

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

Приладобудівний факультет  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Володимир ЄРЕМЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Інформаційні вимірювальні технології та системи»

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: Система контролю якості повітря і вологості

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ВМ-61-2

\_\_\_\_\_ Болдирєв Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Професор Володарський Є.Т

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) приладобудівний факультет  
(повна назва)

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма  
«Інформаційні вимірювальні технології та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт (роботу) студенту**

Болдирєву Андрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Система контролю якості повітря і вологості

керівник проєкту (роботи) Володарський Євген Тимофійович, професор ,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. №\_\_

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) 1. Вимірювальні величини: вуглекислий газ, формальдегід, пил, вологість. 2. Діапазон вимірювання вуглекислого газу: 0...2500 мг/кг, Діапазон вимірювання формальдегіду: 0 – 3 мг/кг, Діапазон вимірювання пилу: від 0,3 до 5 мм, Діапазон вимірювання вологості: від 0 до 60% 3.Точність/Похибка вимірювання: похибка вимірювання вуглекислого газу:  $\pm 30$  мг/кг, похибка вимірювання формальдегіду:  $\pm 0.05$  мг/кг, сумарна невизначеність датчику вологості і нормуючого пристрою  $\pm 5\%$ , сумарна невизначеність датчику пилу і нормуючого пристрою  $\pm 8\%$ .

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) ТЗ. Вступ. Огляд існуючих технічних рішень. Розробка структурної, функціональної та принципової схем.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) Схема структурна. Схема функціональна. Схема принципова.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Розробка та узгодження технічного завдання		
2.	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень		
3.	Проектування структурної схеми		
4.	Проектування функціональної схеми		
5.	Проектування схеми електричної принципової		
6.	Розрахунок нормуючих пристроїв		
7.	Оформлення графічних матеріалів		
8.	Оформлення пояснювальної записки		
9.	Попередній захист дипломного проекту		
10.	Рецензування дипломного проекту		
11.	Захист дипломного проекту		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Андрій Болдирєв  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту \_\_\_\_\_  
(підпис)

Євген Володарський  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

## АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті розглянуті існуючі аналогічні технічні рішення та обґрунтування актуальності побудови системи контролю якості повітря і вологості. Данна система вимірює такі параметри як рівень вуглекислого газу в діапазоні 0...5000 мг/кг, формальдегіду в діапазоні 0...5 мг/кг, концентрації часточок пилу розміром від 0,3 до 10 мм та вологість повітря до 100%. Для дипломного проекту були обрані сучасні недорогі датчики, мікроконтролери, радіоелементи, що мають мінімальну похибку, і забезпечують високу ефективність даної системи.

В ході роботи було спроектовано структурну, функціональну та принципову схеми системи, проведено аналіз та розрахунок похибок.

## ANNOTATION

In the diploma project considers the existing similar technical solutions and justification of the relevance of building a system of air quality control and humidity. This system measures such parameters as the level of carbon dioxide in the range of 0... 5000 mg / kg, formaldehyde in the range of 0... 5 mg / kg, the concentration of dust particles from 0.3 to 10 mm and humidity up to 100%. For the diploma project were chosen modern inexpensive sensors, microcontrollers, radio elements which have the minimum error and provide high efficiency of this system.

In the course of work were designed the structural, functional and basic schemes of the system, the analysis and calculation of errors was carried out.

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

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІВТ

\_\_\_\_\_ проф. Володимир Єременко

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт**

*«Система контролю якості повітря і вологості»*

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломного проєкту  
професор кафедри ІВТ

(Посада)

Володарський Євген  
Тимофійович

(П.І.П)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

Дипломник:

Ст. гр. ВМ-61-2

Болдирєв Андрій Миколайович

(П.І.П)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

Залікова книжка \_\_\_\_\_

Київ 2020

## **1. Найменування та область використання**

1.1 ІВС призначена для контролю якості повітря і вологості.

1.2 Область використання – домашні системи контролю мікроклімату.

## **2. Мета і технічне обґрунтування розробки**

Мета розробки – розробка ІВС, яка дозволить автоматизовано контролювати якість повітря і вологості .

## **3. Джерела розробки**

3.1 Основою для розробки приладу є завдання до дипломного проекту, видане кафедрою АЕД студенту 4 курсу групи ВМ-61-2 Болдиреву Андрію Миколайовичу.

3.2 Наявні державні стандарти у сфері контролю якості повітря.

3.3 Датчики інших виробників.

## **4. Технічні вимоги**

4.1 Система повинна складатися з:

— Датчиків, які вимірюють такі параметри, як рівень формальдегіду, рівень вуглекислого газу, концентрацію пилу і вологість повітря.

— Мікро-Контролер

— Нормуючі пристрої

4.1.1 Технічні та метрологічні характеристики

— Вимірювання вуглекислого газу в діапазоні 0...5000 мг/кг

— Вимірювання вологості повітря в діапазоні від 0 до 80%

— Діапазон вимірювання формальдегіду 0...5 мг/кг

— Діапазон вимірювання концентрації пилу від 0,3 до 10 мм

— Похибка вимірювання вуглекислого газу  $\pm 50$  мг/кг

— Похибка вимірювання вологості  $\pm 2$  %

— Похибка вимірювання концентрації пилу  $\pm 10$ %

— Невизначеність датчика вуглекислого газу  $\pm 0,6$  %

— Невизначеність датчика формальдегіду  $\pm 1,5$  %

— Сумарна невизначеність датчику вологості і нормуючого пристрою  $\pm 3$ %

— Сумарна невизначеність датчику пилу і нормуючого пристрою  $\pm 6\%$

#### 4.2 Вимоги до кліматичного виконання

Вимірювальний пристрій повинен зберігати свої робочі характеристики при впливі кліматичних факторів відповідно до ГОСТ 15150-69 – кліматичному виконанню УХЛ 2.

Кліматичні фактори, що впливають на роботу приладу, наведені нижче.

Таблиця 1 – Кліматичні умови для робочих умов

Кліматичний фактор	Значення
	Нормальні умови
Робоча температура, °С	-60 нижня межа +60 верхня межа
Атмосферний тиск, кПа	80 – 106,7
Максимальна відносна вологість, % (при 25 °С)	85

#### 4.2.1 Вимоги до захисту від впливу навколишнього середовища

Система має бути тепло-, холодностійкою під час транспортування та зберігати функціонування після впливу транспортування.

### 5.

#### 6. Етапи розробки

Етапи розробки і терміни виконання наведені у таблиці.

Таблиця 5.1- Етапи розробки і терміни виконання



№ п/п	Етап дипломного проектування	Дата здачі
1.	Розробка технічного завдання	
2.	Огляд існуючих технічних рішень	
3.	Розробка структурної схеми	
4.	Розробка функціональної схеми	
5.	Розробка і розрахунок схеми електричної принципової	
6.	Аналіз і розрахунок похибок	
7.	Розрахунок нормуючих пристроїв	
8.	Охорона праці	
9.	Пояснювальна записка	

№рядка	Формат	Познака			Найменування	Аркушіє	№екз.	Примітки
1					<u>Альбом 1</u>			
2								
3					<u>Документація загальна</u>			
4					<u>Заново розроблена</u>			
5	A4	BM61.090004.001 ТП			Відомість технічного проекту	1	1	
6	A4	BM61.090004.002 ПЗ			Пояснювальна записка	46	1	
7	A4	BM61.090004.001 ТЗ			Технічне завдання	4	1	
8								
9	A4	BM61.090004.003 ПЕЗ			Система контролю якості повітря і вологості			
10					Перелік елементів	1	1	
11								
12					<u>Альбом 2</u>			
13								
14					<u>Графічна документація</u>			
15					<u>Розроблена заново</u>			
16	A1	BM61.090004.001 E1						
17					Схема електрична структурна	1	1	
18								
19	A1	BM61.090004.002 E2						
20					Схема електрична функціональна	1	1	
21								
22	A1	BM61.90004.002 E3						
23					Схема електрична принципова	1	1	
					<b>BM61.090004.001 ТП</b>			
Зм.	Арк.	№ докум		Підпис	Дата			
Розроб.		Болдирев А.М.						
Перев.		ВолодарськийЄ.Т						
Тех.контр.								
Н.контр.		Богомазов С.А.						
Затвердж.								
Система контролю якості повітря і вологості Відомість технічного проекту						Літ.	Аркуш	Аркушіє
						Т		1
						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. IBТ, гр. BM61-2		

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**

на тему: «Система контролю якості повітря і вологості»

Київ – 2020 року

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	6
1.1 Огляд та аналіз аналогів на ринку .....	6
1.2 Огляд та аналіз існуючих схем.....	9
2 ОСНОВНІ ЗАСОБИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ОБРАНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ТА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ .....	13
2.1 Методи вимірювання концентрації пилу в повітрі .....	13
2.2 Методи вимірювання вологості повітря.....	14
2.2.1 Ємнісні датчики вологості .....	14
2.2.2 Резистивні датчики вологості .....	15
2.2.3 Термісторний датчик вологості .....	16
2.2.4 Оптичний (конденсаційний) датчик вологості .....	17
2.2.5 Електронний датчик вологості повітря.....	17
2.3 Методи вимірювання вуглекислого газу.....	18
2.3.1 Електрохімічні датчики .....	18
2.3.2 NDIR (Non-Dispersive Infrared Radiation) датчики.....	18
2.3.3 Електроакустичні датчики.....	19
2.4 Методи вимірювання формальдегіду .....	19
2.4.1 Фотометричний метод визначення концентрації формальдегіду ...	20
2.4.2 Електрохімічний метод визначення концентрації формальдегіду...	20

					<b>BM61.090004.001 ПЗ</b>							
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Система контролю якості повітря та вологості Пояснювальна записка</i>			<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Болдирев А.М</i>								2		
<i>Перевір.</i>		<i>Володарський Є.Т.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського ПБФ, гр. ВМ-61-2</i>				
<i>Реценз.</i>												
<i>Н. Контр.</i>		<i>Богомазов С.А.</i>										
<i>Затв.</i>												

3 АНАЛІЗ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОБРАНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ТА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ.....	21
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	28
4.1 Схема електрична структурна розроблювальної системи.....	28
4.2 Опис структурної схеми.....	29
5 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ.....	30
5.1 Схема електрична функціональна розроблюваної системи .....	30
5.2 Опис функціональної схеми .....	30
6 РОЗРАХУНОК НОРМУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДАТЧИКА ВОЛОГОСТІ .....	33
7 РОЗРАХУНОК НОРМУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДАТЧИКА ПИЛУ ....	35
8 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	37
8.1 Схема електрична принципова розроблювальної системи .....	37
8.2. Опис принципової схеми .....	37
9 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	39
9.1 Способи уникнення небезпечних факторів під час використання системи пошуку шляхом застосування сукупності технічних засобів .....	39
9.2 Визначення необхідного мікроклімату на робочому місці розробника чи робітника та його забезпечення.....	41
ВИСНОВКИ.....	43
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ І ПОСИЛАНЬ .....	44

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ВСТУП

Завдання дипломного проекту є створення системи контролю якості повітря і вологості у приміщенні. Такі системи допомагають оцінити рівень забруднення повітря і вчасно зреагувати на проблему.

Якість повітря визначається рівнем забруднення повітря, тобто вміст в ньому концентрацій забруднюючих речовин. Якість повітря може змінюватися не тільки день у день, але і протягом декількох годин. Це пояснюється тим, що рівень забруднення може змінюватись залежно від кількості викидів в атмосферу, від часу дня, наприклад в годину пік забруднення повітря є найвищим, від погодних умов, за сильного вітру, як правило, якість повітря значно краще, а також від безлічі інших чинників. У зв'язку з цим необхідно регулярно проводити вимірювання рівня забруднення повітря

Але найбільшу небезпеку для людини становить не брудне повітря на вулиці, де машини та заводи, а в приміщенні. Людина видихає в 100 разів більше CO<sub>2</sub>, ніж вдихає. В закритому герметично приміщенні, якщо присутні декілька персон, повітря стає удушливим неймовірно швидко. Нормою вуглекислого газу вважається 800-1000 мг/кг.

Формальдегід (CH<sub>2</sub>O), ще одна проблема у квартирі. Джерелами виділення формальдегіду служать такі речі, як ліжка, диван, стіл, стільці, підлога, так як вони є у кожному будинку та квартирі. Формальдегіду потрібно в середньому 3-5 років, щоб вивітрюється з меблів і підлогових покриттів. М'які меблі можуть його виділяти навіть після 10 років експлуатації Формальдегід безбарвний газ, який до певної концентрації у повітрі, ніяк не виявляється (до 0,1-0,3 мг/кг). Якщо ж концентрація перевищить ці значення, то з'являється різкий запах.

Всі знають, що у квартирі швидко накопичується пил, який може завдати дуже серйозну шкоду вашому здоров'ю. Найбільшою небезпекою є

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

тверді частки пилу з розміром не менше 10 мкм (PM10), вони легко потрапляють у дихальні шляхи, та часточки розміром менше 2,5 мкм (PM2,5), які проникають глибоко в легені. До складу РМ (Particulate matter) входять тверді мікрочастинки – солі металів, в тому числі важких, сажі, пилу, дрібні капельки рідин. Вони утворюються природним (наприклад, в пустелях, при засухах) і рукотворними шляхами (процеси згорання або ж хімічного перетворення інших забруднювачів – окису азоту, діоксиду сірки і т.д.). Відчутний внесок в цей «бруд» вносять транспорт та будівництво.

Повітря в закритому приміщенні в 4-8 разів більш брудніше, ніж на вулиці і в 8-10 разів токсичніше. Ви можете це перевірити скориставшись відповідними приладами. А також зрозуміти, коли вам треба провітрити приміщення. Але не слід забувати про такий чинник, як вологість повітря бо саме вплив низької вологості повітря може призвести до сухості шкіри та підвищення активності вірусів, натомість підвищена вологість спричиняє ризик респіраторних захворювань і розмноження патогенних мікроорганізмів. Вологість повітря не повинна опускатися нижче 30-40% і бути не вище 65%.

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

## 1.1 Огляд та аналіз аналогів на ринку

В даному розділі розглянемо моделі даного пристрою та їх характеристики, які можна знайти у продажі.

Монітор якості повітря «Extech CO100», зображено на рис.1.1 [1].

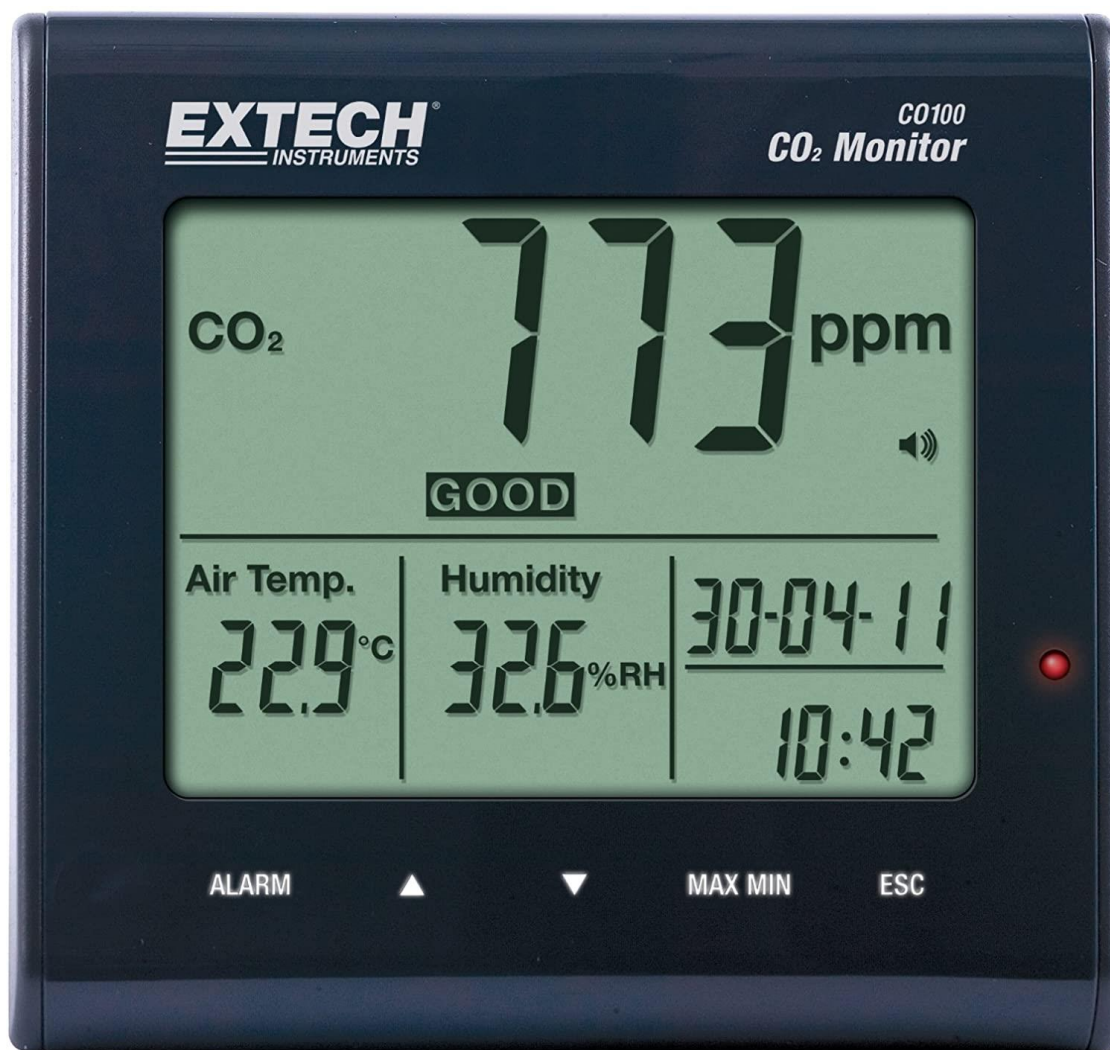


Рисунок 1.1 – Монітор якості повітря «Extech CO100»

Цей прилад має такі характеристики:

- Вимірює концентрацію вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>);
- Вимірювання температури (-5°C до 60°C);
- Відображає вологість повітря
- Точність вимірювання CO<sub>2</sub>: ± 75 мг/кг або ± 5% від результату;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

BM61.090004.001 ПЗ

Аркуш

6



— Точність вимірювання температури:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;

Проаналізуємо характеристики цього приладу. Переваги такого приладу – це відносна висока точність вимірювання вуглекислого газу та температури, Також прилад має функцію виклика з пам'яті мін./макс. значення  $\text{CO}_2$ . Прилад має вбудований цифровий годинник та календар. Звуковий індикатор, який оповіщає про підвищену концентрацію вуглекислого газу. Із мінусів варто згадати відсутність вимірювання формальдегіду та кількості пилу у повітрі, які негативно впливають на здоров'я людини, особливо алергіків. Цей прилад хоч і відноситься до бюджетних, але його ціна (5585 грн) доволі висока.

Портативний термогігрометр – даталоггер «AZ – 87798», зображено на рис 1.2 [2].



Рисунок 1.2 – Портативний термогігрометр – даталоггер «AZ – 87798»

									Аркуш
									7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

BM61.090004.001 ПЗ

Цей модуль має такі характеристики:

- Вимірювання вмісту CO<sub>2</sub>;
- Вимірювання температури;
- Відображення вологості повітря;
- Запис інформації на SD-карту;
- Визначення точки роси;
- Живлення від акумулятора;

Проаналізуємо характеристики даного модуля. Великим плюсом є те, що живлення в цьому приладі від 3 батарейок типу AA, або блоку живлення на 5В. Також є можливість відображати на екрані рік, місяць, дату та час. Із мінусів треба виділити відсутність вимірювання формальдегіду та пилу у повітрі.

Хоча модуль можна віднести до бюджетних та його ціна становить (4030 грн)

Детектор якості повітря «SNDWAY SW-625A», зображений на рис. 1.3[3].



					BM61.090004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

### Рисунок 1.3 – Детектор якості повітря «SNDWAY SW-625A»

Цей монітор має такі характеристики:

- Вимірювання вмісту CO<sub>2</sub>;
- Живлення/зарядка від USB
- Відображення вологості повітря;
- Контроль кількості пилу;

Проаналізуємо характеристики даного модуля. Живлення приладу від USB порту є дуже зручним показником. Його можна без проблем підключити до будь-якого джерела живлення USB – зарядний пристрій телефону, комп'ютеру та інших приладів у яких є порт USB. Також з багатьох варіантів систем контролю якості повітря, ця система має контроль кількості пилу. Із мінусів варто зазначити відсутність вимірювання формальдегіду .

Ціна менше ніж середня, але завелика (3630 грн).

Якщо зважати на те, що основні параметри приладів для моніторингу повітря є дуже схожими, інші моделі аналізувати не потрібно.

Основними недоліками систем контролю якості повітря, які є на ринку готової продукції, це їх вартість, відсутність контролю формальдегіду у повітрі і функції які просто не потрібні у приладах.

## 1.2 Огляд та аналіз існуючих схем

Якщо брати до уваги високу ціну систем для контролю якості повітря і вологості доцільно провести огляд та аналіз схем у вільному доступі.

Схема одного з таких приладів приведена на рис. 1.4 [4].

Перевагою цієї схеми є доступність елементів та відносна простота зборки. Недоліком даної схеми є вибір у якості керуючого елемента мікроконтролера Atmega328p, «перепрошити» який, буде непросто рядовому користувачу.

									Аркуш
									9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

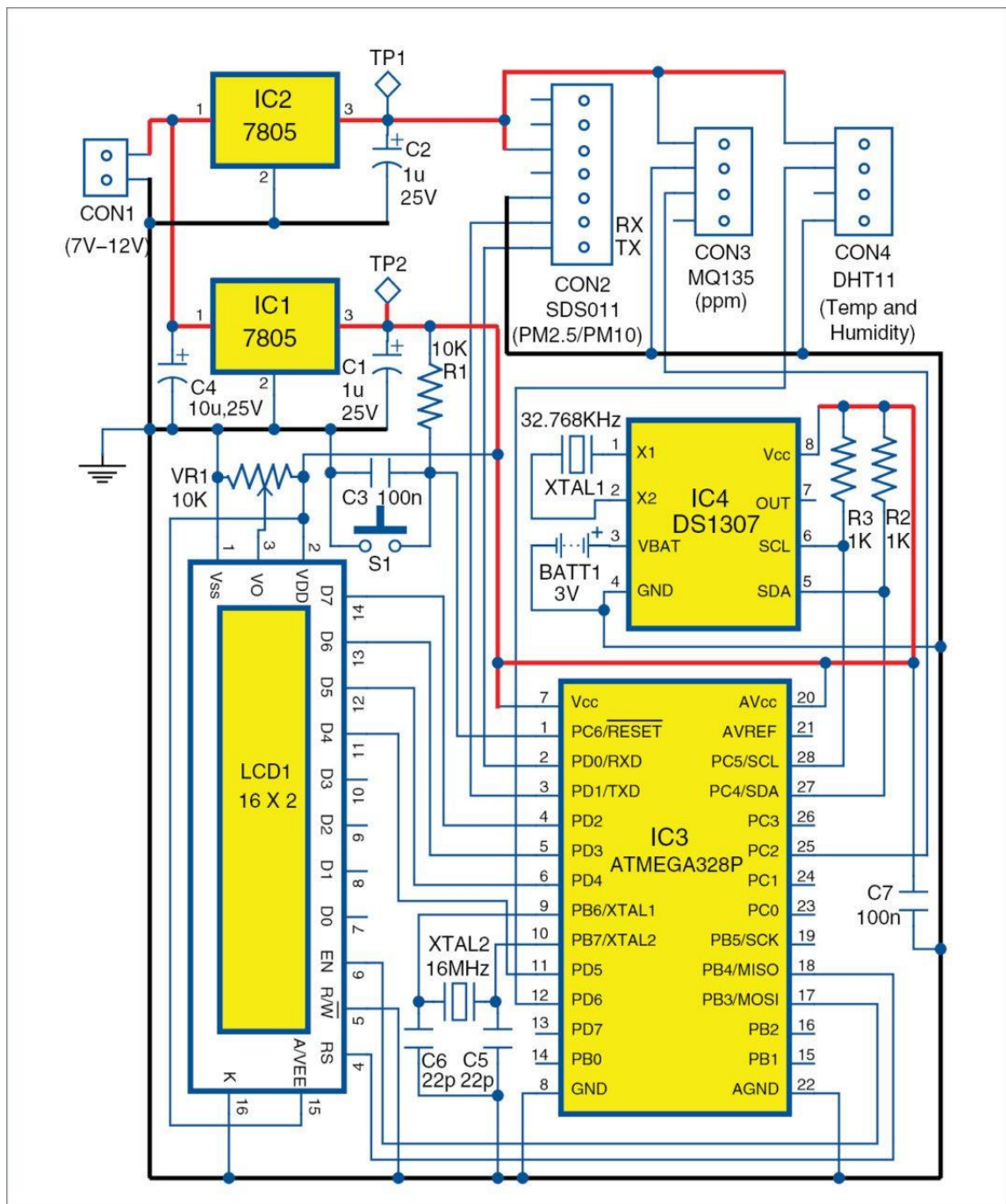


Рисунок 1.4 – Схема системи контролю якості повітря

Іншим рішенням є використання контролера Arduino на базі цього ж мікроконтролера Atmega328p, така схема приведена на рис. 1.5 [5].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

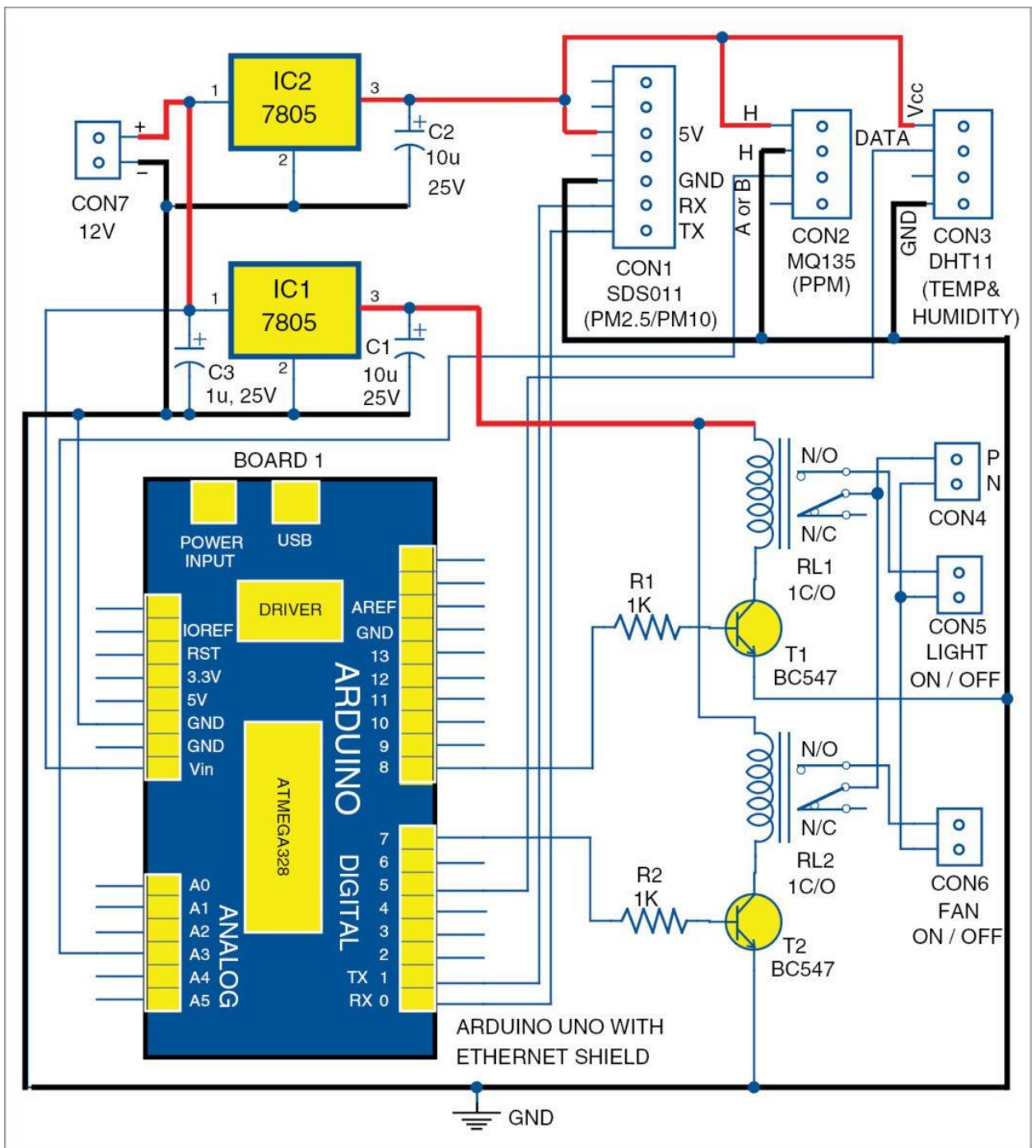


Рисунок 1.5 – Схема системи контролю якості повітря на основі Arduino Uno.

Перевагою даної схеми є використання невеликої кількості елементів та використання мікроконтролера, який може бути «прошитий» за потреби дуже легко і швидко. Таке рішення дозволяє відкинути потребу у додатковому програмному забезпеченні, яке, в свою чергу, створить затримку корисного сигналу у часі. Також за допомогою цієї схеми можна

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

відправити дані про повітря на екран смартфона, що є неймовірно зручним у віддаленому контролі за якістю повітря.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – є недоліком даного рішення, тому що він не досить швидкий у Arduino UNO, але для наших цілей цього цілком вистачить.

Ці схеми є доволі поширеними та єдиними більш-менш задовільні для виробництва. Використання МК є досить хорошим рішенням, але потрібно обирати мікроконтролер з швидким АЦП.

Ціна пристроїв, є набагато меншою за готові продукти на ринку, вибравши за основу такі схеми.

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

## 2 ОСНОВНІ ЗАСОБИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ОБРАНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ТА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

### 2.1 Методи вимірювання концентрації пилу в повітрі

Існує декілька основних методів вимірювання концентрації пилу в повітрі.

Найбільш поширений метод – гравіметрія, при якій проби повітря проходять через фільтр, і по різниці маси фільтру до та після проби, вимірюється концентрація пилу у повітрі. Метод має, як переваги так і недоліки. Він вимагає дуже тривалого відбору проб для аналізу атмосферного повітря, в якому частинки пилу, як правило, містяться в низьких концентраціях, але при цьому має високу точність при визначенні високих концентрацій пилу в повітрі робочої зони. Для визначення змісту в повітрі пилу різних фракцій використовуються спеціальні допоміжні пристрої – імпактори, що дозволяють розділяти частинки різних аеродинамічних розмірів.

Інший метод аналізу повітря на вміст пилу – оптичний. Для аналізу використовується аналізатор пилу («пиломір»), що дозволяє в режимі реального часу вимірювати загальну концентрацію пилу, PM10, PM4, PM2.5, PM1. Технічно, прилад вимірює лічильну концентрацію пилу в повітрі, а розрахунок масової концентрації проводиться на основі закладених в програму моделей розподілу маси частинок в залежності від їх розміру і калібрувальних залежностей. Для калібрування приладу може використовуватись імпактор і гравіметричний метод, що дозволяє досягати високої точності вимірювання.

Головною перевагою даного методу є можливість швидко і з прийнятною точністю вимірювати низькі концентрації частинок в повітрі, тому при аналізі атмосферного повітря та повітря в квартирах і офісних приміщеннях використовується саме оптичний метод.

									Аркуш
									13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



## 2.2 Методи вимірювання вологості повітря

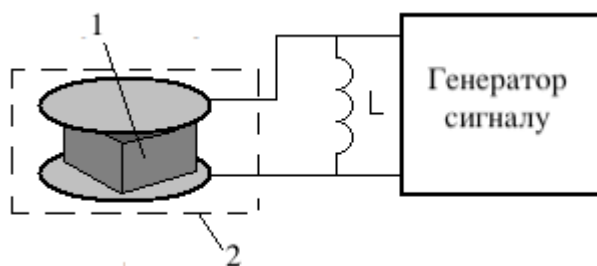
Гігрометр або датчик вологості – прилад яким вимірюють рівень вологості. У повсякденному житті вологість виступає важливим параметром, і часто не тільки для повсякденного життя, але і для різної техніки.

За принципом дії, гігрометри діляться на:

- ємнісні;
- резистивні;
- термісторні;
- оптичні;
- електронні.

### 2.2.1 Ємнісні датчики вологості

Ємнісні гігрометри [Рис 2.1], в найпростішому випадку, являють собою конденсатори з повітрям в якості діелектрика в зазорі. Відомо, власне що у повітря діелектрична проникність пов'язана з вологістю, а при зміні вологи діелектрика призводять і до змін в ємності невагомого конденсатора.



1 – досліджуваний зразок; 2 – повітряний конденсатор;

Рисунок 2.1 – Ємнісний датчик вологості

Безумовно, цей метод володіє і деякими дефектами, наприклад при вологості зраска нижче 0.5% він стане неточним, не рахуючи цього, вимірюваний зразок зобов'язаний бути очищений від часток, що мають вищу

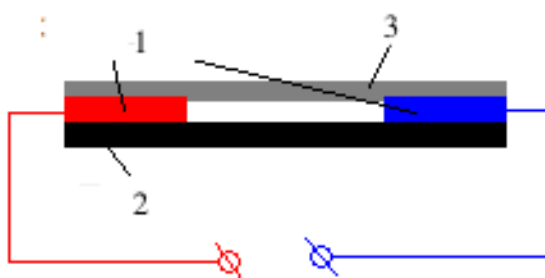
					VM61.090004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



діелектричну проникність, ще не мало важливим є і форма зразка в процесі вимірювань, їй не потрібно змінюватися в ході дослідження.

### 2.2.2 Резистивні датчики вологості

Резистивний датчик вологості [Рис 2.2] подібний датчик включає в себе два електрода, які нанесені на підкладку, а поверх на ці електроди нанесено шар матеріалу, котрий виділяється досить малим опором, втім, легко змінним залежно від вологи.



1 – електроди; 2 – підкладка; 3 – оксид алюмінію;

Рисунок 2.2–Резистивний датчик вологості

Оксид алюмінію виступає відповідним матеріалом в пристрої. Цей оксид відмінно поглинає із зовнішнього середовища воду, при цьому питомий опір його видно змінюється. В результаті загальний опір ланцюга вимірювання такого датчика перебуватиме в залежності від вологи. Так, про рівень вологи буде вказувати розмір протікаємого струму.

Перевага датчиків такого типу - невелика їх вартість.

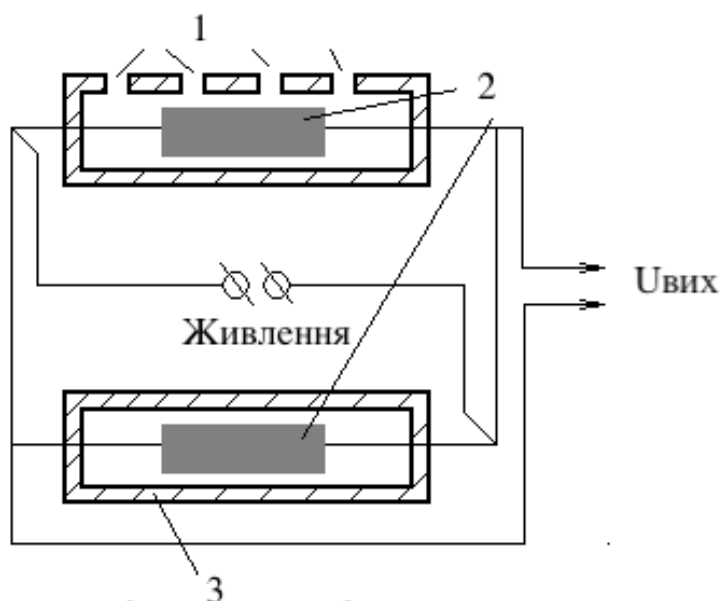
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВМ61.090004.001 ПЗ

Аркуш

15

### 2.2.3 Термісторний датчик вологості



1 – Камера з отворами; 2 – Термістори; 3 – Герметична камера;

Рисунок 2.3 – Термісторний датчик вологості

Термісторний гігрометр [Рис 2.3] вироблено з пари ідентичних термісторів. Пригадаємо, власне що термістор - це нелінійний електричний компонент, значення його температури, сильно впливає на опір .

Один з включених в схему термісторів розташовують у герметичній камері з сухим повітрям. А інший – в камері з отворами, крізь які в неї заходить повітря з властивою вологістю, величину якої треба виміряти. Термістори об'єднують за мостовою схемою, на першу діагональ моста подається напруга, а з другої діагоналі отримують показання.

У тому випадку, коли напруга на вихідних клеммах дорівнюватиме нулю, то і температури обох компонентів будуть однаковими, значить рівна і вологість. У випадку, коли значення напруги на виході стане не нульове, то це говорить про наявність різниці вологості у камерах. Так, при отриманому значенні напруги визначають вологість.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

#### **2.2.4 Оптичний (конденсаційний) датчик вологості**

Оптичний (конденсаційний) датчик вологості – даний вид датчиків більш точний. За основу оптичного датчика вологи взяли таке явище, як «точка роси». Коли досягається температура точки роси, газоподібна і рідка фази – в умовах термодинамічної рівноваги. Якщо встановити скло у газоподібному середовищі, де температура в момент вивчення вище точки роси, а слідом почати процес охолодження цього скла, то при певному значенні температури на поверхні скла почне створюватися водяний конденсат, це водяна пара буде переходити в рідку фазу. Ця температура і стане точкою роси. Наприклад ось, температура точки роси нерозривно пов'язана і залежить від таких характеристик як вологість і тиск навколишнього середовища. У підсумку, якщо ми маємо можливість вимірювання тиску і температури точки роси, буде дуже просто знайти вологість. Даний принцип є ґрунтом для функціонування оптичних датчиків вологи.

#### **2.2.5 Електронний датчик вологості повітря**

Принцип роботи електронного датчика вологості повітря реалізований на зміні напруги електроліту, що покриває собою всякий електроізоляційний матеріал. Є ці прилади з автоматичним обігрівом з прив'язкою до точки роси. Нерідко точка роси вимірюється насиченим розчином хлориду літію, який вважається досить чутливим до найменших змін вологи. Для більшої зручності подібний гігрометр нерідко додатково обладнають термометром. Даний пристрій обумовлений високою точністю і мінімальною похибкою. Він здатний міряти вологість незалежно від температури навколишнього середовища.

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.3 Методи вимірювання вуглекислого газу

### 2.3.1 Електрохімічні датчики

Ці датчики зазвичай складаються з електрохімічної комірки з твердим електролітом. Додатковою напругою комірку нагрівають до робочої температури. На електродах відбуваються хімічні реакції аналогічні що відбувається в паливній комірці, коли споживається кисень, а на електродах утворюється електрорушійна сила. Потім вимірюючи дану електрорушійну силу за допомогою спеціальної електроніки визначається концентрація CO<sub>2</sub> в повітрі. Основною перевагою цих датчиків є висока чутливість і чудова селективність до діоксиду вуглецю. Вони зазвичай дешевше, ніж датчики NDIR, але в кілька разів коротшим терміном служби і меншою точністю, але все ж достатньою для використання в установках вентиляції. Датчики, що працюють за рахунок електрохімічного принципу, працюють від 400 мг/кг, що з урахуванням концентрації в зовнішньому повітрі, становить близько 360-400 мг/кг, цілком допустимо. Ці датчики зазвичай оснащені вбудованою функцією авто-калібрування, що забезпечує автоматичну періодичну перекалібровку датчика на свіже повітря. Це зменшує старіння датчика, що забезпечує довготривалу стабільність параметрів.

### 2.3.2 NDIR (Non-Dispersive Infrared Radiation) датчики

Ці датчики працюють за принципом вимірювання ослаблення інфрачервоного випромінювання (специфічної довжини хвилі) в повітрі. Датчики складаються [Рис 2.4] з джерела інфрачервоного випромінювання, світової трубки і інфрачервоного детектора з відповідним фільтром. Сигнал від інфрачервоного детектора посилюється і потім за допомогою додаткової електроніки оцінюється ослаблення випромінювання, викликане діоксидом вуглецю, виходячи з чого обчислюється поточна концентрація CO<sub>2</sub> в повітрі.

									Аркуш
									18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Датчики NDIR, як правило, більш точні, довгої стійкості та вимірюють концентрацію від нуля, здатні вимірювати високі концентрації CO<sub>2</sub>. Їх недоліком є трохи більш висока вартість.

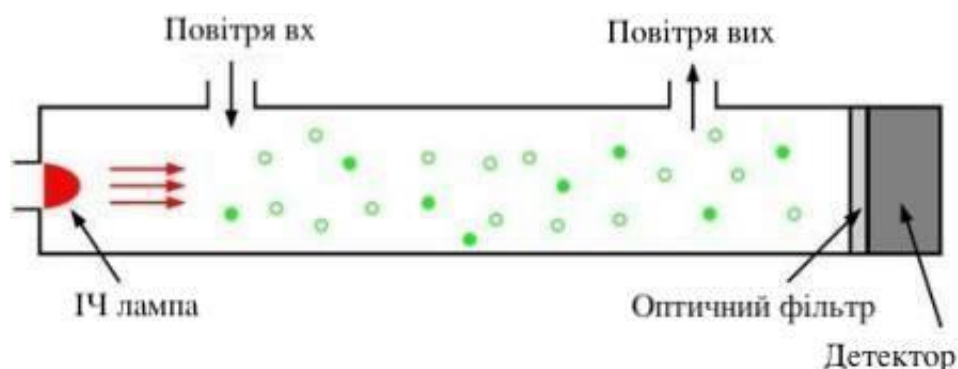


Рисунок 2.4 – NDIR датчик CO<sub>2</sub>.

### 2.3.3 Електроакустичні датчики

Електроакустичні датчики працюють за принципом оцінки змін частоти коливань ультразвуку в механічному резонаторі. За допомогою електроніки оцінюється зміна частоти коливань ультразвукових хвиль, а на підставі залежності зміни частоти коливань від концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі, визначається поточна концентрація CO<sub>2</sub>. Основною перевагою цих датчиків є довгострокова стабільність без необхідності перекалібрування.

### 2.4 Методи вимірювання формальдегіду

Існує безліч методик визначення концентрацій формальдегіду в повітрі. Велика їх частина заснована на фотометричному або флуориметричному методах. Є також і екзотичні методики, засновані на методах газової та іонної хроматографії. Крім того, в деяких випадках можуть використовуватися електрохімічні датчики. Вони мають більш низькою точністю, але дозволяють проводити безперервний моніторинг концентрацій формальдегіду в повітрі і отримувати результати в реальному часі.

#### 2.4.1 Фотометричний метод визначення концентрації формальдегіду

Фотометричний метод визначення масової концентрації формальдегіду заснований на утворенні в присутності іонів амонію пофарбованого в жовтий колір продукту реакції формальдегіду з ацетилацетоном. Інтенсивність забарвлення утворюється через з'єднання пропорційного вмісту формальдегіду в пробі. Вимірювання оптичної щільності проводять при довжині хвилі  $\lambda = 412$  нм.

#### 2.4.2 Електрохімічний метод визначення концентрації формальдегіду

Принцип роботи електрохімічних сенсорів [Рис 2.5] аналогічний роботі батарей. У присутності контрольованого газу між двома електродами виникає невеликий електричний заряд, який показується в вимірювальній голівці. Величина сигналу пропорційна концентрації. Основна вимога - це забезпечення стабільної чутливості і хороші селективності в звичайних умовах навколишнього середовища. Сенсори повинні надійно витримувати складні умови навколишнього середовища, типові для промисловості - круглий рік, 24 години на добу.



Рисунок 2.5 –Електрохімічний датчик формальдегіду.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3 АНАЛІЗ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОБРАНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ТА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

В цьому розділі будуть розглянуті та проаналізовані доступні на ринку датчики, які можуть бути використані у даній системі.

Датчик CO<sub>2</sub>. Ні для кого не секрет, що висока концентрація CO<sub>2</sub> у приміщенні може погано вплинути на здоров'я людини. Тому для ефективного контролю нам потрібно вибрати датчик, який буде якісним і параметри якого нас задовольняють.

Датчик вуглекислого газу MQ-135[6].

Не дорогий датчик маленького розміру, який можна без проблем підключити до платформи Arduino, налаштувати і користуватись.

Характеристики наведені в табл. 3.1:

Напруга живлення датчика	3,3 В – 5 В
Діапазон вимірювання	10...1000 мг/кг
Споживаючий струм	150 мА
Габарити	32 × 20 мм
Напруга живлення нагрівача	5 В

Табл. 3.1 – характеристики датчика вуглекислого газу MQ-135.

В газоаналізатор інтегрований нагрівальний елемент, який потрібен для хімічної реакції: під час роботи детектор виділяє тепло. Це і вважається найбільшим мінусом цього датчика. У разі якщо подібний датчик перебуватиме в корпусі пристрою, то виникатимуть проблеми з термостійкістю всього пристрою. Ще присутність такого датчика ліквідує можливість вимірювання температури цим пристроєм.

Датчик вуглекислого газу MH-Z14[7].

Характеристики датчика вуглекислого газу MH-Z14 наведені в табл. 3.2:

					VM61.090004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Напруга живлення	4 – 6 В, 300 мА
Діапазон вимірювання	0...5000 мг/кг
Похибка вимірювання	± 50 мг/кг
Габарити	13.9 × 18.5 мм
Споживаючий струм	60 мА – 150 мА

Даний модуль працює в діапазоні від 0 до 5000 мг / кг, з'єднавшись з платою Arduino чи іншими платами використовуючи serial-інтерфейс (Tx, Rx).

Напруга живлення в межах 4-6 В, струм, власне який подається, не вище 100 мА, як правило він утримується на рівні 50 мА.

Кращим варіантом буде живлення модуля не від плати, а від зовнішнього джерела живлення або акумулятора. Важливий недоліком цього датчика вважається його ціна. Ще у періоди коли датчик вимкнений, датчику треба час 30–60 сек. для такого щоб видати більш правдоподібні виміри. Датчик фіксує рівень CO<sub>2</sub> використовуючи метод недисперсного інфрачервоного випромінювання.

Датчик вуглекислого газу МН-Z19[8].

Характеристики наведенні характеристики датчика вуглекислого газу МН-Z19 в табл. 3.3:

Напруга живлення	4,5 – 5,5 В
Діапазон вимірювання	0...5000 мг/кг
Похибка вимірювання	± 50 мг/кг
Габарити	33 × 20 × 9 мм
Споживаючий струм	60 мА

Малогабаритний і енергоефективних інфрачервоний оптичний датчик МН-Z19 для вимірювання і вуглекислого газу в повітрі. Чудовий варіант для

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



впровадження в системах контролю якості повітря, системах "Розумний будинок" і обладнанні для вентиляцій і очищення повітря.

UART- інтерфейс і ШІМ-сигнал служать виходами для отримання даних. Логічні рівні вихідних інтерфейсів TTL 3.3В, але вони повністю сумісні з 5-вольтовою логікою.

Датчик МН-Z19 має можливість працювати в одному з 2-ух діапазонів вимірювання, а саме від 0 до 2000 або ж від 0 до 5000 мг/кг. Для вибору діапазону слід користуватися програмно через UART-інтерфейс. У датчику є інтегрована термокомпенсація, власне що дозволяє застосувати датчик при температурах від 0°C до +50°C з найменшою похибкою.

Отже, для приладу було обрано датчик МН-Z19 через його чудові характеристики та доволі невисоку ціну.

Розглянемо декілька варіантів датчиків вологості повітря.

Модуль датчика вологості та температури SHT31-ARP-B [9].

Характеристики датчика вологості SHT31-ARP-B наведенні в табл. 3.4:

Точність вимірювання вологості	± 3%
Точність вимірювання температури	± 0,2°C
Діапазон вимірювання вологості	від 0 до 100%
Діапазон вимірювання температури	від -40 до +120°C
Габарити	2,5 × 2,5 × 0,9 мм
Напруга живлення	2,4В – 5,5В

SHT31-ARP-B - це датчик вологості та температури, побудований на новому сенсорному чіпі CMOSens, який лежить в основі нової платформи вологості та температури Sensirions. Він має підвищений інтелект, надійність та покращені технічні характеристики в порівнянні з попередником. Його функціональність включає в себе посилену обробку сигналу, температуру і вологість можна зчитувати на різних штифтах. Це дозволяє інтегрувати датчик у велику різноманітність програм.

									Аркуш
									23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Модуль температури та вологості DHT22[10].

Характеристики датчика вологості DHT22 наведенні в табл. 3.5:

Точність вимірювання вологості	$\pm 2\%$
Точність вимірювання температури	$\pm 0,4^{\circ}\text{C}$
Діапазон вимірювання вологості	від 0 до 100%
Діапазон вимірювання температури	від $-40$ до $+80^{\circ}\text{C}$
Габарити	$40 \times 20 \times 11$ мм
Напруга живлення	3,3В – 5В

Гарний датчик для моніторингу температури та вологості в проектах Arduino та Raspberry Pi. Висока точність та функціональність. За допомогою вбудованого 8-бітного мікроконтролера перетворює аналоговий вихід цих двох датчиків у цифровий сигнал і виводить данні температури та вологості за допомогою одного піна.

Тож, для приладу було обрано датчик SHT31-ARP-V через його характеристики, габарити та ціну.

Розглянемо декілька варіантів датчиків пилу.

Модуль датчика пилу GP2Y1010AU0F[11].

Характеристики датчика пилу GP2Y1010AU0F наведенні в табл. 3.6:

Чутливість	$0,5 \text{ В} / (100 \text{ мкг} / \text{м}^3)$
Діапазон вимірювання	$0 \dots 500 \text{ мкг} / \text{м}^3$
Напруга живлення	$2,5 \text{ В} - 5,5 \text{ В}$
Робочий струм	20 мА
Габарити	$63,2 \times 41,3 \times 21,1$ мм

Модуль датчика якості повітря GP2Y1010AU0F виявляє в повітрі маленькі частинки габаритами більше 0,8 мкм, а ще і сигаретний дим.

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Сам модуль з невисоким енергоспоживанням, яке можливо зменшити, відключити підсвічування зчитувача, а також пропорційний щільності пилу аналоговий лінійний вихід з напругою. Інтегрований стабілізатор напруги для широкого спектра напруги живлення. Використовується датчик в системах чистки, контроль забруднення і кондиціонування повітря. Чудовий вибір для даного приладу.

Датчик пилу PMS5003[12].

Характеристики датчика пилу PMS5003 наведенні в табл. 3.7:

Діапазон вимірювання	від 0,3 до 10 (мм)
Напруга живлення	5 В
Робочий струм	120 мА
Габарити	65 × 42 × 23 мм
Діапазон вимірювання	0...1000 мкг / м <sup>3</sup>

Лазерний датчик забруднення повітря PMS5003 — універсальний цифровий оптичний (лазерний) датчик пилу. Особливість цього датчика — висока точність підрахунку кількості частинок, за рахунок внутрішньої обробки сигналу реєстратора пилу мікро контролером CY8C4245. Використовувати датчик з 5В і 3В мікроконтролерами, можливо через UART інтерфейс з рівнем 3,3В. Якісний та надійний датчик з високою точністю та невисокою ціною.

Розглянемо декілька варіантів датчиків формальдегіду.

Датчик формальдегіду GS202M[13].

Характеристики датчика формальдегіду GS202M наведенні в табл. 3.8

Концентрація частинок	0 – 1 мг / м <sup>3</sup>
Напруга живлення	5 В
Габарити	20 × 19 × 13 мм

Невеликий і простий датчик з відносно високою точністю вимірювань. Але якщо почитати відгуки про цей датчик, можна дізнатись, що надійність його не дуже висока, а тому нам він не підходить.

Датчик формальдегіду ZE08-CH<sub>2</sub>O[14].

Характеристики датчика формальдегіду ZE08-CH<sub>2</sub>O наведені в табл. 3.9:

Діапазон вимірювання	0 – 5 мг/кг
Напруга живлення	3,7 В – 9 В (із захистом від зворотньої напруги)
Габарити	25,5 × 23 × 6,3 мм

Хороша селективність і стабільність, забезпечується використанням електрохімічних принципів. Має вбудований датчик температури, компенсацію температури; як цифровий, так і аналоговий вихід напруги, простий у використанні, невисока ціна. Це чудовий вибір для даного приладу.

Вибір центрального контролера.

Мозок приладу буде мікроконтролер ATmega328, адже це 8-ми розрядний мікроконтролер з низьким енергоспоживанням. Оснований він був на досконалішій AVR RISC архітектурі.

Характеристики ATmega328 наведені в табл. 3.10:

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Пам'ять мікроконтролера:	Напруга живлення та швидкість процесора:
32 кб Flash (пам'ять програм, що має можливість самопрограмування)	1,8 – 5,5 В при частоті до 4 МГц
2 кб ОЗП	2,7 – 5,5 В при частоті до 10 МГц
1 кб EEPROM (постійна пам'ять даних)	4,5 – 5,5 В при частоті до 20 МГц

Комфорт і зручність роботи нам забезпечить його продуктивність

Для переключення основного контролера між датчиками, було прийняте рішення використати аналоговий мультиплексер 74НС4052[15]. 74НС4052 — це високошвидкісна CMOS мікросхема, з двома 4-х канальними аналоговими мультиплексіруемими-демультиплексіруемими входами. Так як він має 2 входи і 4 виходи, в один момент він кожен вхід може бути підключений до одного з чотирьох виходів.

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

## 4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

### 4.1 Схема електрична структурна розроблювальної системи.

Структурна схема системи контролю якості повітря зображена на рисунку 4.1

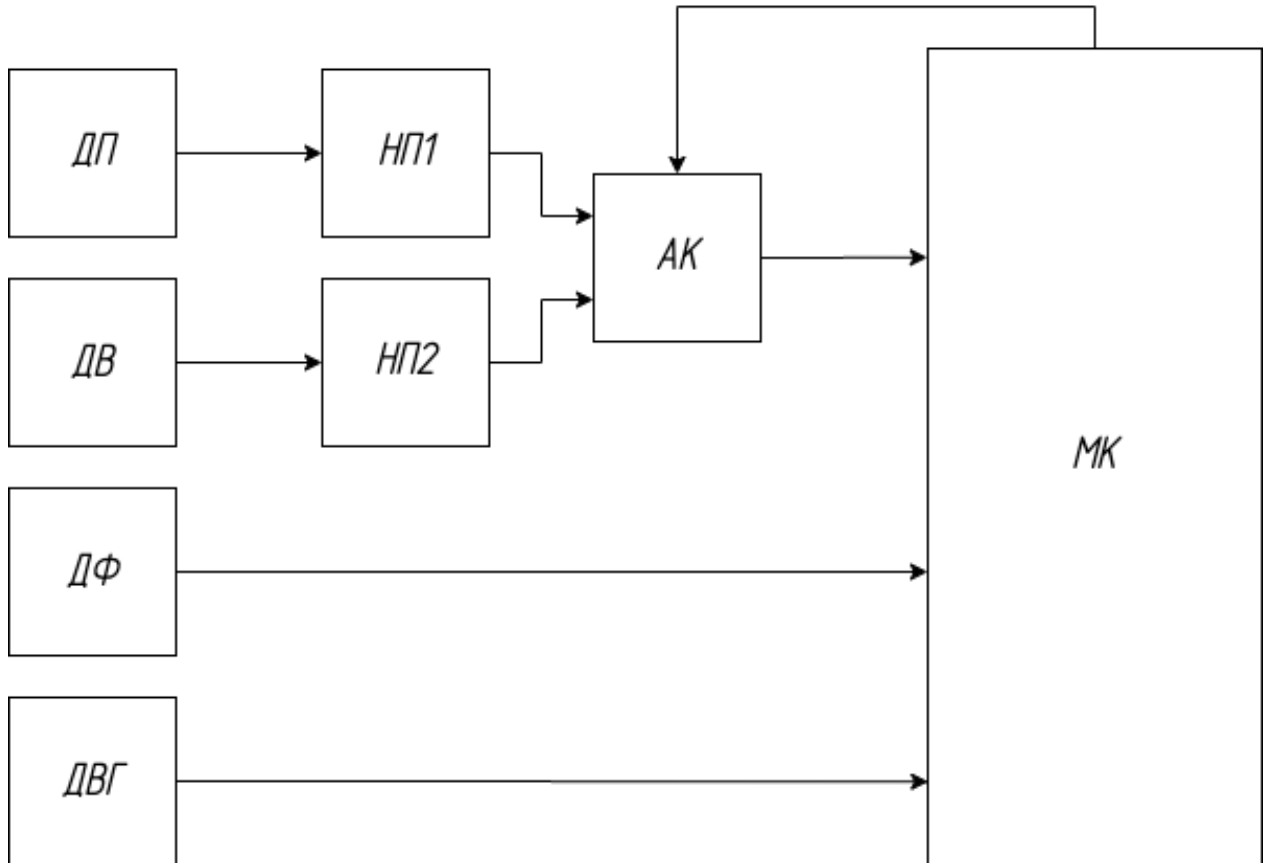


Рисунок 4.1 – Структурна схема системи

До складу структурної схеми входять:

ДП – Датчик пилу;

ДВ – Датчик вологості;

ДФ – Датчик формальдегіду;

ДВГ – Датчик вуглекислого газу;

НП1 – Нормуючий пристрій 1;

НП2 – Нормуючий пристрій 2;

АК – Аналоговий комутатор;

МК – Мікроконтролер.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 4.2 Опис структурної схеми

Виходячи з технічного завдання структурна схема повинна включати датчики для вимірювання таких параметрів , як концентрація пилу, концентрація формальдегіду, вуглекислий газ та вологість і температуру, контролер, який є центральним модулем, який сприймає, обробляє за відповідним алгоритмом, вихідний кодовий еквівалент використовується для відображення результатів, нормуючі пристрої які приведуть рівень сигналу з виходу датчика до рівня вхідного сигналу АЦП, та аналоговий комутатор.

Вихідний сигнал датчика концентрації пилу є напруга, але вихідний сигнал потрібно посилити, для цього канал треба підключити до нормуючого пристрою. Приведений сигнал подається на аналоговий комутатор, а потім і на входи контролера.

Так як вихідний сигнал датчику вологості є струм, але вхідний сигнал АЦП напруга, тому цей канал має включати нормуючий пристрій. Потім приведений сигнал подається на аналоговий комутатор, тому що зміна сигналу у часі відбувається дуже повільно. І вже потім сигнал подається на входи контролера.

Датчики формальдегіду та датчик вуглекислого газу передають цифрові сигнали на цифрові входи контролера.

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

## 5 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

### 5.1 Схема електрична функціональна розробленої системи

Функціональна схема системи контролю якості повітря зображена на рисунку 5.1

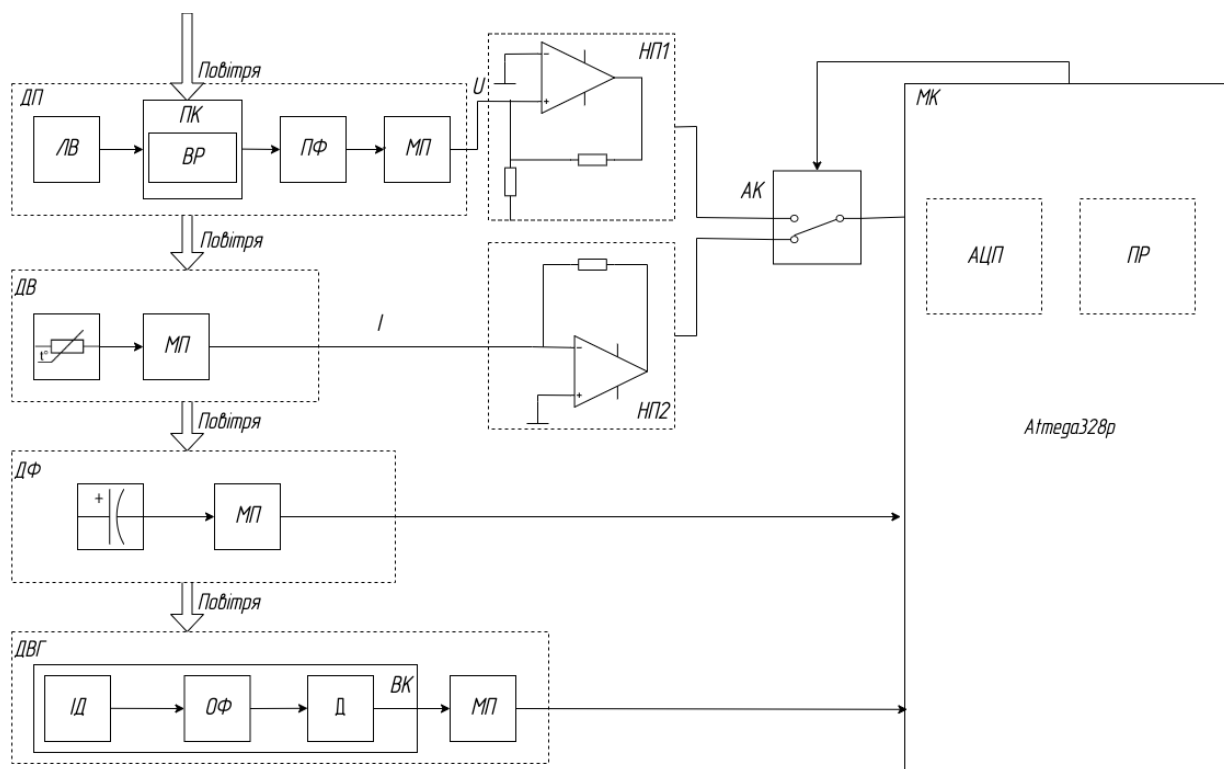


Рисунок 5.1 Функціональна схема системи

### 5.2 Опис функціональної схеми

До складу функціональної схеми входять:

- ЛВ – Лазерний випромінювач;
- ПК – Повітряний канал;
- ВР – Вимірювання розсіювання;
- ПФ – Підсилювач фільтру;
- МП – Мікропроцесор;
- ІД – Інфрачервоне джерело;
- ОФ – Оптичний фільтр;
- Д – Детектор;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



ПР – Процесор;

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач.

Розглянемо принцип роботи кожного датчика аби більш детально розуміти, як вони працюють.

Почнемо з датчика пилу GP2Y1010AU0F характеристики, якого приведені в табл 3.6. Принцип роботи цього датчика полягає у тому, що він використовує принцип лазерного розсіювання. А саме, за допомогою лазера, він засвічує часточки пилу, які знаходяться у повітрі. Ці часточки, у певній мірі, розсіюють пучок світла і датчик реєструє криві зміни розсіювального світла з часом. Зрештою, еквівалентний діаметр частинок і кількість, з різним діаметром на одиницю об'єму, можна розрахувати за допомогою вбудованого мікропроцесора. Отримані дані відправляються до головного мікроконтролера на платі[16].

Принцип роботи датчика формальдегіду ZE08-CH20, характеристики цього датчика наведенні в табл.3.9, базується на хімічній взаємодії. Такий сенсор є електрохімічним. В середині нього знаходиться електроліт, який при нагріванні вступає в реакцію зі знайденим газом, що викликає пропорційну зміну струму, що протікає між двома електродами. Вбудований мікропроцесор аналізує величину струму та відправляє отриманий результат до головного мікроконтролера[17].

Датчик вологості SHT31-ARP-B(табл.3.4) – має повністю відкалібрований, лінеаризований і температуро компенсований аналоговий вихід. Також датчик має паралельний вимір вологості на окремих контактах. [18]

Датчик вуглекислого газу MH-Z19 є інфрачервоним газовим модулем загального типу, що використовує недисперсійний інфрачервоний принцип виявлення вуглекислого газу у повітрі з високою селективністю (NDIR).  
Характеристики цього датчика можна побачити в табл.3.3

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Отримані дані також відсилаються до головного мікроконтролера, де вони оброблюються .

Датчики і, мікроконтролер, підключені через аналоговий комутатор 74НС4052. Контролер послідовно підключається через нього до кожного з датчиків та отримує інформацію.

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

## 6 РОЗРАХУНОК НОРМУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДАТЧИКА ВОЛОГОСТІ

Так як вихідною величиною датчика вологості є постійний струм, який змінюється від 5 до 20мА, а вхідна величина АЦП, що входить до складу контролера, напруга, тому наш нормуючий пристрій (НП) виконуватиме функцію перетворювача «струм – напруга».

На рис.6.1 приведено схему перетворювача

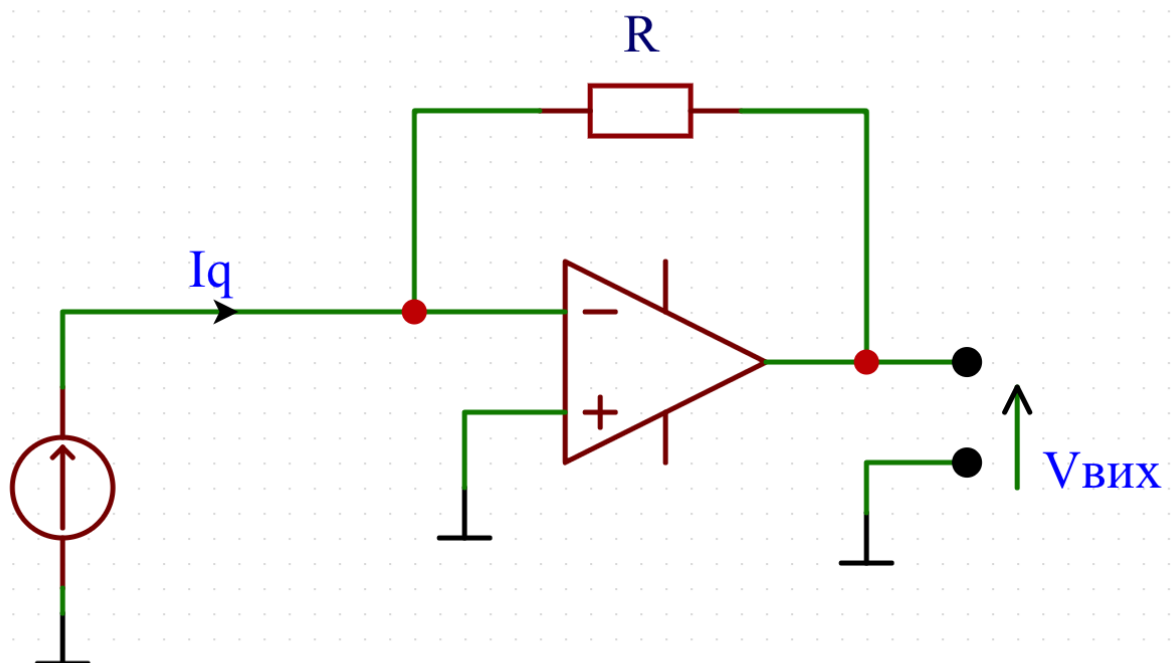


Рис.6.1 – Схема перетворювача струму

Вихідна напруга НП  $V_{\text{вих}}$  повинна бути зв'язана з током датчика  $I_q$  співвідношенням:

$$V_{\text{вих}} = I_q \cdot R$$

Точність процесу перетворення оцінюється значенням невизначеності опору зворотного зв'язку  $R$ , для якого нормується відхилення від номіналу, що є

									Аркуш
									33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

відносним  $\pm \delta \cdot 100\%$ . Тобто значення опору номіналом  $R$  може відхилитися в межах  $\pm \delta \cdot 100\%$  ( $\delta = \frac{\Delta R}{R}$ ).

Якщо виходити з цього, то потрібно знайти граничні значення відхилення від номіналу:

$$\Delta R = \delta \cdot \frac{R}{100}$$

Допускається рівномірний розподіл можливих значень відхилень від номінального значення  $R$ . Точність перетворення, яку можна охарактеризувати невизначеністю, визначають можливим розсіюванням значень опору, а саме:

$$U(R) = \frac{\Delta R}{\sqrt{3}}$$

Так як номінальне значення  $I_q = 20\text{мА}$ , то, обираючи,  $R = 250\text{ Ом}$ , забезпечуємо номінальну вхідну напругу АЦП, що дорівнює  $V_{\text{вих}} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 250 = 5\text{В}$ .

Обираємо резистор зворотного зв'язку з  $\delta = \pm 0,5\%$ , тоді відносна невизначеність перетворення «струм – напруга» буде:

$$U(V) = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,3\%$$

Що повністю задовольняє значенню вимірювання вологості, що записано у технічному завданні.

									Аркуш
									34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

## 7 РОЗРАХУНОК НОРМУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДАТЧИКА ПИЛУ

Номінальним вихідний сигнал датчику складає 80 мВ. Для того, щоб привести його до номінального рівня вхідної величини АЦП необхідно здійснити підсилення напруги – масштабування у 62,5 разів. Вхідний опір НУ для датчика 1кОм має бути високим. Тому обираємо схему На рис.7.1 приведено схему перетворювача.

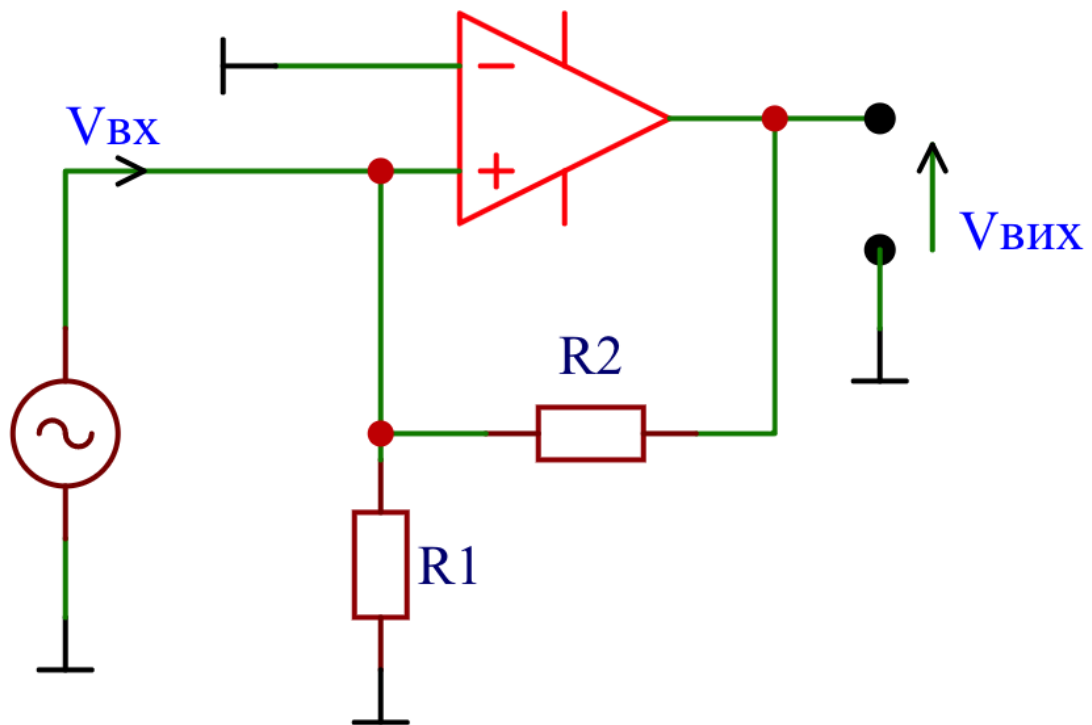


Рис.7.1 – Схема перетворювача напруги

$$K_V = \frac{U_{\text{ВІХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (1)$$

Для оцінювання точності перетворення, перепишемо вираз(1) у вигляді  $K_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ . Так як  $\frac{R_2}{R_1} \gg 1$ , то приблизно  $K_V \approx \frac{R_2}{R_1}$ , тоді невизначеність масштабного перетворення буде дорівнювати[19]:

$$U(K_V) = \sqrt{C_{R1}^2 \cdot U_{R1}^2 + C_{R2}^2 \cdot U_{R2}^2},$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де  $C_{R1} = \frac{\partial K_V}{\partial R_1}$ ,  $C_{R2} = \frac{\partial K_V}{\partial R_2}$  – коефіцієнти, які показують вплив

неточності, відповідно  $R_1$  та  $R_2$  на неточність масштабування  $C_{R1} = \frac{R_2}{R_1^2}$ ;

$$C_{R2} = \frac{1}{R_1}.$$

Виберемо резистор з  $\delta = \pm 0,5\%$ , тоді:

$$U_{R1} = U_{R2} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,3\%$$

Підставимо значення,  $R_1, R_2, U_{R1} = U_{R2}$  і обчислимо  $U(K_V)$ .

$$U(K_V) \approx 1,017$$

					VM61.090004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

## 8 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

### 8.1 Схема електрична принципова розроблювальної системи

Принципова схема системи контролю якості повітря зображена на рисунку 8.1

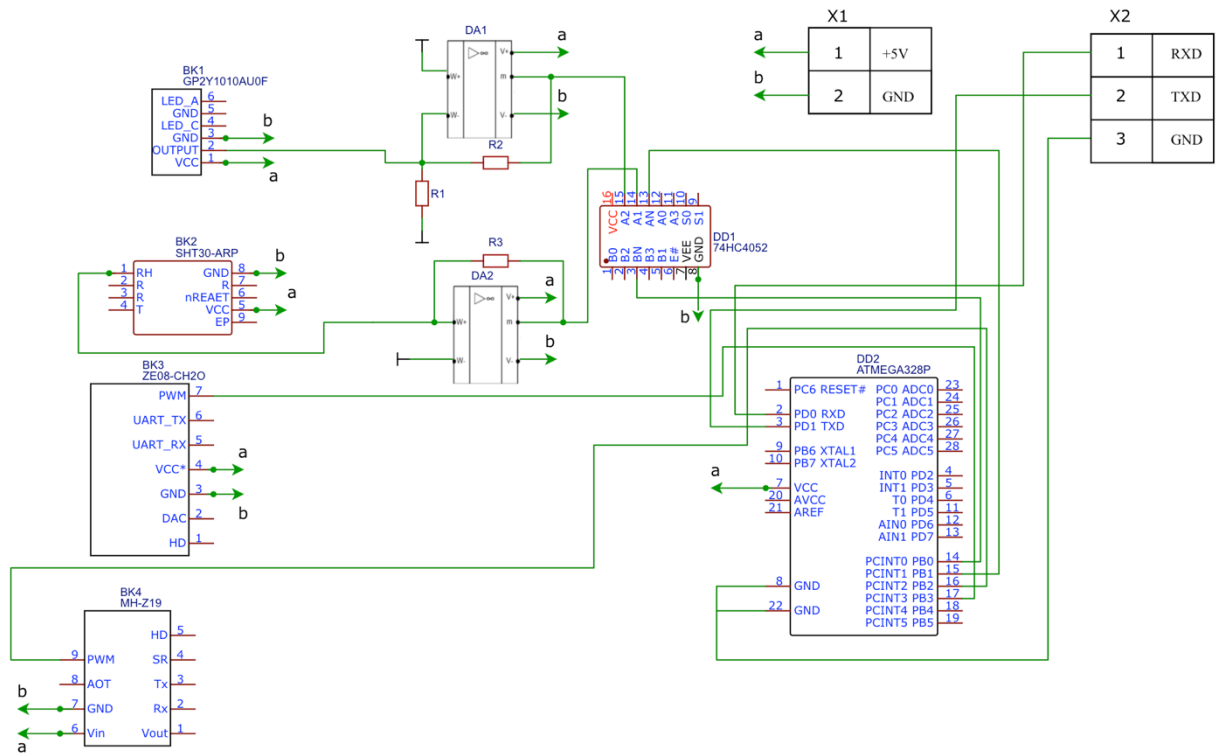


Рис.8.1 – Схема електрична принципова

### 8.2. Опис принципової схеми

Згідно з обраних функціональної та структурної схем та принципом їх роботи можна почати розробку схеми електричної принципової. Після аналізу та розробки нормуючого пристрою, була розроблена наступна принципова схема.

На схемі електричній принциповій зображено мікроконтролер ATmega328P (DD2), датчик пилу GP2Y1010AU0F (BK1), датчик вологості SHT31-ARP-B (BK2), датчик формальдегіду ZE08-CH2O (BK3), датчик вуглекислого газу MH-Z19 (BK4), операційний підсилювач (DA1) та (DA2) і аналоговий комутатор 74HC4052(DD1).

Мікроконтролер(DD1), який має 6 аналогових входів з номінальним значенням вхідної напруги 5В, Датчик вологості (ВК2) з вихідним струмом з 5 до 20 мА, Датчик пилу(ВК1) з вихідною напругою постійного струму 80 мВ, та датчики вуглекислого газу(ВК4) та формальдегіду(ВК3) з кодовим виходом.

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38



## 9 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Мета дипломного проекту є розробка системи контролю якості повітря і вологості. Найважливіша мета проектування – створення системи, яка задовольняє всім вимогам метрологічних характеристик та була б надійною і безпечною. Для забезпечення цих потреб були проаналізовані відповідні до теми джерела , розроблені електричні схеми, а саме :

1. Структурна;
2. Функціональна;
3. Принципова.

Також був проведений аналіз та розрахунок нормуючих пристроїв.

У ГОСТ 12.0.003-74 йдеться про те , що при розробці дипломного проекту можуть бути фактори , які шкідливі і небезпечні для здоров'я людини:

1. Фізичні:
  - Підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
  - Підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
  - Підвищена або занижена температура повітря робочої зони;
2. Хімічні (характер впливу на організм людини):
  - Мутагенні;
  - Токсичні;
  - Канцерогенні;

Щоб уникнути вище переліченні фактори і потенційно імовірні травми необхідно і достатньо дотриматися техніки безпеки.

### 9.1 Способи уникнення небезпечних факторів під час використання системи пошуку шляхом застосування сукупності технічних засобів

Завжди буде загроза ураження електричним струмом при роботі з електроустановкою , давайте розглянемо основні терміни на цю тему.

									Аркуш
									39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів, які гарантують повний або максимально можливий захист людини від шкідливої та небезпечної дії електричного струму.

Електроустановка – це комплекс взаємозв'язаних устаткувань, що призначенні для виробництва або перетворення електричної енергії.

Фундаментальними засобами уникнення враження електричної енергії є сукупність технічних і організаційних методів. Технічні засоби – це пристрої, які допомагають уникати ураження електричним струмом за рахунок внутрішніх або зовнішніх елементів.

До цих засобів відносять:

1. Ізоляція;
2. Заземлення;
3. Занулення;
4. Екстрене вимикання системи;
5. Сигналізація.

Організаційні засоби дозволяють максимально підняти рівень безпеки людини використовуючи процеси організації. Ці процеси нормовані вимогами НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», а також у різноманітних указах щодо дотримання технічної безпеки.

Для того щоб забезпечити ще більший рівень безпеки на робочому місці необхідно дотримуватися організаційних засобів, а саме :

1. Попередня підготовка робочого місця;
2. Призначення кваліфікованих осіб, які повинні слідкувати за роботою електроустановок, та за працюючими під час роботи;
3. Проводити допуск до проведення робіт;
4. Проводити поверхневий медичний огляд;
5. Забезпечити перервами під час роботи;

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б. Оформлення переведень на інші робочі місця та закінчення робіт.

## **9.2 Визначення необхідного мікроклімату на робочому місці розробника чи робітника та його забезпечення**

Опираючись на ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробнич приміщень» та передбаченими оптимальними нормами мікроклімату з урахуванням тяжкості роботи та місцезнаходження робочого місця можна зменшити негативний вплив параметрів мікроклімату, що є надзвичайно важливим. Оптимальними умовами праці можна назвати такі умови, в яких зберігається не тільки здоров'я працівників, а ще створюються передумови для підтримання високого рівня працездатності (тепловий стан людини). Допустимі умови характеризуються такими факторами, які не перевищують встановлених нормативів, а можливі зміни теплового стану людини відновлюються за час регламентованого відпочинку.

Нижче приведена таблиця допустимих та оптимальних параметрів мікроклімату в робочій зоні:

					<i>BM61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

Період року		Холодний	Теплий
Температура, °C	Оптимальна	22-24	20-22
	Допустима	Постійне р.м.	19-24
		Не постійне р.м.	17-26
Відносна вологість, %	Оптимальна	39-55	40-60
	Допустима	73	75
Швидкість руху, м/с	Оптимальна	>0,15	>0,21
	Допустима	0,15	0,21

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено систему контролю якості повітря і вологості. Наведено огляд пристроїв подібного класу і призначення, обрані сучасні датчики для вимірювання таких величин як концентрація вуглекислого газу, рівень формальдегіду, рівень вологості та концентрація часточок пилу у повітрі.

У даному проєкті представлений та обґрунтований вибір структурної схеми системи, на основі якої розроблена функціональна схема. Відповідно до функціональної схеми була розроблена принципова схема. Також проаналізовані та розраховані нормуючі пристрої

Також був написаний розділ з техніки безпеки, що надає змогу мінімізувати отримання можливих травм під час роботи з приладом.

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ І ПОСИЛАНЬ

1. Extech 1000C - Настольный измеритель качества воздуха и концентрации углекислого – [extech.com.ua](http://extech.com.ua) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://extech.com.ua/index.php?route=product/product&product\\_id=1711](http://extech.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=1711) – Назва з екрану.
2. Монитор/термогигрометр-дatalog AZ-877978 – [Prom.ua](http://Prom.ua) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prom.ua/p489026796-monitortermogigrometr-datalogger-87798.html> – Назва з екрану..
3. Настенный лазерный детектор качества воздуха SNDWAY SW-625A – [Prom.ua](http://Prom.ua) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prom.ua/p1105396151-nastennyj-lazernyj-detektor.html> – Назва з екрану.
4. Make Your Own Air Quality Monitoring Device! – [Electronicforu.com](http://Electronicforu.com) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicforu.com/electronics-projects/hardware-diy/make-air-quality-meter/2> – Назва з екрану.
5. IoT-Enabled Air Pollution Meter With Digital Dashboard On Smartphone – [Electronicforu.com](http://Electronicforu.com) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicforu.com/electronics-projects/iot-enabled-air-pollution-meter> – Назва з екрану.
6. Сенсор якості повітря MQ-135 – [1wire.com.ua](http://1wire.com.ua) – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://1wire.com.ua/mq-135-modul-datchik-kachestva-vozduha.html> – Назва з екрану.
7. Датчик углекислого газа CO2 MH-Z14A модуль – [mini-tech.com.ua](http://mini-tech.com.ua) – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-co2-mh-z14> – Назва з екрану.
8. Датчик углекислого газа CO2 MH-Z19B модуль – [mini-tech.com.ua](http://mini-tech.com.ua) – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-co2> – Назва з екрану.

										Аркуш
										44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

BM61.090004.001 ПЗ

9. Датчик температуры и влажности 1-101385-01 SENSIRION – tme.eu – [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.tme.eu/ru/details/sht31-arp-b/datchiki-vlazhnosti/sensirion/1-101385-01/> – Назва з екрану.
10. Модуль датчика температуры и влажности DHT22 от Waveshare – arduino.ua– [Электронный ресурс] – Режим доступа:<https://arduino.ua/prod2618-modyl-datchika-temperatyri-i-vlajnosti-dht22> – Назва з екрану.
11. Модуль датчика пыли GP2Y1010AU0F от Waveshare –arduino.ua– [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod2620-modyl-datchika-pili-gp2y1010au0f-ot-waveshare> – Назва з екрану.
12. Датчик пыли PM2.5 / качества воздуха PMS5003 – mini-tech.com.ua – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozdruha-pm2\\_5](https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozdruha-pm2_5) – Назва з екрану.
13. GS202M, датчик формальдегида [UART] – roboparts.ru– [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://roboparts.ru/products/gs202m0datchik-formaldegid-uart> – Назва з екрану.
14. Датчик концентрации формальдегида ZE08-CH2O термостабилизированный –beegreen.com.ua– [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://beegreen.com.ua/davach-koncentrac%D1%96i-formaldeg%D1%96du-ze08-ch2o-termostab%D1%96l%D1%96zovaniij-15827> – Назва з екрану.
15. Dual 4-channel analog multiplexer/demultiplexer – assets.nexperia.com – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC\\_HCT4052.pdf](https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT4052.pdf) – Назва з екрану.
16. Digital universal particle concentration sensor – Aqmd.gov – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual\\_v2-3.pdf](https://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf) – Назва з екрану.
17. Electrochemical CH2O Detection Module – winsen-sensor.com– [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.winsen->

										Аркуш
										45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	BM61.090004.001 ПЗ					

[sensor.com/d/files/PDF/Gas%20Sensor%20Module/Formaldehyde%20Detection%20Module/ZE08-CH2O%20V1.0.pdf](http://sensor.com/d/files/PDF/Gas%20Sensor%20Module/Formaldehyde%20Detection%20Module/ZE08-CH2O%20V1.0.pdf) – Назва з екрану.

18 Datasheet SHT3x-ARP – tme.eu – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.tme.eu/Document/2e0098c5e5c9e7ad6b9934b65a407be3/Sensirion\\_SHT3x\\_analog.pdf](https://www.tme.eu/Document/2e0098c5e5c9e7ad6b9934b65a407be3/Sensirion_SHT3x_analog.pdf) – Назва з екрану.

19. Основи теорії невизначеності вимірювань: підручник / О.М.

Васілевський, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарські. - Вінниця: ВНТУ, 2015. - 230 с.

					<i>ВМ61.090004.001 ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46



Поз. обозн.	Найменування	Кількість	Примітка
	<b><u>Резистори</u></b>		
R1	Резистор С1-4 – 0,25 – 1 кОм, ± 0,5%	1	
R2	Резистор С2-29В – 0,125 – 57,6 кОм, ± 0,5%	1	
R3	Резистор С2-33В – 0,25 – 250 Ом, ± 0,5%	1	
	<b><u>Мікросхеми</u></b>		
DD1	АТмега328р	1	
DD2	74НС4052	1	
DA1	TL072CP	1	
DA2	LM358	1	
	<b><u>Датчики</u></b>		
BK1	GРУ1010AU0F	1	
BK2	SHT30-ARP-B	1	
BK3	ZE08-CH2O	1	
BK4	MH-Z19	1	

					<b>BM61.090004.001 ПЕЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			
Розроб.		Болдирєв А.М.			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Володарський Є.Т.			0	1	1
Н. контр.		Богомазов С.А.			НТУУ „КПІ” ПБФ, гр.ВМ-61-2		
Затверд.					Система контролю якості повітря і вологості Перелік елементів		