

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра метрології на інформаційно-вимірювальної техніки

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

**Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система
моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-2
спеціальності 152 Метрологія та
інформаційно-вимірювальна
техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Заєць Дар'я Андріївна

(прізвище та ініціали)

Керівник ст.викл.каф.М ті ІВТ

Лугових О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Григорук А.А.

к.т.н., доц., доц. каф. РЕТ

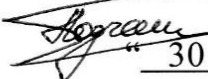
Житомир-2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра Метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., проф. Подчашинський Ю.О.

 "30" березня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Засць Дар'ї Андріївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система вимірювання параметрів та моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста

керівник роботи Лугових Оксана Олександрівна, ст.викл. кафедри Метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "30" березня 2023 року №129/с

2. Строк подання студентом роботи "12" червня 2023 року

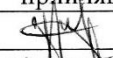
3. Вихідні дані до роботи вимірювання температури, тиску, вологості, вмикання/вимикання системи, визначення вмісту часток пилу, визначення вмісту формальдегіду, визначення вмісту вуглекислого газу, вивід виміряних значень на дисплей.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) технічне завдання, огляд та аналіз існуючих систем моніторингу стану повітря, розробка структурної, функціональної та принципової схем, розробка програми та алгоритму, конструкторська частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму та друкована плата

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	Лугових О.О., ст.викл.		
4,5,6	Лугових О.О., ст.викл.		

Дата видачі завдання 30.03.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

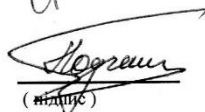
№ з п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	05.03.2023– 11.03.2023	
2.	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих систем моніторингу стану повітря	12.03.2023 – 29.03.2023	
3.	Ознайомитись з основними принципами побудови систем моніторингу стану повітря метеоданих	02.03.2023 – 07.04.2023	
4.	Розробка структурної схеми системи моніторингу стану повітря	08.04.2023 – 24.04.2023	
5.	Розробка принципової схеми системи моніторингу стану повітря	25.04.2023 – 03.05.2023	
6.	Вибір компонентів системи моніторингу стану повітря	04.05.2023 – 22.05.2023	
7.	Розробка блок-схеми алгоритму та програми системи моніторингу стану повітря	24.05.2023– 30.05.2023	
8.	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	03.06.2023 - 11.06.2023	

Студент


 (підпис)
Д.А. Заєць

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)
О.О. Лугових

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста» містить 80 сторінок, 28 рисунків, 8 таблиці, 10 формул, 31 джерело.

Розглянуті існуючі інформаційно-вимірювальної системи моніторингу стану повітря.

Обґрунтовано вибір складових компонентів системи. Розроблена структурна та принципова схема. Спроектowana друкована плата.

Розроблено блок-схему алгоритму роботи програми для системи та відповідно розроблено програму. Прорахована відносна та абсолютна похибка вимірювання вмісту часток пилу. Розрахована надійність інформаційно-вимірювальної системи. Розглянуто питання охорони праці.

Ключові слова: датчик температури, тиску та вологості, датчик CO₂, датчик вмісту часток пилу, датчик вмісту формальдегіду.

ANNOTATION

The bachelor's qualification work on the topic "Computerized information and measurement system for monitoring air conditions in the industrial zone of the city" contains 80 pages, 28 figures, 8 tables, 10 formulas, 31 sources.

Similar information and measurement systems for air condition monitoring are considered.

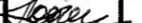
The choice of system components is substantiated. A structural and principle scheme has been developed. The printed circuit board is drawn.

A block diagram of the algorithm of the program for the system was developed and the program was developed accordingly. Calculated relative and absolute measurement error of the content of dust particles The calculated reliability of the information and measurement system. Considered labor protection.

Keywords: temperature, pressure and humidity sensor, CO₂ sensor, dust particle content sensor, formaldehyde content sensor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1. Призначення та галузь застосування.....	8
1.2. Умови експлуатації	8
1.3. Технічні параметри комп'ютеризованої системи	8
1.4. Вимоги до конструкції та надійності системи.....	9
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ.....	10
2.1.Актуальність розробки.....	10
2.2. Існуючі системи вимірювання забруднення повітря.....	14
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	25
3.1.Обґрунтування типу датчика вмісту формальдегіду.....	25
3.2.Обґрунтування типу датчика вмісту вуглекислого газу.....	29
3.3.Обґрунтування типу датчика температури, вологості та тиску.....	31
3.4.Обґрунтування датчику концентрації пилу та твердих частинок.....	35
3.5. Обґрунтування мікроконтролеру.....	38
3.6.Обґрунтування пристроїв для відображення та передачі показників...	40
3.7.Обґрунтування кнопки вмикання та вимикання.....	41
3.8. Обґрунтування адаптеру живлення.....	42
3.9. Розробка структурної схеми.....	42
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	44
4.1. Вибір мікроконтролеру.....	44
4.2.Вибір датчика вмісту формальдегіду.....	46
4.3. Вибір датчика вуглекислого газу.....	47
4.4. Вибір датчика температури, вологості та тиску.....	48
4.5. Вибір датчика пилу.....	50
4.6.Вибір пристроїв для відображення показників.....	52
4.7. Вибір кнопки включення/виключення.....	54
4.8.Вибір блока живлення.....	55
4.9. Принципова електрична схема.....	57
4.10.Розрахунок похибок вимірювання вмісту твердих часток в повітрі...	58
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	60
5.1. Розробка алгоритму.....	60
5.2. Розробка програми.....	62
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	66
6.1. Розробка друкованої плати.....	66
6.2. Розрахунок надійності системи.....	68
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	73
7.1. Охорона праці.....	73
7.2. Охорона атмосферного повітря.....	74
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	81

					МММТ 480.004.004 - ПЗ										
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата											
Розробив		Заєць Д.А.			Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста Пояснювальна записка				Літ.		Арк.		Аркциві		
Перевірив		Лугових О.О.									5	80			
Рецензент		Вілеский П.А.							ДУ «Житомирська політехніка», група МТ-2						
Н. контр.															
Затверд.		Подчаїнський Ю.О.													

ВСТУП

Актуальність роботи. Моніторинг повітря – це спостереження за його станом. Маючи дані про стан різних частинок у повітрі, можна попередити про ситуації, що негативно впливають на здоров'я людей.

В Україні паралельно діють державна та громадська системи моніторингу.

Росіяни атакують промислові об'єкти та склади, знищують нафтобази та випускають ракети по ТЕС, окуповують атомні електростанції. Лише з початку повномасштабного вторгнення ГО «Екодія» зафіксувала понад 600 випадків шкоди довкіллю, спричинених російською агресією.

Кількість загроз під час війни зросла в рази. Зокрема, додалися нові виклики – імовірність хімічного чи радіаційного забруднення через російський тероризм.

Сьогодні ризиків впливу на здоров'я людей дуже багато. Альтернативні системи моніторингу якості повітря можуть надати людині інструмент для самостійного прийняття рішень. Такі системи дають змогу людині аналізувати вплив на довкілля, і як наслідок, на здоров'я. Тобто якщо відбувається високе забруднення від наслідків впливу воєнних дій, як-то горіння промислових об'єктів чи нафтобаз, викиди від ТЕС після бомбардування, і в цей момент відбувається викид дрібнодисперсного пилу, людина може прийняти рішення, як себе убезпечити. Тобто не перебувати на відкритому повітрі, зачинити щільно вікна, увімкнути, якщо є, зволожувач чи очищувач повітря, зробити вологе прибирання.

Розвиток альтернативних систем дійсно дуже важливий, але він не применшує критичної необхідності створення якісних даних державою, тому що це є її зобов'язання і по відповідних міжнародних директивах, і по тому законодавству, яке існує.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лет		6

Мета даної кваліфікаційної дипломної роботи – розробка комп’ютеризованої система вимірювання параметрів та моніторингу стану повітря.

Для мети потрібно виконати наступні завдання:

1. Розглянути альтернативні та існуючі системи моніторингу повітря;
2. Вибрати елементу базу вимірювальної системи;
3. Побудувати структурну та принципову схему вимірювальної системи;
4. Прорахувати надійність та точність запропонованої вимірювальної системи;
5. Розробити друковану плату;
6. Описати охорону праці при розробці та експлуатації вимірювальної системи.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		7

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та галузь застосування

Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система повинна забезпечити роботу моніторинг стану повітря в промисловій зоні міста. Збирати показники стану повітря в автоматичному режимі робити, забезпечувати вивід зібраних показників на дисплей та передачу їх на мобільний додаток.

Областю застосування є державні централізовані системи екологічного моніторингу, а також приватне використання для альтернативної системи моніторингу якості повітря.

1.2. Умови експлуатації та параметри навколишнього середовища

- Температура навколишнього середовища від -25°C до $+50^{\circ}\text{C}$.
- Відносна вологість до 80 % при температурі $+25^{\circ}\text{C}$.
- Атмосферний тиск 600-800 мм рт. ст.
- Точність вимірювання температури: 0.5°C ;
- Точність вимірювання вологості: 3%;
- Точність вимірювання тиску: 1гПа;
- Діапазон виявлення розмірів частинок: 0,3-10 мкм;
- Точність виявлення: 0-100 мкг/м³: ± 15 мкг/м³, 101-1000 мкг /м³: $\pm 15\%$ показань;
- Абсолютна похибка вимірювання вмісту твердих частинок в повітрі: 0,33мкм;
- Хімічно активні компоненти відсутні.
- Вібрація, тряска, удари відсутні.
- Характер роботи безперервний.
- Джерело живлення: первинне – 220В, вторинне – 5В.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		8

1.3. Технічні параметри системи

Комп'ютиризована інформаційно-вимірювальна система повинна забезпечити рішення наступних завдань:

- вимірювання температури, вологості та тиску;
- вимірювання вмісту формальдегіду в повітрі;
- вимірювання концентрації пилу та твердих частинок;
- вимірювання вмісту вуглекислого газу;
- зберігання робочих характеристик при впливі кліматичних факторів;
- відображення показників стану повітря на дисплей.

1.4. Вимоги до конструкції та надійності системи

- Система є резервована, придатна до ремонту, відновлювальна.
- Напрацювання до відмови складає не менше 13 500 годин.
- Елементи пристрою розмістити в пластиковому боксі.
- Габарити установки (корпусу) – 67х60х32 мм.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лет		9

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1.Актуальність розробки

Забруднення повітря в Україні є причиною найбільшої кількості передчасних смертей серед усіх країн континенту. Про це йдеться в новому звіті мережі CEE Bankwatch “Вплив енергетичного сектору України на якість повітря”.

Однією з основних причин забруднення повітря в Україні є виробництво енергії. І найбільший забруднювач у цьому секторі – вугільні електростанції. Вони виробляють близько 30% електроенергії в країні.

Всі наявні вугільні потужності в Україні спроектувала радянська влада, а будівництво “найновіших” ТЕС завершилось у 1976 році. Більшість з них працюють без справних пилових фільтрів і жодна не оснащена обладнанням з видалення оксидів сірки та азоту. А оскільки частина вугільних потужностей також використовуються для виробництва тепла для опалення, такі станції знаходяться в густонаселених районах міст або поблизу них. Це становить ще більшу небезпеку для здоров'я людей.

На жаль, проблема забруднення повітря в Україні не отримує належної уваги на національному та міжнародному рівнях. Система моніторингу якості повітря в Україні застаріла, вона не дозволяє накопичувати дані в єдиному цифровому форматі та переглядати їх в режимі реального часу.

При цьому, міжнародне співтовариство допускає продовження термінів роботи для основних забруднювачів в Україні. Зокрема, рада міністрів Енергетичного Співтовариства й Європейська Комісія дали уряду України шість додаткових років для приведення електростанцій, включених до Нацплану скорочення викидів від великих спалювальних установок (НПСВ), у відповідність до вимог Директиви про промислові викиди.

Водночас Україна затягує реалізацію заходів щодо скорочення викидів. В липні 2019 року уряд схвалив зміни до НПСВ, що встановлюють більший граничний термін для модернізації певних великих спалювальних установок

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лет		10

(ВСУ). Ці зміни не були погоджені з Секретаріатом Енергетичного Товариства.

Крім цього, Україна зобов'язана надавати Європейському агентству з охорони довкілля звіти про викиди забруднюючих речовин від ВСУ. Однак звітні викиди від деяких ТЕС (Бурштинська, Курахівська, Добротвірська, Ладизинська) до точної цифри відповідають граничним межам, встановленим у Національному плані скорочення викидів. Така ідеальна випадковість піддає сумніву достовірність даних.[1]

До заходів, які суспільство повинно впроваджувати на захист атмосферного повітря, можна віднести:

- мінімізацію та запобігання викидів шкідливих речовин в атмосферу шляхом застосування промисловими підприємствами екологічних фільтрів;
- перехід на експлуатацію екологічного транспорту та побутової техніки;
- контрольована утилізація сміття, особливо це стосується спалення побутових відходів;
- впровадження комплексних «зелених» альтернатив, які б були корисні не лише для повітря, а і для здоров'я людини (наприклад, мотивувати людей використовувати велосипеди, оскільки це корисно і для екології, і для самопочуття);
- розробка екологічно орієнтованого законодавства та програми;
- рівень забруднення атмосферного повітря вимірюють за допомогою комплексного індексу забруднення атмосферного повітря (КІЗА).[2]

Високі концентрації потребують точної фіксації, у той час як низькі можуть бути встановлені приблизно. Є нижній і верхній пороги оцінки. Якщо рівень забрудника перевищує верхній поріг, то фіксовані вимірювання з відбором проб є обов'язковими. Загалом, існує три режими вимірювання, що поєднують різні методи: для кожної зони та агломерації визначається свій специфічний режим оцінки (рис.2.1).

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лет		
						11

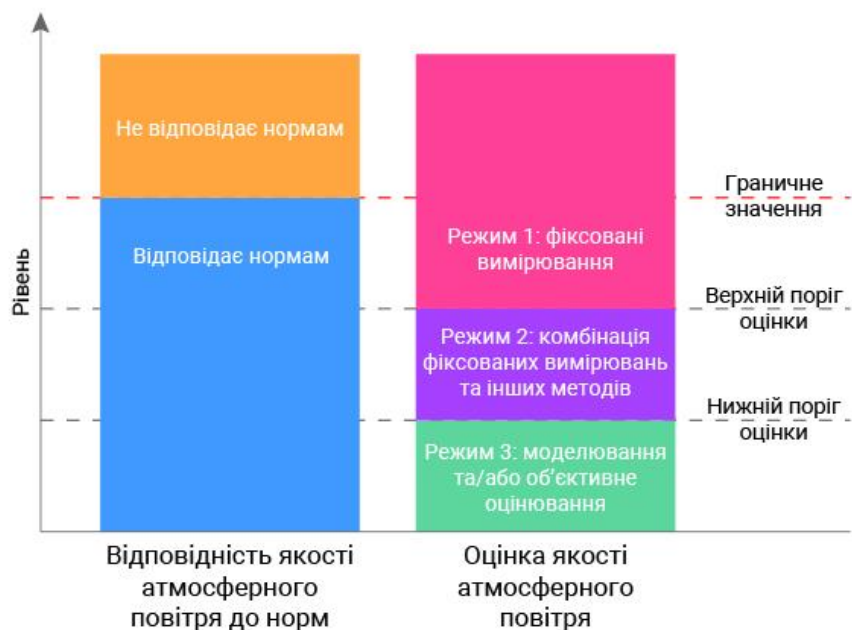


Рисунок 2.1.Співвідношення показників верхнього та нижнього порогів оцінки й граничного значення

Основними забруднюючими речовинами, за якими ведеться спостереження у ЄС, є діоксид сірки, діоксид та оксид нітрогену, частинки ТЧ10 та ТЧ2.5, свинець, бензол, оксид карбону. Вимірювання концентрації озону здійснюється за певних умов і регулюється окремими нормами.

Європейські директиви встановлюють нормативи безпеки як для здоров'я людини (поріг небезпеки), так і для екосистем (критичний рівень). Держави ЄС мають гарантувати дотримання граничних величин — рівнів вмісту речовини в повітрі, встановлених з метою уникнення, попередження чи зменшення шкідливих впливів на людське здоров'я та/або довкілля в цілому. Окрім цього, кожна держава визначає мету щодо зменшення впливу ТЧ2.5 – відсоткове скорочення концентрації цих частинок у повітрі протягом визначеного періоду.

Якщо в певній зоні чи агломерації рівні забрудників перевищують будь-яку з граничних величин або будь-який цільовий показник, держава зобов'язана розробити план заходів для приведення показника до норми(приклад такого плану для діоксиду нітрогену у Великій Британії).

Якщо показник не перевищено, але є ризик перевищення, розроблюються короткострокові плани дій. Окремими положеннями регулюються вирішення проблеми перевищення нормативів внаслідок транскордонного забруднення.

Директиви зобов'язують надавати інформацію про якість повітря безкоштовно і за допомогою легкодоступних заходів. Прикладом цього є тематичний розділ на сайті Європейської агенції довкілля.

Недоліки української системи моніторингу. Організація та методологія моніторингу якості атмосферного повітря в Україні не відповідає стандартам ЄС.

Вимоги щодо кількості постів спостереження у населених пунктах України перевищують аналогічні нормативи ЄС. Якщо в Україні для міста з населенням близько 3 мільйонів осіб необхідно мати від 10 до 20 постів, то директива ЄС для міста такого ж розміру встановлює їх мінімальну кількість у обсязі 4 постів. В Україні програми спостережень можуть значно відрізнятися на окремих постах, натомість у ЄС діє принцип вимірювання усіх речовин на усіх постах.

Перелік речовин, за якими ведеться спостереження в Україні, не відповідає актуальним потребам. Пряме прописування цього переліку у нормативних документах зумовило парадоксальну ситуацію. У Києві, наприклад, ведеться моніторинг близько двох десятків забрудників. При цьому, відсутній поділ завислих частинок на ТЧ10 та ТЧ2.5, поза увагою залишається низка агресивних та поширених речовин: озон, бензен, миш'як, ртуть. У ЄС програма спостережень формується на основі порогових рівнів, перевищення яких визначає необхідність впровадження певного виду моніторингу. Це дозволяє не вимірювати велику кількість речовин, зосередившись натомість на ключових забрудниках. Удосконалення потребують також методи вимірювання концентрацій, які застосовуються сьогодні в Україні.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Дат		13

Впровадження європейської системи моніторингу в Україні

Відповідно до 361 статті Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Україна зобов'язалася впровадити основні положення двох європейських директив: 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи; а також 2004/107/ЄС про миш'як, кадмій, ртуть, нікель і поліциклічні ароматичні вуглеводні у атмосферному повітрі. Імплементация цих директив передбачає:

- прийняття національного законодавства та визначення уповноваженого органу або органів;
- встановлення верхньої та нижньої межі оцінки, цільових і граничних значень, а також мети щодо зменшення впливу ТЧ 2.5;
- визначення та класифікацію зон і агломерацій;
- запровадження системи оцінки якості повітря відносно забруднювачів;
- розроблення планів щодо якості атмосферного повітря для зон і агломерацій, де рівень забруднення перевищує граничну або цільову величину;
- розроблення короткострокових планів дій для зон і агломерацій, де існує ризик перевищення допустимих меж забруднення;
- запровадження системи публічного інформування громадськості.[3]

2.2. Існуючі системи вимірювання забруднення повітря

Станція контролю атмосфери AirPointer (рис.2.2) – ідеальний інструмент для контролю санітарних периметрів та якості повітря в містах від викидів промислових підприємств, ТЕС, автомобілів та інших забруднювачів повітря. Дозволяє вимірювати концентрацію CO, O₃, SO₂ та NO/NO₂/NO_x за допомогою автоматичних газоаналізаторів, які працюють за стандартними оптичними методами (інфрачервоним, флуоресцентним, хемілюмінесцентним) та у широкому діапазоні концентрацій.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		

Конструкція виконана так, що дозволяє легко підключити додаткові газоаналітичні рецептори на інші гази. Вимірюються також метеопараметри: швидкість та напрямок вітру, вологість, тиск. Станція дає можливість швидко та адекватно реагувати на будь-які події, що викликають забруднення повітря. За допомогою станцій можна створити регіональну мережу моніторингу атмосферного повітря. Станцією на місці вимірювань в автоматичному та безперервному режимі здійснюється моніторинг навколишнього середовища, із збереженням у своїй пам'яті даних за багато років вимірів. Доступ до цих даних, а також до внутрішніх параметрів можливий за дротяним або бездротовим протоколом через модем (GSM, GPRS, UMTS) або мережу (пряме, кабельне або радіоз'єднання). Надійний зовнішній антивандальний корпус має систему підтримки температури та повну інфраструктуру класичної вимірювальної станції. Працює з будь-яким веб-браузером (для доступу до даних). Легкий монтаж, запуск в експлуатацію, мобільність безперечні переваги при виборі інструментів контролю навколишнього повітря. Модульна конструкція та сучасний інтерфейс дають можливість користувачеві не тільки працювати сьогодні, а й модернізувати прилад відповідно до нових вимог.



Рис.2.2. Станція контролю атмосфери AirPointer

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дну 15
Зм	Дну	Но докум	Підпи	Лат		

Встановлюється на електричних стовпах освітлення або на інших об'єктах:

- Контроль токсичних газів - SO₂, NO_x, O₃, CO та пилу;
- Можливість зовнішнього підключення інших аналізаторів шкідливих та токсичних газів – вуглеводні, аміак, пил тощо;
- Використовуються методи вимірювання, прийняті в ЄС;
- Можливість укомплектування системою контролю метеопараметрів;
- Простий у використанні та обслуговуванні;
- Низьке енергоспоживання - 350 Вт, при ~ 220В;
- Міцний, пилу вологонепроникний корпус;
- Відсутність спеціальних умов до місця встановлення;
- Можливість доступу до інформації за допомогою веб-браузера;
- Виріб готовий до експлуатації відразу після встановлення та підключення (plug & play).

Технічні характеристики:

- швидкість потоку повітря: менше 3000 см³/хв;
- Діапазон робочих температур: від - 20 до + 40 ° С (робоча температура сенсорів);
- Габарити: 800 мм х 600 мм х 500 мм; (приблизні)
- Маса: від 35 до 70 кг (залежно від конфігурації);
- Живлення: ~220 В, 350 Вт, запобіжники 10А;
- Конфігурація: Будь-які комбінації, від 1 до 4 газових та метеорологічних сенсорів, можлива подальша модернізація.

Застосування:

- міські служби;
- промислове підприємство;
- теплоелектро станції;
- аеропорти;
- печі, казани;
- нафтохімія;

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		16

- джерела шкідливих викидів;
- сміттєзвалища;
- закриті приміщення;
- зони аварійних ситуацій;
- транспортні магістралі;
- хімічні виробництва. [4]

AQMesh система моніторингу якості повітря (рис.2.3) – це система контролю якості повітря з невеликими електрохімічними датчиками для вимірювання якості повітря в приміщеннях та на відкритому повітрі, що пропонує локалізовану інформацію про якість повітря та аналіз даних у режимі реального часу. AQMesh вимірює ключові забруднювачі в атмосферному повітрі, використовуючи кращу технологію малих електрохімічних датчиків у поєднанні із запатентованою обробкою даних, отриманою внаслідок великих глобальних порівнянь даними. Продукт поєднує в собі надійну апаратну платформу з опціями бездротового зв'язку, GPRS-зв'язком, хмарною обробкою даних та безпечним онлайн-доступом. AQMesh виробляється у Великобританії і має винятково високу якість, ґрунтуючись на багаторічному досвіді розробки обладнання для моніторингу навколишнього середовища у суворих умовах та відповідно до міжнародних стандартів.



Рис.2.3. AQMesh система моніторингу якості повітря

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
Зм	Дру	Но докум	Підпи	Лст		17

Особливості:

- Вимірює гази NO, NO₂, NO_x, O₃, CO, SO₂ та H₂S за допомогою електрохімічних датчиків останнього покоління;
- Додатковий моніторинг CO₂ за допомогою датчика NDIR;
- Вимірює частинки PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ і TPC за допомогою світлорозсіювального оптичного лічильника частинок;
- Вимірює відносну вологість, температуру стручка, атмосферний тиск та шум;
- Додатковий метеорологічний датчик для вимірювання швидкості та напрямку вітру;
- Різні варіанти живлення, в тому числі акумулятор та сонячна батарея на замовлення;
- Бездротовий зв'язок;
- Безпечний онлайн-доступ до даних;
- Широко підтверджена продуктивність та точність у польових умовах порівняно з еталонним обладнанням.

Технічні характеристики представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Технічні характеристики системи моніторингу AQMesh

Сенсор	Тип сенсора	Одиниці вимірювання	Діапазон
NO	Електрохімічний	ppb or mg/m ³	0 to 4,000 ppb
NO ₂	Електрохімічний	ppb or mg/m ³	0 to 4,000 ppb
NO _x	Електрохімічний	ppb or mg/m ³	0 to 8,000 ppb
O ₃	Електрохімічний	ppb or mg/m ³	0 to 1,800 ppb
CO	Електрохімічний	ppb or mg/m ³	0 to 6,000 ppb
SO ₂	Електрохімічний	ppb or mg/m ³	0 to 10,000 ppb
H ₂ S	Електрохімічний	ppb or mg/m ³	0 to 100,000 ppb

CO2	NDIR метод	ppm or mg/m3	0 to 5,000 ppm
Температура	Напівпровідниковий	°C or °F	-20°C to 100°C
Тиск	Напівпровідниковий	mb	500 to 1500 mb
Вологість	Напівпровідниковий	%	0 to 100%
Шум	Односпрямований мікрофон	dB	35 to 100 dB SPL
Пил	Оптичний лічильник частинок	Particles/cm3	0.30 to 30 μ m
PM1	Оптичний лічильник частинок	μ g/m3	0 to 200 μ g/m3
PM2.5	Оптичний лічильник частинок	μ g/m3	0 to 500 μ g/m3
PM10	Оптичний лічильник частинок	μ g/m3	0 to 1,000 μ g/m3
GPS	Встановлюється стандартно	N/A	N/A

AQMesh може застосовуватись у різних місцях. Оскільки цей тип продукту є настільки новим, фахівці-практики тільки починають цінувати способи, якими найкращі дані — висока тимчасова роздільна здатність і висока просторова роздільна здатність — можуть відкривати нові програми. Цей список – лише початок недорогого моніторингу якості повітря. [5]

ACCUR8 CO2-6000 CO2 система з моніторингу якості повітря представлений на рис.2.4.

Контролює якість повітря в приміщенні та рівень вуглекислого газу. Одночасно відображає температуру, відносну вологість і CO2.

Завдяки NDIR (недисперсійному інфрачервоному) датчику CO2 цей пристрій є стабільним для тривалого моніторингу.

Дані можуть бути завантажені на ПК через USB-кабель у форматі CSV для моніторингу та аналізу даних.



Рис.2.4. ACCUR8 CO2-6000 CO2 система з моніторингу якості повітря

Особливості:

- Ключові особливості;
- Реєстрація даних протягом 800 днів з інтервалом 15 хвилин;
- Експорт даних у файл CSV через USB;
- Трирівнева система індикації якості повітря в приміщенні Добре, Нормально, Погано;
- Звукова та візуальна сигналізація CO2;
- Режим «Рослина/Людина»;
- USB-кабель живлення;
- Підсвічування;
- Детальніше.

Технічні характеристики:

- Вимірювання CO2;
- Діапазон вимірювання 0-5000ppm;

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
						20
Зм	Дру	№ докум	Підпи	Лст		

- Роздільна здатність дисплея 1ppm (0-1000); 5 ppm (1000-2000); 10 сторінок на хвилину (>2000);
- Точність від 0 до 3000 ppm ± 50 ppm $\pm 5\%$ від показання;
- Точність понад 3000 ppm $\pm 7\%$ від показань;
- Повторюваність 20 ppm при 400 ppm (стандартне відхилення 10 вимірювань за 1 хвилину);
- Залежність від температури $\pm 0,2\%$ від показань на $^{\circ}\text{C}$ або ± 2 ppm на $^{\circ}\text{C}$, залежно від того, що більше, відносно 25°C ;
- Час відгуку < 2 хв для 63% крокової зміни або $< 4,6$ хв для 90% крокової зміни;
- Час розігріву < 20 сек;
- Вимірювання температури: робоча температура від 0°C до 50°C (від 32°F до 122°F); роздільна здатність дисплея $0,1^{\circ}\text{C}$ ($0,1^{\circ}\text{F}$);
- Час відгуку < 20 хв (63%);
- Вимірювання RH: діапазон 5-95%; точність $\pm 5\%$; роздільна здатність 1% для основного зчитування, 0,1% для максимального мінімального зчитування;
- Реєстрація даних: період реєстрації, безперервний журнал протягом 800 днів; реєстрація приростів кожні 15 хвилин; підключення через USB-кабель у файл CSV для використання з будь-яким програмним забезпеченням для роботи з електронними таблицями.

За допомогою монітора CO2 ACCUR8 CO2-6000 від Tempson можна відстежувати, наскільки забруднене повітря в місцях, де необхідно працювати. CO2-6000 оснащений звуковим сигналом, який можна налаштувати, щоб попереджати вас, коли рівень кисню падає до певної позначки, дозволяючи вам відкрити вікно чи двері, щоб знову підняти рівень.

На дисплеї відображається поточний вміст CO2 на додаток до поточних значень температури та вологості на екрані.

Цей настільний або настінний блок є простим рішенням, ідеальним для школи, дому чи роботи, який після встановлення нагадуватиме вам про

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		
						21

провітрювання, коли потрібно, і покращуватиме рівень вашої концентрації та самопочуття.

Індикатор зліва на екрані також дозволяє швидко інтерпретувати значення CO₂, коли вони змінюються від зеленого до жовтого та червоного залежно від якості повітря та налаштування граничних значень. Якщо досягнуто заданого максимального значення, сигналізація також може попередити про надмірно високу концентрацію CO₂. [6]

Портативний аналізатор повітря A8-CO2002 представлений на рис.2.5.



Рис.2.5. Портативний аналізатор повітря A8-CO2002

Портативний і простий у використанні, A8-CO2002 має широкий набір функцій для моніторингу якості повітря, упакованих у компактний пристрій.

Ключові особливості:

- PM_{2,5}, PM₁₀, CO₂, HCHO та TVOC;
- Датчик CO₂ NDIR;

- Кольоровий екран;
- Графік показує останні 30 значень даних для CO₂, PM_{2,5}, НСНО, температури та вологості;
- Перезаряджувана літієва батарея з USB-кабелем, джерело живлення
- Портативний;
- Розмір: 164*74*26 мм.

Технічні характеристики вимірювання:

- 400 - 5000 PPM, 1 PPM;
- Діапазон PM_{2,5}: 0-999 мкг/м³;
- Діапазон НСНО: 0,001-1,999 мг/м³;
- Діапазон TVOC: 0,001-9,999 мг/м³;
- AQI для інтегрованого індексу якості повітря: 0-500;
- Температура: від -10°C до 50°C;
- Відносна вологість: 20% - 85%;
- Ідеально підходить для професіонала, освіти, аматора, зацікавленого;
- Вимірювання якості повітря, CO₂, вологості, температури;
- Типове застосування охорона навколишнього середовища (всередині приміщень), опалення, вентиляція, кондиціонування, тепловий комфорт;
- Живлення^ акумуляторна батарея з USB-кабелем джерело живлення.

Цей портативний вимірювальний прилад здатний вимірювати широкий діапазон якості повітря.

CO₂ Meter вимірює вуглекислий газ в атмосфері, і високий рівень у вашому домі чи на роботі може мати шкідливі наслідки. Можливість перевірити рівень дозволяє переконатися, що у вас є достатня вентиляція, щоб утримувати CO₂ на прийнятному рівні.

Датчик PM_{2.5} вимірює частинки діаметром менше 2,5 мікрометрів, ці дрібні частинки залишаються у зваженому стані в повітрі довше.

НСНО вимірює рівень формальдегіду, він присутній як на відкритому повітрі, так і всередині приміщень. У приміщенні вони можуть бути у вищих концентраціях, що виділяються виготовленими дерев'яними виробами,

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		23

такими як меблі та підлога, для яких використовуються формальдегідні смоли. Його також можна знайти в деяких текстильних виробах, таких як оббивка та штори.

TVOC вимірює загальний вміст летких органічних сполук (VOC) у зоні вимірювання. Окрім природних джерел, ці леткі органічні сполуки можуть надходити з широкого спектру штучних повсякденних речей, таких як фарби, дезінфікуючі засоби, пестициди та освіжувачі повітря. [7]

Розглянуті існуючі системи моніторингу стану повітря вимірюють зазвичай декілько параметрів: температуру, вологість, тиск, вміст вуглекислого газу. Рідше вимірюють вміст частинок пилу та вмісту формальдегіду. А без комплексної оцінки всіх показників, неможливо оцінити якість повітря. Тому пропонується розробити системи, яка буде вимірювати такі показники стану повітря, як температуру, вологість, тиск, вміст вуглекислого газу, вимірюють вміст частинок пилу та вмісту формальдегіду.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лат		24

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Комп'ютиризована інформаційно-вимірювальна система повинен виконувати наступні функції:

- вимірювання температури, вологості та тиску;
- вимірювання вмісту формальдегіду в повітрі;
- вимірювання концентрації пилу та твердих частинок;
- вимірювання вмісту вуглекислого газу;
- зберігання робочих характеристик впливі кліматичних факторів;
- відображення показників стану повітря на дисплей;
- включення/виключення вимірювальної системи;
- живлення вимірювальної системи.

Для виконання перерахованих функції потрібні такі складові вимірювальної системи.

1. Мікроконтролер використовується для керування системи в цілому: зчитування даних з датчиків, обробка даних та передачу на смартфон чи вивід на дисплей;

2. Для вимірювання температури, вологості та тиску потрібно застосувати барометричний датчик.

3. Для вимірювання вмісту формальдегіду в повітрі застосуємо датчик формальдегіду.

4. Для вимірювання концентрації пилу та твердих частинок застосуємо датчик твердих частинок.

5. Для вимірювання вмісту вуглекислого газу застосуємо датчик CO₂.

6. Для відображення виміряних даних застосуємо LCD дисплей.

7. Для керування для включення/виключення системи застосуємо тактову кнопку;

8. Для вторинного живлення вимірювальної системи системи застосуємо адаптер живлення.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		25

3.1.Обґрунтування датчика вмісту формальдегіду

Формальдегід (метаналь, мурашиний альдегід) (від лат.*formica*– мурашка) – хімічна речовина з формулою H_2CO , найпростіший із альдегідів, перший член гомологічного ряду аліфатичних альдегідів. Чистий мономерний формальдегід при звичайних умовах є безбарвним газом із характерним різким запахом. Досить добре розчинний у протонних — розчинниках (вода, спирти). Сполука здатна утворюватися в природних умовах, зокрема при фотохімічному окисненні метану або метанолу, при атмосферному тиску і за відсутності каталізаторів.[8]

Наведемо основні методи, які пропонують українські компанії для визначення формальдегіду, їхні переваги та недоліки. Це допоможе замовнику самостійно зорієнтуватися та обрати хімічну лабораторію і метод аналізу на формальдегід, якому можна довіряти:

1. Колориметрична детекція. Формальдегідні тест-трубки.

Принцип методу. Через спеціальний реагент, що знаходиться в скляній трубці, прокачують повітря, забруднене формальдегідом. Оцінку вмісту формальдегіду в повітрі проводять візуально: залежно від того, наскільки змінилося забарвлення реагента в трубці. Основний недолік методу – його низька точність. Особливості сприйняття кольорів кожною людиною зумовлюють значну похибку при оцінці результатів. Окрім того, цим методом можна визначити концентрацію формальдегіду не нижчу 0,25 мг/м³, тоді як середньодобова гранично допустима концентрація (ГДК) для формальдегіду – 0,003 мг/м³. Тобто, фактично, вимірювання методом колориметричної детекції дасть позитивний результат, лише коли в повітрі приміщення ГДК буде перевищено майже у 100 разів. (ГДК – максимально допустима концентрація, при якій хімічний елемент за умови довготривалого впливу не призведе до негативних наслідків для здоров'я людини).

Висновок: тест-трубки призначені для контролю виробничих приміщень, ГДК для яких на порядок вище, ніж для житлових помешкань,

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		
						26

тому перевищення ГДК для житлових приміщень не виявляється методом колориметричної детекції.

2. Спектрофотометрична детекція

Принцип методу. Через розчин реагента (динітрофенілгідазин (ДНФГ)) пропускають фіксований об'єм повітря. Внаслідок реакції із формальдегідом розчин змінює колір. Отриманий розчин досліджують спектрофотометрично: за допомогою спеціального приладу визначають інтенсивність поглинання світла відповідної оптимальної довжини ($\lambda=370$ нм), забарвленого продукту реакції (4-динітрофенілгідазину із формальдегідом). На відміну від попереднього методу, вимірювання поглинання світла за допомогою спектрофотометра дозволяє чітко визначити інтенсивність забарвлення розчину та уникнути похибки, пов'язаної з різним сприйняттям кольору у людей). Недолік цього методу: під час проходження повітря через розчин формальдегід із реагентом встигає прореагувати лише частково. Це стає причиною неточності у визначенні концентрації формальдегіду. Окрім того, реагент, який дає кольорову реакцію з формальдегідом, також реагує з бензальдегідом, ацетальдегідом та рядом інших альдегідів, які виділяються з паперу, стружки, ДСП тощо. Отже, в результаті аналізу за цим методом визначається сума альдегідів, а не конкретно формальдегід, тому висока ймовірність хибного результату.

Висновок: Межа визначення формальдегіду спектрофотометрично складає близько 0,01-0,05 мг/м³, що є задовільно, але недостатньо для контролю безпеки в приміщенні. Окрім того, проблемою є невисока точність методу та ймовірність помилкового позитивного результату за рахунок реакції з іншими речовинами альдегідами. Відтак, використання спектрофотометричної детекції не рекомендовано для визначення якості повітря в житлових та офісних приміщеннях.

3. Автоматичні газоаналізатори

Принцип методу. Компактний пристрій вимірює певні показники, до прикладу: тепло- чи електропровідність, поглинання інфрачервоного

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		27

випромінювання. Існує два типи датчиків: які сигналізують про перевищення встановленої концентрації, а також такі, що вимірюють вміст газів у повітрі. Для сенсорних датчиків характерне «старіння» – чутливий елемент з часом стає менш чутливим й гірше реагує на сполуку, що вимірюють. Окрім того, дешеві датчики часто реагують на будь-які інші органічні сполуки у повітрі – спирти, бензин, газ із запальнички, парфуми тощо, що може призвести до помилки в результатах аналізу. Також для отримання правильних результатів необхідно калібрувати прилад, що зробити в домашніх умовах досить складно.

Висновок: через складнощі з калібруванням у домашніх умовах, старіння чутливих елементів і низьку селективність метод не є придатним для визначення вмісту формальдегіду в повітрі приміщення.

4. Хроматографічне визначення

Принцип методу. Метод ґрунтується на прокачуванні повітря крізь картридж, що містить силікагель із нанесеним 2,4-динітрофенілгідразином (ДНФГ). Після цього картридж герметично запаковується та відправляється до лабораторії. У лабораторних умовах продукти реакції вимивають органічним розчинником. Відділення продукту взаємодії формальдегіду з ДНФГ від інших сполук та його визначення проводять методом обернено-фазової вискоєфективної рідинної хроматографії (ВЕРХ), що має високу чутливість, високу точність і дозволяє, окрім формальдегіду, виявити ацетальдегід, інші не менш шкідливі леткі альдегіди та ацетон.

Висновок: ця методика визначення вмісту формальдегіду в повітрі пропонується багатьма офіційно затвердженими документами, зокрема ISO 16000-3:2001, ISO 16000-2:2004, ГОСТ Р ИСО 16000-3:2007, ГОСТ Р ИСО 16000-2:2004, що вказує на її ефективність. Однак визначення формальдегіду за цією методикою може бути виконано лише досвідченим висококваліфікованим спеціалістом. До того ж цим методом неможливо провести експрес-дослідження, тобто визначення формальдегіду не дає миттєвих результатів.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лет		28

5. Газова хроматографія із мас-спектроскопічною детекцією

Принцип методу. Через скляну трубку, заповнену сорбентом, впродовж фіксованого часу за допомогою автоматичного насоса прокачується забруднене повітря. Після цього трубка герметично запаковується та відправляється до лабораторії. Там проводиться термодесорбція забрудників із трубки потоком інертного газу, який направляється безпосередньо в газовий хроматограф. Мас-спектроскопічна детекція дозволяє селективно визначати вміст менше рівня ГДК ряду органічних сполук, що є забрудниками повітря, зокрема й формальдегіду.

Висновок: описана методика є оптимальною за точністю, чутливістю та селективністю, адже, на відміну від хроматографічного визначення, де передбачено вимивання продуктів реакції органічним розчинником, у цьому випадку сполуки витісняються інертним газом та аналізуються в незмінному вигляді. Однак сьогодні в Україні немає обладнання, на якому можна проводити такі дослідження. Відібрані в Україні проби надсилають на аналіз у лабораторії за кордон.[9]

3.2.Обґрунтування датчика вмісту вуглекислого газу

Датчик вуглекислого газу – це датчик виявлення наявності молекул CO₂ в повітрі.

Вуглекислий газ CO₂ – безбарвний газ із слабким кислуватим запахом. Вуглекислий газ, як більш важкий проти повітрям, накопичується в поглибленнях (підвали, колодязі, штольні, катакомби, печери). При задимленні приміщення при зворотній тязі в димарі якраз багато вуглекислого газу.

Незалежно від типу датчики чадного газу працюють за принципом виявлення наявності молекул CO₂ в повітрі. Реакція датчика визначається концентрацією CO₂, чутливістю датчика та рівнем фонового шуму. Вихід датчика може відображатися на лічильнику, світловій або звуковій сигналізації.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лет		29

Існує кілька типів датчиків вуглекислого газу, включаючи електрохімічні датчики, датчики оксидів металів, напівпровідникові та інфрачервоні датчики.

Електрохімічні датчики є найпоширенішим типом датчиків вуглекислого газу. Вони складаються з двох чутливих електродів, та електроліту. Коли молекули CO₂ вступають у контакт з електродом, вони окислюють його поверхню, викликаючи електричний струм між двома електродами. Величина струму пропорційна концентрації CO₂ в повітрі. Електрохімічні датчики відомі своєю високою чутливістю, точністю та довготривалою стабільністю. Вони широко використовуються в житлових і комерційних детекторах вуглекислого газу.

Датчики оксиду металу працюють на основі змін електричного опору, які виникають, коли молекули CO₂ реагують із частинками оксиду металу. Ці датчики виготовлені з тонкої плівки оксиду металу (наприклад, оксиду олова), нанесеного на підкладку. Коли молекули CO₂ взаємодіють із плівкою оксиду металу, вони змінюють електропровідність плівки, яку можна виміряти за допомогою зовнішнього контуру. Датчики оксиду металу відносно дешеві і можуть працювати при кімнатній температурі. Однак вони менш точні та менш стабільні, ніж електрохімічні датчики.

Напівпровідникові датчики засновані на зміні електричних властивостей напівпровідникового матеріалу в присутності CO₂. Коли молекули CO₂ вступають у контакт з поверхнею напівпровідникового матеріалу, вони змінюють електропровідність матеріалу. Ця зміна може бути виявлена приладом, підключеним до датчика. Напівпровідникові датчики недорогі, малі та легкі, що робить їх придатними для портативних детекторів CO₂. Однак вони мають меншу чутливість і стабільність, ніж електрохімічні датчики.

Інфрачервоні датчики виявляють молекули CO₂ на основі поглинання ними інфрачервоного випромінювання. CO₂ має характерну смугу поглинання близько 4,5 мкм в інфрачервоному діапазоні.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		30

Інфрачервоний датчик випромінює промінь інфрачервоного випромінювання, який проходить через зразок повітря та виявляється детектором з іншого боку. Наявність CO₂ у повітрі зменшить інтенсивність променя, дозволяючи датчику визначити концентрацію CO₂. Інфрачервоні датчики мають високу вибірковість і можуть виявляти інші гази, такі як метан і пропан. Однак вони дорогі та громіздкі порівняно з іншими типами датчиків.

Підсумовуючи, датчики вуглекислого газу є важливими інструментами для виявлення та вимірювання концентрації CO₂ в різних сферах застосування. Вибір типу датчика залежить від вимог, включаючи чутливість, точність, стабільність, вартість і розмір. Електрохімічні датчики є найпоширенішим типом датчиків CO₂ через їх високу чутливість. Але так як вимірювальний пристрій буде вимірювати якість повітря на вулиці, то дотаньо буде застосувати інфрачервоні датчик.[10]

3.3.Обґрунтування датчика температури, вологості та тиску

Для вимірювання температури, вологості та тиску можна застосувати один датчик. Такий датчик, який вимірює всі три параметри, що дуже зручно та економно для виводів мікроконтролера.

Для комфортного перебування на вулиці важлива не лише температура, а й тиск, а також вологість повітря. Визначити ці параметри на дотик неможливо, водночас вони здатні впливати на самопочуття людини.

Багато метеорологічних явищ пов'язані зі змінами в атмосферний тиск. Щоб виміряти цей атмосферний тиск, необхідно барометр.

Барометр – це пристрій, здатний постійно вимірювати тиск повітря. Завдяки барометру можна працювати над прогнозом погоди, щоб бути ближчим до того, що має статися, з меншою похибкою.

Щоб вибрати датчик тиску, важливо розуміти, що ми розглядаємо 3 типи тиску, які відповідають різним конструкціям датчиків.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		
						31

Більшість датчиків тиску вимірюють деформацію мембрани під впливом тиску, який впливає на неї, і значення якої необхідно визначити. Так як мембрана має дві грані, отже, інший тиск виявляється на другу грань, і деформація, що вимірюється фактично є результатом різниці тисків між двома гранями мембрани.

Залежно від цього, розрізняють три типи тиску та датчиків:

Абсолютний тиск: у датчику абсолютного тиску друга грань мембрани піддається вакууму, її деформація точно відповідає вимірюваному тиску.

Відносний тиск: у датчику відносного тиску друга грань мембрани піддається атмосферному тиску, її деформація точно відповідає різниці між вимірюваним тиском та тиском навколишнього середовища.

Диференціальний тиск: датчик диференціального тиску має 2 входи, по одному для кожної грані мембрани, її деформація відповідає різниці тиску між двома входами.

Датчик відносного тиску вимірює тиск по відношенню до атмосферного тиску навколишнього середовища і, таким чином, різницю між процесом і атмосферним тиском.

Технології датчика тиску:

1. У п'єзорезистивному датчику тиску тиск надає сили на чутливий елемент, що призводить до зміни його опору. П'єзорезистивні датчики тиску мають високу чутливість, вони надійні і мають добрий тепловий опір, але їх вихідний сигнал слабкий.

2. У п'єзоелектричному датчику тиску тиск надає силу на елемент п'єзоелектричного матеріалу, тим самим створюючи напругу на елементі. Ці датчики можуть мати дуже великий діапазон вимірювань, а також дуже добрий тепловий опір. З іншого боку, їхній вихідний сигнал слабкий, вони не такі точні, як п'єзорезистивні датчики.

3. У ємнісному датчику тиску, мембрана є однією із пластин конденсатора. Під впливом тиску мембрана деформується, тим самим змінюючи ємність конденсатора. Ці датчики забезпечують хорошу точність і

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Дат		32

мають підвищену чутливість, можуть вимірювати низький тиск, виражене в mbar. З іншого боку, ці датчики не люблять вібрації, тому що вони можуть зробити їх виміри нестійкими.

Вибрати правильну модель, заснована на наступних критеріях:

- Насамперед важливо вибрати датчик, діапазон вимірювань якого відповідає діапазону тиску, який ви повинні вимірювати, з урахуванням нормальних умов та випадкових коливань тиску.

- Температура функціонування також є важливим параметром. Більшість датчиків мають робочий діапазон від -25°C до 100°C . Крім того, необхідно вибирати датчики, призначені для витримування вищих температур.

- Як і для будь-якого датчика, ви повинні вибрати датчик тиску, вихідний сигнал якого відповідає вашому вимірювальному або керуючому контуру.

- Останнім важливим критерієм вибору буде конфігурація датчика та спосіб його встановлення у точці вимірювання. Більшість датчиків мають різьблення, що дозволяє легко монтувати їх на стібці, встановленому на трубі, резервуарі тощо. Існують також датчики, оснащені фланцями, мініатюрні датчики для паяння на друкованій платі тощо. Установка сенсорних мембранних датчиків має свої переваги. У цій конфігурації мембрана датчика знаходиться на одному рівні зі стіною труби, що дозволяє уникнути проблем із засміченням через накопичення матеріалу в областях без потоку. Ця конфігурація пристосована для заряджених рідин, особливо у харчовій промисловості.[11]

Датчик вологості – засіб вимірювання, що дозволяє визначити поточну величину відносної вологості повітря. Відносна вологість повітря безпосередньо залежить від його температури, тому такі датчики практично завжди можуть заміряти і температуру, так чи інакше. Датчик – це лише один із елементів ланцюга, який дозволяє контролювати параметри середовища (у приміщенні або зовні).

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лет		33

Абсолютна вологість є фактичною кількістю води, що знаходиться в даний момент в одиниці ємності газу. Тобто така вологість вимірюється в грамах на один кубічний метр. Повітря може містити лише певну максимальну кількість води в одиниці об'єму, і максимально вологе повітря називається насиченим. У повністю насиченому повітрі, тобто з абсолютною вологістю, що дорівнює 100%, пара починає перетворюватися на конденсат. Але з підвищенням температури повітря його абсолютна вологість також підвищується, і та сама одиниця об'єму здатна вмістити вже більше води.

Відносна вологість – це відношення абсолютної поточної вологості до максимально можливої при поточній температурі повітря. Отже, із зміною температури відносна вологість змінюється. Якщо повітря почати охолоджувати, то певний момент відносна вологість може стати рівною 100% – значення температури, при якій це відбувається, називають точкою роси.

Датчики вологості мають багато різних технічних реалізацій, і загалом є досить специфічними елементами. На практиці вологість досить важко виміряти з великою точністю, але часто це не потрібно. Залежно від умов використання застосовуються датчики в основному наступних типів:

- ємнісні;
- резистивні;
- психометричні;
- аспіраційні.

Ємнісний датчик є конденсатором специфічного типу, ємність якого безпосередньо залежить від вологості повітря. резистивні датчики вологості детектують перепади електричного опору гігроскопічного середовища, тобто в них закладена залежність опору від вологості. Психометричний принцип заснований на тому факті, що вологий предмет втрачає своє тепло з парою, що йде.

Чим сухіше повітря, тим швидше йде в нього тепло, тим вища різниця температур.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		34

Отже, психометричний датчик складається з двох термометрів – одного сухого та одного вологого. Аспіраційний датчик оснащується також нагнітачем повітря і застосовується в умовах, де повітря не рухається, або рухається повільно.

Вибір того чи іншого датчика найчастіше є індивідуальним для кожного окремого випадку. Він залежить від температури, в якій замірятиметься вологість, від можливості випадання конденсату, від наявності домішок у повітрі тощо. Наприклад, цифрові ємнісні датчики втрачають свою точність за дуже високих температур. Психометричний датчик добре справляється з конденсатом і може ефективно працювати в умовах високих температур. Резистивні датчики дешеві та легко замінюються.

Параметри, які необхідно враховувати під час вибору датчика вологості

- Точність вимірювань;
- Робочий діапазон температур та абсолютної вологості;
- Швидкість реакції на зміну умов середовища;
- Відновлення від конденсату;
- Середній термін служби;
- Замінність;
- Стійкість до домішок у повітрі;
- Масогабаритні параметри та ціна.[12]

Для вимірювання температури, вологості та тиску застосуємо датчик надійний, з високою точністю, з малими розмірами та підключення по I2C датчик bme280.

3.4.Обґрунтування датчику концентрації пилу та твердих частинок

Забруднення частинками (зазвичай іменованими зваженими) є перебування у повітрі суміші твердих домішок і рідких крапель. Деякі частинки викидаються в атмосферу безпосередньо, інші утворюються там

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
						35
Зм	Дру	№ докум	Піппи	Лат		

результаті реакції з іншими забруднювачами. Частинки можуть бути різних розмірів. Частинки, діаметр яких менше 10 мікрометрів, настільки дрібні, що можуть потрапити в легені, а це є серйозною загрозою для здоров'я. Десять мікрон – це менше ширини людського волосся.

Від розміру часток безпосередньо залежать проблеми, що викликаються ними для здоров'я. Частинки діаметром менше 10 мікрон є найбільшою проблемою, оскільки вони можуть вражати легені та серце. Більші частинки менш небезпечні, але при цьому вони здатні викликати подразнення очей, носа та горла.

Дрібні частки. Частинки діаметром менше 2,5 мікрометрів називаються дрібними. Джерела таких частинок: продукти всіх типів згоряння (зокрема спалювання деревини будинку, лісові пожежі), вихлопні гази, викиди електростанцій та інших промислових галузей. Частки розміру PM2.5 містять більш токсичні важкі метали і небезпечні органічні забруднювачі, які також легко можуть потрапити в легені. Вони легко переносяться за довкіллям на бактеріях і вірусах, тому такі частки завдають серйознішої шкоди екології та здоров'ю людини.

Крупнодисперсні частинки пилу. Частинки діаметром від 2,5 до 10 мікрометрів вважаються великодисперсними. Вони утворюються в результаті дроблення або подрібнення, також вони містяться в пилу, який піднімається з доріг через машини, що проїжджають.

Робота датчика пилу спирається на теорію розсіювання світла та технологію підрахунку частинок. Такий датчик здатний визначити кількість частинок у навколишньому середовищі, що дозволить скласти змістовні звіти про зміни стану навколишнього середовища. За допомогою такого датчика ми здатні отримати інформацію про розмір частинок та їх поширеність у середовищі в діапазоні від 1 до 10 мікрон (PM1/PM2,5/PM10).

- Інтервал відбору проб: 200 мс;
- Швидкість потоку: 1 л/хв.;
- Швидкість підрахунку частинок: 20000 частинок за секунду.

В даний час компанія Libelium запроваджує новий датчик, розрахований на виявлення частинок пилку. Її розміри варіюються від 10 до 100 мкм, для її фіксування потрібні досконаліші технології. Датчик пилку виявляє частинку за допомогою методу світлорозсіювання, використовуючи один випромінювач світла і два приймачі, і відрізняє пилок від інших частинок на підставі двох вимірюваних факторів: «інтенсивності розсіяного світла» і «ступеня поляризації».

Ця можливість дозволяє пристрою виявляти частинки в повітрі та відрізняти кедровий пилок від дорожнього пилу, оцінюючи інтенсивність розсіяного світла та ступінь поляризації.

Також датчик пилу включений у плату датчиків Gases PRO (вона сумісна з ширшим спектром різноманітних доступних датчиків і має підвищену точність). Вона може стати одним з найважливіших елементів нових рішень компанії Libelium: Розумних міст, Розумного довкілля серії PRO.[13]

Датчики пилу бувають оптичні та лазерні. Деякі датчики, що використовують світлодіодну технологію, значно поступаються точності датчикам, виконаним на базі лазерів. Причина полягає в тому, що більшість світлодіодних випромінювачів мають широку діаграму спрямованості та світло захоплює ширшу зону всередині камери пристрою. Велике розсіювання світла негативно впливає здатність датчика виявляти зважені у потоці повітря частки. Лазер, навпаки, генерує тонкий промінь світла з високою інтенсивністю, що дозволяє датчикам серії НРМ точніше визначати частинки і передавати дані на пристрій керування в реальному часі. Порівняльні характеристики датчика НРМ та конкурентних рішень на основі світлодіодної технології наведені у таблиці 3.1.[14]

Для нашої роботи оберемо простий датчик виявлення концентрації пилу та твердих частинок, що буде сумісний з обраним мікроконтролером та напруга живлення буде такаж як в мікроконтролера, підключатися через цифровий пін та мати необхідність для підключення мінімум виводів, бажано I2C, матимемо високу точність та вимірювати нацменші частинки.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лет		37

Таблиця 3.1. Порівняльні характеристики датчиків часток

Параметр	Лазерний датчик	Світлодіодний датчик
Розміри часток, що виявляються.	Категорія PM2.5, PM10	Не менше 1 мкм
Вимірювана концентрація частинок, мкг/м ³	0–1000	0–800
Похибка, мкг/м ³	Не більше ± 15	Від ± 20 до ± 60
Калібровка	На заводі-виробнику	Не застосовується
Час відгуку, з	Не більше 6	Не більше 30
Напруга живлення,	$5 \pm 0,2$	$5 \pm 0,5$ (при пульсації <30 мВ)
Струм споживання в черговому режимі, мА	Не більше 20	Не нормується
Струм споживання в робочому стані, мА	Не більше 80	90
Допустима вологість, %	0–95	Не більше 95 (без конденсації)
Результати виміру	PM2.5, концентрація в мкг/м ³	Аналогова напруга
Протокол виходу	UART або I2C	UART або ШИМ
Строк служби	20 тис. годин безперервно або 60 тис. годин у періодичному режимі	До 7 років
Габаритні розміри, мм	43x36x23,7	59x45x22

Виходячі з висунутих умов та табл.3.1 оберемо лазерний датчик частинок.

3.5. Обґрунтування мікроконтролеру

Для керування інформаційно-вимірювальною системою потрібно застосувати мікроконтролер.

Мікроконтролер повинен відповідати вимогам завдання згідно розробку. Інформаційно-вимірювальна система розробляється для вимірювання кліматичних параметрів, тому потрібно врахувати такі технічні параметри:

1. Інформаційно-вимірювальна система буде використовуватись на вулиці, відповідно температура роботи системи від +10-40°C;
2. Інформаційно-вимірювальна система буде вимірювати температуру, вологість та тиск, вміст формальдегіду, вміст частинок пилу,

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
						38
Зм	Дир	МД	Піппи	Лат		

вміст вуглекислого газу, тому потрібна швидка реакція на вхідний потік даних, обробка їх та вивід вимірянних даних на дисплей, а також відправки їх через wi-fi модуль. Для цього знадобиться високошвидкісний мікроконтролер з розрядністю 16 або 32 біта;

3. Інформаційно-вимірювальна система повинна займати небагато місця, тому краще застосувати мікропотужний мікроконтролер в компактному SMD-корпусі, здатний працювати при зниженій напрузі і малій тактовій частоті.

У табл. 3.2 наведені рекомендації по вибору мікроконтролеру.

А також згідно графіка рис.3.1, враховуємо популярність моделей використання мікроконтролерів.[15]

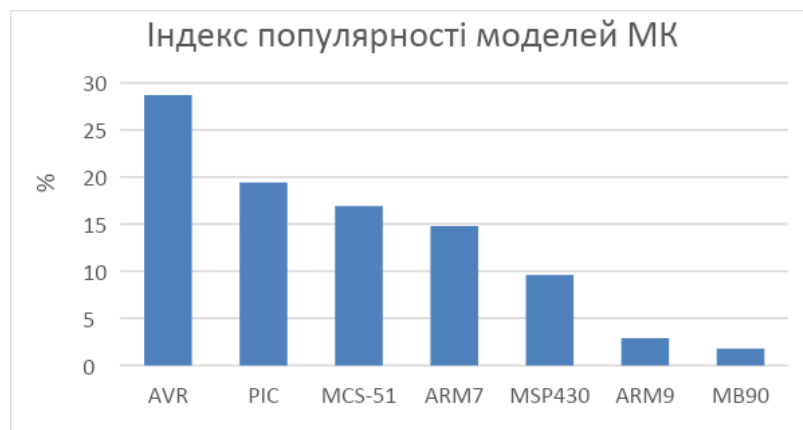


Рисунок 3.1 – Індекс популярності мікроконтролерів

Таблиця 3.2. Рекомендації по вибору МК

Головний параметр	Рекомендовані МК розрядністю 8/16/32 біта
Швидкодія	Atmel ARM, NXP LP210x, Microchip PIC24 / dsPIC, Ubicom SX
Перешкодозахищеність	NXP LP2xxx, Microchip PIC (моделі після 2003 г.)
Економічність	Texas Instruments MSP430, Microchip P1CI2 / 16/18
Мініатюрність	Microchip PIC 10/12, Atmel ATtiny
Універсальність	Atmel ATmega, Microchip PIC 18, Silicon Laboratories C8051F
Кріптостікість	Texas Instruments TMS320F, Atmel AT91SO, Atmel ATXmcga
Електромагнітна сумісність	STMicroelectronics STR71xF

Згідно висунутих вимог для Інформаційно-вимірювальна система вимірювань стану повітря, оберемо мікроконтролер, якій універсальній та популярний, тому обираємо мікроконтролер моделі Atmel.

3.6.Обґрунтування пристроїв для відображення та передачі показників

Для відображення кліматичних показників та показників якості повітря: вмісту формальдегіду, вмісту CO₂ та вмісту твердих частинок необхідно застосовувати дисплей.

Рідкокристалічний дисплей або РК-дисплей (Liquid Crystal Display) - це плоский, ультратонкий дисплей, що складається з певної кількості кольорових або чорно-білих пікселів, розташованих перед джерелом світла або відбивною поверхнею. РК-монітори мають низьке енергоспоживання і, таким чином, сприяють інженерам для використання в електронних пристроях, що працюють від батарей. Основний його принцип полягає в тому, щоб стимулювати молекули рідкого кристала, щоб генерувати точки, лінії та обличчя, щоб відповідати задній лампі.

Враховуючи кількість виміряних показників та літер в показах, пропонується застосувати LCD дисплей. Дисплей повинен бути сумісний з мікроконтролером Atmel та бажано мати підключення по I2C інтерфейсу.

Враховуючи кількість показників та літер, пропонується використати сучасний дисплей LCD 2004 на 20 символів та 4 рядки.

Підключення дисплея LCD 2004 здійснюється послідовно та паралельно (по I2C інтерфейсу). Для економії виводів мікроконтролеру пропонується обрати паралельне підключення по інтерфесу I2C.[16]

Для передачі показників до мобільного додатку пропонується використати wi-fi модуль, завдяки якому дані можна буде передавати на відстань радіуса дії wi-fi з'єднання, що дозволить використання інформаційно-вимірювальна система показників стану повітря робити в критично забруднених зонах міста.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
						40
Зм	Дир	МД	Підп	Лет		

Wi-fi модуль – плата розширення для систем з мікроконтролером, яка надає можливість здійснити бездротове з'єднання за стандартом 802.11 b/g (Wi-Fi) для спілкування з іншими пристроями або вихід в інтернет(за допомогою бібліотеки WiFi), а також зчитувати і записувати дані на SD-карту пам'яті (за допомогою бібліотеки SD).

Критеріями вибора буде сумісність з мікроконтролером Atmel, мінімальна кількість виводів для підключення до мікроконтролеру, напруга живлення до 5В. Тому зупинемо свій вибір на самому популярному wi-fi модулю ESP-01.

3.7.Обґрунтування кнопки вмикання та вимикання

Для вмикання та вимикання системи потрібно застосувати кнопку.

Кнопка живлення – це кругла або квадратна кнопка, яка включає та вимикає електронні пристрої. Майже всі електронні пристрої мають кнопки живлення або перемикачі живлення.

Як правило, пристрій вмикається при натисканні кнопки та вимикається при повторному натисканні кнопки.

Кнопка живлення механічна – відчувається натискання, коли натискаєте, і зазвичай є різниця в глибині, коли перемикач увімкнений, а коли це не так. М'яка кнопка живлення, яка є набагато частішою, є електричною і виглядає так само, коли пристрій увімкнений та вимикається.

Тактова кнопка є невеликим перемикачем без фіксації, який при натисканні надійно фіксується і потім віджимається.

Найпопулярнішою кнопкою в пристроях, які використовуються на вулиці є тактова кнопка, тому обираємо саме її для нашої інформаційно-вимірювальної системи.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		41

3.8. Обґрунтування адаптеру живлення

Блок живлення – це вторинне джерело живлення, що призначене для забезпечення живлення приладу електричною енергією. В свою чергу воно повинно відповідати вимогам параметрів: напруги, струму, шляхом перетворення енергії від інших джерел живлення.

Блок живлення перетворює змінну напругу величиною 220 В і частотою 50 Гц в задану постійну напругу.

Так, як пристрій буде використовуватись стаціонарно, то пропонується використати живлення через мережу. Для вибору блока живлення необхідно буде враховуючи напруги живлення всіх складових вимірювальної системи та сумісність з всіма складовими системи.

3.9. Розробка структурної схеми

В роботі потрібно розробити комп'ютеризовану систему вимірювання параметрів та моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста.

Враховуючі складові, що були обґрунтованих вище, побудуємо структурну схему комп'ютеризованої системи вимірювання рис.3.2.

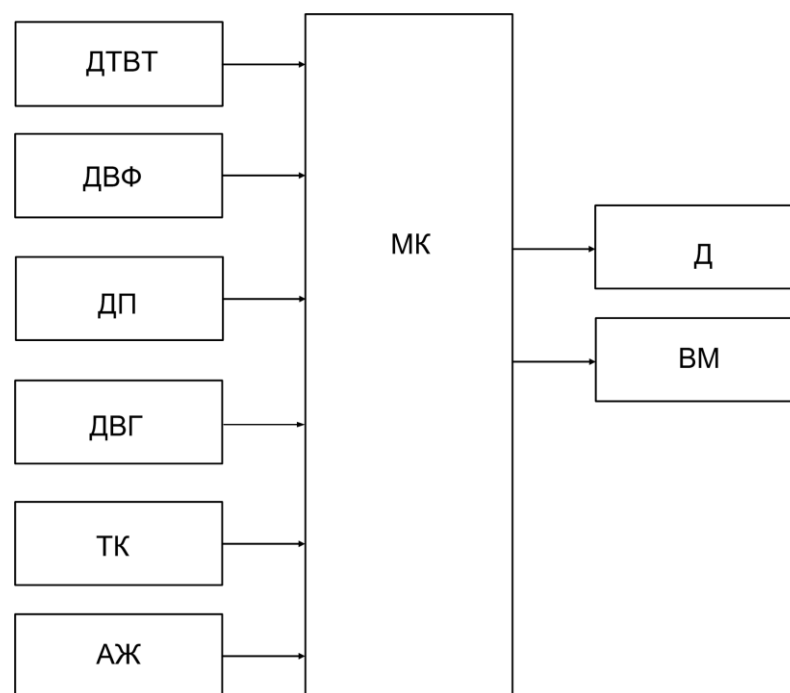


Рис. 3.2 – Структурна схема вимірювальної системи

Складові в схемі наступні:

- МК – мікроконтролер;
- ДТВТ – датчик температури, вологості та тиску;
- ДВФ – датчик вмісту формальдегіду;
- ДП – датчик вмісту твердих частинок в повітрі (датчик пилу);
- ДВГ – датчик вуглекислого газу
- Д – дисплей;
- ВМ – wi-fi модуль;
- ТК – тактова кнопка;
- АЖ – адаптер живлення.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
Зм	Дру	Но докум	Піппи	Лет		43

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролеру

Для керування системи стану якості повітря потрібно обрати конкретний мікроконтролер. В п.3.1 зупинилися на мікроконтролері Atmel. Враховуючі популярність, технічні характеристики та кількість виводів оберемо ATmega328 (рис.4.1).

Високопродуктивний 8-розрядний мікроконтроллер Microchip рiсоPower® на базі RISC AVR® поєднує в собі 32-кілобайтну флеш-пам'ять ISP з можливостями читання під час запису, 1 КБ EEPROM, 2 КБ SRAM, 23 лінії вводу/виводу загального призначення, 32 робочі реєстра призначення, три гнбких таймера/облікового запису з режимами сравнення, внутрішні і зовнішні переривання, послідовний програмований USART, байтовий двопровідний послідовний інтерфейс, послідовний порт SPI, 6-канальний 10-розрядний аналого-цифровий преобразователь (8 каналів в пакетах TQFP і QFN / MLF) , програмований сторожевий таймер з внутрішнім генератором і п'ятьма програмно вибираними режимами енергозбереження. Пристрій працює в діапазоні 1,8-5,5 В.



Рис. 4.1. Зовнішній вигляд ATmega328

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
						44
Зм	Дру	Но докум	Піппи	Лэт		

Технічні характеристики ATmega328:

- Тактова частота: 0 – 20 МГц;
- Об'єм Flash-пам'яті: 32 кб;
- Об'єм SRAM-пам'яті: 2 кб;
- Об'єм EEPROM-пам'яті: 1 кб;
- Напруга живлення: 1,8 – 5,5 В;
- Потрібний струм в режимі роботи: 0,2 мА (1 МГц, 1,8 В);
- Потрібний струм в режимі сна: 0,75 мкА (1 МГц, 1,8 В);
- Кількість таймерів/лічильників: 2 восьмибітних, 1 шістнадцятибітних;
- Загальна кількість портів: 23;
- Кількість ШИМ (ШІМ) виходів: 6;
- Кількість каналів АЦП (аналогових входів): 6;
- Кількість апаратних USART (Serial): 1;
- Кількість апаратних SPI: 1 Master/Slave;
- Кількість апаратних I²C/SPI: 1;
- Розрішення АЦП: 10 біт.[17]

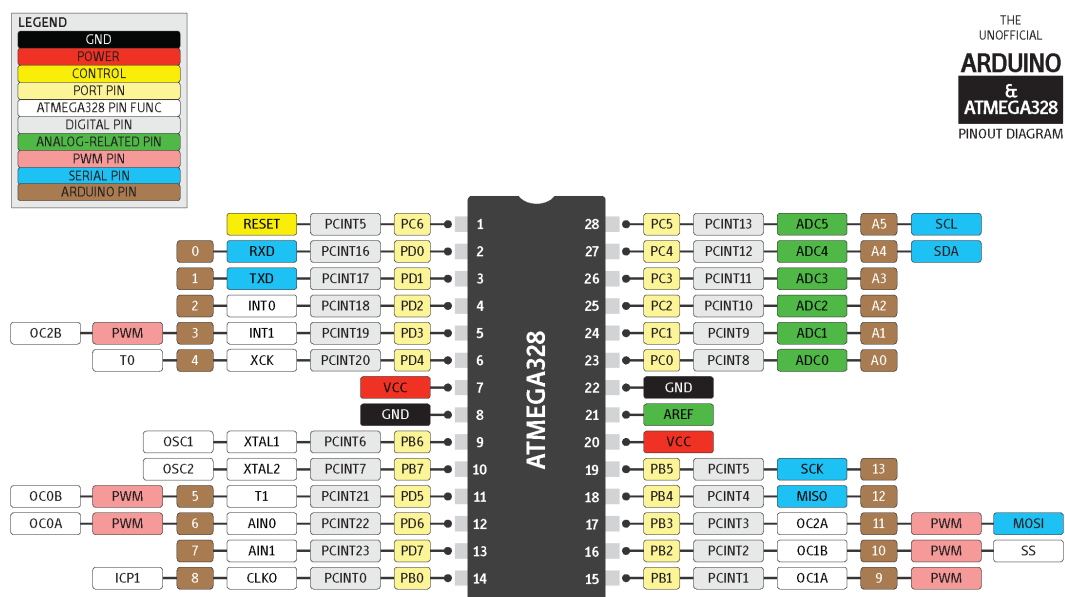


Рис. 4.2. Розпіновка виводів ATmega328 [18]

4.2.Вибір датчика вмісту формальдегіду

Для виявлення вмісту формальдегіду в повітрі використаємо датчик виявлення формальдегіду MQ-138 рис.4.3. Вибір базувався на технічних характеристиках та сумісності з мікроконтролером ATmega328.



Рис. 4.3. Датчик формальдегіду MQ-138

Розташування виводів представлено на рис.4.4.

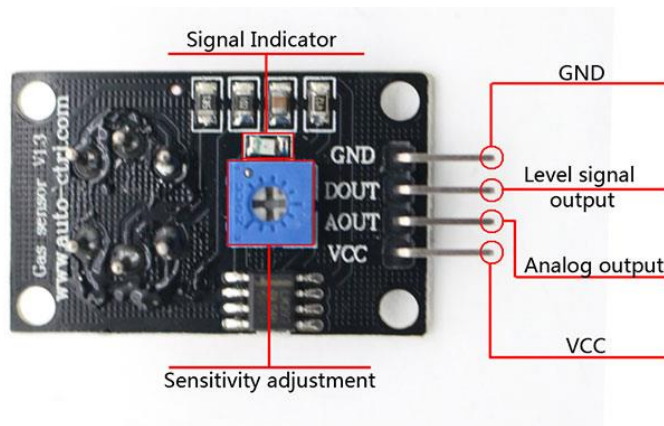


Рис. 4.4. Розташування виводів датчика формальдегіду MQ-138

Технічні характеристики:

- DOUT – цифровий вихід (TTL);
- AOUT – аналоговий вихід;
- розмір плати: 32*20*22мм;
- напруга живлення: 5 В, 150mA;
- рівень з аналогового виходу: близько 0.1-0.3В;

– при самому високому концентрації газу напруга на виході буде близько 4В. [19]

4.3. Вибір датчика вуглекислого газу

Для вимірювання вмісту вуглекислого газу використовуємо інфрачервоний датчик, а саме МН-Z19, він представлений на рис.



Рис.4.5. Датчик вмісту вуглекислого газу МН-Z19

Датчик CO₂ МН-Z19 – це високоточний пристрій визначення загального рівня вуглекислого газу.

Датчик CO₂ МН-Z19 має вкрай низьке споживання енергії в 18 міліампер і високу ефективність.

Датчик CO₂ МН-Z19 має у себе на борту два інтерфейси: ШИМ інтерфейс і UART.

Також датчик CO₂ МН-Z19 має дуже малі розміри і вага, що дозволяє встановити пристрій куди душа забажає.

Датчик CO₂ МН-Z19 має діапазон вимірювання на рівні від 0.0% до 0.5%.

Розташування виводів датчика CO₂ МН-Z19 представлено на рис.4.6.



Рис.4.6. Розташування виводів датчика CO2 MH-Z19

Технічні характеристики:

- Модель датчика: MH-Z19;
- Вимірюваний газ: CO₂;
- Робоча напруга: від 3.6 до 5.5 В;
- Напруга логічних рівнів: 3,3В;
- Середній споживаний струм: < 18 мА;
- Вимірюваний діапазон: від 0 до 0.5%;
- Вихідні сигнали: UART, PWM;
- Робоча температура: від 0 до 50;
- Робоча вологість: від 0 до 95% RH;
- Розміри: 33 мм × 20 мм × 9 мм;
- Вага: 21 грам.[20]

4.4. Вибір датчика температури, вологості та тиску

В якості датчика температури, вологості та тиску було обрано датчик BME280, зовнішній вигляд якого представлено на рис.4.7.



Рис.4.7. Датчик температури, вологості та тиску BME280

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
Зм	Дру	№ докум	Підпи	Лст		

Модуль датчика BME280 (температура, вологість, тиск) – нове покоління датчиків тиску, що дозволяють вимірювати не лише значення атмосферного тиску, а й температуру та вологість. Датчик характеризується високою точністю вимірювання, високою швидкістю інтерфейсу та надмалим споживанням. Для підключення використовується I2C.

Характеристики:

- Інтерфейси підключення: I2C;
- Максимальна швидкість інтерфейсу: I2C до 3.4 МГц;
- Межі вимірювання температури: від -40 до 85 градусів;
- Точність виміру температури: від 0.5 до 1 градуса;
- Межі виміру вологості: від 0 до 100%;
- Точність виміру вологості: 3%;
- Межі вимірювання тиску: від 300 до 1100 гПа;
- Точність вимірювання тиску: 1гПа;
- Напруга живлення: від 1.8 до 5 В;
- Споживаний струм у режимі вимірювання тиску: 714 мкА;
- Споживаний струм у режимі вимірювання вологості: 340 мкА;
- струм струму в режимі вимірювання температури: 350 мкА;
- Споживаний струм у режимі сну: від 0.1 мкА до 0.5 мкА;
- Розміри модуля: 15 x 12 x 3 мм.[21]

Схема підключення модуля барометр BME280 5V I2C представлена на рис.4.8.

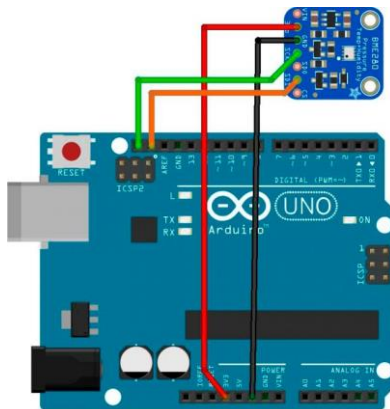


Рис.4.8. Схема підключення BME280 через I2C до Arduino Uno

Вивід SCL модуля підключається до SCK шини SPI (у нашому коді це пін номер 13).

Вивід SDO модуля до MISO шини SPI (у нашому коді це пін номер 12).

Вивід SDA модуля до MOSI шини SPI (у нашому коді це пін номер 11).

Вивід CSB (CS) модуля до будь-якого цифрового виходу (у нашому коді це пін номер 10).[22]

4.5. Вибір датчика пилу

В якості датчика пилу малих частинок обрали лазерний датчик ZH06, датчик якості повітря відповідає маркіровці PM2.5. ZH06 представлений на рис 4.9.

ZH06 – це універсальний компактний модуль лазерного датчика пилу. Використовуючи принцип розсіювання Мі, можна виявити частинки пилу, що є в повітрі, і досягти хорошої узгодженості та стабільності за допомогою професійних алгоритмів та процесів виявлення калібрування. Датчик має послідовний вихід та можливість одночасного виведення ШІМ, що зручно у використанні. Невеликий розмір для легкої інтеграції.



Рис.4.9. Лазерний датчик пилу ZH06

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру 50
Зм	Дру	№ докум	Піппи	Лет		

Технічні характеристики:

- Діапазон виявлення: 0,3-10 мкм;
- Ефективний діапазон: 0-1000 мкг/м³;
- Інтервал виявлення: 1 сек;
- Точність виявлення PM2.5: 0-100 мкг/м³: ±15 мкг/м³,
101-1000 мкг /м³: ± 15% показань;
- Час стабілізації при включенні: 30 с;
- Вихідні дані: UART _ вихід TTL (рівень 3,3 В, за замовчуванням)
вихід ШІМ (рівень 3,3 В, за умовчанням);
- Робоча напруга: 4,9 В ~ 5,5 В (постійний струм);
- Робочий струм: <120 мА;
- Струм сну: <20 мА;
- Час відгуку: T90<45 с;
- Робоча Вологість: 0 ~ 80% відносної вологості (без конденсації);
- Робоча температура: -10 ~ 60 ° С;
- Температура зберігання: -30~70°C;
- МТТФ: безперервний> 10000 год

Схема розташування виводів представлена на рис.4.10.

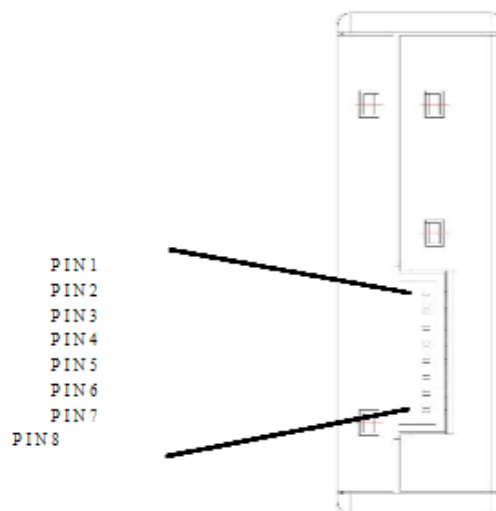


Рис.4.10. Розташування виводів датчика пилу ZH06

Підключення виводів представлено в таблиці 4.1

Таблиці 4.1. Підключення виводів лазерного датчик пилу ZH06

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
Зм	Дру	№ докум	Підпи	Дат		51

PIN1	VDD	4.9V ~ 5.5V
PIN2	GND	
PIN3	Reserved	
PIN4	RXD Serial receive pin	TTL@3.3V
PIN5	TXD Serial send pin	TTL@3.3V
PIN6	Reserved	NC
PIN7	Reserved	NC
PIN8	PWM output	TTL@3.3V

Даний датчик застосовується, як:

1. Очищувач повітря
2. Система свіжого повітря
3. Портативні інструменти
4. Контроль якості повітря
5. Вимірювальне обладнання, кондиціонер, техніка для розумного будинку та інші місця. [23]

4.6.Вибір пристроїв для відображення показників

Для виводу показників стану повітря використовуємо дисплей. Так як вимірюваних даних достатньо багато: вміст формальдегіду в повітрі, вміст вуглекислого газу, вміст твердих часток та температури, вологості та тиску, тому пропонується застосувати великий дисплей. А саме використати дисплей в 20 символів на 4 рядки. Для економії виводів мікроконтролеру підключення здійснити послідовне через інтерфейс I2C (рис.4.11).

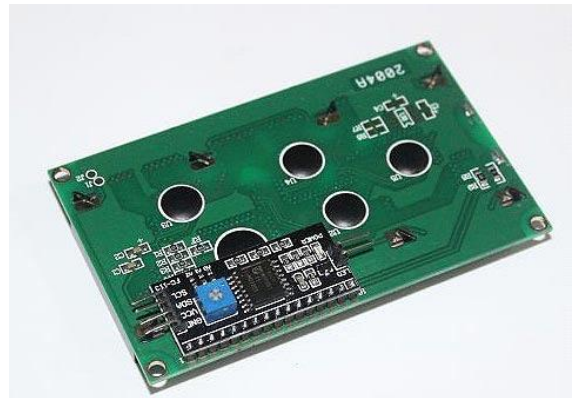
LCD екран 20 символів 4 рядки з управлінням по інтерфейсу I2C, що дуже зручно при нестачі вільних виводів на мікроконтролері.

Для підключення по I2C достатньо підключити всього два виводи і відбувається керування дисплеєм.

Перед початком роботи бажано налаштувати яскравість дисплея. Для цього необхідно підкрутити яркість з внутрішнього блоку плати.



а



б

Рис. 4.11.LCD дисплей 20x4 шина I2C синій:

а) зовнішні сторона, б) зворотна сторона

LCD дисплей 2004 по інтерфейсу I2C з синім підсвічуванням – це недорогий екран типу LCD для виведення команд та тексту у візуальний вигляд.

Типова схема підключення до Arduino Uno по ішині у I2C представлена на рис.4.12.

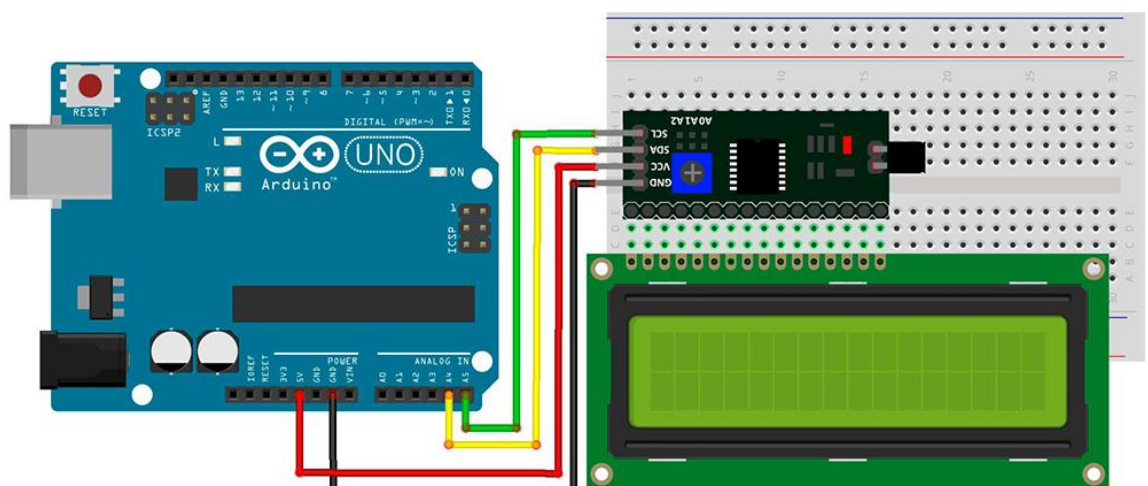


Рис.4.12. Схема підключення до Arduino Uno по інтерфейсу I2C

Дисплей має сине підсвічування по всій поверхні та забезпечує візуалізацію 20-ти символів у чотири рядки білими символами. Кожен із символів складається з точкової матриці 5x8, що забезпечує відмінну читаність. Даний дисплей побудований на базі сумісного чіпа з HD44780, це дає можливість працювати з ним через бібліотеку.

Характеристики:

- Тип підключення: I2C дисплей;
- Колір підсвічування екрану: синій;
- Кількість символів: 20 символів в 4 рядки;
- Живлення: 5В;
- Робочий струм (загальний): 40 мА;
- Струм підсвічування: 30 мА;
- Розмір (плата): 99 x 60 мм;
- Висота дисплея з платою: 21 мм.[24]

4.7. Вибір кнопки включення/виключення

Для включення та виключення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальна системи моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста потрібно використати кнопку. Пропонується застосувати тактову кнопку кнопка тактова TTS5, що буде сумісну з мікроконтролером ATmega328 (рис.4.13).



Рис. 4.13. Кнопка тактова TTS5

Технічні характеристика:

- Серія/Типорозмір: TTS5;

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
Зм	Дру	№ докум	Підпи	Лст		
						54

- Тип перемикача Тактова кнопка
- Кількість положень: 2;
- Кількість полюсів: 1;
- Контактні групи: SPST;
- Алгоритм роботи: OFF-(ON);
- Максимальний струм: 50 мА;
- Мін. напруга: 3 В;
- Макс. напруга: 12 В;
- Загальна висота кнопки 6 мм;
- Орієнтація толкача пряма 180°;
- Підсвічування Ні;
- Спосіб ел. монтажу Поверхневий (SMD);
- Матеріал корпусу: метал;
- Робоча температура -25 ° С ... +70 ° С.[25]

4.8. Вибір блока живлення

Зведемо всі обрані складові системи в таблицю для аналізу живлення табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Живлення елементів схеми

Назва компоненту	Живлення
Atmega328	5В
Датчик формальдегіду MQ-138	5В
BME280	1,8-3,6 В
Датчик пилю ZH06	4,9 В ~ 5,5 В
Датчик CO2 MH-Z19	3,6-5 В
LCD 2004	5В
Кнопка тактова TTS5	3-12В

В якості вторинного джерела живлення пропонується використати мережевий адаптер HN-528 5В 2А, що зображений на рисунку 4.14.



Рис. 4.14. Мережевий адаптер HN-528

Мережевий адаптер HN-528 забезпечує харчуванням електроприлад. Адаптер перетворює змінний струм побутової мережі з напругою 100-240В і силою струму 0,3 А в постійний струм з напругою 5В. Максимальне навантаження даного адаптера 2А.

Адаптер живлення підключається до мережі за допомогою штепсельної вилки типу СЕЕ 7/16.

Блок живлення оснащений круглим штекером 2,5х0,8мм.

Характеристики:

1. модель: HN-528;
2. вхідний струм мережі змінного струму: 100-240В/0,3 А 50/60Гц;
3. вихідний струм: 5В/2А;
4. довжина кабелю: 90 см;
5. габарити блоку живлення (д х в х т): 73 х 80 х 27 мм;
6. довжина штекера: 10 мм;

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		
						56

7. діаметр контакту (зовнішній x внутрішній): 2,5 x 0,8 мм;
8. вага: 60 г;
9. колір: чорний. [26]

4.9. Принципова електрична схема

Принципова електрична схема представлена на рис.4.15.

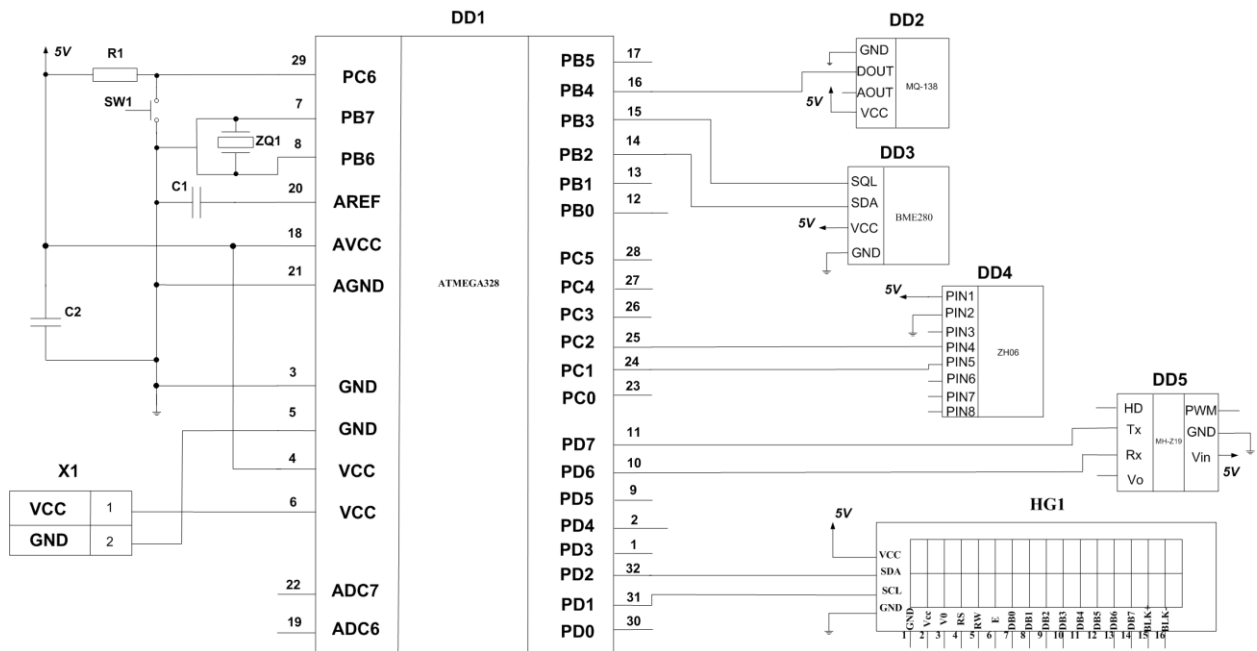


Рис. 4.15. Принципова електрична схема системи

Вона має наступні складові:

- DD1 – мікроконтролер Atmega328;
- DD2 – датчик формальдегіду MQ-138;
- DD3 – барометричний датчик BME280;
- DD4 – датчик пилу ZH06;
- DD5 – датчик CO2 MH-Z19;
- HG1 – ЖК-дисплей LCD-2004B з I2C;
- SB1 – тактова кнопка TTS5;
- R1 – 1 кОм;
- C1 – 100нФ, C2 – 4,7мкФ;
- ZQ1 – кварцевий резонатор 16МГц;
- X1 – роз'єм для мережевого адаптера HN-528 5В 2.4А.

4.10. Розрахунок похибок вимірювання вмісту твердих часток в повітрі

Для оцінки похибок вимірювального пристрою стану повітря було зроблено десять повторних вимірювань датчиком пилу ZH06. Даний датчик визначає вміст твердих часток в повітрі. Точність виявлення РМ2.5: 0-100 мкг/м³; 15 мкг/м³;

За 10 днів отримали таку вибірку виміряних значень:

$V = (5,05; 4,93; 4,95; 5,06; 5,07; 5,06; 5,06; 4,95; 4,96; 4,96)$ мкг/м³.

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне $\bar{V}$ за (4.1):

$$\bar{V} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} V_i \cong 5,005 \quad (4.1)$$

2) похибки повторних вимірювань ΔV_i та ΔV_i^2

$$\Delta V = |\bar{V} - V_i| \text{ та } \Delta V_i^2 = (\bar{V} - V_i)^2, \quad \text{де } i = 1, 2 \dots 10;$$

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

№ з. п.	V, мкг/м ³	ΔV , мкг/м ³	ΔV^2 , м (мкг/м ³) ²
1	5,05	0,045	0,002
2	4,93	0,075	0,006
3	4,95	0,055	0,003
4	5,06	0,055	0,003
5	5,07	0,065	0,004
6	5,06	0,055	0,003
7	5,06	0,055	0,003
8	4,95	0,055	0,003
9	4,96	0,045	0,002
10	4,96	0,045	0,002
сер	5,005	0,055	0,003

3) випадкову похибку вимірювання за (4.2).

З табл. 4.3 знаходимо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{V} - V_i)^2} \approx 0,058 \text{ мкг/м}^3 \quad (4.2)$$

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лет		58

та знаходимо випадкову похибку:

$$\Delta_B V = 2,26 * 0,058 = 0,131 \text{ мкг/м}^3$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.3).

4) похибку приладу розрахуємо за (4.3):

$$\Delta_{\text{пр}} V = \frac{1}{300} t_p k V_{\text{гр}}. \quad (4.3)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.3 знайдемо $t_{0,95}=2,0$.

Враховуючи, що за умовою $R_{\text{гр}} = 45 \text{ мкг/м}^3$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} V = \frac{1}{300} 2,0 * 45 * 1 \approx 0,3 \text{ мкг/м}^3;$$

5) похибку заокруглення за (4.4):

$$\Delta R_3 = P \frac{h}{2}. \quad (4.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду вимірюваної величини – 0,05. Отже:

$$\Delta V_3 = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,02 \text{ мкг/м}^3$$

6) загальну абсолютну похибку (4.5):

$$\Delta R = \sqrt{(\Delta_B V)^2 + (\Delta_{\text{пр}} V)^2 + (\Delta_3 V)^2} = \sqrt{0,13^2 + 0,3^2 + 0,02^2} \approx 0,33 \text{ мкг/м}^3 \quad (4.5)$$

6) Знайдемо абсолютну похибку, виходячи з поняття середнього арифметичного без використання теорії похибок. Середнє значення відоме:

$\bar{V} \cong 5,005 \text{ мкг/м}^3$. Знайдемо середню арифметичну похибку $\Delta \bar{V}$:

$$\Delta \bar{V} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \Delta V_i \cong 0,055 \text{ мкг/м}^3 \quad (4.6)$$

Запишемо кінцевий результат:

$$V = \bar{V} \pm \Delta \bar{V} = 5,005 \pm 0,055 \text{ мкг/м}^3 .$$

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

Було розроблено алгоритм роботи програми до мікроконтролера, що представлений на рис. 5.1

Алгоритм починається з блоку початок, що означає початок роботи вимірювального пристрою, тобто вмикання пристрою.

Наступним блоком іде ініціалізація, яка відповідає за підключення датчиків та інших елементів вимірювальної системи до відповідних виводів мікроконтролера.

Блок підключення бібліотек відповідає за опис бібліотек, які допомагають працювати з присутніми елементами в системі: дисплей, барометричний датчик, датчиком виявлення вмісту формальдегіду, датчиком вмісту часток пилу, датчик вмісту вуглекислого газу.

Блок опису змінних відповідно відповідає за опис змінних, які будуть використовуватись в коді програми для отримання, зберігання та обробки вимірюваних даних з датчиків. Дані з датчиків можуть надходити на мікроконтролер в різних системах вимірювання, тому їх потрібно переводити в систему СІ.

Блок циклу використовується для опитування датчиків кожні 30 секунд. Даний блок буде повторюється кожні 30 секунд поки система не буде вимкнена відповідної кнопкою вимикання.

Блок цикл замикає на собі опитування всіх датчиків, завдання розташування вимірюваних даних на дисплеї та вивід оброблених даних на дисплей.

Блок опитування чи натиснута тактова кнопка чи ні відповідає включення чи виключення системи. При умові, що кнопка зажата, вимірювальна система починає або продовжує працювати за циклом в 30 секунд. В іншому випадку, коли кнопка вимкнена, система перестає працювати.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лат		60



Рисунок 5.1 – Блок-схема алгоритму роботи системи

5.2. Розробка програми

Ціна і розмір — це лише пара причин, за якими використання плати Arduino для конкретних проектів може виявитися дуже розумним. Зачастую вони занадто великі або занадто дорогі для цілого ряду застосувань, особливо якщо потрібно зробити кілька екземплярів. Хорошим способом отримати просте застосування, що існує на платформі Arduino, і при цьому позбавитися від усіх цих недоліків є використання окремого мікроконтролера ATmega328P і його програмування за допомогою середовища розробки Arduino IDE та її упрощеної версії мови Си. Однак без початкового завантажувача (завантажувача) платформи Arduino сам по собі мікроконтролер ATmega328P не вийде програмувати за допомогою середовища Arduino IDE.

Програмування мікроконтролерів може виявитися непростою задачею, оскільки для цього необхідні спеціальні програми та файли програм у шестинадцятирічному форматі з розширенням .hex, не кажучи вже про глибокі знання мови програмування Си, на якій пишуться програми. Це досить складно для новачків, тому в рамках проекту Arduino був створений спеціальний файл format.hex, після установки якого в мікросхемі сімейства AVR можна програмувати плату через послідовний порт. При цьому все, що вам знадобиться — це підключити послідовний інтерфейс мікроконтролера до комп'ютера, який можна створити за допомогою преобразователя з USB в UART. Цей спеціальний файл носить назву — Завантажувач (завантажувач) Arduino.

Основний завантажувач дуже схожий на систему BIOS, що працює на ПК, і виконує дві задачі:

Відсліджує, не намагається чи комп'ютер завантажити програму в мікросхему через послідовний порт. Якщо комп'ютер починає завантаження, то він приймає код і зберігає його в спеціально відведеній області пам'яті мікроконтролера таким чином, щоб при цьому не втратити самого себе.

Якщо комп'ютер не ініціює завантаження коду, то завантажувач

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лет		
						62

команди мікросхеми начне заповнення коду, який уже знаходиться в пам'яті. Як тільки завантажувач записав в пам'ять програми і запустив її, плата Arduino буде постійно виконувати програму, поки подається харчування.

Запис початкового завантажувача в мікроконтроллері може пригодитися не тільки, щоб окремо використовувати мікросхему ATmega328P, саму себе. Це може статися у випадку, наприклад, якщо знадобиться замінити мікроконтроллер на платі Arduino Uno або для збереження несправної плати, яка перестала приймати код.

Існує мало способів запису завантажувача платформи Arduino в мікроконтроллер, але ми знаходимося на самому простому, який передбачає використання плати Arduino в якості внутрішньосхемного програматора ISP (In-System Programmer).

Роз'єм містить 3 виводу інтерфейсу SPI – MOSI (D11), MISO (D12), SCK (D13) і виводи живлення і землі (VCC, GND), а також вивід скидання (Reset). Через ці висновки і проводиться завантаження програми в мікроконтроллер на платі Arduino. Підключивши ці виводи до мікроконтроллера ATmega328P, можна записати в його пам'ять початковий завантажувач (BootLoader) Arduino.

Для підготовки плати Arduino в якості внутрішньосхемного програматора ISP потрібно зробити наступне.

У середовищі розробки Arduino IDE є готовий приклад Arduino як ISP, який, якщо його завантажити в плату Arduino, перетворює її у внутрішньосхемний програматор. Потрібно відкрити цей приклад і завантажити його в плату Arduino Uno або Duemilanove.

Далі потрібно підключити призначений для програмування мікроконтроллер ATmega328P до плати Arduino за допомогою макетної плати, як показано на рис.5.2.

Коли все підключено, можна приступати до запису завантажувача.

Необхідно створити середу Arduino IDE, вибравши в меню Інструменти > Плата (Інструменти > Плата) пункт Arduino Uno. Потім виберіть у меню

«Інструменти» > «Програматор» («Інструменти» > «Програматор») встановить Arduino як ISP.

Після цього написати завантажувач, вибрати пункт меню Інструменти > Записати завантажувач (Інструменти > Записати завантажувач). Середя знаходиться в папці, що відповідає вибраній вам платі, текстовий файл board.txt для завантажувача.

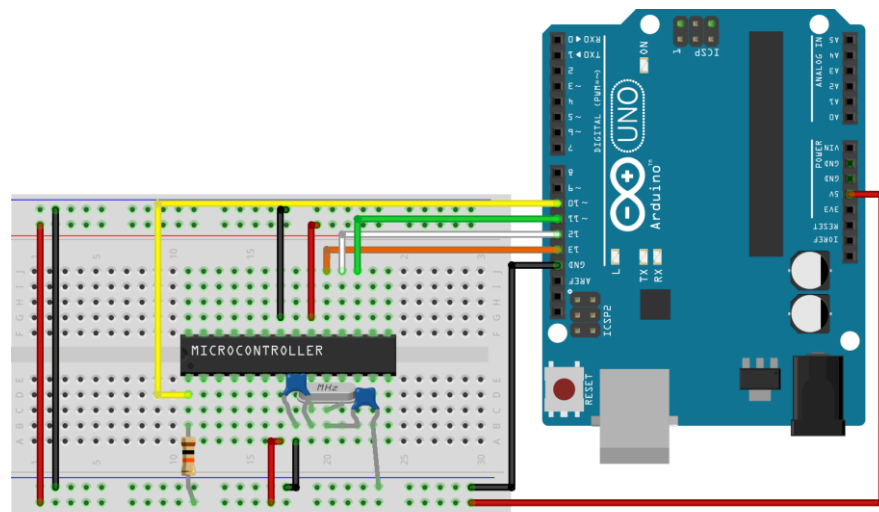


Рис.5.2. Схема для прошивки мікроконтролера через Ардуіно Уно

```

meteoClock_v1.5 | Arduino 1.8.9
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

meteoClock_v1.5 $ functions
// если дисплей не заводится - поменяйте адрес (строка 54)

// пини
#define BACKLIGHT 10
#define PHOTO A3

#define MHZ_RX 2
#define MHZ_TX 3

#define LED_COM 7
#define LED_R 9
#define LED_G 6
#define LED_B 5
#define BTN_PIN 4

#define BL_PIN 10 // пин подсвечивания дисплея
#define PHOTO_PIN 0 // пин фоторезистора

// библиотеки
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

if (DISPLAY_TYPE == 1)
<
Проблема загрузки в плату. Помощь по загрузке: http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting Копировать сообщение об ошибке
Скетч использует 22570 байт (69%) памяти устройства. Всего доступно 32256 байт.
Глобальные переменные используют 1399 байт (68%) динамической памяти, оставляя 649 байт для локальных переменных.
avrdude: ser_open(): can't open device '\\\\.\\COM5': No such file or directory.
80 Arduino/Genuino Uno на COM5
  
```

Рис. 5.3.Результат компіляції скетча в Arduino IDE

Виконавши всі пункти, можна завантажити код напряму із середовища Arduino IDE в мікроконтролері ATmega328P і використовувати його самостійно.

Якщо завантажувач написаний, можна завантажити в мікроконтроллер свою програму за допомогою середовища Arduino IDE, наступна ця інструкція.

Для платформ Arduino спеціалістами компанії було створене середовище для програмування Arduino IDE. Мова програмування пристроїв Ардуїно заснована на C/C++ і скомпонована з бібліотекою AVR Libc і дозволяє використовувати будь-які її функції. Текст розробленої програми представлений в додатку А. Результат роботи програми представлений на рис. 5.3.[27]

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
Зм	Дру	Но докум	Піппи	Лэт		65

6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка друкованої плати

Друкована плата – це спеціальна пластина, на яку нанесено провідний малюнок, тобто електропровідні ланцюги електронної схеми. Даний малюнок розміщується на діелектрику, матеріалі, що мають погану здатність проводити струм.

Найбільш затребуваними на сьогоднішній день є двошарові друковані плати для електроніки. Їх головна особливість складається в тому, що вони складаються з так званих провідних малюнків одразу з двох сторінок.

Малюнок на таких пристроях виконується з фольги. Друкована плата має спеціальні контактні майданчики та монтажні отвори, що дозволяє з легкістю виробляти монтаж деяких компонентів.

На двошарових або багатошарових платах також відкриваються спеціальні для забезпечення з'єднання електричного з'єднання між шарами. Розробка платіжної програми в спеціально призначених для цих програм.

Сучасний світ важко собі уявити без електроніки, яка у свій час нічого не може існувати без якісних друкованих плат. Саме тому виготовлення друкованих виробів має таке стратегічне значення для всього світу. У кожній країні підприємливі люди організовують якісний друкарський плат, завдяки чому в тій, чи іншій державі з'являється можливість розвитку електроніки.[28]

Конструкція розробленої вимірювальної системи одноплатна. Плата має велику кількість пересічних провідників, тому двостороння. Основний крок координатної сітки становить 2,5 мм. Центри усіх отворів розташовуються на друкованій платі у вузлах координатної сітки. Діаметр монтажних і перехідних отворів дорівнює 0,8 мм.

Габарити друкованої плати – 67 x 60 мм.

Розробка плати викнувалась в середовищі EasyEDA. Друкована плата з маскою та металізацією отворів з двох шарів представлені на рис. 6.1-6.2.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
						66
Зм	Дру	№ докум	Піппи	Лет		

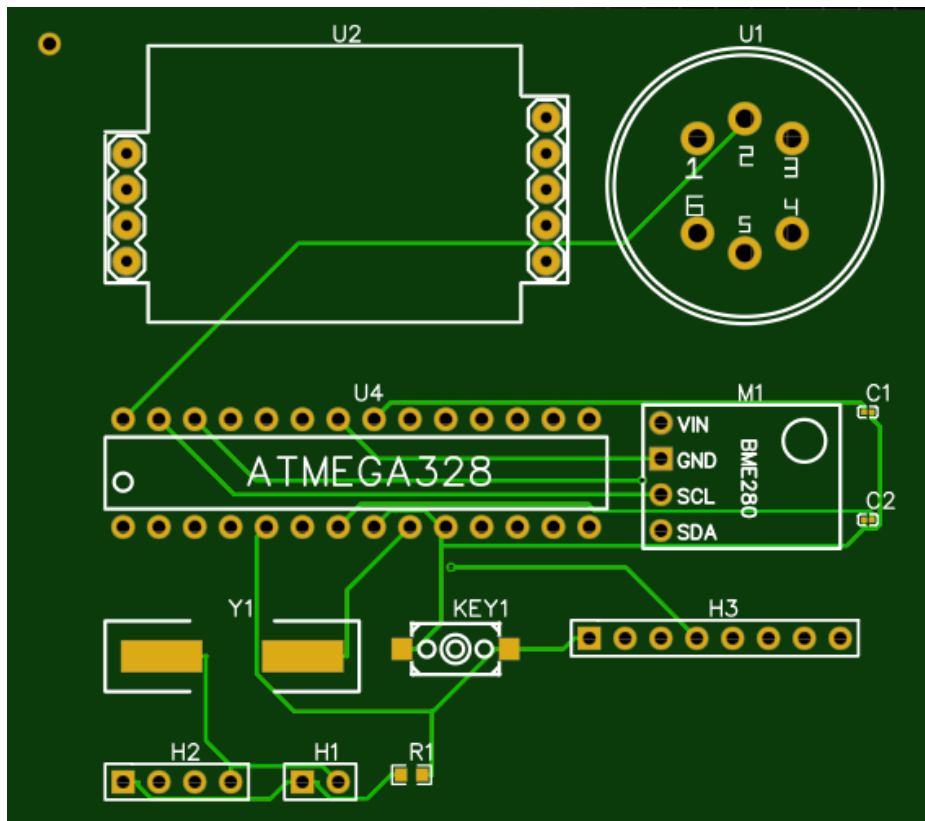


Рис. 6.1 – Перший шар друкованої плати

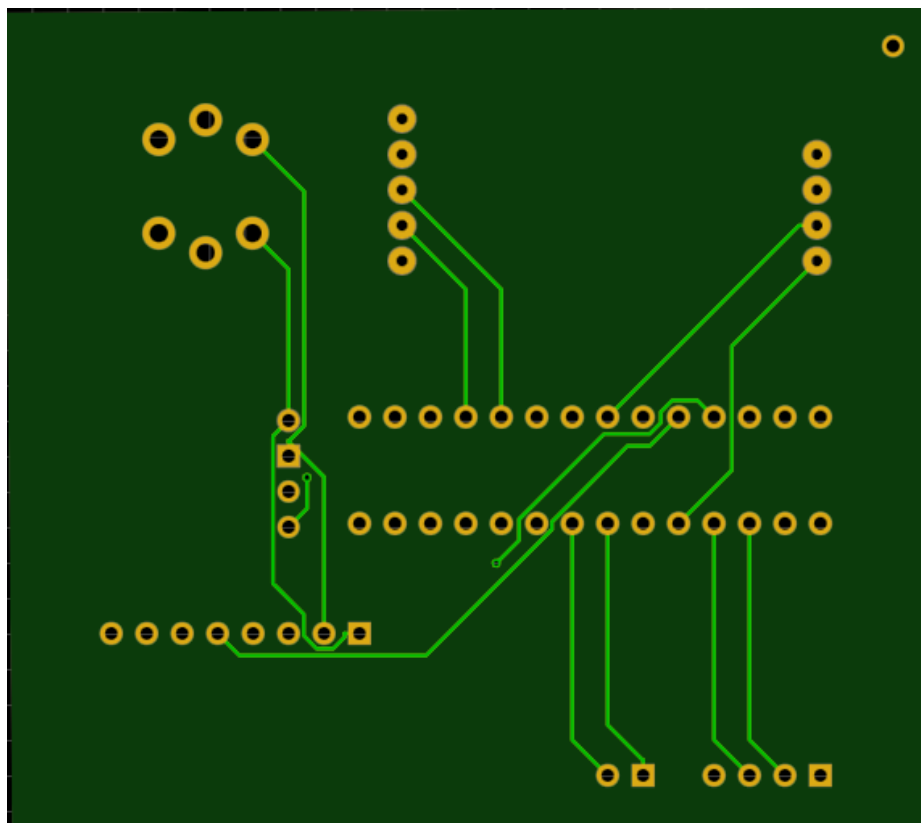


Рис. 6.2 – Другий шар друкованої плати

Зм	Дру	№ докум	Підпи	Лст

МММТ 480.004.004 - ПЗ

6.2. Розрахунок надійності системи

Однією із основних характеристик системи є її надійність. Надійність системи – це її здатність до безвідмовної роботи протягом заданого проміжку часу у визначених умовах.

Надійність системи відповідно до дії стандартів – це комплексне поняття, що включає п'ять основних складових.

Працездатність – стан системи, при якому вона здатна виконувати задані функції з параметрами, що встановлені вимогам технічної документації.

Довговічність – це властивість системи збереження працездатності при деяких перервах на технічне обслуговування та поточний ремонт (ТО та ПР) до граничного стану, можливого в технічній документації.

Схоронність – властивість системи збереження експлуатаційних показників у деяких межах у період зберігання та транспортування.

Відновлюваність системи – це її владність відновлювати працездатність у разі виникнення відмови за допомогою ремонтів.

Ремонтопридатність – властивість системи, що виникає у пристосованості до попередження, виявлення та ліквідації відмов та несправностей у процесі ТО та ПР.

Важливими поняттями в теорії надійності є ресурс, строк служби та ін.

Ресурсом забезпечує тривалість функціонування або обсяг робіт, виконаних системою до граничного стану, які є в технічній документації.

Строк служби – календарна тривалість експлуатації системи до граничного стану, яка розроблена в технічній документації.

Різниця між ресурсом і строком служби обумовлена тим, що ресурс враховує фактичний наробіток системи, а строк служби – сумарну тривалість як роботи, так і простоїв.

У теорії надійності розрізняють два типи відмов – раптові та поступові. Раптова відмова – це миттєвий вихід з ладу в випадковий момент часу. Поступова відмова пов'язана з поступовим погіршенням характеристик системи, і як тільки параметри системи виходять за визначені межі, система

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	МД	Піппи	Лат		68

встановлена такою, що відмовила.

Розрахунок показників надійності проводився методом λ -характеристик, заснованому на інтенсивностях відмовлень комплектуючих виробів (КВ) і поправочних коефіцієнтах, що враховують реальні режими і умови експлуатації виробу.

Виріб призначений для роботи в умовах помірного клімату:

– робочий діапазон температури від -20 до 50°C, відносна вологість повітря до 80% при 20 °C;

– конструктивно виконано для роботи для вулиці під накриттям.

Склад виробу – комп'ютеризована система вимірювання параметрів та моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста.

Критерієм відмовлення виробу вважається відмовлення будь-якої його складової частини, що приводить до порушення працездатності виробу і неможливості використання його по призначенню.

Відновлення виробу проводиться шляхом заміни КВ, що відмовили справними з ЗОПа.

При розрахунку надійності виробу використовувалися характеристики, дані, при цьому були прийняті наступні допущення:

1. відмовлення КВ і ІС є подіями випадковими і незалежними;
2. відмовлення будь-якого КВ приводить до відмовлення виробу в цілому;
3. інтенсивність відмовлень КВ протягом терміну їхньої служби в тих самих робочих режимах і умовах є постійною;
4. закон розподілу в розрахунках безвідмовної роботи передбачається експоненціальним.

Розрахунок надійності спроектованого виробу проводиться в відповідності з електричною принциповою схемою виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		69

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу проектного виробу;
 $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.2.

Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у [20] з врахуванням вихідних даних для проектного виробу.

По формулі (6.1) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 10 таблиці 6.2):

$$\lambda = 71,89 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.3)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год)

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,9822	0,9647	0,9475	0,9306	0,8661	0,6981	0,56261	0,4873

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.4)$$

Підставляючи дані в формулу (6.4) одержимо

$$T = (71,89 \cdot 10^{-6})^{-1} = 13\,909,7 \text{ годин.}$$

Таблиця 6.2 – Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Atmega328	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
2	Датчики				a_1	a_2	a_4	a_6	
	MQ-138	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	BME280	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	MH-Z19	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	ZH06	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
3	Дисплей				a_1	a_2	a_4	a_6	
	LCD 2004	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
4	Кнопка				a_1	a_2		a_4	
	TTS5	1	0,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,147
5	Пайки	51	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,011
6	Резистори	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
7	Конденстатори	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,02688
8	Кварцевий резонатор 16 МГц	1	1 1,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	3,78
9	Блок живлення 5В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
	Разом								71,89

На графіку, приведеному на рисунку 6.3 приведена залежність надійності P(t).

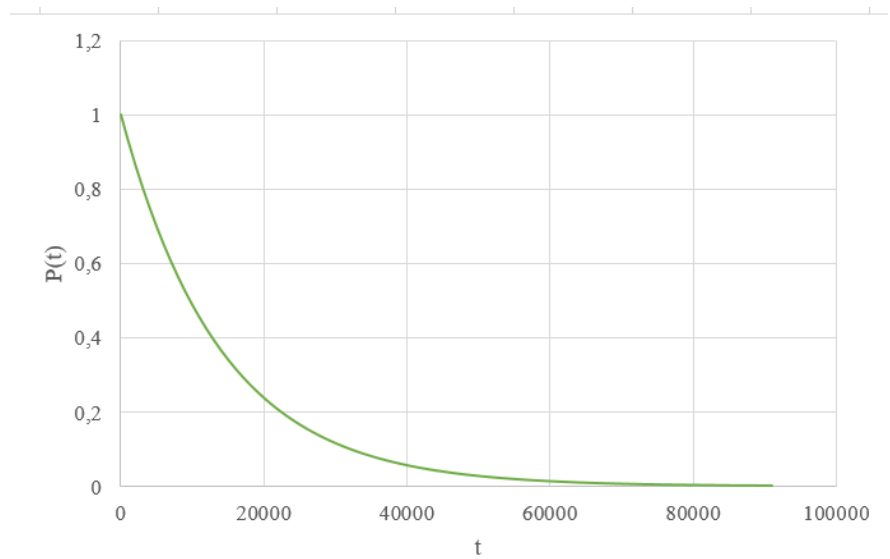


Рис. 6.3 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Керівники підприємств організовують, забезпечують і контролюють трудову діяльність працівників у відповідності з вимогами Закону України «Про охорону праці» і забезпечують безпечні методи праці на кожному робочому місці.

Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні проходити за рахунок роботодавця інструктаж, навчання з питань охорони праці, з надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварії.

Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні щороку проходити за рахунок роботодавця спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативноправових актів з охорони праці.

Посадові особи, діяльність яких пов'язана з організацією безпечного ведення робіт, під час прийняття на роботу і періодично, один раз на три роки, проходять навчання, а також перевірку знань з питань охорони праці.

Порядок проведення навчання та перевірки знань посадових осіб з питань охорони праці визначається типовим положенням, що затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці.

Не допускаються до роботи працівники, у тому числі посадові особи, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці. У разі виявлення у працівників, у тому числі посадових осіб, незадовільних знань з питань охорони праці, вони повинні у місячний строк пройти

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Дат		
						73

повторне навчання і перевірку знань.

Відповідальність за організацію, здійснення навчання, перевірку знань працівників і проведення інструктажів з питань охорони праці покладається на керівника підприємства.[29]

7.2. Охорона атмосферного повітря

Якість атмосферного повітря – надважливого природного ресурсу – впливає на здоров'я людей, природних екосистем, стан клімату і, через природні ланцюги, на всі компоненти довкілля. То ж регулювання, контроль та захист атмосферного повітря є запорукою здорового та гармонійного існування людини та всього навколишнього природного середовища.

Законодавство України у сфері охорони атмосфери передбачає впровадження комплексної системи правових заходів, які мають забезпечувати охорону атмосферного повітря від забруднення. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» є правовим фундаментом діяльності, яка спрямована на запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на навколишнє середовище та здоров'я людини, забезпечення екологічної безпеки, формування сприятливих умов життєдіяльності.

Стандарти та норми, які на сьогодні є дійсними в галузі охорони атмосферного повітря, створені з метою впровадження безпечних сучасних технологій, запобігання техногенних катастроф та аварій, а також є гарантом безпечного навколишнього середовища. Підприємства, організації та громадяни, які є суб'єктами підприємницької діяльності, мають впроваджувати заходи щодо забезпечення виконання вимог у галузі охорони атмосферного повітря, що передбачені нормами та стандартами екологічної безпеки. Законодавство зобов'язує суб'єкти господарювання вживати заходи, спрямовані на зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин і зменшення впливу фізичних факторів.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		74

Пріоритетними у сфері охорони атмосферного повітря в Україні наразі є наступні заходи:

- імплементація стандартів ЄС до нормативно-правової бази України;
- вживання заходів щодо зниження рівня шкідливого впливу об'єктів, які являються джерелами забруднення атмосферного повітря;
- вживання заходів щодо вдосконалення контролю якості атмосферного повітря.

В Україні Закон про охорону атмосферного повітря було ухвалено в 1992 році (ред. від 2001 р.). Проте варто відзначити, що ні перша, ні друга редакції недостатньо повно враховують вимоги, які передбачені директивами ЄС у сфері якості атмосферного повітря.

Наразі неможливо забезпечити якість атмосферного повітря без впровадження моніторингу, який би охоплював спостереження усього переліку забруднюючих речовин, що передбачені директивами ЄС:

1. Директива 2001/81/ЄК щодо державних граничних норм для певних забруднювачів атмосфери.

2. Директива 2008/50/ЄС2 про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи.

3. Директива 2010/75/ЄС3 про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення).

4. Директива ЄС 2016/22844 про скорочення викидів окремих атмосферних забруднюючих речовин на національному рівні на 2020 та 2030 рр. відповідно до цілей Гетеборзького протоколу.

В Україні з метою імплементації положень Директиви 2008/50/ЄС та Директиви 2004/107/ЄС затверджено Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Даний документ впроваджує оновлену систему моніторингу стану повітря та основні складові управління якістю повітря, які відповідають наведеним директивам.

Нормативні акти, які відповідають в Україні за правове регулювання у сфері якості атмосферного повітря:

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Піппи	Лат		
						75

1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-XII.

2. Порядок функціонування національної системи оцінки антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, які не регулюються Монреальським протоколом про речовини, що руйнують озоновий шар, затверджений постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження від 21 квітня 2006 р. № 554.

3. Порядок розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 303.

4. Порядок розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2001 р. № 1780.

5. Нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел, затверджені Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27 червня 2006 р. № 309.

6. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. № 173.

Відшкодування збитків, нанесених державі, здоров'ю людей та стану довкілля здійснюється в залежності від випадку, суми можуть сягати декількох мільйонів гривень. В деяких випадках проти суб'єктів господарювання порушуються кримінальні провадження. Крім того згідно зі ст. 12 закону України «Про охорону атмосферного повітря», діяльність суб'єктів господарювання може бути тимчасово обмежена або тимчасово зупинена. Обмеження або тимчасове припинення діяльності – це також збитки, запобігти яким дуже просто.[30]

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лат		
						76

ВИСНОВКИ

Дана бакалаврська кваліфікаційна робота була розроблена на тему «Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста».

В першому розділі було описане технічне завдання.

В другому розділі розглянуті вимоги до стану повітря та існуючі системи моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста .

В третьому розділі були обґрунтовані всі складові системи та побудована структурна схема. Комп'ютеризована система складається з: мікроконтролеру, датчика часток пилу, датчика вуглекислого газу, датчику вмісту формальдегіду, барометричного датчика, дисплея, кнопки керування, блока живлення.

В четвертому розділі були обрані конкретні складові системи та описані їх технічні характеристики. На базі структурної схеми та обраних складових системи була побудована принципова схема. Також була проведена оцінка точності вимірювання вмісту твердих частинок в повітрі.

В п'ятому розділі побудовано алгоритм та складена відповідна програма системи.

В шостому розділі розроблена друкована плата та прораховані показники надійності.

В сьомому розділі розглянуто визначення охорони праці в промисловості та охорона атмосферного повітря.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	МО доцента	Підпи	Лет		77

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Забруднення повітря в Україні [Електроний ресурс]. – Режим доступу:<https://ecoaction.org.ua/zabrudnennia-povitria-ua.html>.

2.Забруднення атмосферного повітря [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://sd4ua.org/golovni-temi-stalogo-rozvitku/zabrudnennya-atmosfer-nogo-povitrya>.

3. Як Україна вимірює забруднення [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua-energy.org/uk/posts/yak-ukraina-vymiriuiie-zabrudnennia-povitria>.

4.Станція контролю атмосфери AirPointer [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://aep.kiev.ua/shop/portable_air_quality_monitoring/portativnaya-stantsiya-kontrolya-atmosfery-airpointer.

5. AQMesh система моніторингу якості повітря[Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://aep.kiev.ua/shop/portable_air_quality_monitoring/aqmesh-sistema-monitoring-kachestva-vozduha.

6.ACCUR8 CO2-6000 CO2 система з моніторингу якості повітря [Електроний ресурс]. – Режим доступу: www.enviromonitors.co.uk/co2-monitor-desk-or-wall-mounted-temperature-and-relative-humidity-a8-co2-6000.

7.Портативний аналізатор повітря A8-CO2002 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.weathershop.co.uk/co2-monitor-desk-or-wall-mounted-temperature-and-relative-humidity-a8-co2002>.

8. Walker J. K – Formaldehyde. 3d ed. New York – London, Reinhold Corp., 1964.

9.Методи вимірювання формальдегіду [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://labprice.ua/statti/statti-pro-tovari-ta-poslugi/yaka-ukrayinska-firma-pravilno-viznachaye-formaldegid-v-povitri>.

10. Типи датчиків вуглекислого газу [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://corelamps.com/elektormontazhne-obladnannia/datchyk-chadnoho-hazu>.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дру
Зм	Дру	№ докум	Підпи	Лст		78

11. Як правильно вибрати датчик тиску [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://guide.directindustry.com/kak-pravilno-vybrat-datchik-davleniya>.

12. Датчики вологості [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://conrad.ru/blog/stati/datchiki-vlazhnosti-vse-cto-neobkhodimo-znat-o-priborakh>.

13. Датчик зважених частинок та пилу [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://iotsmart.ru/datchik-vzveshennih-chastic-i-pili>.

14. Датчики наявності зважених частинок у повітрі [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://intellect.icu/datchik-pyli-i-vzveshennykh-chastits-v-vozdukhe-9119>.

15. Якій обрати мікроконтролер? [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiostorage.net/1023-kakoj-vybrat-mikrokontroller.html>.

16. Що таке дисплей. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.enrichlcddisplay.com/news/what-is-the-lcd-screen-17953978.html>.

17. Мікроконтролер ATmega328P [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://pkolt.ua/overview-atmega328p>.

18. Розташування пінів ATmega328P [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ruselectronic.com/atmega328p>.

19. Датчик формальдегіду MQ-138 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.winsen-sensor.com/SemiconductorGasSensor/MQ138.Manual.pdf>.

20. Датчик CO2 MH-Z19 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://aliexpress.ru/item/1005005274523064.html>.

21. Датчик температури, вологості та тиску BME280 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod1930-bme280-5v-i2c-datchik-temperatyri-vlajnosti-davleniya>.

22. Підключення датчика температури, вологості та тиску BME280 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://voltiq.uф/bme280-and-arduino>.

23. Датчик пилу ZH06 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://aliexpress.ru/popular/zh06.html?g=y&page=1>.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Дир
Зм	Дир	№ докум	Підпи	Лст		79

24. LCD дисплей з синім підсвічуванням 2004 по I2C [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.winstar.com.tw/ru/products/character-lcd-display-module/lcd-20x4-i2c.html>.

25.Кнопка тактова [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronica.in.ua/ua/p1534468975-knopka-taktovaya-tts5ts.html>.

26.Мережевий адаптер HN-528 5В 2А [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/106087707/p106087707>.

27. Програмування мікроконтролеру Atmega328 в середовищі Arduino IDE [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://voltiq.ua/flashing-bootloader-atmega328p>.

28. Виготовлення друкованих плат [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://renome.biz/uk/index.php?route=news/article&news_id=61.

29. Навчання з питань охорони праці на підприємствах міст [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://zp.gov.ua/upload/editor/navchannya_z_pitan_ohoroni_praci.pdf.

30. Охорона атмосферного повітря [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://eco.kiev.ua/poslugy/atmosfera>.

31. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» Укладачі: Ю.О. Подчашинський, Л. О. Чепюк, Р.В. Петросян. – Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2022. – 60 с.

					МММТ 480.004.004 - ПЗ	Лист 80
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Лист		