

**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

_____ 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 контролю якості повітря в офісному
приміщенні»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПМ-11

Юша Володимир Ігорович _____

Керівник:

асистент. каф. АСНК

Самборська В. В. _____

Рецензент:

д.т.н. доцент, проф. каф. ІВТ

Шевченко Костянтин Леонідович _____

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	ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Пояснювальна записка	79	
3	A1	ДПБ ПМ11.15.000 Е1	Структурна схема системи контролю якості повітря в офісному приміщенні	1	
4	A1	ДПБ ПМ11.15.000 Е2	Принципова схема системи контролю якості повітря в офісному приміщенні	1	
5	A1	ДПБ ПМ11.15.000 Е3	Електрична принципова схема системи контролю якості повітря в офісному приміщенні	1	
6	A1	ДПБ ПМ11.15.000	Блок-схема алгоритму роботи системи контролю якості повітря в офісному приміщенні	1	

				<i>ДПБ ПМ11.15.000</i>		
	ПДБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Юша В.І.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Самборська В.В.				1	1
Консульт.					КП ім. Ігоря Сікорського Гр. ПМ-11	
Н/контр.						
В.о. зав.каф.	Богдан Г.А.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система контролю якості
повітря в офісному 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

_____ Галина БОГДАН

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Юші Володимир Ігоровичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система контролю якості повітря в офісному приміщенні», керівник проєкту, затверджені наказом по університету від « 26 » _____ травня _____ 2025 р. № _____ 1765-с _____
2. Термін подання студентом проєкту: « 13 » _____ червня 2025р. _____
3. Вихідні дані до проєкту: Розробити та описати автоматизовану системи контролю параметрів якості повітря в приміщенні. Системи повинна реалізовувати наступний функціонал: вимірювання параметру температури; вимірювання показника відносної вологості; виявлення вмісту та концентрації шкідливих газів; виявлення вмісту та концентрації пилових частинок; вимірювання показника освітлення для забезпечення контролю мікроклімату у цілому. _____
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1 – Автоматизація у сфері контролю параметрів. Якість повітря в офісному приміщенні; Розділ 2 – Принцип роботи системи контролю якості повітря. Розробка структурної схеми системи; Розділ 3 – Вибір модулів системи контролю якості повітря.

Розробка електричної принципової схеми; Розділ 4 – Розробка алгоритму роботи системи контролю якості повітря в приміщенні; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Структурна схема системи контролю якості повітря в офісному приміщенні - ф. А1; Принципова схема системи контролю якості повітря в офісному приміщенні - ф. А1; Електрична принципова схема системи контролю якості повітря в офісному приміщенні - ф. А1; Блок-схема алгоритму роботи системи контролю якості повітря в офісному приміщенні - ф. А1.

6. Дата видачі завдання « 26 » березня 2025р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Отримання завдання на виконання	26.03.25	
2	Аналіз джерел. Розгляд питання автоматизації та структури автоматизованих систем	10.03.25	
3	Дослідити стандарти та вимоги щодо контролю параметрів якості повітря в приміщеннях різного типу	15.03.25	
4	Розробити та описати загальний принцип роботи автоматизованої системи контролю якості повітря	25.03.25	
5	Розробити структурну схему системи	05.04.25	
6	Розробити принципову схему системи	15.04.25	
7	Провести аналіз складових системи та їх параметрів	25.04.25	
8	Розробити електричну принципову схему системи	5.05.25	
9	Розробити алгоритм роботи автоматизованої системи керування якістю повітря в приміщенні	12.05.25	
10	Побудувати блок-схему алгоритму роботи системи	20.05.25	

Студент

Володимир ЮША

Керівник

Самборська В. В.

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт складається з наступних частин: вступ; чотири розділи основної частини; загальні висновки до роботи; список посилань на використані літературні джерела. Містить у складі 79 сторінок основного тексту роботи, 29 рисунків, 1 порівняльну таблицю, а також 15 літературних джерел.

Метою цього дипломного проєкту є розробка автоматизованої системи, що здатна забезпечити безперервний моніторинг стану повітря в офісному приміщенні, а також дозволить виявляти відхилення від допустимих значень та матиме технічні можливості впливу на якість повітря для його покращення та стабільної підтримки.

Для досягнення мети дипломного проєкту було поставлено ряд наступних завдань:

- визначення поняття автоматизації та системи автоматизованого контролю;
- визначення особливостей контролю якості повітря та загальноприйняті норми, дотримання яких встановлено на державному рівні у системі охорони праці;
- проведення аналізу існуючих систем контролю та моніторингу якості повітря для визначення ключових властивостей систем контролю якості повітря;
- розробка принципу роботи системи, розробка принципової та структурної схеми системи;
- вибір складових елементів системи, а також виконання розробки електричної принципової схеми;
- розгляд питань розробки системного програмного забезпечення з подальшою розробкою алгоритму роботи системи;
- висновки.

Ключові слова: автоматизація процесів, система моніторингу, автоматизована система, контроль якості повітря, контроль мікроклімату, аналіз якості повітря в приміщенні

ABSTRACT

The diploma project consists of the following parts: introduction; four main chapters; general conclusions; and a list of references. The project includes 79 pages of main text, 29 figures, 1 comparative table, and 15 literature sources.

The aim of this diploma project is to develop an automated system capable of providing continuous monitoring of air quality in an office environment. The system is also designed to detect deviations from acceptable values and to have the technical capability to influence air quality in order to improve and maintain it at a stable level.

To achieve the goal of the diploma project, the following tasks were set:

- define the concept of automation and automated control systems;
- identify the features of air quality control and the generally accepted standards established at the state level within the occupational safety system;
- analyze existing air quality monitoring and control systems to determine key features of such systems;
- develop the operational principle of the system, and design the schematic and structural diagrams;
- select system components and develop the electrical schematic diagram;
- explore the development of system software and design the operational algorithm of the system;
- draw conclusions.

Keywords: process automation, monitoring system, automated system, air quality control, microclimate control, indoor air quality analysis

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1. АВТОМАТИЗАЦІЯ У СФЕРІ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ.	
ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕННІ.....	12
1.1. Загальні питання автоматизації. Принцип застосування автоматизації.....	12
1.2. Якість повітря. Вимоги та санітарні норми до якості повітря в офісних приміщеннях.....	16
1.3. Аналіз реалізованих систем. Огляд джерел.....	19
1.4. Мета та актуальність. Завдання до роботи.....	22
1.5. Висновки розділу 1.....	23
2 ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ. РОЗРОБКА СТРУКТУРАНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ.....	24
2.1. Формування принципу роботи системи. Визначення переліку ключових функціональних можливостей.....	24
2.2. Розробка та опис структурної схеми системи.....	26
2.3. Висновки розділу 2.....	32
3. ВИБІР МОДУЛІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ.	
РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	33
3.1. Опис структури модулів вимірювальної системи.....	33
3.2. Опис центральної системи керування та ядра модулів.....	44
3.3. Опис блоку введення та виведення інформації.....	49
3.4. Розробка загальної електричної схеми системи.....	53
3.5. Визначення показників споживаної потужності окремих модулів системи контролю якості повітря.....	60

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Юша В.І.			Автоматизована система контролю якості повітря в офісному приміщенні Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Самборська В.В.					8	79	
Н. контр.									
Затв.									
						ПБФ, «КПІ ім. І. Сікорського»			

3.6. Висновки розділу 3.....	65
4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВТІРЯ В ПРИМІЩЕННІ.....	67
4.1. Загальні аспекти розробки системного програмного забезпечення для вбудованих систем.....	67
4.2. Розробка блок-схеми алгоритму роботи системи.....	70
4.3. Висновки до розділу 4.....	76
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ	

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АС – автоматизована система;
СК – система контролю;
ОК – об’єкт контролю;
ЗЗ – зворотній зв’язок;
ВМ – виконавчий механізм;
БСК – блок системи керування;
БВС – блок вимірювальної системи;
БВМ – блок виконавчих механізмів;
БВВІ – блок введення/виведення інформації;
БКЗЖ – блок контролю та забезпечення живлення;
СА – система автоматизації;
В – вольт, одиниця вимірювання напруги;
А – ампер, одиниця вимірювання струму;
Вт – ват, одиниця вимірювання потужності;
Лк – люкс, одиниця вимірювання рівня освітленості;
РМ – рівень концентрації твердих частинок;
ррт – част./мільйон, одиниця вимірювання концентрації;
ШМ – широтна імпульсна модуляція;
ТКЗП – технологія конструювання програмного забезпечення;
ІДЕ – інтегроване середовище розробки;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

У сучасному світі, де люди в більшості працюють у приміщеннях закритого типу, до яких також можна віднести офісні приміщення, особливо актуального значення набуває питання контролю якості повітря та інших параметрів які впливають на цей показник.

Несприятливі умови мікроклімату, зокрема підвищенні значення вуглекислого газу, мікрочастинок у повітрі, пилу та легких органічних сполук, особливо у поєднанні з низьким рівнем кисню або підвищеною вологістю, можуть негативно впливати на самопочуття та здоров'я працівників, а це у свою чергу має негативні наслідки у вигляді зниження рівня продуктивності, підвищення хворобливості, появи стану систематичного поганого самопочуття та на погіршення загального стану здоров'я.

Тому, задля того, щоб контролювати якість повітря та мінімізувати негативний вплив, було розроблено різноманітні системи моніторингу якості повітря в приміщеннях, що дозволяє виявляти відхилення певних показників якості від норми та автоматично реагувати на ці зміни задля підтримки комфортних умов для роботи. Такі системи реалізують алгоритму автоматичного збору даних із сенсорів, аналіз параметрів, виконання дій у відповідь на невідповідність тощо.

Поточний рівень розвитку техніки, рівня автоматизації та доступності різноманітних вимірювальних систем та модулів, проектування та реалізація даної системи стає простішою задачею, що в свою чергу позитивно впливає на можливості поширення їх впровадження у побут.

Автоматизація у питанні контролю якості повітря в приміщеннях є важливим аспектом для забезпечення хороших умов праці, збереження здоров'я працівників та покращення їх працездатності.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АВТОМАТИЗАЦІЯ У СФЕРІ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ. ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ В ОФІСНО ПРИМІЩЕННІ

1.1. Загальні питання автоматизації. Принцип застосування автоматизації

Автоматизація [1, 2] є процесом впровадження технічних засобів, інформаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення, які у загальній сукупності призначені для виконання певної функції чи послідовності дій повністю автоматично, тобто без втручання людини у ролі виконавця якогось з етапів процесу який розглядається.

Автоматизація технологічних процесів - це технічна дисципліна, що займається вивченням, розробкою й створенням автоматичних пристроїв і механізмів (тобто тих, що працюють без безпосереднього втручання людини) [1].

У сучасному світі автоматизація охоплює майже всі відомі сфери діяльності людини, починаючи від промисловості та виробництва і закінчуючи мікро контролем різноманітних параметрів у приміщення, чи то кімнаті, чи робоче приміщення.

Розглядаючи питання автоматизації та її значення, необхідно описати перелік ключових задач автоматизації:

- 1) підвищення ефективності виконання різноманітних процесів;
- 2) мінімізація помилок, як наслідок впливу людського фактору та неуважності;
- 3) підвищення точності та забезпечення стабільного і повного контролю над виконанням певного процесу чи контролю одного чи переліку параметрів чи характеристик;
- 4) підвищення показника швидкості реагування та зміни параметрів;
- 5) мінімізація витрат шляхом оптимізація використання споживання різноманітних ресурсів тощо.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Виконання будь-якого автоматизованого процесу можна описати у вигляді схеми, яка складається з трьох основних складових, а саме: системи керування чи контролю; безпосередньо об'єкта керування або контролю; а також системи зворотного зв'язку для контролю точності виконання умов автоматизованої системи (АС) (див. рис. 1.1).

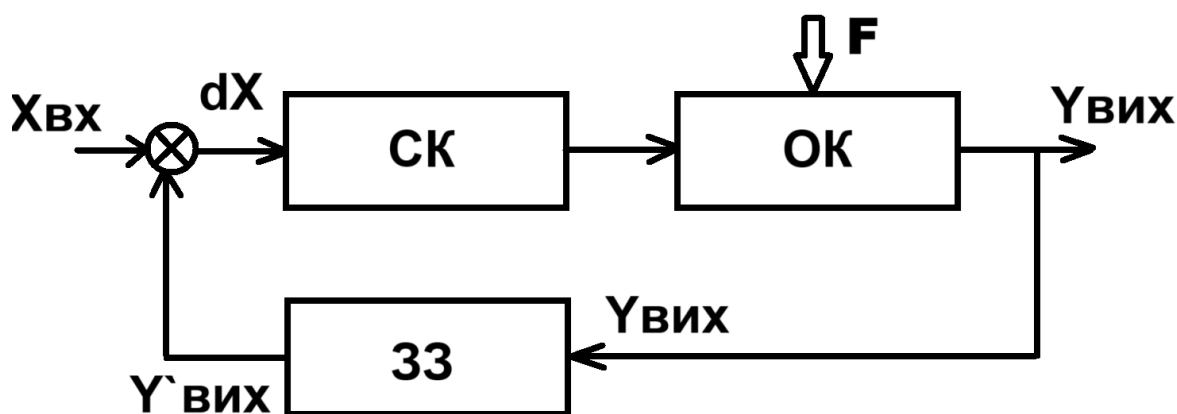


Рисунок 1.1. Узагальнена схема системи автоматизації контролю параметрів

Наступним кроком необхідно надати вичерпний опис системи, яка в автоматизованому режимі забезпечить повний контроль та моніторинг. Система контролю (СК) на вхід приймає значення чи перелік значень $X_{вх}$, яке представляє собою задане значення, яке необхідно підтримувати або контролювати.

СК безпосередньо взаємодіє з об'єктом контролю (ОК), який представляє кімнату, чи процес тощо, контроль параметрів якого виконується. Але варто зазначити, що в реальних умовах на ОК діє низка різноманітних факторів, які називається зовнішнім збуренням або зовнішніми факторами впливу, наприклад погодні умови тощо. Відповідно на виході ОК отримується не значення $X_{вих}$, а $Y_{вих}$, так як в реальних умовах задане та реальне значення не буде точно співпадати в однаковий момент часу.

Фактичне значення вимірюється системи зворотного зв'язку (ЗЗ), яка у більшості випадків представляє набір датчиків та вимірювальних систем, які

здатні сприймати певний параметр чи перелік параметрів, які підлягають контролю, та забезпечується перетворення цього значення у зручний вигляд для сприйняття системою та подальшої обробки. Але також варто звернути увагу на такий аспект, що на виході ЗЗ отримується не значення $Y_{\text{вих}}$, яке описує фактичне значення параметрів, а $Y'_{\text{вих}}$, що пов'язано з тим, що кожна система має певне значення похибки, що пов'язано з точністю модуля чи програмних алгоритмів.

Виміряне чи виміряні значення надходять на суматор, що знаходиться на вході СК, і дане значення порівнюється з заданим, і на основі цього формується значення dX , яке представляє собою фактичну різницю між вхідним та фактичним значенням і на основі цього значенням відбувається подальші цикли автоматичного процесу контролю.

У системах контролю якості повітря засоби автоматизації дозволяють на постійній основі й з високою точністю здійснювати моніторинг параметрів навколишнього середовища, такий як вологість, рівень вуглекислого газу, пилу, часток тощо, а також аналізувати, збирати дані, порівнювати їх з нормативами та за необхідності ініціювати відповідні дії, наприклад вмикати систему вентиляцію, сигналізацію, запуск систем очищення тощо.

Ключовий принцип застосування автоматизації у такого роду системах засновано на збиранні даних за допомогою спеціальних датчиків, обробки цих даних обчислювальною системою, та приймати рішення на основі вкладеного програмного алгоритму і подальшого керування виконавчими механізмами (ВМ). Таким чином, досягається безперервний контроль та підтримка оптимального значення мікроклімату без необхідності у регулярному втручанні людини в цей процес.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Схему, яка описує такі питання як мету та завдання автоматизації технологічних процесів зображено на рис. 1.2.

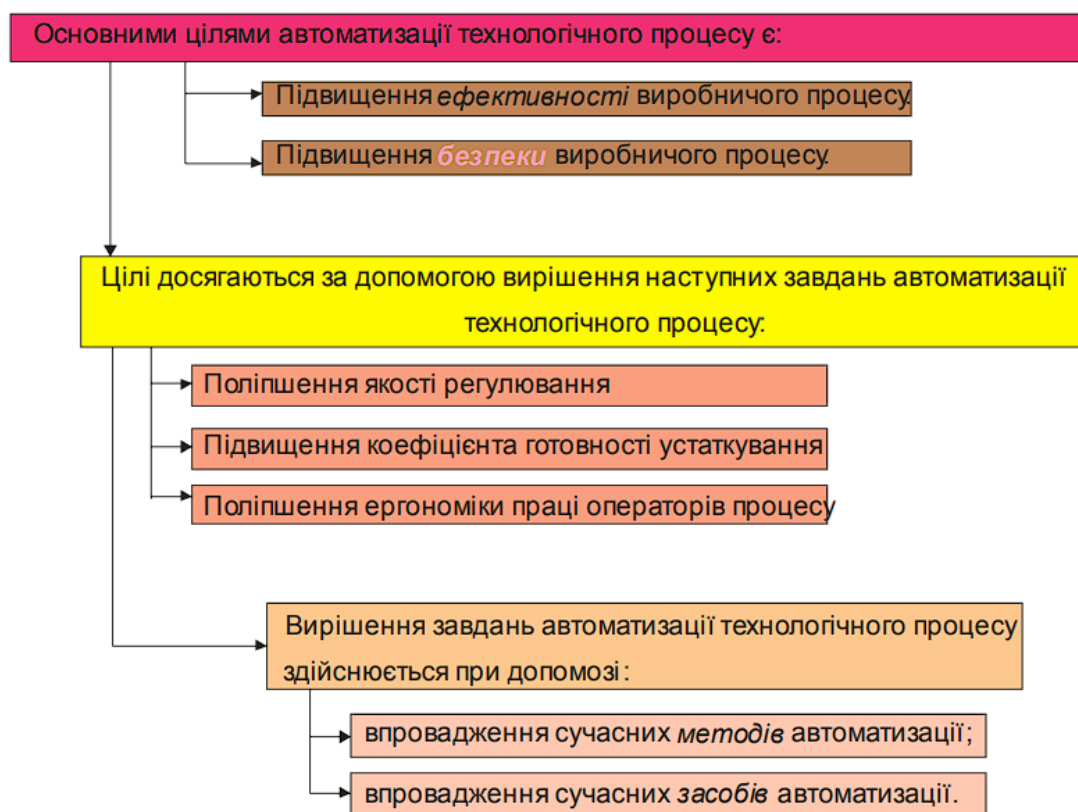


Рисунок 1.2. Мета та завдання автоматизації технологічного процесу

У зв'язку із впровадженням мікропроцесорної техніки все більше поширення одержує розподілена технічна структура АСУ ТП, тобто розчленована на ряд автономних підсистем - локальних технологічних станцій керування, територіально розподілених по технологічних ділянках керування. Кожна локальна підсистема являє собою однотипно виконану централізовану структуру, ядром якої є керуюча мікро-ЕОМ [1].

1.2. Якість повітря. Вимоги та санітарні норми до якості повітря в офісних приміщеннях

Якість повітря є одним з ключових показників, які визначають значення загального комфорту та рівень безпеки для працівника, який перебуває на робочому місці у закритому просторі. Відповідно що у таких середовищах де люди перебувають досить тривалий час, зокрема сюди можна віднести і офісне приміщення, якістю повітря повинна відповідати визначеним критеріям, значення яких здатне забезпечити ефективний рівень працездатності та хороше самопочуття працівників.

У загальному розумінні, якість являє собою сукупність властивостей та характеристик, які відповідають певному затвердженому та підтвердженому значенню параметра чи характеристики до фактично наявних.

Варто виділити узагальнений перелік ключових параметрів, які у сукупності характеризують показник якості повітря:

- 1) температура середовища;
- 2) значення відносної вологості;
- 3) рівень концентрації вуглекислого газу;
- 4) рівень концентрації різноманітних частинок;
- 5) рівень кисню;
- 6) швидкість руху повітря;
- 7) рівень іонізації тощо.

Варто зазначити, що певні показники, наприклад температура, має вплив на значення іншої характеристики, наприклад рівень вологості. Тому система повинна враховувати цей аспект та коректно виконувати підтримку оптимального рівня якості.

Показники, згідно яких виконується моніторинг та подальший контроль, затверджуються на державному рівні, а також різними спеціалізованими міжнародними організаціями. За весь час було проведено велику кількість

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

досліджень, на основі яких було визначено та встановлено допустимі межі різних показників мікроклімату.

Ці вимоги враховують фізіологічні потреби людини, санітарні вимоги та стандарти, особливості різних робочих середовищ. Дотримання даних стандартів є важливою основою для підтримки безпечного та комфортного середовища.

Недотримання визначених значень, як перевищення так і навпаки, може викликати велику кількість проблем пов'язаних зі здоров'ям, а в довгостроковій перспективі створює небезпечні умови для розвитку захворювань.

Останній час [3] основний напрямок зусиль зусилля розробників і спеціалістів, включно з медичними спеціалістами, був спрямований на забезпечення та стабільну підтримку у виробничих приміщеннях сприятливої температури і природної вентиляції.

Відповідно, у залежності від складності конструкції вентиляційної системи, на сьогоднішній день існує можливість підтримувати мікрокліматичні умови та здійснювати комплексне очищення від шкідливих домішок, що накопичуються в повітрі одночасно [3]. Дана можливість певною мірою з'явилась з процесом вдосконалення автоматизованих систем контролю та керування.

Для очищення повітря від забруднень зазвичай застосовують спеціальні фільтри, проте варто зазначити, що застосування навіть універсальних фільтрів, тобто коли повітря очищається від великої кількості шкідливих домішок з одночасною його температурно-вологісною обробкою, проблеми повітропідготовки не вирішуються в повній мірі. Для підтримки норм газового складу повітря потрібно збільшувати кількість технологічних фільтрів, що призводить до зростання займаних корисних площ та об'ємів [3].

Розглянемо детальніше санітарні норми та вимоги до підтримки оптимального мікроклімату у робочому приміщенні, включно з офісними. Опис виконується згідно санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [4]:

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

1) параметри площі та робочого простору - робоче місце повинно займати не менше 6м², зокрема відстань між іншими робочими місцями має забезпечувати комфортні умови для всіх працівників, зазвичай встановлюється не менше 1м до стіни з вікном, не менше 1,4м до інших стін, не менше 1,2м між бічними сторонами комп'ютерів, а також не менше 2,5м між тильною частиною одного монітора та екраном;

2) офіси не повинні розміщуватись у підвальних або цокольних приміщеннях, а також заборонено використовувати матеріали, які виділяють шкідливі речовини;

3) важливим є забезпечення гармонійного поєднання кольорового оформлення та елементів інтер'єру, для зниження негативних факторів які впливають на втому а також для забезпечення стабільного психологічного комфорту;

4) в виробничих та офісних приміщеннях повинно проводитись регулярне вологе прибирання, особливо в приміщеннях з великою кількістю комп'ютерного обладнання та периферійних пристроїв;

5) також важливе значення має ергономіка робочого місця, зокрема робочі столи та стільці повинні відповідати вимогам підтримки правильної сидячої пози під час роботи;

6) важливим також є забезпечення системи підтримки мікроклімату, що включає у собі наявність систем опалення, вентиляції або кондиціонування повітря, зокрема варто виділити перелік оптимальних параметрів мікроклімату:

- оптимальний показник температури повітря повинен бути в межах 22-25С°;

- значення відносної вологості повинне бути в межах 40-60%;

- швидкість руху повітря повинно бути не більше ніж 0,1 м/с.

Варто зазначити, що при відхиленнях від норми оптимальних показників параметрів мікроклімату тривалість робочого дня повинна бути скорочена щонайменше на 10%;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

7) надважливим питанням є забезпечення оптимального освітлення робочого простору. Згідно встановлених державних норм, необхідно притримуватись наступних показників:

- природне освітлення має забезпечувати КПІ не менше 1,5%;
- необхідно уникати прямого сонячного світла в області комп'ютерної техніки, зокрема системних блоків та моніторів;
- штучне освітлення повинно бути рівномірним, з використанням розсіювачів;
- освітлення поверхні робочого простору повинно становити 300-500 лк;

8) забезпечення зручності у питанні шуму:

- допустимі значення рівня шуму може становити до 50 дБА для програмістів, а також до 65 дБА для операторів ПК та операторів набору інформації;

9) рівні неіонізуючого випромінювання, електростатичних та магнітних полів, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання повинні відповідати державним стандартам та санітарним нормам [4].

1.3. Аналіз реалізованих систем. Огляд джерел

Для проведення повного аналізу для виконання дослідження та практичних розробок значна увага приділяється аналізу наявних рішень та розробок. Даний аналіз необхідний для того, щоб оцінити функціонал та структуру таких розробок, виявити їх переваги та недоліки, підхід до розробки та модулі, які використовуються у складі системи.

Першою буде розглянуто систему моніторингу якості повітря на базі платформи розробки Arduino.

До складу системи входить наступний перелік складових елементів [5]:

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1) платформа для розробки Arduino Uno - призначена для збору показань вмісту шкідливих газів у повітрі, опрацьовує їх, надсилає на Wi-Fi модуль ESP8266 та передає на LCD-дисплей;

- модуль датчика вуглекислого газу MQ-135, для виявлення фактичної наявності газу CO₂ у повітрі;

- модуль датчика метану MQ-9, складова системи аналізу вмісту повітря, а саме для виявлення та визначення концентрації газу CO у повітрі;

- модуль датчика чадного газу MQ-7, що також є складовою системи аналізу складу повітря на виявлення та аналіз вмісту повітря для виявлення та встановлення рівня концентрації газу CH₄ в повітрі;

- модуль датчика температури та вологості DHT11;

- модуль LCD-дисплей для відтворення показників якості повітря;

- блок вентиляції, представляє собою об'єкт керування у ролі вентилятора;

- блок Wi-Fi модуля у виконанні ESP8266. Призначений для забезпечення комунікації між мікроконтролером та ThingSpeak;

- платформа Інтернету речей ThingSpeak, яка призначена для обробки показників датчиків та за допомогою команд виконувати операції включення/виключення вентилятора тощо;

- наявність мобільного iOS-додатку для відображення показників датчиків та керування виконавчими механізмами, у даній схемі керування вентилятором.

Розглянувши опис структури запропонованої концепції можна сказати, що така система має велику кількість функціональних можливостей для аналізу повітря на вміст шкідливих газів, але має певні обмеження щодо контролю інших важливих показників, зокрема мікрочасток, пилу тощо.

Розглянемо детальніше принцип роботи системи з описом складових блоків. Wi-Fi модуль ESP8266 призначений для відтворення передачі даних з мікроконтролером, який передає йому покази датчиків. Ключове призначення

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

модуля ESP8266 - підключення до Wi-Fi, та встановлення з'єднання з платформою Інтернету речей ThingSpeak для подальшої передачі отриманих показів давачів мікроконтролером в відповідний канал платформи. Зазначається що через цей модуль також здійснюється отримання команди з внутрішньої платформи TalkBack на включення/виключення вентилятора [5].

Платформа ThingSpeak призначена для зберігання та відображення отриманих показів датчиків. Вона включає канал з п'ятьма графіками, а саме: графік температури, графік вологості, графік вмісту чадного газу в повітрі, графік вмісту метану в повітрі, графік вмісту вуглекислого газу в повітрі. Також велику роль відіграє її внутрішня структура TalkBack, яка являє собою чергукоманд включення та виключення вентилятора, які створюються в мобільному додатку [5].

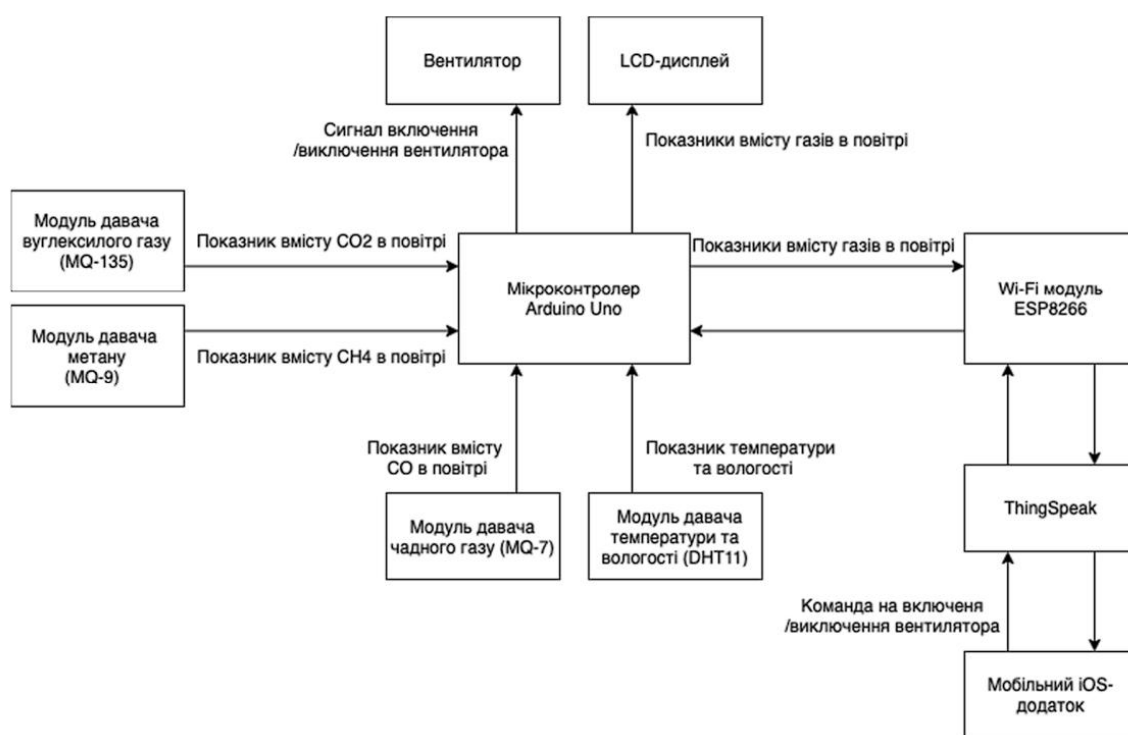


Рисунок 1.3. Функціонально схема системи моніторингу якості повітря [5]

Згідно опису також наявний і мобільний додаток, який розроблена під операційну систему iOS. Основною його задачею цього мобільного додатку

також є відображення показів датчиків на екрані в реальному часі. Також в додатку вбудована функція перегляду описаних графіків з платформи [5].

ThingSpeak реалізує можливість ручного керування вентилятором, через маніпуляції з елементом тумблера на головному екрані додатку і працює на створення команд TalkBack [5].

У підсумку можна зазначити, що дана система надає низку функціональних можливостей, але для того щоб забезпечити якісну і повноцінну системи контролю якості повітря необхідно виконати оптимізацію системи, виконати оновлення обчислювального блоку, розширити набір сенсорів для аналізу та перелік виходів для керування виконавчими механізмами.

1.4. Мета та актуальність. Завдання до роботи

На сьогоднішній день велика кількість людей зазвичай працює у закритих приміщеннях, починаючи від виробничих ділянок і закінчуючи офісними приміщеннями, тому особливої актуальності набуває питання розробки та інтеграції автоматизованих системи контролю параметрів якості повітря.

Актуальність даної теми полягає у тому, що розробка автоматизованої системи контролю якості повітря та впровадження у сучасному офісі, де зазвичай велике скупчення людей, а також багато електронного обладнання, систематично призводить до погіршення умов, що в свою чергу матиме негативні наслідки для здоров'я працівників.

Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи, що забезпечить безперервний моніторинг стану повітря в офісному приміщенні, дозволить виявляти відхилення від допустимих значень та матиме технічні можливості впливу на якість повітря.

Завдання до цієї роботи включає:

1) визначення поняття автоматизації та системи автоматизованого контролю;

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- 2) визначення особливостей контролю якості повітря та загальноприйняті норми;
- 3) аналіз існуючих систем контролю та моніторингу якості повітря;
- 4) розробка принципу роботи системи та структурної схеми;
- 5) вибір складових системи та розробка електричної принципової схеми;
- 6) розробка алгоритму роботи системи.

1.5. Висновки розділу 1

У розділі детально описано такі питання як автоматизації, принцип автоматизації та поняття автоматизованої системи контролю або керування. Наведено узагальнену структурну схему такої системи, її ключові блоки та взаємодії між ними.

Наведено загальну інформацію щодо контролю якості повітря у приміщеннях, зокрема офісного типу, описано ключові вимоги до окремих параметрів які характеризують якість, а також взаємозв'язок окремих параметрів на інші.

Було розглянуто системи-аналоги з різних доступних джерел, для проведення загальної оцінки стану сфери, структури аналогічних систем, огляд їх будови та компонентів.

Сформовано актуальність та мету даної роботи. Сформовано перелік ключових завдань.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ. РОЗРОБКА СТРУКТУРАНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

2.1. Формування принципу роботи системи. Визначення переліку ключових функціональних можливостей

Для того, щоб реалізувати систему необхідно виконати порядок дій, щодо формування загального принципу роботи розробляємої системи, описати перелік функціональних можливостей та ключові складові блоки.

Система всебічного моніторингу та контролю параметрів якості повітря, зокрема в офісі, повинна включати три загальних блоки:

- блок системи керування;
- блок вимірювальної системи;
- блок виконавчих механізмів.
- блок відтворення та введення інформації;
- блок контролю та забезпечення живлення.

Блок системи керування (БСК) є ключовим блоком який з самого початку задає максимальні технічні можливості які можна буде реалізувати. Такий блок зазвичай будується на основі обчислювальної системи: комп'ютера; мінікомп'ютера; мікроконтролера. Основним призначенням даного блоку є - виконання збору та аналізу даних з вимірювальної системи в реальному часі зі збереженням поточного значенні і відтворенням для подальшого перегляду. Даний блок працює за заздалегідь описаним програмним алгоритмом.

Блок вимірювальної системи (БВС) включає у собі набір спеціальних модулів датчиків, які підключаються до системи ззовні та виконують вимірювання одного чи декількох параметрів з подальшим перетворенням цих даних у прийнятний вигляд для подальшої обробки. БСК є одним з ключових компонентів які реалізують основну частину функціоналу системи контролю та моніторингу. Також варто зазначити що вимірювальні системи представляють

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

собою блок 33 у загальній схемі автоматизованої системи контролю та керування.

Блок виконавчих механізмів (БВМ) реалізовує набір функцій, які забезпечують реалізацію частини безпосереднього контролю якості шляхом здійснення зовнішнього впливу. Зазвичай передбачає наявність різноманітних блоків, таких як система вентиляторів, кондиціонування, зволоження тощо, які у загальній сукупності з БСК та БВС утворюють повноцінний ланцюг алгоритму вимірювання → аналіз даних → виконання впливу для корекції відхилення.

Блок виведення/введення інформації (БВВІ) реалізує систему, яка забезпечує відтворення вимірних даних, а також дозволяє виконувати ручне керування елементами системи блок БВМ. Система у даному випадку розглядається абстрактно, так може бути реалізована різноманітними методами або комбінацією методів, таких як контролю системи через додаток, або через фізичну панель управління, бо об'єднано.

Блок контролю та забезпечення живлення (БКЗЖ) представляє собою спеціальний модуль який забезпечення безперебійне та стабільне живлення системи та її відокремлених елементів, так як датчики розміщуються по всій кімнаті чи приміщенню і відповідно виконується незалежними модулями, а також забезпечують функцію зарядки. Також до цього блоку відносить елементи живлення, якщо системи автономна, або система живлення від зовнішнього джерела, у випадку центрального блоку.

Дана концепція надає розгорнуте уявлення про складові елементи та їх призначення. Наступним кроком є – визначення та опис переліку ключових функцій системи, згідно чого буде виконуватися подальший вибір обчислювальної системи, датчиків та виконавчих механізмів.

До основного переліку функцій блоку вимірювальної підсистеми можна віднести наступні:

- визначення показника температури;
- визначення показника вологості;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- визначення рівня вмісту переліку шкідливих газів та випарів. Функція може бути реалізовано об'єднаним модулем;

- визначення рівня вмісту мікрочасток та пилового забруднення;

- визначення показника рівня освітленості.

До основного переліку функціональних можливостей підсистеми виконавчих механізмів можна віднести наступні:

- підсистема контролю вентиляції;

- підсистема контролю кондиціонування;

- підсистема контролю рівня температури (обігріву) на основі показника рівня вологості;

- підсистема контролю рівня вологості на основі показника рівня вологості;

- можлива наявність системи динамічного регулювання яскравості системи освітлення.

У даному розділі надається вичерпна інформація щодо концепції системи контролю якості повітря в офісному приміщенні. Система за даною концепцією буде здатною забезпечити максимальний рівень функціональності для моніторингу та підтримки оптимального рівня якості повітря.

2.2. Розробка та опис структурної схеми системи

У даному підрозділі буде розроблено абстрактну структурну схему системи контролю та моніторингу якості повітря в приміщенні, яка зокрема може застосовуватися для приміщень офісного типу.

Розробка структурної схема є важливим етапом для визначення ключових блоків системи, встановлення та подальшого вивчення взаємозв'язків між блоками для встановлення відповідності системи до бажаної, а також задля пошуку шляхів оптимізації та виявлення проблемних елементів.

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблена структурна схема зображена на рис. 2.1.

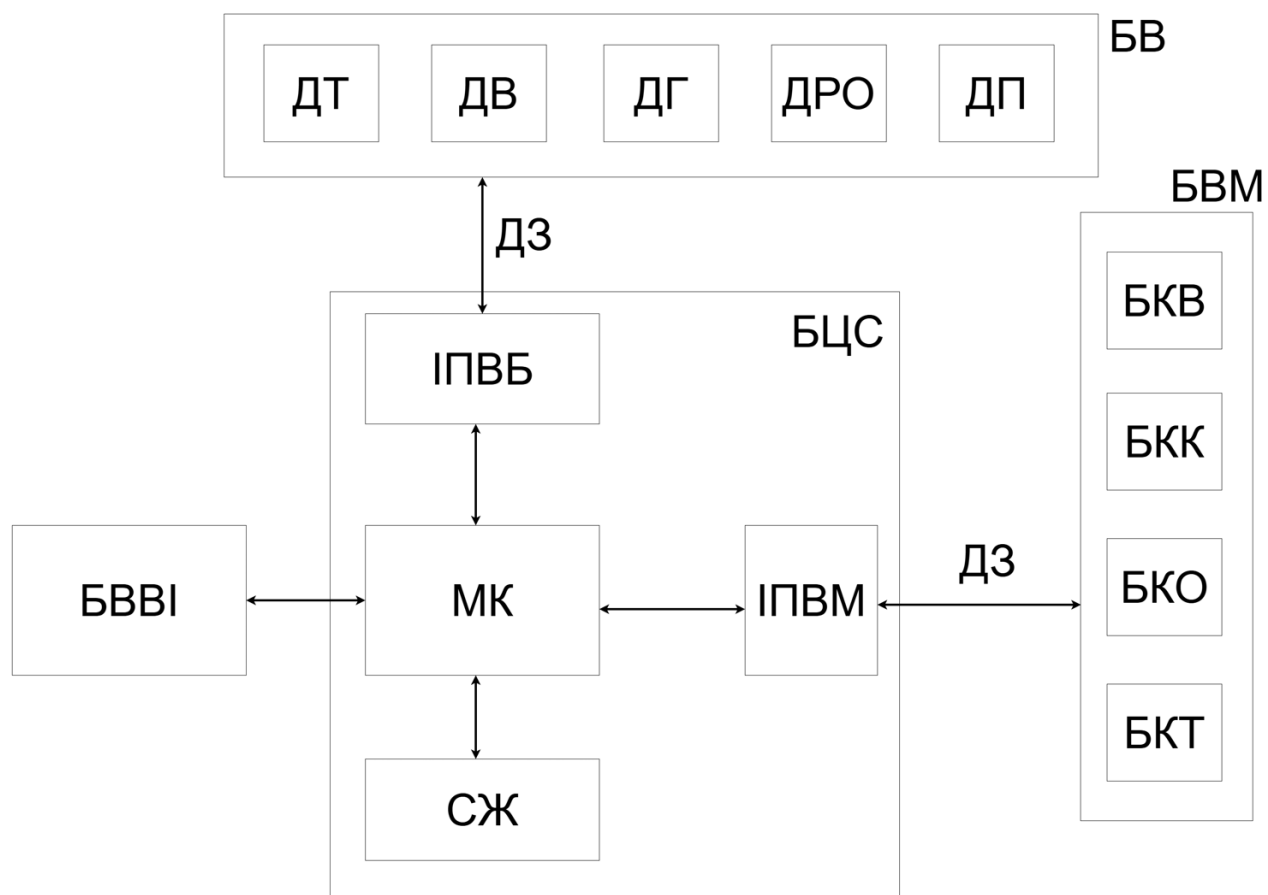


Рисунок 2.1. Абстрактна структурна схема системи контролю якості повітря в приміщенні

Розроблена структурна схема включає весь перелік раніше описаних блоків у частині побудови концепції та визначення функціоналу. Структурно система розділена на 4 відокремлених блоки: блок вимірювань (БВ), блок центральної системи (БЦС), блок виконавчих механізмів (БВМ), а також окремого елемента, який може бути реалізований кількома шляхами - блок введення/виведення інформації (БВВІ).

Наступним кроком варто детальніше розглянути окремі блоки та їх складові модулі:

1) БЦС - представляє собою набір декількох ключових блоків, а саме центрального ядра у ролі мікроконтролера (МК), двох інтерфейсів, а саме інтерфейс підключення вимірювального блоку (ІПВБ), а також інтерфейс підключення виконавчих механізмів (ІПВМ), варто зазначити що управління та зчитування з даними блоками виконується у дистанційному вигляді (дистанційний зв'язок - ДЗ). Також у системи входить блок системи живлення центральної системи (СЖ). У сукупності даний набір елементів дозволяє реалізувати ключовий перелік функціональних можливостей щодо контролю, моніторингу, аналізу та реакції на зміни у реальному часі. Зв'язки між даними модулями є двонаправленими, тобто є можливість виконання відправки даних, так і зчитування;

2) БВ – блок вимірювання включає набір ключових датчиків для забезпечення функції моніторингу окремих параметрів, відповідно маємо: датчик температури (ДТ); датчик рівня вологості (ДВ); датчик газу (ДГ), який у даному формулюванні забезпечує вимірювання та аналіз декількох різних газів; датчик рівня освітленості (ДРО) та датчик пилу (ДП);

3) БВМ – блок виконавчих механізмів забезпечує виконання контролю за допомогою наступних блоків: блок керування вентиляцією (БКВ) – на основі різноманітних параметрів надає можливість виконувати динамічний процес вентиляції, на основі вмісту в повітря різних газів, пилу чи високої вологості; блок керування кондиціонуванням (БКК) – надає можливість керувати системою кондиціонування враховуючи поточні умови температури, вологості тощо; блок контролю освітленості (БКО) – надає можливість на основі рівня поточного рівня освітленості динамічно змінювати рівень яскравості ламп системи освітлення; блок керування температурою (БКТ) – даний блок призначений для забезпечення можливості обігріву за наявності низької температури або високого рівня вологості;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) БВВІ – блок введення/виведення інформації, який зображений окремим елементом, так як ця частина може бути реалізована будь-яким зручним методом зокрема складатися з системи дистанційної передачі даних на сервер, керування через додаток, або за допомогою вбудованої панелі управління, яка зазвичай розташовується біля або на БЦС.

Даний опис включає перелік усіх важливих елементів будови системи контролю якості повітря в приміщенні, та надає вичерпну інформацію щодо взаємодії елементів та роботи системи в цілому.

Наступним етапом побудуємо структурну схему СА моніторингу та контролю якості повітря на базі загальної схеми автоматизації (див. рис. 2.2).

надається за запитом до авторів

Рисунок 2.2. Структурна схема системи автоматизації моніторингу та контролю якості повітря в приміщенні

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Дана схема відображає ключовий принцип автоматизації із застосуванням зворотного зв'язку. У даному випадку система включає три блоки, а саме систему контролю (СК), об'єкт керування (ОК) у вигляді приміщення, а також блок зворотного зв'язку у вигляді набору датчиків для вимірювання переліку ключових параметрів.

На вхід центрального ядра (СК) надходить вхідний сигнал від суматора, який є основним параметром на базі якого відбувається моніторинг і керування. У випадку контролю якості повітря це є перелік характеристик, які відображають ключові параметри якості і діапазон допустимих значень. У даному випадку такими характеристиками є діапазони допустимих значень:

- діапазон значень температури;
- діапазон значень вологості;
- діапазон значень вмісту газів;
- діапазон значень пилових та інших часток;
- діапазон рівня освітленості.

Важливо вказати, що замість встановлення чіткого значення для контролю необхідно зазначити діапазон допустимих значень. Такий підхід обумовлюється тим, що є визначений діапазон значень який затверджений вище описаним документом, точність систем вимірювання не забезпечить «ідеального» значення, а також це ускладнить процес контролю.

При першому циклі вимірювання до уваги береться вхідне значення, так як ще відсутні дані з блоку ЗЗ. СК в свою чергу виконує аналіз на основі вхідних даних та виконує перелік зазначених дій або алгоритмів за необхідності. Сюди можна віднести наприклад вмикання виконавчих механізмів:

Всі дії, які виконує СК мають вплив на об'єкт керування (ОК), у контексті задачі об'єктом вважається приміщення, а точніше параметри якості повітря в обраному приміщенні. СК формує вихідний результат $x_{\text{вих}}$, який описує усі впливи та корекції.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На ОК впливає певна кількість незалежних зовнішніх факторів (збурень), які певною мірою спотворюють вихідний результат. У контексті задачі такими факторами є зовнішня температура та вологості, забрудненість повітря у населеному пункті, рівень вологості наприклад під час дощу чи спеки, та інші. Ці всі фактори F_n у загальній сукупності впливають на показники в приміщенні, і відповідно вплив який виконує система керування може не відповідати вхідним умовам $x_{вх}$, і саме тому системи контролю та моніторингу повинні мати у своєму складі блок зворотного зв'язку (33), у вигляді переліку датчиків які вимірюють показник певного параметру.

На вхід блоку 33 надходить сигнал $u_{вх}$ - сигнал який відображає реальний стан параметрів якості повітря. Ці параметри вимірюються рядок вимірювальних пристроїв, у даному випадку: датчиком температури; вологості; якості повітря; датчиком пилу; датчиком газу; а також наявний датчик рівня освітленості, який не призначений для аналізу якості повітря, а скоріше є додатковим сенсором для розширення можливостей створення зручного робочого середовища з адаптивною корекцією світла.

На виході блоку 33 отримує сигнал $u_{вим}$, який характеризує виміряні фактичні значення параметрів. Але варто зазначити, що вказується $u_{вим}$, а не $u_{вх}$, так як фактичні і виміряні значення зазвичай відрізняються у зв'язку з тим, що вимірювальна система, система керування, алгоритму розрахунків, мають певну похибку, яка в свою чергу спотворює реальні значення.

Сигнал $u_{вим}$ надходить на суматор перед СК для того, щоб виконати порівняння та визначити відхилення від заданого значення. У результаті обчислення формується сигнал корегування, який призначений для того щоб наблизитись до бажаного діапазону значень. Цей процес відбувається циклічно і повністю автоматично.

Таким чином, описана структурна схема система дозволяє візуалізувати складові блоки системи моніторингу та контролю якості повітря, визначити чіткі

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

функціональні зв'язки між ними та забезпечити повноцінне функціонування автоматизованої системи.

Завдяки наявності ЗЗ, система здатна адаптуватися в реальному часі, враховувати внутрішні та зовнішні фактори впливу. Такий підхід дозволяє підвищити точність, надійність і ефективність функціонування усієї системи.

2.3. Висновки розділу 2

У даному розділі було детально розглянуто питання принципу роботи автоматизованої системи контролю та моніторингу якості повітря в офісному приміщенні. Було визначено ключовий перелік необхідний елементів системи (блоків), а також набір функцій, які дана система повинна виконувати.

Окремо було розроблено структурну схему системи, яка призначена для візуального представлення даних блоків, їх складових, а також опис взаємозв'язків між цими компонентами. А також було виконано опис схеми автоматизованої системи моніторингу зі зворотним зв'язком.

Детально описано кожен складовий модуль, визначено окремі функціональні задачі та параметри які забезпечують їх взаємодію.

Описана структура є важливою основою для подальшого вибору компонентів системи та складання електричної принципової схеми, а також є основою для розробки програмного алгоритму взаємодії даних блоків.

Даний розділ є основою для подальшого вибору набору датчиків, оптимальної обчислювальної системи, розробки електричної принципової схеми та побудови алгоритму роботи.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

3. ВИБІР МОДУЛІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1. Опис структури модулів вимірювальної системи

Для того, щоб забезпечити повноцінний комплекс системи моніторингу та контролю якості повітря необхідно виконати вибір та подальшу інтеграцію незалежних вимірювальних блоків у єдину систему.

Ключовий перелік сенсорів для вимірювальних модулів, включає:

1) датчик температури - призначений для вимірювання параметра температури, показник визначається у градусах С°. Для того щоб забезпечити оптимальний процес вимірювання необхідно використовувати декілька таких датчиків у різних місцях приміщення, варто зазначити, що кількість датчиків залежить від розміру приміщення та критичності до максимально точних показань. Для даної задачі оптимальною кількістю буде 3 модуля вимірювання температури;

2) датчик відносної вологості – призначений для вимірювання рівня вологості у приміщенні, показник визначається у відсотках, тому зазначається як відносна вологість. Цей параметр є таким же важливим, як і показник температури, та в певній мірі вони впливають один на одного. Для даної системи оптимальною кількістю модулів вимірювання рівня вологості становить три, а також доцільно використовувати об'єднаний датчик вимірювання температури та вологості, що в свою чергу мінімізує кількість фізичних модулів, вартість системи а також складність підключення, налаштування та керування;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Розглянемо декілька варіантів об'єднаних датчиків температури та вологості, для того, щоб обрати оптимальне рішення.

Перший варіант для розгляду є цифровий датчик температури та вологості підвищеної точності AM2320 (див. рис. 3.1), який має ряд наступних характеристик [12]:

- тип датчика: цифровий;
- інтерфейс підключення: I2C;
- діапазон вимірювання вологості: 1-99%;
- діапазон виміру температури: $-40 \sim +80$ °C;
- точність вимірювання вологості: $\pm 3\%$ RH;
- точність вимірювання температури: 0.1 °C;
- похибка вимірювання температури: ± 0.5 °C;
- напруга живлення: 3.3-5.5 В;
- мінімальний час між зчитуванням показань: 2 с;
- ультранизьке енергоспоживання (в режимі очікування 10 мкА).



Рисунок 3.1. Датчик вологості і температури AM2320 [12]

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Наступним альтернативним варіантом є цифровий датчик температури та вологості SHT30 (див. рис. 3.2).



Рисунок 3.2. Датчик температури та вологості SHT30 [12]

Цей датчик володіє наступним рядом технічних характеристик, згідно технічної документації [12]:

- діапазон вимірювання температури становить: від -40 до +120 °C;
- точність діапазону температури (5-60 °C): +/- 0.3 °C;
- діапазон вимірювання відносної вологості: 0 - 100 %;
- точність діапазону відносної вологості (20-80 RH): 3%;
- напруга живлення: 2.15 - 5.5 В;
- тип інтерфейсу: I2C;
- час відгуку вимірювання вологості: 8 с;
- потужність споживання: мінімум 5 мВ (при напрузі 2.4 В).

Цей датчик забезпечує хорошу точність в межах задачі контролю якості повітря в приміщенні, є малогабаритним та споживає незначну потужність, що робить модулі на основі такого датчику більш автономними.

Наступний альтернативний об'єднаний датчик вологості та температури буде DHT21/AM2301A (див. рис. 3.3). Він являє собою цифровий датчик температури та вологості підвищеної точності.



Рисунок 3.3. Датчик температури та вологості DHT21/AM2301A [12]

Даний цифровий датчик володіє рядом наступних технічних характеристик [12]:

- тип підключення: 3-дротове;
- тип інтерфейсу: цифровий;
- інтерфейс: 1-wire;
- точність: 0.1 °C;
- діапазон вимірювання вологості: 0-100%;
- діапазон виміру температури: -40 ~ 80 °C;
- точність вимірювання вологості: $\pm 2\%$ RH;
- точність вимірювання температури: $\pm 0.5\%$;
- калібрування: заводське.

3) датчик газу – призначений для аналізу повітря на вміст шкідливих випарів та газів, наприклад чадного газу, цигаркового диму, високого вмісту вуглекислого газу тощо. Цей датчик є дуже важливим, так як його цільове призначення не обмежується виключно контролем якості повітря, а і надає

можливість виявляти дим, щоб уникати пожежі і вчасно реагувати. Для даної системи оптимальною кількістю також є три окремих модулі;

4) датчик якості повітря – узагальнений датчик, який представляє собою систему аналізу вмісту повітря на наявність частинок пилу, інших забруднювачів тощо. Даний модуль також виконується фізично окремо в кількості три одиниці;

Розглянемо перелік датчиків для вибору оптимального, які об'єднують функціонал датчика газу, та узагальнений для аналізу якості повітря.

Перший для опису обрано модуль датчика якості повітря ZP07-MP503 (див. рис. 3.4).



Рисунок 3.4. Модуль датчика якості повітря ZP07-MP503 [12]

Згідно даних з технічного опису [12] даний датчик використовує удосконалений товстоплівковий напівпровідниковий датчик газу, який володіє високим рівнем чутливості до летких органічних газів, зокрема таких як:

- формальдегід;
- бензол;
- окис вуглецю;
- аміак;

- водень;
- алкоголь;
- сигаретний дим;
- ароматизатори.

Також варто зазначити на необхідності виконання калібрування, так як після виконання налагодження та калібрування він забезпечує кращий показник чутливості та точності вимірювання. Модуль також володіє здатністю до самодіагностики несправності, має низьке енергоспоживання, що робить модулі на його основі більш автономними.

Згідно технічного опису, даний датчик володіє рядом наступних характеристик [12]:

- фізичний інтерфейс: термінальна розетка ХН2.54-4Р;
- вихідні дані: від 0 до +4 В;
- робоча напруга живлення: 5.0 ± 0.2 В постійного струму (без захисту від зворотного підключення напруги);
- тип вихідних даних: аналоговий сигнал рівня TTL (вбудований захисний опір 200 Ом);
- робочий струм: ≤ 60 мА;
- час розігріву: ≤ 3 хвилини;
- час відгуку: ≤ 20 секунд;
- час відновлення: ≤ 60 секунд;
- робоча температура: $0 \sim +50$ °С;
- робоча вологість: 95% відносної вологості;
- послаблення чутливості: ≤ 1 %/рік.

Наступним датчиком якості повітря для вибору буде AGS02MA (див. рис. 3.5), що згідно опису [12] являє собою високопродуктивний датчик TVOC, який в свою чергу оснащений спеціалізованим чіпом ASIC, на основі спеціальної технології для ефективного виявлення та аналізу різноманітних газів.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Цей датчик забезпечує хороший рівень продуктивності та надійності, довготривалу стабільність роботи, а також низьке енергоспоживання забезпечуючи при цьому високу чутливість. Має заводську калібровку.

У описі від виробника зазначається [12], що цей датчик розроблений для виявлення та моніторингу різних летких органічних газів, а також те що його передбачено для застосовувати в системах очищення повітря, побутовій техніці, системах подачі свіжого повітря тощо.

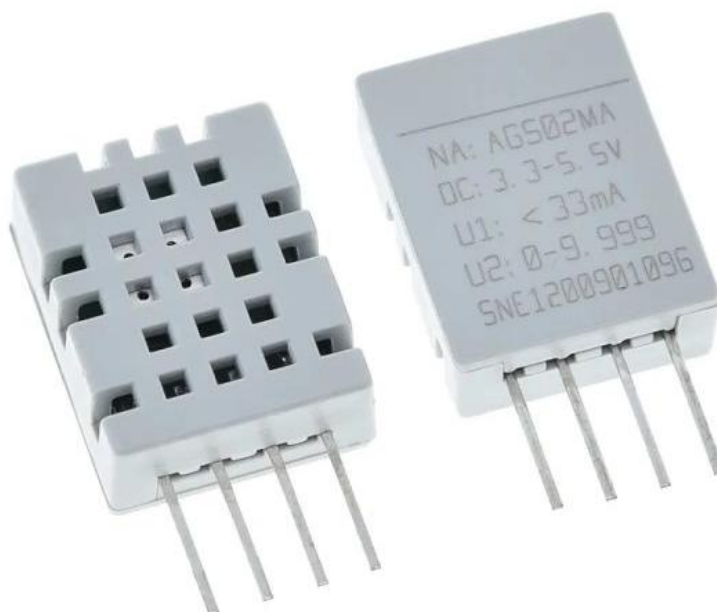


Рисунок 3.5. Датчик якості повітря AGS02MA (TVOC) [12]

Згідно опису має наступні технічні характеристики та особливості [12]:

- робоча напруга: від 3.3 В до 5.5 В постійного струму;
- робочий струм: 28 ± 5 mA;
- період вибірки: ≥ 2 с;
- час попереднього нагрівання: ≥ 120 с;
- робоча температура від 0°C до 50°C;
- робоча вологість: від 0 до 95% відносної вологості;
- тривалість життя: >5 років (при 25 °C, та чистому повітрі);
- режим виведення даних: I2C ведений режим (≤ 30 кГц);

- категорія датчика: напівпровідниковий датчик;
- діапазон вимірювання: від 0 до 99 999 частин на мільярд;
- типова точність: 25% (25°C/50% відносної вологості);
- стандартний тестовий газ: спирт етиловий.

Наступним варіантом вибору для системи контролю та моніторингу якості повітря є модуль датчика MICS5524 (див. рис. 3.7)

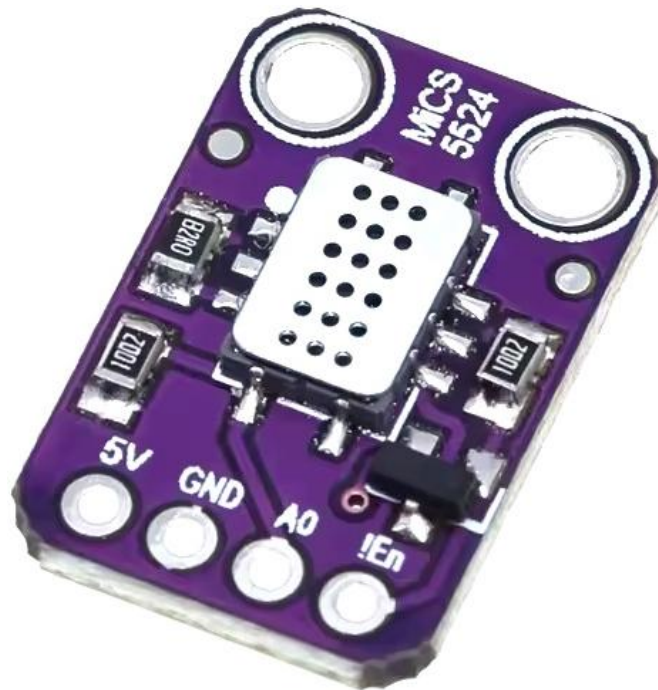


Рисунок 3.7. Модуль датчика якості повітря MICS-5524 TVOC [12]

Датчик MICS5524 TVOC розроблений для [12] виявлення вмісту ряду речовин:

- етанол (від 10 до 500 ppm);
- CO (від 1 до 1000 ppm);
- водень (від 1 до 1000 ppm);
- аміак (від 1 до 500 ppm);
- газів метан/бутан/ізопропан (>1000 ppm).

Але зазначається, що цей датчик не здатний визначити рівень концентрації речовини, яку він виявив, при цьому лише фіксуючи що якість повітря знижена, у зв'язку з наявністю певної речовини/газу.

Датчик призначений для застосовується у побутових пристроях, і не призначений для застосування в медичних чи промислових системах. Також кожен датчик потребує окремого калібрування для забезпечення оптимального рівня точності. Принцип роботи датчика [12] заснований на зміні його внутрішнього опору, так як застосовує чутливий елемент який реагує на зміну концентрації цільових газів.

Згідно технічного опису цей датчик якості повітря володіє рядом наступних характеристик:

- тип датчика: електрохімічний;
- напруга живлення: +5В;
- споживаний струм: 25 - 35 мА;
- вихід датчика: аналоговий.

5) датчик пилу - також у систему можна інтегрувати незалежний модуль датчика пилу, який з кращою точністю забезпечить вимірювання та подальший моніторинг даного параметру. Оптимальною кількістю для системи є три одиниці;

Для реалізації системи контролю рівня пилового забруднення пропонується використовувати модуль датчика пилу GP2Y1010AU0F (див. рис. 3.8) [12].

Згідно опису - це датчик якості повітря Sharp GP2Y1010AU0F, який призначений для виявлення в повітрі дрібних частинок розміром більше 0,8 мкм, в тому числі і сигаретний дим. Модуль володіє низьким рівнем енергоспоживання, яке можна додатково мінімізувати шляхом відключення підсвічування зчитувача, має у складі аналоговий лінійний вихід з напругою, пропорційною щільності пилу, а також має вбудований стабілізатор напруги для широкого діапазону живлячої напруги [12].

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В загальному має призначення для застосування у різного роду системах очищення, контролю та моніторингу рівня забруднення, а також у системах кондиціонування повітря.



Рисунок 3.8. Модуль датчика пилу GP2Y1010AU0F [12]

Згідно опису має наступні робочі характеристики [12]:

- чутливість: 0,5 В / (100 мкг / м³);
- діапазон вимірювання: 500 мкг / м³;
- напруга живлення: 2,5 В ~ 5,5 В;
- робочий струм: 20 мА (макс.);
- робоча температура: -10°C ~ 65°C;
- температура зберігання: -20°C ~ 80°C;
- розмір отвору для повітря: 9,0 мм.

Даний датчик є важливою складовою будь-якої системи контролю та моніторингу якості повітря, так як пил є одним з алергенів, що найчастіше викликає алергічні реакції у працівників, знижуючи показники працездатності.

б) датчик рівня освітленості – представляє собою сенсор, який реагує на зміну рівня освітленості. У деяких модулях цю функцію виконує фоторезистор,

який змінює значення опору в залежності від рівня освітленості, але також існують й інші датчики. Пропонується використовувати чотири окремих модулі вимірювання рівня освітленості у різних місцях приміщення.

Наступним датчиком для системи є цифровий датчик освітленості GY-302 на базі чіпу BH1750 (див. рис. 3.9), який призначений для виконання вимірювання рівня фонового освітлення. Датчик володіє високим показником чутливості та використовує для підключення та обміну даними послідовний інтерфейс I2C. Також його спектр чутливості збігається з кривою чутливості людського ока [12].

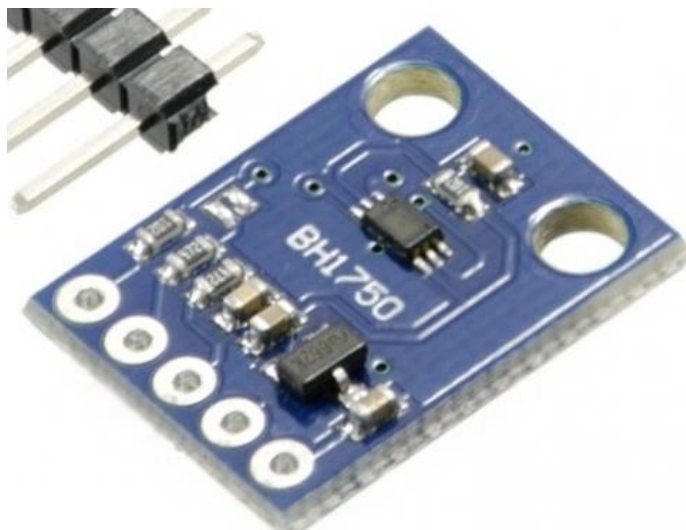


Рисунок 3.9. Датчик освітленості цифровий GY-302 BH1750FVI [12]

GY-302 має ряд наступних характеристик [12]:

- вбудований сенсор і цифровий перетворювач;
- прямий цифровий вихід, без додаткових складних обчислень, перетворень і калібрування;
- нечутливий до фонового світла;
- спектральна характеристика близька до візуальної чутливості;
- для широкого діапазону, точність вимірювання становить - 1 Лк;
- напруга живлення: 3 - 5 В;
- діапазон даних: 0-65535 Лк;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- інтерфейс: I2C.

Описаний перелік датчиків здатний забезпечити оптимальний контроль показників, які визначають якість повітря у будь-якому приміщенні.

3.2. Опис центральної системи керування та ядра модулів

Для того, щоб центральна система та окремі вимірювальні модулі могли виконувати основний перелік функціональних задач необхідно виконати вибір оптимальної обчислювальної платформи, яка буде мати достатню обчислювальну потужність, частоту ядра, кількість фізичної пам'яті, достатню кількість оперативної пам'яті, мати підтримку поширених інтерфейсів взаємодії для підключення зовнішніх датчиків, достатню кількість зовнішніх контактів, як цифрових так і аналогових, а також відповідати логічному рівню взаємодії між датчиком і системою.

Для початку варто виконати вибір основної центральної обчислювальної системи у категорії мікроконтролерів та платформ розробки.

Першим варіантом розглядається плата розробника Arduino Nano RP2040 Connect (див. рис. 3.10). Дана плата є потужною платформою, яка здатна виконувати складні обчислювальні операції, а також дистанційну передачу даних через модуль Wi-Fi, який вже вбудований у саму плату.

Володіє наступними технічними характеристиками [12]:

- використовує двоядерний процесор архітектури ARM, а саме 2 ядра Cortex-M0+ у складі чіпа RP2040;
- забезпечує робочу частоту до 133 МГц;
- оперативний запам'ятовувальний пристрій обсягом 264 Кб SRAM;
- обсяг флеш-пам'яті 16 Мб;
- володіє набором вбудованих інтерфейсів UART, I2C, SPI;
- має вбудований модуль Wi-Fi;
- містить 20 цифрових контактів, 8 з яких підтримує ШІМ-сигнал;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- має 8 аналогових входів;
- а також має вбудований 6-осьовий акселерометр та гіроскоп в одному чіпі та мікрофон.

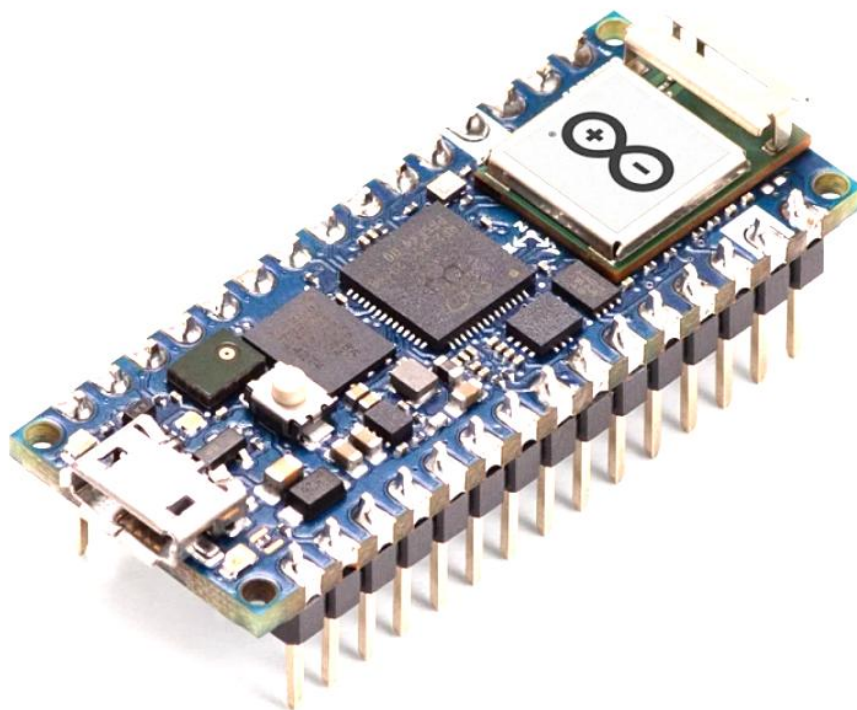


Рисунок 3.10. Arduino Nano RP2040 Connect ABX00053 [12]

Наступною платою розробника для системи контролю якості повітря є STM32F042K6 (див. рис. 3.11), яка є платформою від STM32 серії Nucleo. Варто зазначити, що ця платформа є хорошою альтернативною для систем де важливе виконання обчислювальних задач, але не має вбудованого модуля передачі даних бездротовим методом, що в свою чергу буде вимагати більше витрат та впливає на технічну складність архітектури системи.

Плата STM32F042K6 має ряд таких характеристик [12]:

- центральний процесом архітектури ARM, а саме одне ядро Cortex-M0;
- робоча частота становить 48 МГц;
- оперативний запам'ятовувальний пристрій обсягом 6 кБ SRAM;
- флеш-пам'ять обсягом 32 кБ;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

- підтримка інтерфейсів UART, SPI, I2C;
- має 26 контактів для підключення зовнішніх пристроїв та модулів;
- має 10-бітний ADC з до 10 аналогових входів.

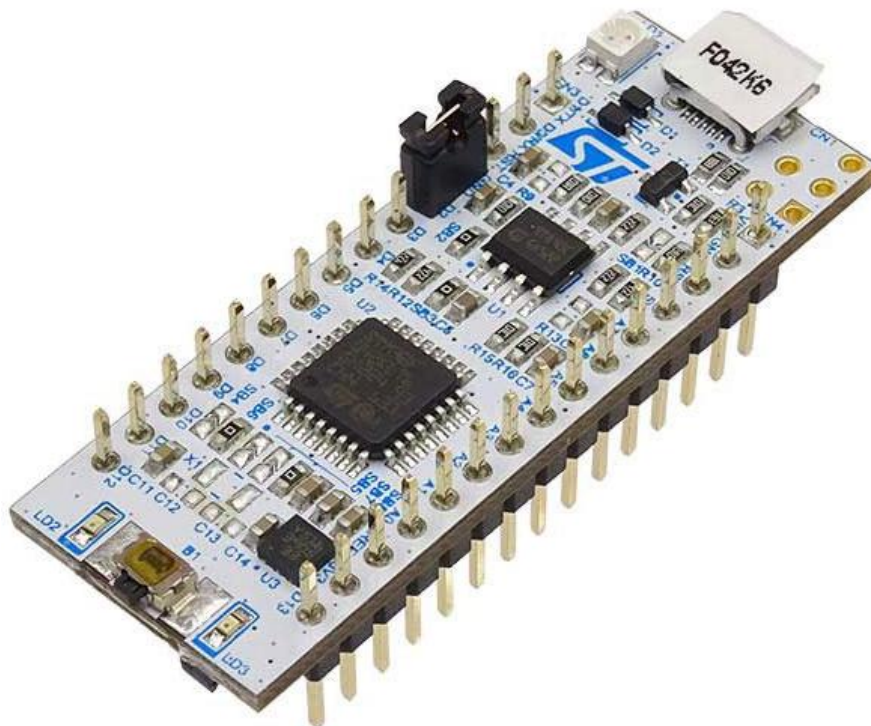


Рисунок 3.11. Плата розробника STM32F042K6 [12]

Наступною платформою на розгляд є Raspberry Pi Pico W (див. рис. 3.12), яка є оригінальною платою розробника від компанії Raspberry Pi, на базі власного чіпу RP2040. Плата розробника Arduino Nano RP2040 Connect AVX00053 має такий же чіп, але характеризується значно вищою ціною у порівнянні з Raspberry Pi Pico W. Дана платформа вже містить у своєму складі модуль Wi-Fi, що зменшує витрати та складність інтеграції в систему.

Raspberry Pi Pico W має наступні технічні характеристики [12]:

- двоядерний процесор ARM, на базі 2-х ядер Cortex-M0+ у складі чіпу RP2040;
- має максимальну робочу частоту 133 МГц, яку можна програмно змінювати;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- оперативну пам'ять обсягом 264 Кб SRAM;
- обсяг постійної пам'яті 2 Мб, у вигляді флеш-пам'яті;
- підтримує поширені інтерфейси комунікації UART, SPI, I2C;
- має інтегрований Wi-Fi модуль;
- має 26 зовнішніх контактів для підключення зовнішніх модулів, включно з контактами які підтримують ШІМ-сигнал.

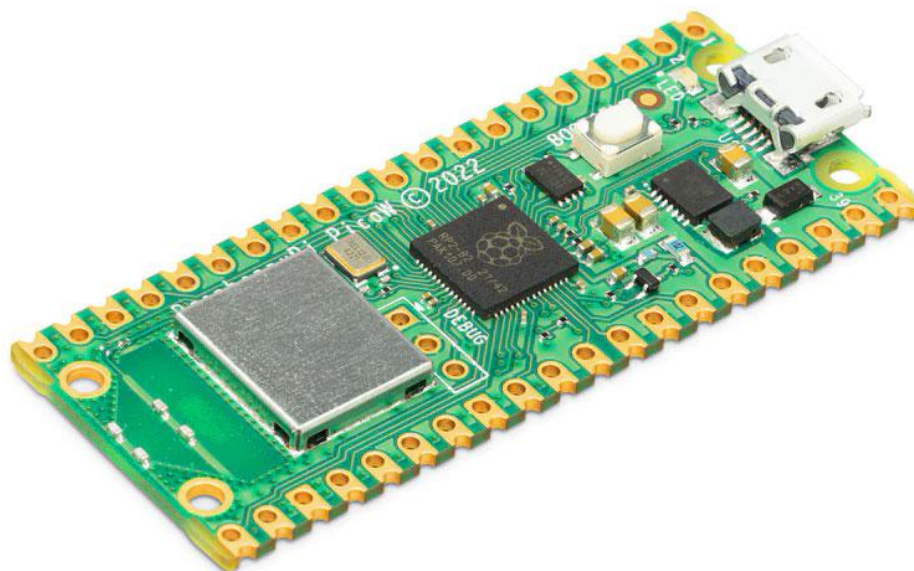


Рисунок 3.12. Плата розробника Raspberry Pi Pico W [12]

Наступною платформою для розгляду обрано плату серії ESP32, а саме ESP32-WROOM-32D, яка надає широкі обчислювальні можливості, вбудовану підтримку передачі даних бездротовим зв'язком та великий обсяг оперативної та постійної пам'яті.

Важливо зазначити, що дана платформа має базове цільове призначення у сфері бездротових технологій, зокрема для IoT рішень, що робить її надійною та гнучкою для цих задач.

Платформа ESP32-WROOM-32D має наступні технічні особливості [12]:

- двоядерний процесор Xtensa LX6;
- робочу частоту до 240 МГц;
- обсяг оперативної пам'яті 520 Кб SRAM;

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- обсяг постійної пам'яті флеш обсягом 4 Мб;
- надає підтримку поширених інтерфейсів взаємодії UART, I2C, SPI;
- має вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth;
- має 34 зовнішніх контактів для підключення зовнішніх пристроїв;
- має 18 аналогових каналів (12 біт).

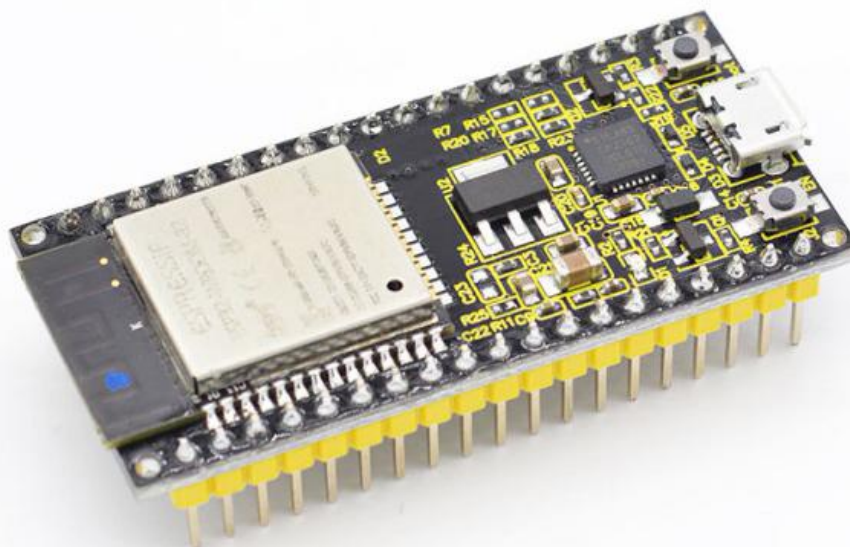


Рисунок 3.13. Плата розробника ESP32-WROOM-32D [12]

Ця платформа є найпотужнішим варіантом з усіх описаних, але в свою чергу має вищу цінову категорію.

Для ефективної оцінки варто побудувати порівняльну таблицю обчислювальних платформ.

Таблиця 3.1. Порівняльна таблиця обчислювальних платформ

Назва платформи	Частота ядра, МГц	ОЗП, Кб	Флеш	Бездротовий зв'язок	GPIO	Інтерфейси
Arduino Nano RP2040 Connect ABX00053	133	264	16 Мб	Наявний	20	UART, SPI, I2C
STM32F042K6	48	6	32 Кб	Відсутній	26	UART, SPI, I2C
Raspberry Pi Pico W	133	264	2 Мб	Наявний	26	UART, SPI, I2C
ESP32-WROOM-32D	240	520	4 Мб	Наявний	34	UART, SPI, I2C

Виконавши узагальнену оцінку платформ для обчислювальної системи центрального блоку та модулів, обрано Raspberry Pi Pico W. Так як дана платформа має весь необхідний набір характеристик, має два ядра в складі одного чіпу, підтримує високу робочу частоту, має достатню кількість ОЗП та ПЗП, підтримує весь перелік необхідних інтерфейсів.

Завдяки використанню одного й того самого типу платформи, як для центральної системи так і для периферійних модулів, забезпечується високий рівень сумісності, а також спрощується процес розробки, уніфікується програмні функції та забезпечується зниження вартості загальної системи. Зокрема варто зазначити, що Raspberry Pi Pico W має відносно низьку ціну у порівнянні з аналогами, що робить даний вибір економічно обґрунтованим для масштабної модульної архітектури.

3.3. Опис блоку введення та виведення інформації

Даний блок призначений для відтворення інформації про стан системи, числові показання з датчиків у реальному часі, виконання налаштувань та введення команд. Цей блок фізично інтегрований у центральну обчислювальну систему та призначений для безпосереднього використання на місці, коли немає можливості використовувати додаток.

У склад блоку введення/виведення інформації (ВВІ) зазвичай входить дисплей, а також набір кнопок чи модуль клавіатури. Розглянемо детальніше можливі модулі для реалізації системи ВВ.

Перший варіант для блоку системи ВВ є SPI TFT дисплей з роздільною здатністю 240 x 320, побудований на базі контролера ILI9341 з вбудованою резистивною сенсорною панеллю та контролером ХРТ2046 (див. рис. 3.14) [6], тому цей дисплей забезпечує вищий рівень інтерактивності та зручність керування.

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Так як дисплей підключається з використанням інтерфейсу SPI, то він сумісний з більшістю сучасних обчислювальних систем, зокрема з обраною платформою.



Рисунок 3.14. 2.8" 240x320 TFT LCD SPI модуль з тачскріном [12]

Зазначається [12], що в модуль дисплея, а саме на платі, інтегровано SD інтерфейс для використання SD-карти у якості зовнішнього накопичувача, як для зберігання графічних даних так і іншої інформації.

Технічні характеристики дисплея [6]:

- тип: LCD TFT з сенсорною панеллю;
- розмір: 2,8";
- тип сенсорної панелі: резистивна;
- тип інтерфейсу: SPI;
- напруга логічних рівнів: 3,3 В;
- розмір дисплея: 59 x 48,96 мм;
- розмір плати: 85x48 мм;
- розміщення пікселів: RGB вертикально;
- контролер дисплея: ILI9341;
- підсвічування: біле світлодіодне;

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

- кут огляду: 70 градусів;
- глибина кольору: 262K / 65K;
- роздільна здатність: 240 x 320;
- напруга живлення: 3,3В (на платі встановлений стабілізатор напруги з 5В на 3,3В);
- кількість ліній керування дисплеєм: 4.

Цей дисплей може бути хорошим рішенням для побудови систем з розширеним інтерфейсом користувача, забезпечуючи сенсорне інтуїтивне керування. Але такий дисплей споживає значно більше електроенергії.

Наступний дисплей для розгляду було обрано класичний символний . LCD дисплей (див. рис. 3.15).

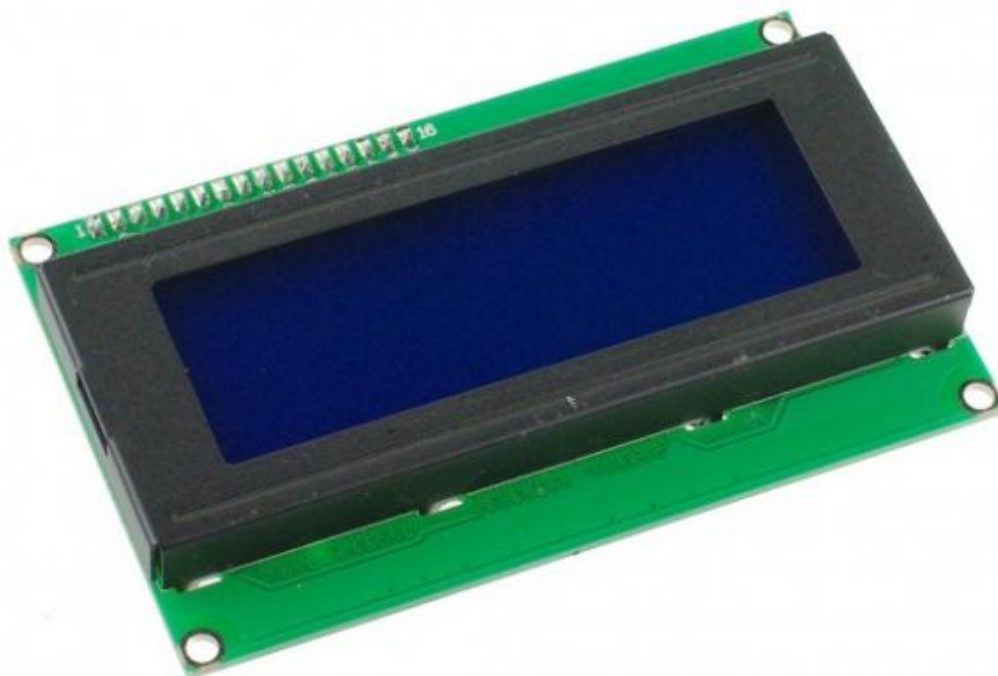


Рисунок 3.15. LCD 2004 символний дисплей 20x4 (синій) [12]

Цей дисплей має 20 символів, 4 рядки та побудований на базі чіпа сумісного з HD44780 [6]. Варто зазначити, що цей дисплей не має підтримки кирилиці, тому у разі потреби відображення символів кирилиці буде необхідно створювати власний набір символів, що у свою чергу сильно ускладнює процес

розробки, а також потребує значного обсягу постійної пам'яті для збереження великої кількості масивів власних символів, що може бути проблемою у контексті використання деяких МК. Також вказується, що дисплей можна використовувати як у 8-ми, так і в 4-бітному режимі.

Ключові технічні характеристики дисплею [12]:

- напруга живлення: від 3,3 до 5В (при напрузі нижче 4В для високої контрастності потрібне джерело негативної напруги для регулятора контрастності);
- напруга логічних рівнів: від 3 до 5В;
- розміри модуля: 98 x 60 x 14 мм;
- видима область: 75 x 25 мм.

Даний дисплей може бути корисним для системи у випадку, коли необхідно забезпечити простоту керування та мінімальні затрати електроспоживання, але він є дещо обмеженим у задачі розробки інтерфейсу користувача. Також у порівнянні з TFT-дисплеєм він є значно дешевшим.

Наступним елементом буде розглянуто систему введення даних. Для спрощення архітектури системи, мінімізації витрат, щоб не будувати систему ВВ для кожної кнопки окремо, доцільно використовувати модулі клавіатури. Одним із оптимальних варіантів – це використання мембранної клавіатури.

Для задачі оптимальним вибором є 20-кнопочка мембранна клавіатура (див. рис. 3.16). Даний модуль призначений для введення різноманітної інформації та керування, так як візуально адаптований для введення чисел, вибору параметрів, здійснення перемикачів за допомогою стрілок тощо.

Характеристики обраної клавіатури [12]:

- тип клавіатури: мембранна, плоска, на 20 клавіш (матриця 4x5);
- максимальна напруга: 250 В (50-60 Гц);
- струм: 50 мА;
- запас довговічності: до 500000 натискань;
- опір ізоляції: 150 МОм (100 В);

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- діапазон робочої температури: 10 - 75°C;
- розміри (довжина і ширина): 75 x 85 мм;
- довжина кабелю: 103 мм;
- конектор: 9 контактів, крок 2,54 мм.



Рисунок 3.16. 20-ти кнопкова мембранна клавіатура [12]

Дана клавіатура сумісна з усіма розглянутими обчислювальними системами, що забезпечує оптимальну архітектуру, простоту підключення та програмне налаштування.

3.4. Розробка загальної електричної схеми системи

Після повного вибору усіх ключових складових елементів виконується побудова електричної принципової схеми системи та її незалежних модулів.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

На рисунку нижче зображено загальну схему розробленої системи (див. рис. 3.17).

надається за запитом до авторів

Рисунок 3.17. Електрична принципова схема системи контролю якості повітря в офісному приміщенні

На схемі показано чотири окремі модулі, а саме: модуль центральної системи керування, модуль датчика вимірювання температури та вологості, модуль аналізатора якості повітря та концентрації пилу, а також модуль вимірювання рівня яскравості світла.

Модулі незалежні, тому їх робота та справність не впливає на працездатність інших модулів.

Розглянемо кожен складовий модуль окремо, щоб визначити його особливості, спосіб підключення та наявні складові елементи.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

На рис. 3.18 зображено схему модуля датчика температури та вологості.

надається за запитом до авторів

Рисунок 3.18. Електрична принципова схема модуля датчика температури та вологості

Модуль побудований та базі плати платформи розробки Raspberry Pi Pico W, яка має у своєму складі інтегрований Wi-Fi модуль, що спрощує реалізацію взаємодії між модулем та центральною системою.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

У складі модуля наявно два датчика температури та вологості DHT21, які мають хороші показники точності та надійності. У модулі інтегровано два датчика з огляду на забезпечення точнішої інформації щодо показників, відповідно на DD1 виконується зчитування, обробка та об'єднання даних, щоб отримати точніший показник. Також такий підхід покращить надійність системи, так як у випадку відмови одного датчика система матиме можливість отримати показання і надалі.

У модуль інтегровано систему живлення та заряджання на базі плати TP4056 та акумуляторної батареї 18650. Таким чином система має незалежне живлення, а акумулятор можна легко замінити або зарядити. Плата має два світлодіоди VD4 та VD5 для відображення статусу зарядки.

У системі живлення наявний діод шоткі, який призначений для запобігання виникнення пробоя на центральну плату, і розташований між виходом системи живлення та входом живлення на платі.

Також аналогічні світлодіоди наявні у самій системі і призначені для індикації стану модуля, наприклад для відображення режиму роботи чи у разі проблеми датчика.

Модуль конструкційно виконується у незалежному корпусі, та розміщується на певній висоті. У системі передбачено використання декількох таких модулів, що дозволяє отримувати інформацію про стан показників температури та вологості з різних частин приміщення і виконувати відповідні дії або сигналізувати про неналежний стан показника тощо.

Наступним модулем системи буде розглянуто комбінацію датчиків якості повітря та рівня концентрації пилу. Електричну принципову схему модуля зображено на рис. 3.19.

Модуль має аналогічну структуру, який і минулий, але використовує інші датчики та спосіб підключення.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Для підключення датчика якості повітря використовується інтерфейс I2C, до якого доєднано два pull-up резистори, для забезпечення стабільної роботи.

надається за запитом до авторів

Рисунок 3.19. Електрична принципова схема модуля датчиків якості повітря та концентрації пилу

Датчик пилу DD9 в свою чергу підключається до цифрового контакту для отримання даних про виміряні показники. Система живлення використовує аналогічний принцип, як в минулому модулі, та таку ж систему захисту від пробую.

Даний модуль також оснащений двома світлодіодами VD11 та VD12, для візуалізації стану роботи модуля.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Наступним модулем буде розглянуто блок вимірювання рівня яскравості світла, електрична принципова схема якого зображена на рис. 3.20.

надається за запитом до авторів

Рисунок 3.20. Електрична принципова схема модуля датчика рівня освітленості

Даний модуль, як і попередні має аналогічну архітектуру, центральне ядро, систему живлення та індикації, але відрізняється наявністю датчика рівня освітленості.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

У цій системи підключено датчик GY-302, який поєднано з центральною системою через інтерфейс I2C, що забезпечує стабільний та надійний обмін даними.

Останнім блоком буде розглянуто центральну систему керування (див. рис. 3.21).

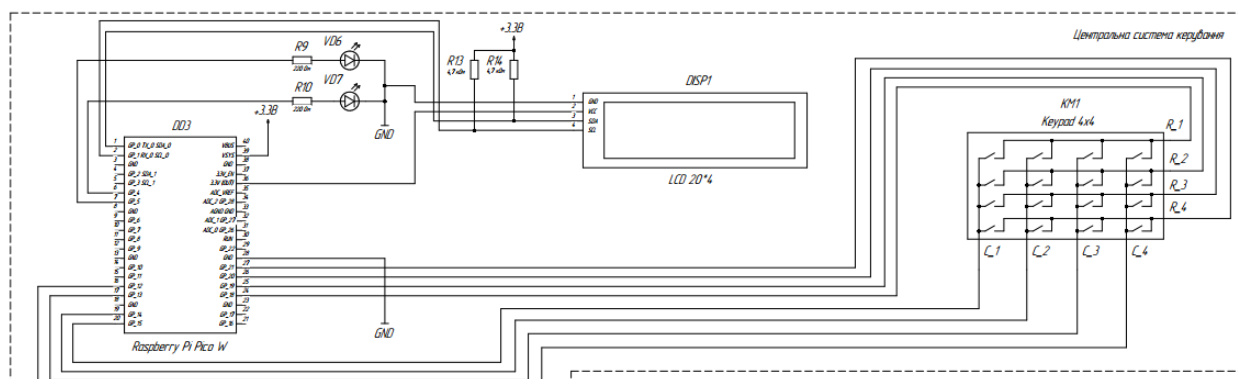


Рисунок 3.21. Електрична принципова схема центральної системи

Дана система використовує аналогічне ядро, як і модулі, що в свою чергу спрощує комунікацію між ними, має у складі LCD дисплей DISP1, який підключається через інтерфейс I2C, та модуль матричної клавіатури 4 на 4 кнопки МК1, яка підключається до цифрових контактів ядра. У блок також інтегровано індикатори для відображення стану роботи системи.

Важливою відмінністю даного блоку це те, що він не передбачає роботу від акумулятора, а в свою чергу працює від звичайного джерела живлення, наприклад використовуючи блок живлення на 5В, що на вході ядра стабілізується на необхідний рівень 3,3В.

3.5. Визначення показників споживаної потужності окремих модулів системи контролю якості повітря

У цій частині буде виконано розрахунок, сутність якого полягає у орієнтовному визначенні споживаної потужності окремих складових системи, що необхідно для підтвердження обраного способу забезпечення живлення.

Для початку варто розглянути порядок виконання розрахунку. Для того, щоб розрахувати показник потужності використовується наступна формула:

$$P = U \cdot I [Вт], \quad (3.1)$$

де

P – значення потужності;

U – значення напруги;

I – значення струму.

Дана формула доцільна для розрахунку потужності одного модуля системи, або цілісної системи, але якщо пристрій складається з певної кількості складових елементів, то варто використовувати також наступну формулу:

$$P_{\text{заг}} = P_1 + P_2 + \dots P_n, \quad (3.2)$$

де:

$P_1, P_2 \dots P_n$ – розраховані значення потужності окремих модулів системи.

Використовуючи дані вирази можемо розрахувати потужність окремих модулів, а також кожного блоку окремо. На початку буде виконано розрахунок модуля визначення температури та вологості.

У складі модуля знаходиться платформа розробника RP Pico W, два датчика температури та вологості DHT21, чотири світлодіоди, а також модуль зарядки TP4056.

Живлення модуля забезпечується через модуль заряду та підключеного до нього акумулятора 18650, який забезпечує вхідну напругу 3.7В, що достатньо для живлення окремих складових елементів.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

RP Pico W в активному режимі може споживати від 160 д 260 мА згідно технічною документації. Цей показник значною мірою залежить від кількості підключених модулів, передачі даних, робочої частоти ядра тощо. У даному розрахунку буде використовувати максимальне значення.

Так як центральне ядро RP Pico W наявне у всіх складових модулях, цей розрахунок буде проведено один раз.

У результаті отримуємо наступний показник максимального можливого споживання:

$$P_{\max RP} = I_{\max RP} \cdot U_{RP} = 0,26 \cdot 3,7 = 0,962 \text{ [Вт]}$$

А також показник середнього споживання:

$$P_{\max RP} = I_{\max RP} \cdot U_{RP} = 0,16 \cdot 3,7 = 0,592 \text{ [Вт]}$$

Дані показники відображають залежність споживаною потужності від режиму роботи ядра, частоти, передачі даних. Так як система передбачає можливість автономної роботи тривалий проміжок часу, то у ній передбачено алгоритми мінімізації енергоспоживання шляхом реалізації режимів енергозбереження, виконання вимірювань та передачі даних у певні проміжки часу, а не в режимі постійного обміну даними. Такий підхід необхідний також для того, щоб налаштувати обмін між усіма наявними модулями у системі та центральним ядром шляхом реалізації алгоритму почергового опитування.

У складі модуля наявних датчик температури та вологості DHT21, який характеризується високим показником енергоефективності та споживає під час виконання вимірювання приблизно 1,5мА. Діапазон допустимої вхідної напруги знаходиться у межах від 3,3В до 5В, у даному випадку передбачено живлення 3,3В. Відповідно отримаємо наступний показник:

$$P_{\max DHT21} = I_{\max DHT21} \cdot U_{DHT21} = 0,0015 \cdot 3,3 = 0,00495 \text{ [Вт]}$$

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Але так, як у складі модуля передбачено два датчика DHT21, то їх сумарна споживана потужність буде становити:

$$P_{\max DHT21} = 2 \cdot (I_{\max DHT21} \cdot U_{DHT21}) = 2 \cdot (0,0015 \cdot 3,3) = 0,0099 \text{ [Вт]}$$

Модуль зарядки TP4056 під час роботи модуля знаходить у режимі очікування, і відповідно споживає дуже мало струму, згідно з описом це значення може становити близько 200 мкА. Дана частина також буде однаковою для усіх модулів, так як модуль заряджання присутній у них всіх, окрім центрального блоку. Відповідно отримаємо наступний результат:

$$P_{\max TP4056} = I_{\max TP4056} \cdot U_{TP4056} = 0,0002 \cdot 3,7 = 0,00074 \text{ [Вт]}$$

Також у складі модуля наявно чотири світлодіоди для функції індикації, два з яких знаходяться у складі TP4056, та ще два у складі індикації стану роботи модуля. Тому варто зазначити, що ці світлодіоди працюють незалежно один від одного, та в фактичному використанні будуть споживати менше потужності ніж максимально розрахований.

Маємо напругу живлення 3,3В та резистори номіналом 220 Ом. Падіння напруги на світлодіоду становить приблизно 2,0В що також варто врахувати, але це значення може змінюватися у залежності від обраного кольору.

Відповідно маємо напругу на резисторі:

$$U_R = 3,3 - 2,0 = 1,3 \text{ [В]}$$

Струм споживання світлодіоду буде приблизно становити:

$$I_{LED} = \frac{U_R}{R} = \frac{1,3}{220} = 0,00591 = 5,91 \text{ [мА]}$$

У свою чергу показник споживаної потужності на одному світлодіоді під час його роботи може становити приблизно:

$$P_{LED} = I_{LED} \cdot U_{LED} = 0,00591 \cdot 3,3 = 0,0195 \text{ [Вт]}$$

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

А так як у системі передбачено чотири світлодіоди, то у випадку роботи усіх одночасно споживана потужність буде становити орієнтовно:

$$P_{LED\ заз} = 4 \cdot (I_{LED} \cdot U_{LED}) = 4 \cdot (0,00591 \cdot 3,3) = 0,078 \ [Bm]$$

Можемо розрахувати загальну споживану потужність модуля датчика температури та вологості при максимальній потужності ядра:

$$\begin{aligned} P_{\max\ МДТВ} &= P_{\max\ RP} + P_{\max\ DHT21} + P_{\max\ TP4056} + P_{LED} = \\ &= 0,962 + 0,0099 + 0,00074 + 0,078 = 1,05 [Bm] \end{aligned}$$

Та при значенні середньої потужності споживання ядра:

$$\begin{aligned} P_{\text{mid}\ МДТВ} &= P_{\text{mid}\ RP} + P_{\max\ DHT21} + P_{\max\ TP4056} + P_{LED} = \\ &= 0,592 + 0,0099 + 0,00074 + 0,078 = 0,68 [Bm] \end{aligned}$$

Наступним модулем у складі системи є аналізатор якості повітря та датчик пилу. Структурно він буде відрізнятися від попереднього наявністю двох інших датчиків замість датчиків DHT21.

Аналізатор якості повітря AGS02MA живиться від 3,3В та має типовий струм споживання близько 10 мА, що робить цей модуль низьким у енергозатратах. Відповідно можемо розрахувати показник споживаної потужності:

$$P_{AGS} = U_{AGS} \cdot I_{AGS} = 3,3 \cdot 0,01 = 0,033 \ [Bm]$$

Другий модуль у складі системи це сенсор пилу GP2Y1010AU0F, який має напругу живлення 3,3В та споживає в середньому 11 мА. Відповідно можемо розрахувати:

$$P_{GP} = U_{GP} \cdot I_{GP} = 3,3 \cdot 0,011 = 0,055 \ [Bm]$$

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Можемо розрахувати загальну споживану потужність модуля датчиків якості повітря та концентрації пилу при максимальній потужності ядра:

$$P_{\max \text{ МДЯП}} = P_{\text{сер}RP} + P_{AGS} + P_{GP} + P_{\max TP4056} + P_{LED} = \\ = 0,962 + 0,033 + 0,055 + 0,00074 + 0,078 = 1,129[Bm]$$

Та при значенні середньої потужності споживання ядра:

$$P_{\text{mid} \text{ МДЯП}} = P_{\text{mid}RP} + P_{AGS} + P_{GP} + P_{\max TP4056} + P_{LED} = \\ = 0,592 + 0,033 + 0,055 + 0,00074 + 0,078 = 0,759[Bm]$$

Наступний модуль у складі системи – це модуль рівня освітленості, який виконує функцію контролю рівня оптимального показника світла у приміщенні для забезпечення необхідного мікроклімату.

Модуль використовує датчик GY-302, який живиться від 3,3В, та споживає близько 0,12 мА у активному режимі, та приблизно 0,01 мА у режимі очікування. Відповідно можемо розрахувати:

$$P_{GY} = U_{GY} \cdot I_{GY} = 3,3 \cdot 0,00012 = 0,000396 [Bm]$$

Так як це єдина функціональна відмінність даного модуля то можемо розрахувати загальну споживану потужність при максимальній потужності ядра:

$$P_{\max \text{ МДРО}} = P_{\text{сер}RP} + P_{GY} + P_{\max TP4056} + P_{LED} = \\ = 0,962 + 0,000396 + 0,00074 + 0,078 = 1,041[Bm]$$

Та при значенні середньої потужності споживання ядра:

$$P_{\text{mid} \text{ МДРО}} = P_{\text{mid}RP} + P_{GY} + P_{\max TP4056} + P_{LED} = \\ = 0,592 + 0,000396 + 0,00074 + 0,078 = 0,671[Bm]$$

Останнім блоком системи є блок управління, який має у складі аналогічний МК, а також LCD-дисплей та модуль клавіатури.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

LCD-дисплей живиться від 3,3В та споживає близько 25мА з увімкненою підсвіткою. Відповідно можемо розрахувати:

$$P_{DISP} = U_{DISP} \cdot I_{DISP} = 3,3 \cdot 0,025 = 0,125 [Bm]$$

У свою чергу модуль клавіатури споживає 0 мА, так як спрацьовує тільки у випадку натискання кнопок, але під час натиску короткочасно пропускає струм віж кільком мікроампер до міліапер, що також залежить від способу опитування кнопок. Відповідно можемо приблизно розрахувати:

$$P_{KEYPAD} = U_{KEYPAD} \cdot I_{KEYPAD} = 3,3 \cdot 0,001 = 0,0033 [Bm]$$

Тепер виконаємо розрахунок загальної споживаної потужності центрального блоку при максимальній потужності ядра:

$$\begin{aligned} P_{\max ЦБ} &= P_{\max RP} + P_{DISP} + P_{KEYPAD} + 2 \cdot P_{LED} = \\ &= 0,962 + 0,125 + 0,0033 + 2 \cdot 0,0195 = 1,126 [Bm] \end{aligned}$$

А також при значенні середньої потужності споживання ядра:

$$\begin{aligned} P_{midЦБ} &= P_{midRP} + P_{DISP} + P_{KEYPAD} + 2 \cdot P_{LED} = \\ &= 0,592 + 0,125 + 0,0033 + 2 \cdot 0,0195 = 0,759 [Bm] \end{aligned}$$

На даному етапі розрахунок потужності незалежних модулів автоматизованої системи контролю якості повітря завершено.

3.6. Висновки розділу 3

У розділі було виконано роботу з вибору та обґрунтування складових елементів системи та її модулів. Описано перелік різноманітних варіацій елементів згідно описаного функціоналу на етапі формування концепції системи.

Огляд, вибір та обґрунтування включав у собі перелік датчиків для вимірювання показників температури та вологості, аналізатори якості повітря та

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

вимірювання рівня концентрації пилу, датчики освітлення, вибір центральної системи із забезпеченням дистанційного обміну даними, а також складові блоки системи введення та виведення інформації.

Після вибору усіх складових модулів було розроблено електричну принципову схеми системи контролю якості повітря в офісному приміщенні, яка складається з чотирьох блоків, а саме: модуль датчика температури та вологості; модуль аналізатора якості повітря та рівня концентрації пилу; модуль датчика рівня яскравості освітлення; а також центральної системи керування.

Було надано вичерпний опис складових модулів, їх особливостей та структури, що дозволяє зрозуміти принцип роботи цілісної системи. Описано інтегровану незалежну систему живлення кожного модуля та центральної системи керування.

На основі розробленої електричної принципової схеми виконується побудова алгоритму роботи системи в цілому.

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВТІРЯ В ПРИМІЩЕННІ

4.1. Загальні аспекти розробки системного програмного забезпечення для вбудованих систем

Розробка програмного забезпечення передбачає комплекс дій, що включає організаційні моменти, побудову структури та архітектури програми, написання програмного коду, а також тестування, налаштування та подальшу інтеграцію у систему.

Технологія конструювання програмного забезпечення – представляє собою систему інженерних принципів для розробки економічного програмного забезпечення, яке надійне і ефективно працює в реальних комп'ютерах [13].

У загальній структурі розрізняють методи, засоби та процедури ТКПЗ. Відповідно методи забезпечують вирішення наступного перелік задач [13]:

- планування і оцінка проекту;
- аналіз системних і програмних вимог;
- проектування алгоритмів, структур даних і програмних структур;
- програмування;
- тестування;
- супровід.

Процес конструювання програмного забезпечення складається з виконання послідовності кроків, що включають у собі методи, утиліти та процедури. Визначена послідовність кроків зазвичай називають парадигмами технології проектування ПЗ [13].

Застосування парадигм ТКПЗ у реальній розробці забезпечує систематичний, впорядкований підхід до промислової розробки, а також використання і супроводу програмного забезпечення. Парадигми призначені для

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

внесення до процесу створення ПЗ організуючий інженерний початок, необхідність якого важко переоцінити [13].

Системи на базі мікроконтролерів відносяться до класу цифрових обчислювальних систем, тому методологія їхнього проектування має містити елементи апаратної та програмної підтримки. Узагальнений технологічний процес створення програмного продукту можна розділити на декілька послідовних етапів. Варто зазначити, що черговість проектування ПЗ полягає у складанні технічного завдання, розробці та деталізації алгоритму, наборі коду програми, процесу компіляції, моделюванні, програмуванні та реальній роботі з інтеграцією коду у фізичну систему. За результатами моделювання або реальної роботи можуть бути змінені вихідні дані технічного завдання, відкоригований алгоритм функціонування [14].

На етапі реалізації програмного забезпечення на базі ядра мікроконтролера важливим аспектом є вибір мови програмування. Найчастіше використовуються мови низького рівня, а також ті які підтримують роботи на апаратному рівні, наприклад надають функціонал для роботи з регістрами, таймерами та іншими апаратними ресурсами. До таких мов програмування можна віднести Assembler, який є мовою низького рівня і варто зазначити що в сучасних реаліях використання цієї мови досить обмежене так як сучасні МК мають більший об'єм пам'яті, як постійної так і оперативної, що в свою чергу полегшує умови для розробки, а також C чи C++, які є мовою високого рівня у контексті опису алгоритму, який наближений до людської мови, але надають достатній набір функцій для безпосереднього керування апаратними ресурсами. Також ці мови завдяки своїм особливостям забезпечують високу швидкодію та ефективність виконання програмного коду.

Для деяких задач та платформ розробки також може бути застосовано мови програмування Python, наприклад для платформ компанії Raspberry Pi, а також модифікацію мови C++ для платформи розробки Arduino. Ці мови простіші у сприйнятті та використанні, але не надають можливості працювати з

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

апаратними ресурсами напряму, а також є дещо повільними у порівнянні з вище описаними.

Також не менш важливим аспектом розробки є вибір середовища для програмування (IDE) та додаткових інструментів. Варто зазначити що кожна платформа розробки має своє власне інтегроване середовище, яке підтримує перелік платформ та мікроконтролерів, надає певний функціонал для спрощення налаштування та програмування, а також надає підтримку однієї чи декількох мов програмування в залежності від специфіки. Але буває і так, що розробник апаратної платформи не має власного IDE, тому зазвичай вони врахують можливість підтримки своєї платформи у вже наявних доступних середовищах розробки.

Окрема варто наголосити на особливостях розробки ПЗ для МК архітектури ARM [15]. У таких МК кожна команда виконується за один або кілька тактів, і має чітке уніфіковане призначення. У зв'язку з цим ПЗ для такого типу МК створюється з урахуванням оптимізації під швидке виконання операцій, що також полегшує процес компіляції та подальшого дебагінгу.

Також важливою перевагою таких МК є підтримка багаторівневої організації системи, що чітко дозволяє розмежовувати системні та користувацькі функції. Це особливо корисно при розробці операційних систем реального часу, а також проєктах де важливо забезпечити підвищену надійність.

					<i>ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

4.2. Розробка блок-схеми алгоритму роботи системи

На даному етапі виконується розробка блок-схеми алгоритму роботи системи. Розроблену схему зображено на рис. 4.1.

надається за запитом до авторів

Рисунок 4.1. Блок-схема алгоритму роботи програми системи контролю параметрів якості повітря

Алгоритм роботи програми для мікроконтролера повинна обов'язково мати етап входу в програму, етап налаштування (setup), основний цикл програми (loop) в якому виконується основні вимірювання, обробка та керування, а також повинна мати точку виходу з програми, тобто умову при якій система успішно та коректно завершує свою роботу.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

На початку розглянемо фрагмент блок-схеми, яка описує порядок дій на етапі входу та стартового налаштування системи (див. рис. 4.2).

надається за запитом до авторів

Рисунок 4.2. Фрагмент блок-схеми алгоритму роботи програми на етапі входу в програми та налаштування

Для системи контролю якості повітря в блоці налаштування повинно бути передбачено ініціалізацію, налаштування параметрів роботи та перевірка справності модулів системи. Але у даному випадку використовується модульна архітектура системи, тобто елементи не з'єднані між собою фізичним

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

з'єднанням, а обмінюються даними віддалено, використовуючи бездротові технології Wi-Fi.

Тому на початку, центральна система виконує базову конфігурацію власних модулів, у даному випадку системи введення та виведення інформації, після чого виконується послідовна серіє перевірок на віддалене з'єднання. Варто наголосити, що випадку проваленої спроби налаштування чи з'єднання система спробує знову виконати налаштування, про що сповістить користувача, але не зможе розпочати роботу до усунення виявленої проблеми.

Наступним етапом є перевірка з'єднання з модулем датчика температури та вологості, у разі успішного з'єднання системи забезпечить обмін даними між цими модулями і виведення фактичних показників.

Після виконується спроба з'єднання з модулями аналізу якості повітря, що представляє собою спеціальний датчик, який визначає вміст та концентрацію різноманітних шкідливих речовин, газів та випарів у повітрі. У разі успішного з'єднання буде виконано обмін даними між центральною системою та всіма наявними модулями.

Далі система виконує перехід до спроби налаштування з'єднання з модулями датчиків концентрації пилу в повітрі. Система намагається послідовно приєднатися до кожного модуля який зареєстрований у конфігурації системи, і у разі успішного з'єднання забезпечує стабільний обмін даними в реальному часі.

Останній блок з'єднання описує процес спроби налаштування з'єднання та обміну даними між усіма наявними модулями датчика рівня освітленості у системі, і після успішного з'єднання забезпечує функціонал адаптивного корегування рівня яскравості ламп загальної системи освітлення у приміщенні.

Після того, як система забезпечила з'єднання між усіма блоками у структурі та налаштувала безперервний обмін даними виконується перевірка на запуск загального циклу програми. Якщо цикл запущено, то система переходить до виконання почергового опитування датчиків та виконання функцій згідно призначення. У програмних алгоритмах для запуску основного циклу необхідно

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передати значення true в умову циклу, і відповідно умову false, щоб зупинити його. Основне тіло циклу зображено на рис. 4.3.

надається за запитом до авторів

Рисунок 4.3. Фрагмент блок-схеми основного циклу алгоритму

Тілом циклу зазвичай називають набір функцій та команд, які виконується у середині структури циклу, та відповідно повторюються щоразу. Можна визначити такі види циклів як з параметром, які виконуються певну кількість заданих разів, та з умовою, які виконується до тих пір поки умова

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вважається істиною, тобто true. Також такі цикли розділяють на цикл з післяумовою та передумовою, виконання яких відрізняється тим, першому типі циклу основне тіло виконується мінімум один раз. Для даної задачі використовується цикл з передумовою.

Першою функцією у системі є послідовне зчитування показників з датчиків. Задля уникнення частого повторення однакової функції її абстраговано до єдиного вигляду на початку тіла циклу, а після виконується по чергове виконання аналізу параметрів на відповідність заданому діапазону значень.

Першим перевіряється відповідність заданому діапазон показники температури та вологості. У випадку коли система не виявила відхилень, то передбачено просто виведення цих даних користувачу для відображення, але у випадку коли значення не знаходиться в заданому діапазоні, то система надсилає відповідне сповіщення та у разі наявності виконавчих механізмів виконує задачу стабілізації, у даному випадку вмикає систему обігріву чи кондиціонування, і виконує цю функцію до наступної ітерації.

Наступним етапом виконується аналіз параметрів якості повітря та концентрації пилу. Відповідно що у випадку відсутності відхилень усіх параметрів від норми система встановлює загальний статус якості повітря «у нормі» і продовжує виконання основного циклу. Але у разі виявлення відхилення будь-якого параметра з наявних, система повинна сповістити користувача про це, вказати який саме параметр не відповідає встановленим нормам, та запускає за наявності системи вентиляції, кондиціонування або просто сповіщає про проблему і необхідність її усунення.

Після завершення основних функцій системи контролю якості повітря в приміщенні виконується запуск функції динамічної корекції яскравості на основі даних за датчика рівня освітленості. Даний етап описаний у вигляді функціонального блоку, так як система виконує лише динамічну корекцію у реальному часі, та не виконує сповіщення про проблеми системи освітлення тощо.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення першого циклу виконується повернення на початок, де виконується перевірка на зміну умови. Зміна умови може задати користувач через системи ВВ, або через спеціалізований додаток. У разі коли умова циклу була змінена на false, то виконується перехід на етап коректного завершення роботи системи (див. рис. 4.4).



Рисунок 4.3. Фрагмент блок-схеми основного циклу алгоритму

Етап коректного завершення роботи системи передбачає послідовне відключення усіх наявних зовнішніх модулів, після чого виконується сповіщення користувача про те, що система успішно відключила усі модулі та

завершила роботу без помилок. Після сповіщення система повністю вимикається та очікує запуску ззовні.

Відповідно, такий алгоритм передбачає та описує усі необхідні функціональні задачі системи контролю якості повітря, виконує послідовну ініціалізацію, налаштування та конфігурацію, виконує почергове опитування датчиків, виведення даних для користувача, а також здійснення впливу на поліпшення цих показників, а також забезпечує коректне завершення своєї роботи.

4.3. Висновки до розділу 4

У даному розділі було детально розглянуто питання послідовності та етапів розробки ПЗ враховуючи особливості програмування під мікроконтролери. Описано підходи та технології проектування ПЗ, враховуючи особливості архітектури AVR та ARM.

Було розроблено та описано блок-схему алгоритму роботи системи контролю якості повітря в приміщенні, яка відображає ключові етапи функціонування, зокрема такі як: початкове налаштування, ініціалізація та конфігурація складових модулів системи, розглянуто особливість налаштування незалежних модулів, запуск основного циклу програми, виконання функцій вимірювання та аналізу параметрів з врахуванням зазначених діапазонів допустимих відхилень. Описано порядок коректного завершення роботи системи.

Таким чином у межах даного розділу було надано теоретичне підґрунтя для подальшої практичної розробки та написання коду. Розгляд аспектів архітектурних особливостей різних ядер дозволяє визначити оптимальні підходи до програмування враховуючи вимоги щодо ефективності, надійності, швидкості виконання інструкцій.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

ВИСНОВКИ

У роботі було виконано опис та розробку системи контролю якості повітря в офісному приміщенні. Даного роду системи є невід'ємною складовою для забезпечення якісних та комфортних робочих умов згідно з державними вимогами та стандартами. У записці розглянуто наступний перелік задач та розділів:

- розглянуто питання автоматизації та автоматизованих систем контролю у контексті обраної теми. Також детально розглянуто та описано вимоги до якості повітря згідно з наявними стандартами, надано перелік параметрів та значення, які підлягають контролю. Для отримання кращого розуміння роботи та структури таких систем було розглянуто приклад реалізації аналогу. У кінці розділу було сформовано мету, актуальність та поставлено задачі роботи;

- було виконано розробку принципу роботи системи, а також сформовано перелік функціональних можливостей та задач, які повинна забезпечувати система контролю якості повітря. На основі цих даних було побудовано принципову схему системи, яка відображає основні складові елементи та загальні зв'язки між ними;

- було виконано вибір електронних складових системи на основі побудованої структурної схеми. У розділі було надано детальний опис кожного модуля та їх технічних характеристик. На основі виконаного вибору було побудовано загальну електричну принципову схему системи, яка включає у своєму складі усі модулі з відповідними датчиками;

- побудовано алгоритм роботи системи в цілому, на основі концепції розроблено блок-схему алгоритму яка відображає ключові функціональні блоки та перевірки. У розділі також надано інформацію щодо особливостей розробки системного програмного забезпечення.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абракітов В. Е. Конспект лекцій з курсу «Автоматизація технологічних процесів» (для студентів 1 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» галузі знань 26 – Цивільна безпека спеціальності 263 – Цивільна безпека. Охорона праці) / В. Е. Абракітов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 80 с.;

2. Посібник з лекцій із дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» напрям підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладач : Карташов В.В. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 148 с.;

3. В. В. Дячок, Я. М. Захарко, М. І. Гавришко. Дослідження якості та методів очищення повітря в сучасних офісних приміщеннях. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. – 2012. – С. 104–107;

4. Міністерство охорони здоров'я України. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. Постанова №42 від 01.12.99 м. Київ. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (дата звернення 20.04.2025);

5. Система виявлення та очищення приміщення від шкідливих газів на базі технології інтернету речей / О. Іванюк та ін. Automation, Measuring and Management / Автоматика, вимірювання та керування. 2020. С. 40–48. URL: <https://doi.org/10.23939/amm2020.01.040> (дата звернення: 23.04.2025);

6. Автоматизований моніторинг та оцінка якості атмосферного повітря. Методичні вказівки для підготовки студентів за спеціальностями 101 «Екологія» та 103 «Науки про Землю» / к. геогр. н., доц. Гриб О. М., к. геогр. н., доц. Чугай А. В. / Одеса: ОДЕКУ, 2019. 58 с.;

7. Касаткіна Н., Панова О., Ніколаєв К. Інноваційні підходи до нормалізації якості повітря виробничого середовища. Системи управління,

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2021. Т. 4, № 66. С. 87–89. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2021.4.087> (дата звернення: 28.04.2025);

8. Шеліхов Ю., Аксак Н. Архітектура системи контролю мікроклімату у замкнутому приміщенні. Grail of Science. 2023. № 24. С. 296–301. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.02.2023.055> (дата звернення: 28.04.2025).

9. В.І. Голінько. Контроль умов праці: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» . – Дніпро : НТУ«ДП», 2018. – 156 с.;

10. Микитюк З., Шимчишин О., Зворськи А., Марків Д. Автоматизація процесів керування мікрокліматом житлових приміщень. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. 2024. №.4(1). С.155–162. URL: <https://doi.org/10.23939/ict2024.01.155> (дата звернення: 28.04.2025);

11. Павелко, О., Куликовська, Н., & Тіменко, А. (2023). Автоматизована система моніторингу якості повітря. Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, (6), 238–241. <https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.074> (дата звернення: 28.04.2025);

12. Arduino.ua. Офіційний дистриб'ютор Arduino в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua> (дата звернення: 29.04.2025);

13. С.В.Баран. Розробка програмного забезпечення з використанням патернів проектування: Навчальний посібник. – Кривий Ріг: Державний університет економіки і технологій, 2023. - 203 с.;

14. Програмування мікроконтролерів AVR : [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с.;

15. Програмування та застосування мікроконтролерів STM32F4Discovery: монографія / В. О. Квашнін, А. В. Бабаш, В. В. Квашнін. – Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. – 143 с.

					ДПБ ПМ11.15.000.00 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

надається за запитом до авторів