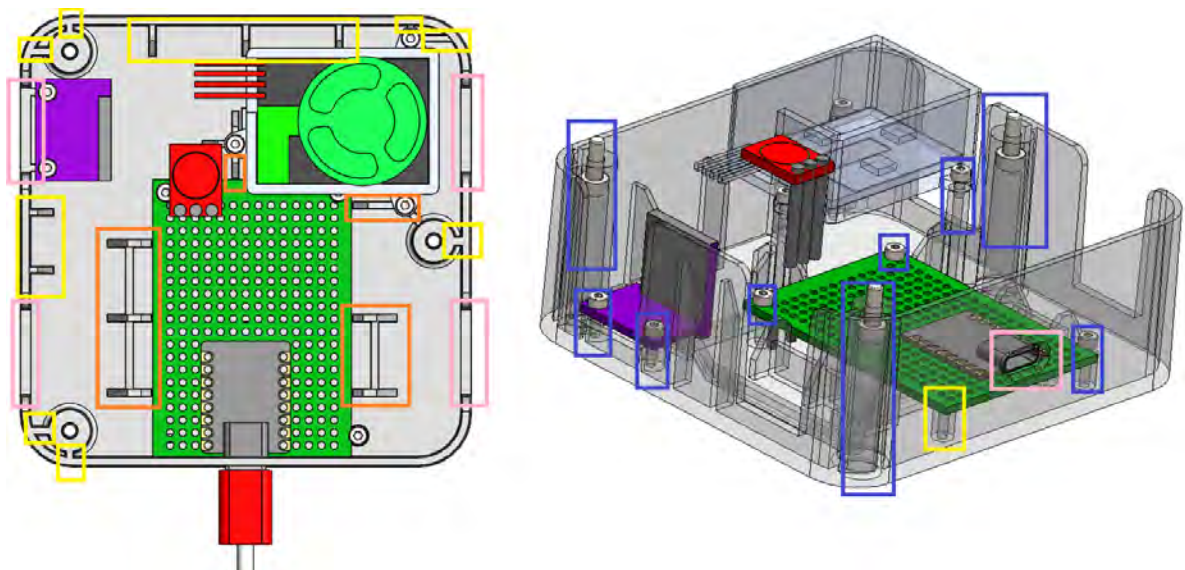


Рис. 30. Конструкційні елементи на задній частині корпусу

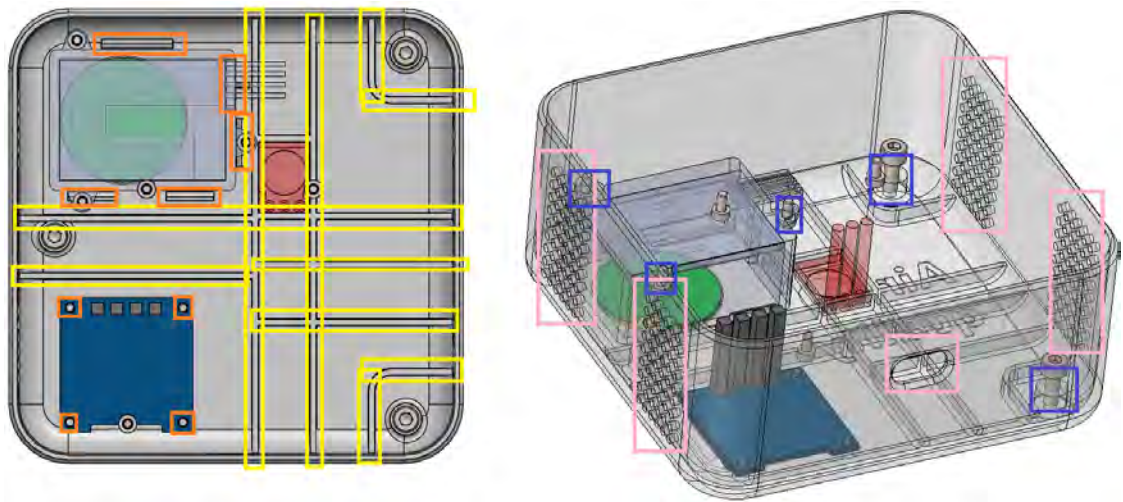


Рис. 31. Конструкційні елементи на передній частині корпусу

На рис. 30 та рис. 31 кольоровими прямокутниками виділено всі основні конструкційні елементи.

- Жовтий колір – підсилюючі ребра жорсткості для зміцнення корпусу.
- Помаранчевий колір – направляючі ребра для правильного та надійного встановлення компонентів.
- Синій колір – місця для гвинтового кріплення.
- Рожевий колір – технологічні отвори.

Також для кріплення на стіну було розроблено наступну деталь:

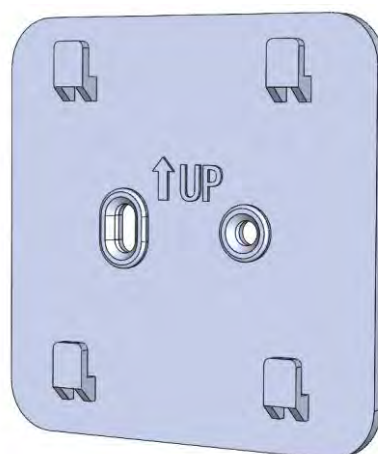


Рис. 32. Кронштейн для кріплення на стіну

Даний кронштейн є універсальним для обох пристроїв, що значно спростить та виробництво корпусів для даної системи. Такий кронштейн кріпиться до стіни двома самонарізальними шурупами з дюбелями. Лівий отвір під шуруп, навмисне зроблений ширшим, щоб користувач міг відрегулювати рівень, у випадку, якщо отвори в стіні під самонарізи були просвердлені не ідеально рівно.

Відповідний елемент для кріплення на задній кришці корпусу, який теж є універсальним на обох пристроях, виглядає наступним чином:

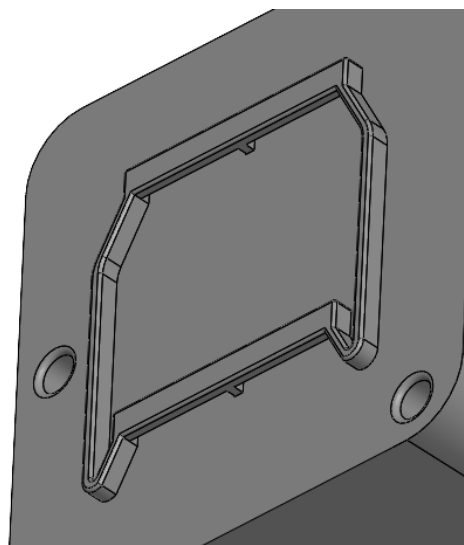


Рис. 33. Кріпильний елемент на задній кришці корпусу

Така специфічна форма дозволяє зацепам кронштейну легше попадати у відповідні пази, що значно покращує користувацький досвід при встановленні системи.

4.3 Розробка дизайну та конструктиву корпусу хабу системи

Дизайн хабу системи має бути схожим на дизайн монітору системи, оскільки ці пристрої входять в одну автоматизовану систему, тому мають доповнювати одне одного і виглядати відповідно.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

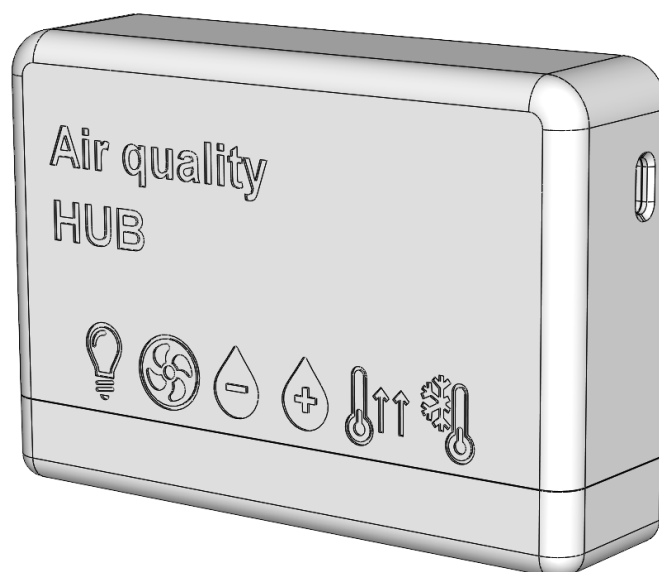


Рис. 34. Дизайн розроблюваного хабу керування якістю повітря

Ключовими особливостями дизайну цього приладу, є інтуїтивно-зрозумілі піктограми на передній частині корпусу, завдяки яким користувач навіть без інструкції зможе зрозуміти призначення кожного реле.

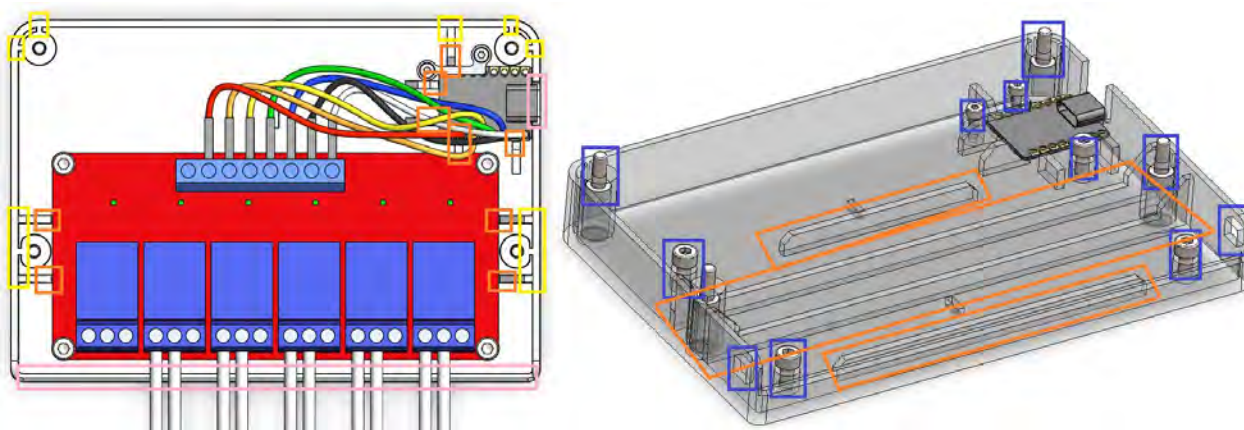


Рис. 35. Конструкційні елементи задньої частини корпусу

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

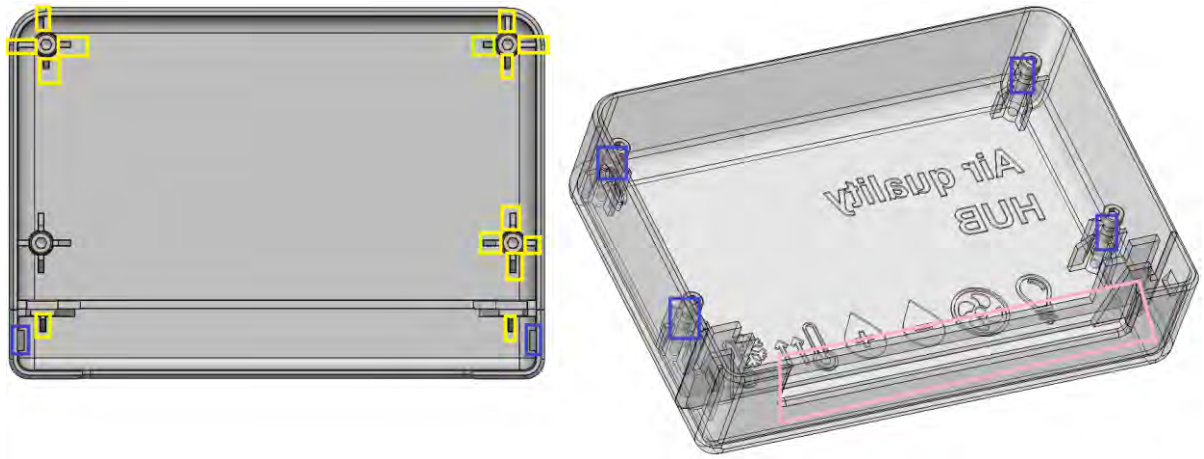


Рис. 36. Конструкційні елементи передньої частини корпусу

На рис. 35 та рис. 36 кольоровими прямокутниками виділено всі основні конструкційні елементи.

- Жовтий колір – підсилюючі ребра жорсткості для зміцнення корпусу.
- Помаранчевий колір – направляючі ребра для правильного та надійного встановлення компонентів.
- Синій колір – кріпильні елементи.
- Рожевий колір – технологічні отвори.

Також одною з функціональних особливостей цього корпусу, є знімна частина передньої кришки для доступу до контактів реле. На рис. 37 зображено збірку корпусу без знімної частини і саму знімну частину.

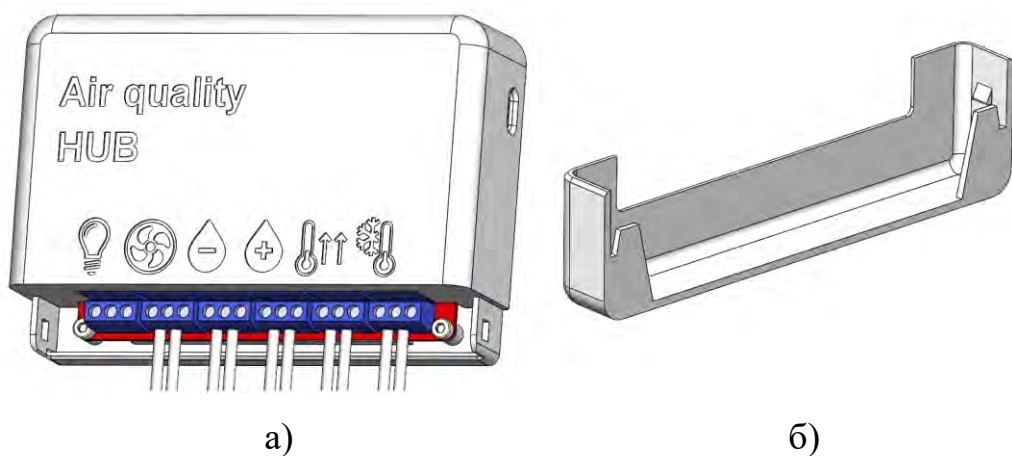


Рис. 37. а) Корпус приладу без знімної частини, б) знімна частина

Знімна частина кріпиться на защіпках, що дозволяє користувачу легко зняти її без застосування будь-яких інструментів.

4.4 Прототипування корпусів

Для прототипування корпусів було прийнято рішення використовувати 3D-друк. Технології 3D-друку в сучасному світі є одними з найбільш дешевих та простих способів виготовлення досить якісного прототипу різних деталей.

В даний час існує три основних технології 3D друку які набули найбільшої популярності серед інженерів:

1. FDM – формування виробу з розплавленого пластику, шляхом нанесення його на платформу(стіл) шар за шаром.
2. SLA – формування виробу завдяки вибіркового засвіченню ультрафіолетовим випроміненням фотополімерної смоли в резервуарі.
3. SLS – формування виробу шляхом селективного лазерного спікання порошкового пластику у спеціальній камері.

Серед перелічених, найбільш дешевий та безпечний спосіб виготовити деталь – FDM друк з використанням PLA пластику.

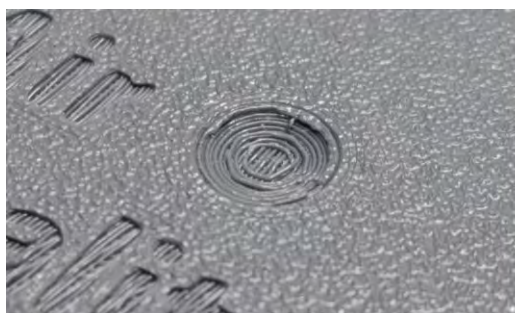


Рис. 38. Процес виготовлення деталей для хабу системи

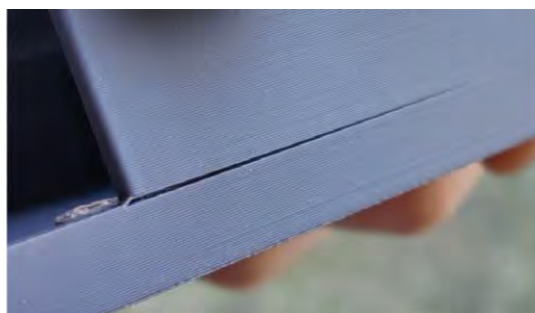
					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Саме цим способом були виготовленні корпуси для монітору та хабу автоматизованої системи керування мікрокліматом.

Єдиними суттєвими недолікам даної технології друку є необхідність у підтримках для уникнення провисання пластикових ниток у процесі друку та пошарова структура виробу. Підтримки, за правильного налаштування, хоч і легко відриваються, але на місцях де вони були, залишаються неоднорідні сліди. А от пошарова структура стає великою проблемою у випадку виготовлення деталі, на яку йде навантаження, оскільки виріб дуже легко йде на залам по шарам. На рис. 39 зображені дефект спричинений підтримками та тріщина на корпусі вздовж шарів.



а)



б)

Рис. 39. а) дефект спричинений підтримками, б) тріщина вздовж шарів

Також через велику товщину шарів (0,2 – 0,4 мм), FDM технологією друку неможливо виготовити прозору деталь, оскільки шари будуть сильно переломлювати світло і деталь буде виглядати дуже неоднорідною.



Рис. 40. Деталь з прозорого філаменту

Для того щоб RGB діоди не сліпили користувача напрямленим променем, необхідно виготовити розсіювач, який забезпечить як рівномірне змішування кольорів світіння, так і рівномірне розподілення світла по отвору для індикації. Для такого випадку чудово підійде технологія SLA-друку.

Завдяки тому, що технологія SLA-друку дозволяє друкувати шаром від 25 до 100 мікрон, на виготовлених нею прозорих деталях майже непомітно шарів, через що промені світла майже не переломлюються в ній. Але все ж таки задачею є виготовити розсіювач, тому в прозору смолу було додано невелику кількість білої смоли, щоб світло розсіювалося краще.



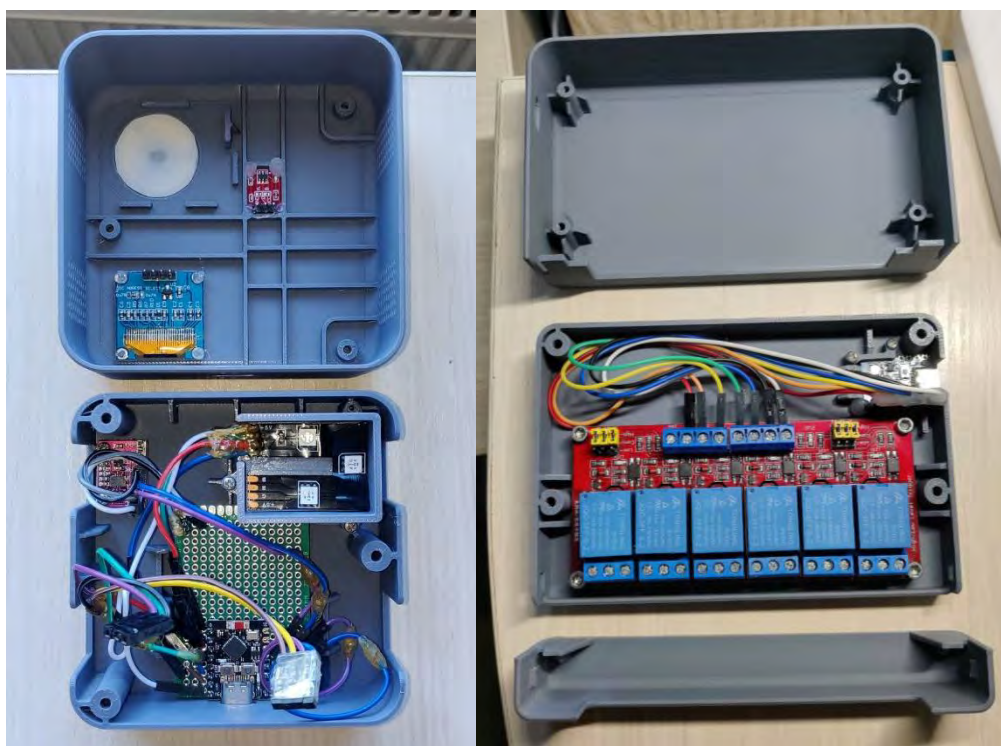
Рис. 41. Світловоди-розсіювачі виготовлені SLA технологією друку

На рис. 41 видно, що ця технологія також має підтримки, але суттєвою відмінністю від підтримок FDM технології є те, що вони тримають деталь щоб вона не відпала, а не для того щоб вона не провисала, оскільки при друк із застосуванням SLA технології відбувається в перевернутому стані, тобто стіл знаходиться над деталлю а не під нею.

Після виготовлення всіх деталей та їхньої постобробки, можна повністю зібрати прототипи обох пристроїв:



Рис. 42. Зібрані прототипи обох пристроїв



а)

б)

Рис. 43. а) розібраний монітор якості повітря, б) розібраний хаб керування

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Висновки до розділу 4

В даному розділі було проаналізовано вимоги розташування та кріплення всіх компонентів системи, та на основі цих вимог, розроблено дизайн та конструктив корпусів для монітору та хабу системи.

Розробка корпусів розпочалася з підготовки 3D-моделей, які включали всі необхідні елементи для забезпечення надійного монтажу та зручної експлуатації. Ці моделі враховували особливості розташування електронних компонентів, місця для кріплень і монтажу додаткових елементів. Після завершення етапу моделювання було розпочато прототипування корпусів із використанням сучасних технологій 3D-друку.

Для виготовлення основних частин корпусів, таких як кришки та кріплення, було обрано технологію FDM (fused deposition modeling). Цей метод дозволяє швидко та якісно створювати пластикові вироби з PLA пластику, який є екологічно чистим, нетоксичним, має привабливий зовнішній вигляд і достатню механічну міцність для побутового використання. Отримані вироби мають гладку поверхню та є стійкими до механічних навантажень.

Для світловода-розсіювача, який є ключовим елементом для забезпеченні якісної індикації, була обрана технологія SLA (stereolithography apparatus). Завдяки високій точності цієї технології вдалося досягти майже ідеальної прозорості деталі, що необхідно для правильного розсіювання світла. Крім того, деталі, виготовлені цим методом, виглядають так, ніби вони були створені методом лиття під тиском, що надає їм вигляд продукту масового виробництва.

Процес розробки корпусів включав комплексний підхід – від аналізу вимог і створення 3D-моделей до вибору оптимальних технологій виготовлення та прототипування. Кожен етап був спрямований на досягнення високої якості та функціональності готових виробів, що забезпечує їх ефективну експлуатацію та естетично гарний вигляд.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі було розроблено та виготовлено прототип системи автоматизованого керування мікрокліматом, яка забезпечує моніторинг та контроль параметрів повітря в приміщенні, важливих для комфорту та здоров'я людини.

У першому розділі роботи проведено детальний аналітичний огляд літератури, наукових статей та нормативних документів, які стосуються мікроклімату в приміщеннях. Це дало змогу зібрати повну інформацію про вплив таких параметрів, як температура, вологість, концентрація вуглекислого газу (CO₂) і летких органічних сполук (TVOC), на фізичне і психічне здоров'я людини. Було також визначено оптимальні та граничні значення цих параметрів для забезпечення комфортного середовища. Також було розглянуто фізичні принципи вимірювання основних параметрів мікроклімату, що дало змогу глибше зрозуміти особливості роботи сучасних датчиків. Завдяки проведеному аналізу існуючих технічних рішень у цій сфері, було сформовано чітке технічне завдання для автоматизованої системи керування мікрокліматом, яке стало основою для подальшої розробки.

У другому розділі роботи виконано розробку концепції системи автоматизованого керування мікрокліматом і підібрано всі необхідні компоненти. Проведений аналіз можливостей автоматизації дозволив визначити ключові регульовані параметри, можливі збурення, а також дії керування в різних ситуаціях. На основі цього було обрано відповідні сенсори, мікроконтролери, реле та інші елементи, які забезпечують реалізацію функцій системи. Особливу увагу приділено надійності елементної бази, мінімізації енергоспоживання, а також можливостям взаємодії між компонентами використовуючи бездротові технології.

У третьому розділі виконано розробку електричних схем для кожного з пристроїв системи: монітору та хабу системи. На основі цих схем було зібрано

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

макети пристроїв, які забезпечують повну функціональність системи. Наступним кроком було розроблено алгоритми роботи для монітору і хабу системи, що враховують реалізацію усіх необхідних функцій та забезпечують передачу даних між описаними пристроями. На основі розроблених алгоритмів було створено програмне забезпечення, яке забезпечує злагоджену роботу всіх елементів системи. Програма для монітору відповідає за збір і відображення даних з датчиків, тоді як програмне забезпечення хабу системи виконує функції аналізу даних і керування виконавчими механізмами, які регулюють параметри мікроклімату.

Четвертий розділ присвячений проектуванню та виготовленню корпусів для пристроїв системи. Було враховано всі вимоги, пов'язані з розміщенням електронних компонентів, забезпеченням достатньої кількості функціональних отворів та зручного доступу для монтажу компонентів. Для прототипування корпусів було використано сучасні технології 3D-друку: технологію FDM для основних частин корпусу та технологію SLA для виготовлення світловода-розсіювача. Завдяки цьому, виготовлені корпуси мають естетично привабливий вигляд, достатню міцність та повну функціональність.

Розроблений у цій роботі прототип системи автоматизованого керування мікрокліматом в приміщенні повністю готовий до використання в реальних умовах. Прототип системи дозволяє швидко та точно вимірювати параметри мікроклімату, обробляти виміряні значення, виводити дані про ці параметри на дисплей монітору системи та у веб-інтерфейс, і також автоматично керувати виконавчими механізмами для корекції усіх проаналізованих параметрів мікроклімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. United States Environmental Protection Agency, 2025 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/improving-your-indoor-environment>.
2. Довбиш І. О. Силові установки та джерела енергії сучасних БПЛА / І.О. Довбиш, О.В. Муравйов, Р.М. Галаган, Г.А. Богдан, А.С. Момот // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2023. – Том. 34 (73). – № 5. – С. 16-21.
3. Муравйов О. В. Перспективи розвитку технологій та підвищення рівня автономності БПЛА / О.В. Муравйов, І.О. Довбиш, Р.М. Галаган, Г.А. Богдан, А.С. Момот // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2023. – Том. 34 (73). – № 2. – С. 199-205.
4. Муравьев А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьев // TRENDS OF MODERN SCIENCE. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.
5. Акіменко В.Я., Національна академія медичних наук України [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://health.gov.ua/activity/scientific-educational-activity/co2-influence-on-health/>.
6. United States Environmental Protection Agency, 2024 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality#Health_Effects.
7. Основи охорони праці: Підручник. 3-тє видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк, Ю. О. Полукаров, Т. Є. Луц. За ред. К. Н. Ткачука. – К. : Основа, 2014. – 456 с.
8. Консультація щодо рекомендацій щодо якості повітря в житлових приміщеннях щодо вуглекислого газу, води та якості повітря, Бюро

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

охорони здоров'я Канади, 2020 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://www.canada.ca/en/health-canada/programs/consultation-residential-indoor-air-quality-guidelines-carbon-dioxide/document.html>.

9. Моніторинг CO₂ та якість повітря в приміщенні, журнал REHVA, 2021 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/co2-monitoring-and-indoor-air-quality>.
10. Кучеренко О. К. Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Тягур // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – вип. №5. – С. 114-117.
11. Муравйов О. В. Сучасний стан та перспективи розвитку адитивних технологій / О. В. Муравйов, Ю. М. Нижник, В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов, К. М. Сєрий // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – Том 32 (71), №5. – С. 114-119.
12. Кучеренко О.К. Методы пассивной атермализации и ахроматизации двухкомпонентных оптических систем / О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. – 2012. – вип. № 43. – С. 46–53.
13. Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична інженерія. – 2017. – №5. – С. 66–67.
14. Тягур В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В. М. Тягур, А. В. Муравьев, О. К. Кучеренко // Оптический журнал. – 2014. – том 81. – вип. №4. – С. 42-47.
15. Муравьев А.В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов / А.В. Муравьев, О.К. Кучеренко // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 32–37.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Кучеренко О.К. Вплив температури на абераційні властивості ІЧ об'єктивів / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, Д.О. Остапенко. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1. – С. 99-105.
17. Живкович А. В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры / А. В. Живкович, А. В. Муравьев // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований - 2020», 07-15 июля 2020, Пшемысль, Польша. – *Przemysł : Nauka i studia*, 2020. – Том. 7. – С. 110-115.
18. Сіренко Г. О. Теплофізичні властивості металів та сплавів : монографія / Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський, Л. В. Базюк ; за ред. Г.О. Сіренко. – Івано-Франківськ : Супрун В.П., 2015. – 230 с.
19. Технології теплового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с. – режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/5dc25f9c-ac5d-4d3d-96da-473563b48324/content>.
20. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник. – Київ: Світ, 2003. – 288 с.
21. Petryk V.F.; Protasov, A.G.; Galagan, R.M.; Muraviov, A.V.; Lysenko, I.I. Smartphone-Based Automated Non-Destructive Testing Devices. *Devices Methods Meas.* 2020, 11, 272–278.
22. Муравйов О. В. Компенсація терморозфокусування оптичної системи тепловізора та перспективи його використання в медичній діагностиці / О. В. Муравйов, О. О. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2017. – вип. №1. – С. 124-131.
23. MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology, E. H. Nicollian, J. R. Brews, 2003 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу:

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

https://books.google.com.ua/books?hl=ru&lr=&id=IgUVEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Metal+Oxide+Semiconductor&ots=VhtZ3uMqO5&sig=QzdFKwIZnC8BLTOvcgpVRwg5LeI&redir_esc=y#v=onepage&q=Metal%20Oxide%20Semiconductor&f=false.

24. Термостат настінний Nest Learning Thermostat Gen3 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://neosmart.com.ua/umnoe-upravlenie-klimatom-uk/umnye-termostaty-uk/nastennye-termostaty-uk/termostat-nastennyu-nest-learning-thermostat-gen3-amerikanskaya-versiya-uk.html>.
25. Монітор якості повітря Airthings Wave Plus [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://www.airthings.com/en/wave-plus>.
26. Монітор якості повітря Awair Elemint [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://uk.getawair.com/products/element>.
27. Розумний датчик якості повітря LifeQuality Jeweller [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://ajax.systems/ua/products/lifequality/>.
28. Сторожик Д. В. Автоматизація процесу теплового неруйнівного контролю шляхом застосування методу комплексування термограм / Д. В. Сторожик, А. Г. Протасов, О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Д. В. Петренко // Техн. діагностика та неруйнівний контроль. – 2022. – №2. – С. 20-23.
29. Муравйов О. В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лисенко, Г. А. Богдан, А. В. Наконечна // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2022. – №1. – С. 47-53.
30. Лукінюк М.В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами / Лукінюк М. В. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 336 с.
31. HDC1080 - Цифровий датчик вологості 3В [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://1wire.com.ua/hdc1080-cifrovoj-datchik-vlazhnosti-i2c.html>.
32. Модуль датчиків якості повітря CCS811 + HDC1080 (CO₂+VOCs) [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу:

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://arduino.ua/prod4106-modyl-datchikov-kachestva-vozdyha-ccs811--hdc1080-co2vocs>.

33. Даташит датчика CO2 та TVOC CCS811 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/files/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf.
34. Даташит датчика вологості та температури HDC1080 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/files/hdc1080.pdf>.
35. Плата розробника ESP32-C3 Type-C [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod6618-mikroplata-esp32-c3-type-c-12-gpio>.
36. Даташит мікроконтролерів серії ESP32-C3 [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf.
37. Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: 94 71 матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.
38. OLED дисплей 0.96" [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod1263-oled-displei-modyl-belii>.
39. Твердотільне реле 2A/240В G3MB-202P (5V) [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod1814-tverdotilne-rele-2a240v-g3mb-202p-5v>.
40. Модуль реле 6-канальний (низький/високий рівень) [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://arduinokit.com.ua/ua/p2195227817-modul-rele-kanalnyj.html>.
41. Сенсорний датчик TTP223 TOUCH KEY [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod264-ttp223-touch-key-sensornii-datchik-dlya-arduino>.

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

42. Технологія передачі даних AJAX [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AJAX>.
43. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.
44. Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
45. Enhancing neural network efficiency in automated image analysis for thermal nondestructive testing / D. Storozhyk, A Protasov, Y. Kuts, O. Muraviov, I. Lysenko, Y. Mirchev // Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Sofia, Vol.54 (2024) pp. 242-252

					ПК 1119.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		