

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Комп'ютеризована система моніторингу стану повітря в
промисловій зоні міста**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-3
Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»
Сорока Владислав Ярославович
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор
Подчашинський Ю.О.
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри
комп'ютерної інженерії та
кібербезпеки Шелуха Олексій
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Житомир – 2024

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

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Сорока Владислав Ярославович

1. Тема роботи: **Комп'ютеризована система моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста**

Керівник роботи: д.т.н. професор _____ Подчашинський Ю. О.

затверджена наказом по університету від « 18 » квітня 2024 р. № 129/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 20 » червня 2024р.

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

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму та друкована
плата.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-8	д.т.н., Подчашинський Юрій		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	18.04.24 – 26.04.24	
2	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих систем моніторингу стану повітря	27.04.24 – 02.05.24	
3	Ознайомитись з основними принципами побудови систем моніторингу стану повітря	3.05.24 – 07.05.24	
4	Розробка структурної схеми системи моніторингу стану повітря	08.05.24 – 16.05.24	
5	Розробка принципової схеми системи моніторингу стану повітря	17.05.24 – 25.05.24	
6	Вибір компонентів системи моніторингу стану повітря	26.05.24 – 30.05.24	
7	Розробка блок-схеми алгоритму та програми системи моніторингу стану повітря	1.06.24 – 09.06.24	
8	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	10.06.24 – 24.06.24	

Студент

Сорока В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Подчашинський Ю.О.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система вимірювання параметрів та моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста» містить 62 сторінки, 28 рисунків, 9 таблиці, 10 формули, 23 джерела.

В роботі розглядається актуальність комп'ютеризованої системи вимірювання та моніторингу стану повітря в промисловій зоні.

Розглянуті існуючі системи моніторингу стану повітря.

Обґрунтований вибір складових системи. Розроблена структурна схема. Розроблена принципова схема та друкована плата.

Розроблений алгоритм роботи системи та написана відповідна програма. Розрахована відносна та абсолютна похибка вимірювання температури. Розрахована надійність вимірювальної системи. Розглянута охорона праці.

Ключові слова: температура, тиск, вологість, якість повітря, вміст шкідливих речовин

ANNOTATION

The bachelor's thesis on "Computerized system for measuring parameters and monitoring the air in the industrial zone of the city" contains 62 pages, 28 figures, 9 tables, 10 formulas, 23 sources.

The paper considers the relevance of a computerized system for measuring and monitoring the air in the industrial zone.

Existing air monitoring systems are considered.

Reasonable choice of system components. The structural scheme is developed.

The schematic diagram and printed circuit board are developed.

The algorithm of system operation is developed and the corresponding program is written. The relative and absolute error of temperature measurement is calculated. The reliability of the measuring system is calculated. Labor protection is considered. Key words: temperature, pressure, humidity, air quality, content of harmful substances

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1.ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	10
1.1. Призначення та область застосування	10
1.2. Умови експлуатації	10
1.3. Технічні характеристики системи.....	11
1.4. Вимоги для надійної роботи системи	11
2.АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ.....	12
2.1. Аналіз методів розробки	12
2.2. Сучасні системи вимірювання забруднення повітря.....	15
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	23
3.1. Вибір мікроконтролера	23
3.2. Обґрунтування типів датчиків	25
3.3.Опис пристроїв для відображення показників.....	26
3.4. Розробка структурної схеми.....	27
4.РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	28
4.1.Вибір типу мікронтролеру.....	28
4.2. Вибір датчика	31
4.3.Вибір пристроїв для відображення показників.....	36
4.4. Вибір кнопки включення/виключення	39
4.5.Вибір блока живлення.....	40
4.6. Принципова електрична схема	42
4.7. Розрахунок похибок вимірювання температури	42
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ	45
5.1.Розробка алгоритму.....	45
5.2.Розробка програми.....	47
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	48
6.1.Розробка друкованої плати	48
6.2.Розрахунок надійності системи.....	49

					МММТ.480.013.018 – ПЗ			
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Сорока В.Я.				Комп'ютеризована система моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Подчащинський						4	
Реценз.						Державний університет «Житомирська політехніка», ар. МТ-3		
Н. Контр.	Подчащинський							
Затверд.	Подчащинський Ю							

7.БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	55
7.1. Охорона праці	55
7.2. Важливі вимоги для безпеки	56
7.3. Розроблення комплексних заходів охорони праці	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ДОДАТКИ	
Додаток А	

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Останніми десятиліттями проблема забруднення повітря набула особливої важливості через зростання промислового виробництва, урбанізації та збільшення кількості автомобілів. Забруднення повітря має шкідливий вплив на здоров'я людей, спричиняючи захворювання дихальної, серцево-судинної та нервової систем. Крім того, воно погіршує стан навколишнього середовища, зокрема спричиняє кислотні дощі, втрату біорізноманіття та зміни клімату. Щоб зменшити негативний вплив забруднення повітря, особливо в промислових зонах, необхідно розробляти та впроваджувати ефективні системи моніторингу повітря. Такі системи допомагають своєчасно виявляти перевищення допустимих концентрацій забруднювачів і вживати відповідних заходів для їх зниження.

Рівень смертності від забруднення повітря в Україні — один із найвищих у світі та становить 120 смертей на 100 тисяч населення. Дихати на повні груди у великих містах щодня стає складніше: повітря важке, а небо нерідко затягнуте ядучим смогом.

Серед основних причин — шкідливі викиди від найбільших підприємств, які не контролюються державою. Українські міста, як-от Кривий Ріг та Дніпро, буквально задихаються у промислових викидах.

Актуальність даного дослідження обумовлена необхідністю розробки та впровадження сучасних технологій моніторингу якості повітря у промислових зонах. Забруднення повітря у таких зонах часто перевищує допустимі норми, що становить загрозу для здоров'я людей та актуальність цього дослідження зумовлена потребою у впровадженні сучасних технологій моніторингу якості повітря в промислових зонах, де рівень забруднення часто перевищує допустимі норми, що становить загрозу для здоров'я людей і довкілля. Ефективні системи моніторингу дозволяють оперативно реагувати на погіршення якості повітря, контролювати джерела забруднення та вживати заходів для покращення екологічної ситуації. Сучасні інформаційні

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

технології, зокрема Інтернет речей (IoT) та можливості обробки великих обсягів даних (Big Data), відкривають нові можливості для створення ефективних систем моніторингу якості повітря. Завдяки IoT можна забезпечити безперервний збір даних в режимі реального часу, а технології Big Data дозволяють аналізувати великі обсяги інформації для виявлення тенденцій і прогнозування змін якості повітря .

У нинішньому світі виникає потреба у розробці комп'ютеризованих систем для вимірювання параметрів і моніторингу стану повітря в промислових зонах міст, особливо поблизу великих промислових підприємств.

Метою цієї роботи є створення такої комп'ютеризованої системи для вимірювання параметрів і моніторингу стану повітря в міських промислових зонах.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста призначена для безперервного контролю якості повітря. Її основна мета — збирати, обробляти, зберігати та передавати дані про концентрації різних забруднювачів у реальному часі. Це дозволяє своєчасно виявляти перевищення допустимих норм і вживати необхідних заходів для зниження рівня забруднення.

У цій сфері областю застосування використовується для оцінки стану навколишнього середовища та визначення джерел забруднення. Вона допомагає екологам у розробці заходів для покращення якості повітря і захисту біорізноманіття.

Також дані, зібрані системою, важливі для досліджень у сфері громадського здоров'я, зокрема для виявлення зв'язку між забрудненням повітря і різними захворюваннями. Це дозволяє медичним працівникам ефективніше боротися з захворюваннями, спричиненими забрудненням повітря.

1.2. Умови експлуатації

- Температура навулиці від -20°C до $+55^{\circ}\text{C}$.
- Відносна вологість до 85 % при температурі $+20^{\circ}\text{C}$.
- Атмосферний тиск 700-900 мм рт. ст.
- Точність вимірювання температури: 0.5°C ;
- Точність вимірювання вологості: 2%;
- Точність вимірювання тиску: 1гПа;
- Обсяг знаходження частинок в повітрі: 0,2-12 мкг/м³;
- Відносна похибка знаходження вмісту твердих часток в повітрі: 1,3%;

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- Хімічно активні компоненти відсутні.
- Вібрація, тряска, удари відсутні.
- Характер роботи безперервний.
- Джерело живлення: первинне – 220В, вторинне – 5В.

1.3. Технічні характеристики системи

Комп'ютиризована система повинна забезпечити рішення наступних завдань:

- Вимірювання температури;
- Вимірювання вологості;
- Вимірювання тиску;
- Вимірювання скупчення пилу і великих жорстких частинок;
- Вимірювання вуглекислого газу;
- Вимірювання якості повітря промисловій зоні міста;
- Відображення показників стану повітря і на дисплей.

1.4. Вимоги для надійної роботи системи

- Система є резервована, придатна до ремонту, відновлювальна.
- Напрацювання до відмови складає не менше 14 000 годин.
- Елементи пристрою розмістити в білому пластиковому боксі.
- Габарити установки (корпуса) – 100х80х32 мм

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Аналіз методів розробки

Аналіз сучасних рішень на ринку комп'ютеризованих систем моніторингу стану повітря є важливим етапом розробки власної системи, що дозволяє врахувати існуючий досвід, визначити кращі практики та уникнути можливих недоліків. Сучасні методи та засоби моніторингу повітряного середовища базуються на різних технологіях, що дозволяють вимірювати концентрації забруднюючих речовин, аналізувати результати та забезпечувати інформування відповідних служб та громадськості.

Один з основних методів моніторингу якості повітря – це використання стаціонарних станцій моніторингу. Ці станції обладнані різними сенсорами та аналітичними приладами, що дозволяють проводити постійний контроль концентрацій різних забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки (SO₂), озон (O₃), оксид вуглецю (CO), вуглекислий газ (CO₂), дрібнодисперсні частинки (PM_{2.5} та PM₁₀) тощо. Стаціонарні станції зазвичай розміщуються в найбільш забруднених районах, а також у місцях з високою концентрацією населення для забезпечення максимального охоплення.

Інший метод – це використання мобільних станцій моніторингу. Такі станції встановлюються на транспортних засобах, що дозволяє проводити вимірювання якості повітря в різних місцях міста або промислової зони. Мобільні станції забезпечують більш гнучкий підхід до моніторингу, оскільки дозволяють швидко реагувати на зміни умов та проводити вимірювання в місцях, де встановлення стаціонарних станцій є неможливим або недоцільним.

Місто використовує нові інформаційні та комунікаційні технології для забезпечення, впровадження та просування стратегій розвитку, які вирішують міські проблеми та створюють скоординовану, технологічно

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

забезпечену та стійку інфраструктуру. Екологічна стійкість є ключовим показником, який впливає на розвиток розумних міст. Моніторинг і регулювання якості повітря є одним з важливих екологічних проблем, з якими стикаються сучасні суспільства.

У публікації за березень 2022 року Всесвітня організація охорони здоров'я заявила, що забруднене повітря є причиною передчасної смерті 13 людей щохвилини. Таким чином, система моніторингу якості повітря необхідна містам, щоб допомогти уряду вибрати найкращий курс дій для зменшення забруднення, а також полегшити мешканцям уникнення впливу забруднюючих речовин.

Атмосферне повітря є одним з найважливіших природних ресурсів без якого неможливе життя людини [1]. В атмосферу потрапляють антропогенні та природні забруднюючі речовини, які спричиняють зміну концентрації газів [2, 3]. Наприклад концентрація таких газоподібних речовин як NO₂ та CO₂ постійно збільшується, що показано на рис. 1.1.

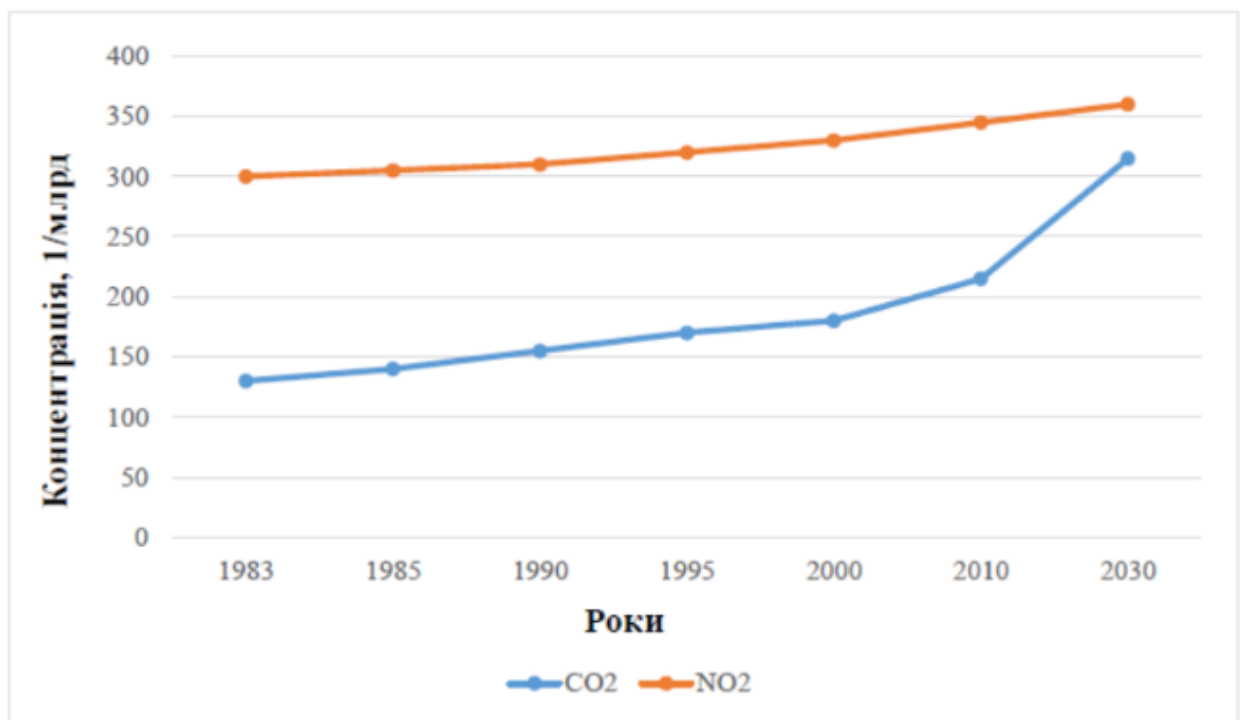


Рис. 2.1. Прогноз рівня концентрації газів NO₂ та CO₂ в атмосферному повітрі [4]

У великих промислових містах рівень забрудненості атмосферного повітря (АП) може в значній мірі перевищувати санітарно-гігієнічні норми. Існує велика кількість факторів, які впливають на просторову і часову зміну концентрації шкідливих речовин в АП. Сучасні тенденції розвитку промислового виробництва характеризуються широким застосуванням небезпечних технологій, які спричиняють суттєве погіршення екологічних показників окремих регіонів. В табл. 1.1 приведена інформація про співвідношення викидів в атмосферу шкідливих речовин від об'єктів різних галузей промисловості [5].

Таблиця 2.1

Співвідношення викидів в атмосферу шкідливих речовин між різними галузями промисловості

Об'єкти та галузі промисловості	Частка викидів в атмосферу шкідливих речовин, %
Котельні та ТЕС	27
Підприємства чорної металургії	17
Нафтохімія та нафтовидобуток	16
Автомобільний транспорт	12
Підприємства кольорової металургії	10
Будівельна галузь	5
Вугільна галузь	2,5
Хімічна галузь	1,5
Інші галузі	9
Всього	100

Важливість контролю за рівнем забрудненості АП в середовищі антропогенного впливу обґрунтовується результатами теоретичних та експериментальних досліджень з застосуванням методів фізичного та

математичного моделювання. Використання такого підходу дає змогу оцінити рівень якості АП у великому місті або іншому об'єкті, де присутні мобільні або стаціонарні джерела забруднень шкідливими речовинами. Визначивши рівень забрудненості АП різними шкідливими речовинами, та встановивши тенденції зміни розповсюдження концентрації домішок в часі і по території можна приймати рішення про встановлення стаціонарних постів спостережень на відповідній території і скласти графік їх роботи. Такі пункти спостережень можуть надавати дані про загальний стан повітряних мас, контролювати джерела викидів, якщо вони знаходиться в зоні їх впливу. Наявність інформації про рівень забрудненості АП, а також тенденцій його зміни є надзвичайно важливою для забезпечення потрібної чистоти повітряних мас. Моніторинг рівня забрудненості АП є основним шляхом для виявлення відповідних закономірностей.

2.2. Сучасні системи вимірювання забруднення повітря

Побутовий газоаналізатор вуглекислого газу (CO₂) Xintest HT-501 (рис.2.2) виглядає як звичайна метеостанція, яка показує температуру та відносну вологість повітря. Однак цей прилад також може вимірювати рівень вуглекислого газу в повітрі. Високий рівень кисню і низький рівень CO₂ роблять дихання легшим і покращують самопочуття. Якщо концентрація CO₂ підвищується, це сигналізує про необхідність провітрювання приміщення. Прилад не потребує калібрування і видає точні показники незалежно від температури. У ньому використовується інфрачервоний дифузійний датчик, який має необмежений ресурс, на відміну від інших газоаналізаторів, що використовують витратні матеріали, такі як хімічні речовини.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.2.2. Аналізатор вуглекислого газу HT-501

HT-501 – Портативний пристрій, що вимірює CO₂, та частки пилу. Він компактний і легко переносний, що дозволяє використовувати його як вдома, так і на вулиці. Цей пристрій допомагає створити здорове середовище в приміщеннях і своєчасно реагувати на підвищення рівня CO₂, що сприяє покращенню самопочуття та продуктивності.[3]

Характеристики та здібності:

- Має дуже обережний вигляд – невелике споживання та обережні краї дозволяють ставити в дитячій кімнаті;
- Великий обсяг роботи до 10000 PPM;
- Піктограми, що міняють колір, відповідно до концентрації вуглекислого газу;
- Спритна реакція на зміну вмісту CO₂;
- Живлення від акумулятора.
- Іконки, що змінюють колір;

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Таблиця 2.1. Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання CO ₂	0~9999 PPM;
Роздільна здатність	1 PPM;
Точність вимірювання температури	±70 PPM;
Параметри експлуатації: Температура	0~50°C,
Діапазон відносної вологості	20~90RH;
Автоматичне відключення	30 хвилин;
Колір	Білий;
Матеріал корпусу	Пластик;
Розміри	107×107×59 мм
Вага	70 г.

Багатофункціональний анемометр Trotec TA400 з трубками Піто являє собою ідеальний пристрій для професіоналів в області припливно-втяжної вентиляції і налагодження газового обладнання. Анемометр виконує вимірювання швидкості повітря до 80 м / сек. що не під силу більшості інших пристроїв. На додаток до вимірювання швидкості потоку повітря прилад вимірює його витрату, що дозволяє проводити моніторинг вентиляційних систем на професійному рівні. Вимірювання диференційного і абсолютного тиску дозволяє проводити операції по налаштуванню газового обладнання. Функція обнулення допоможе точно визначити тиск по відношенню до еталонної середовища. Виміряні показники відображаються на великому екрані з підсвічуванням які легко читаються навіть в умовах слабкої освітленості. Пам'ять на 99 комірок допоможе оператору повернутися до аналізу даних через деякий час. До

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

всього іншого анемометр має функцію вимірювання температури навколишнього середовища.



Рис.2.1. Trotec TA400

Таблиця 2.2. Функції пристрою:

Діапазон вимірювання	
Тиск	0...5000 pa
Швидкість повітря	1...80м/с 3,6...288.км/год 200...15733.футів/хв 2,24...178,66.миль/год 2...154,6 вузлів
Температура навколишнього середовища	0...+50°c (32...122°f)
Витрата	0,001 ... 999 999 футів³ / хв (cfm) 0,001 ... 999 999 м³ / хв (cmm)
Точність	

Тиск	±0,3% при температурі +25°С
Швидкість повітря	±2,5% при 10 м/с
Температура навколишнього середовища	±1°С (±1,8°f)
Витрата	±0,3% від виміряного значення
Умови експлуатації	
Робоча температура	0 ... + 50 ° С вологість менше 80%
Температура зберігання	-10 ... +60 вологість менше 80%
Розміри/вага	
Розміри приладу	210x70x50 мм
Вага	540 г.

Настільний монітор CO₂, температури та вологості TIM10 постійно показує рівень вуглекислого газу, температуру та відносну вологість, щоб ви могли контролювати якість повітря у вашому домі, офісі чи внутрішньому вирощувальному приміщенні.



Рис.2.3. CO₂ Метр цифровий датчик температури та вологості

Цифровий CO₂ метр з датчиком температури та вологості застосовується для моніторингу якості повітря з особливим акцентом на рівні вуглекислого газу.

Цей прилад дозволяє в будь-який момент виявити та контролювати проблеми з повітрям, що забезпечує здоров'я членів сім'ї або

співробітників.

Особливості:

- Безперервний моніторинг: відображає рівні вуглекислого газу (CO₂), температуру та відносну вологість у реальному часі.
- Відсутність рухомих частин: гарантує довговічність, не ламається та не зношується.
- Висока точність: зберігає точність навіть за екстремальних температурних умов.
- Зберігання даних: можливість зберігати дані протягом тривалого часу без втрати цінностей.
- Самокалібрування: функція самокалібрування свіжим повітрям для забезпечення постійної точності.
- Одиниця концентрації для НСНО та TVOC: мг/м³;

Характеристики:

- Діапазон CO₂: 0 – 10 000 ppm;
- Точність CO₂: $\pm 70 \text{ ppm} \pm 3\%$ від показаного значення;
- Діапазон температур: від +14°F до +140°F (від -10°C до +60°C);
- Точність температури: $\pm 0,9 \text{ F} (\pm 0,6 \text{ C})$;
- Діапазон вологості: 20-99% без конденсації (CO₂ не можна зчитувати при відносній вологості 20%)
- Точність вологості: $\pm 5\% \text{ RH}$;
- Розмір: 120 x 80 мм;
- Вага: 200 г.[4];

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Аналізатор якості повітря **Bosean T-Z01Pro** рис.2.4.



Рис.2.4. Аналізатор якості повітря Bosean T-Z01Pro

Професійний датчик аналізатор якості повітря Bosean T-Z01Pro аналізує в реальному часі якість повітря в приміщенні за 5-ти різними параметрами + автоматично обчислює та відображає рівень концентрації чадного та вуглекислого газу, а також обчислює загальний індекс якості повітря AQI та відображає всю цю інформацію на великий кольоровий екран в режимі реального часу.

Він також може накопичувати в пам'яті виміряні показники за останні 8 годин та відображати їх у вигляді графіка, перегляд якого здійснюється через меню.

Цей аналізатор якості повітря буде дуже корисним для використання в квартирі, офісі та інших приміщеннях постійного перебування людей і показуватиме якість повітря, яким Ви дихаєте, покаже коли необхідно

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

провітрити приміщення або вкаже на проникнення в приміщення небезпечних речовин, що не мають кольору та запаху.

Технічні характеристики:

- Концентрація (CO₂): від 0 до 4999 ppm($\pm 40\text{ppm} \pm 3\%$);
- Може автоматично розраховувати рівні чадного газу (CO) та вуглекислого газу (CO₂) на основі показників TVOC.
- Кількість мікрочастинок PM_{2.5} та PM₁₀ (пил, дим): від 0 до 999 мг/м³;
- Кількість формальдегіду (HCHO): від 0 до 1.999 мг/м³;
- Концентрація TVOC (загальна кількість шкідливих летких органічних речовин): від 0 до 9.999 мг/м³;
- Вологість повітря: від 0 до 99%;
- Температура експлуатації: від 0 до 50 °C;
- Можливість постійної роботи від блока живлення USB;
- Вага: близько 240 грам.[4]

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Вибір мікроконтролера

Для керування комп'ютеризованою системою вимірювання обрано мікроконтролер.

Технічні характеристики обраного мікроконтролера повинні відповідати вимогам завдання на розробку. Комп'ютеризована вимірювальна система розробляється для вимірювання та збору метеоданих у віддаленому районі, тому необхідно врахувати наступні параметри:

1) Енергоефективність: низьке споживання енергії для забезпечення тривалого часу роботи від батареї або іншого джерела живлення.

2) Температурний діапазон: підтримка роботи в широкому діапазоні температур, оскільки метеостанція може бути встановлена в умовах екстремальних температур. Система відстежує температуру, вологість, вібрацію та зворотний відлік у реальному часі. Для швидкого відображення даних з датчика на дисплей і обробки вимірних значень, а також для підключення дисплея та індикатора через модуль GSM, потрібен високошвидкісний МК на 16 або 32 розряди.;

3) Надійність: висока надійність та довговічність роботи в умовах зовнішнього середовища. Вимірювальна система повинна бути компактною, що дозволяє використовувати її при низькій напрузі та низькій тактовій частоті. Завдяки цьому, її можна помістити в малогабаритний корпус SMD з невеликим мікроконтролером.

4) Інтерфейси вводу/виводу: Достатня кількість портів для підключення різних датчиків (температури, вологості, тиску, концентрації

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

CO2 тощо).

5) Обробка даних: Висока продуктивність для швидкої обробки та аналізу зібраних даних.

Таблиця мікроконтролерів різних виробників наведена в таблиці 3.1.

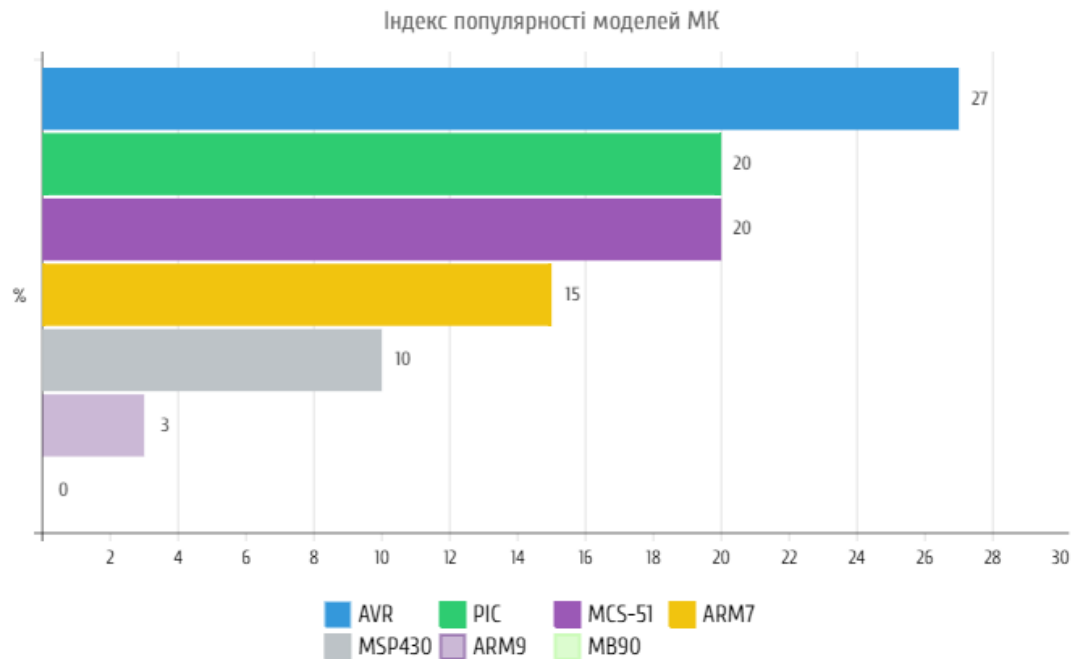


Рисунок 3.1 – Використання за популярністю МК

Таблиця 3.1 – порівняння 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 PIC12 / 16/18
Мініатюрність	Microchip PIC 10/12, Atmel ATtiny
Універсальність	Atmel ATmega, Microchip PIC 18, Silicon Laboratories C8051F
Кріпостікість	Texas Instruments TMS320F, Atmel AT91SO, Atmel ATXmega
Електромагнітна сумісність	STMicroelectronics STR71xF

Відповідно до таблиці 3.1 необхідно вибрати МК з найкращими

характеристиками для прийому, обробки, виведення і передачі індикаторів. Тому вибираємо Мікроконтролер Atmel.

Платформ Arduino побудовані на базі МК Atmel. Тому в якості МК обираємо готову платформу Arduino.

Розглянемо порівняльний аналіз платформ у таблиці, щоб вибрати платформу Arduino.3.2. [6]

Таблиця 3.2 - Порівняння платформ Arduino

Модель	МК	Напруга живлення (В)	Flash-пам'ять (Кб)	Частота (МГц)	Габарити (мм)
Fio	Atmega328	3,3	32	8	6.6x2.8
Nano	Atmega328	5	32	16	45x18
Mini	Atmega328	5	32	16	50x18
Micro	Atmega32u4	5	32	16	48x18

Обираємо готову платформу Arduino Nano. Враховуємо при виборі такі показники: мініатюрність, тактову частоту 16 МГц, флеш-пам'ять 32Кб, швидку роботу мікроконтролера Atmega328, популярність.

3.2. Обґрунтування типів датчиків

Планується вимірювати такі показники, як температура, вологість, тиск, якість повітря та вміст твердих частинок у повітрі. Для вимірювання кліматичних параметрів пропонується використати барометричний датчик, який об'єднує всі три показники. Це зменшить кількість використовуваних виводів для Arduino Nano, що підвищить надійність системи.

Датчик атмосферного тиску має бути сумісним з Arduino Nano. Пропонується використовувати інтегрований датчик фірми Bosch

Sensortec — BME280. Ця мікросхема об'єднує в собі датчик атмосферного тиску, термометр та датчик вологості повітря.

Для вимірювання вмісту різних газів, таких як оксид вуглецю (CO), діоксид азоту (NO₂) та аміак (NH₃), необхідно використати газоаналізатор. Пропонується датчик якості повітря MICS-6814, який сумісний з Arduino Nano.

Для знаходження вмісту твердих частинок у повітрі планується використати сучасний датчик пилу PPD42, який також сумісний з Arduino Nano.[9]

3.3.Опис пристроїв для відображення показників

Для відображення кліматичних показників, а також показників якості повітря та вмісту твердих частинок необхідно використати відповідний елемент. В якості таких елементів можна використовувати світлодіодні індикатори або дисплей. Враховуючи скільки символів у показах, доцільніше застосувати дисплей.

Дисплей повинен бути сумісним з Arduino Nano і потребувати мінімальної кількості виводів для підключення. З огляду на кількість показників, пропонується використати сучасний дисплей LCD 2004, який має 20 символів у рядку та 4 рядки загалом.

Підключення дисплея LCD 2004 можна зробити як послідовно, так і паралельно. Щоб зменшити кількість використовуваних виводів Arduino Nano, рекомендовано обрати паралельне підключення через інтерфейс I2C.[10]

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3.4. Розробка структурної схеми

На основі обраних складових системи будуємо структурну схему вимірювальної системи рис.3.2.

Складові в схемі наступні:

- мікроконтролер;
- датчик атмосферного тиску;
- датчик пилу;
- датчик якості повітря;
- блок живлення;
- кнопка;
- дисплей.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.2 – Структурна схема вимірювальної системи
4.РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1.Вибір типу мікроконтролеру

Arduino Nano – одна із найпопулярніших моделей плат сімейства Ардуїно. Є налагоджувальною платою на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega328p (є версії на ATmega168p) сімейства AVR – досить старе, але добре збалансоване за характеристиками та комфортне в освоєнні та програмуванні. На базі цього ж МК існують плати Arduino UNO і Arduino Pro Mini, але вони дуже поступаються моделі Nano у зручності використання: UNO має вкрай невдалу конструкцію (не вставляється в макетну плату) і на ній виведені не всі аналогові піни мікроконтролера, незважаючи на величезний розмір плати. Pro Mini вимагає наявності зовнішнього USB

програматора і має незручне розташування пінів для роботи на макетній платі.

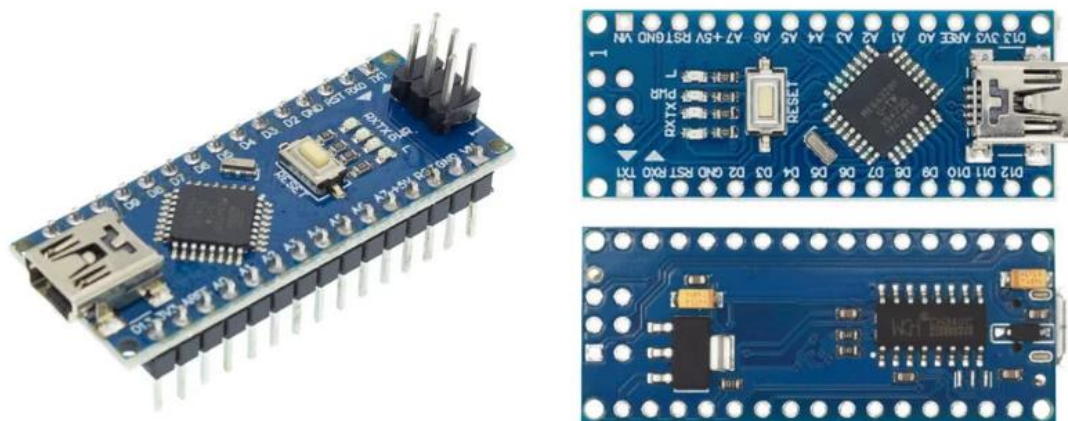


Рис. 4.1. Корпус Arduino NanoI

Характеристики Arduino Nano:

Мікроконтролер	ATmega328
Розрядність	8 bit
Напруга живлення	5В
Вхідна напруга	7-12В
Вхідна напруга (гранична)	6-20В;
Цифрові виводи I/O	14 ліній (6 їх – ШІМ)
Аналогові входи	8 (АЦП)
Максимальний струм на виведенні I/O	40 мА (для кожного виводу)
Максимальний струм на виведенні 3,3V	→ 50 мА

Для підключення до комп'ютера знадобиться USB-кабель – miniUSB, який є в комплекті. Виходячи з технічних характеристик, оберемо Arduino Nano v.3 (мікроконтролер – ATmega328). [11]

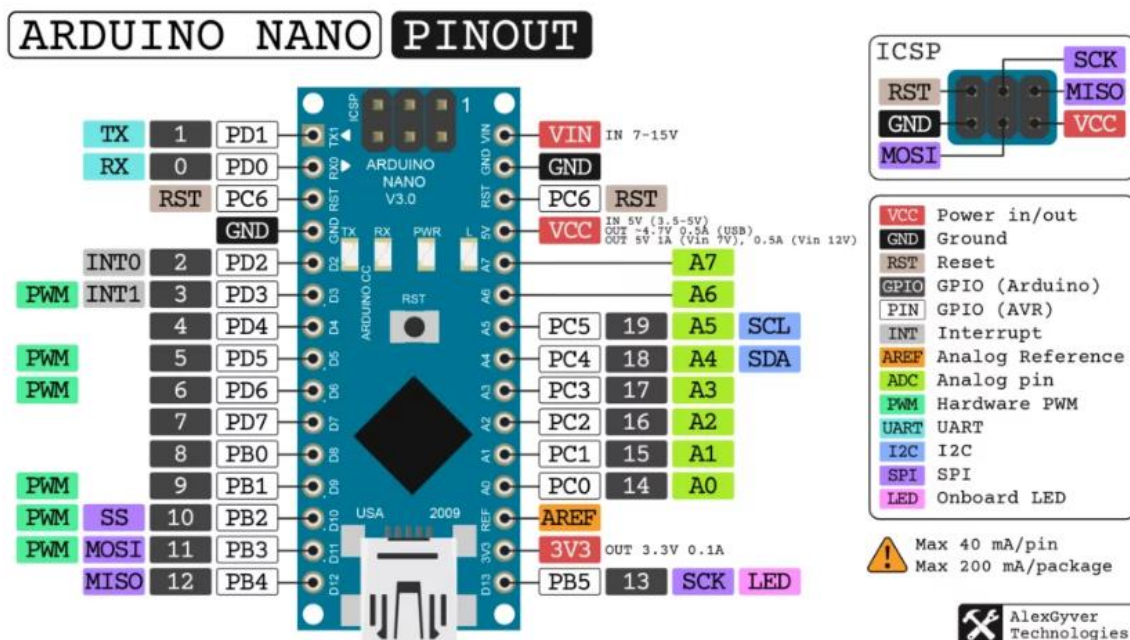


Рис. 4.2. Розпіновка виводів Arduino Nano

Arduino Nano може житися через USB-порт: При підключенні до комп'ютера або адаптера живлення через кабель USB-miniUSB, напруга 5 В подається безпосередньо на плату, забезпечуючи живлення мікроконтролера і всіх підключених компонентів.

Також мікроконтролер ATmega168 має 16 кілобайтів флеш-пам'яті, з яких 2 кілобайти зарезервовані для завантажувача. Ця пам'ять використовується для зберігання прошивки, програмного коду та даних. Крім того, мікроконтролер оснащений 1 кілобайтом SRAM (статичної оперативної пам'яті) для тимчасового зберігання змінних і оперативних даних під час виконання програм. Також є 512 байт EEPROM (електрично стираючої програмованої постійної пам'яті), яка дозволяє зберігати дані, що не втрачаються при відключенні живлення, наприклад,

налаштування або конфігураційні параметри.

Ці характеристики роблять ATmega168 достатньо потужним мікроконтролером для широкого спектра завдань, включаючи керування датчиками, обробку сигналів, комунікацію з іншими пристроями та виконання складних обчислень. Arduino Nano на базі ATmega168 є чудовим вибором для невеликих та середніх проектів, де важливі компактні розміри і достатня продуктивність.

4.2. Вибір датчика

В якості датчика температури, вологості та тиску було обрано датчик BME280, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 4.3



Рис.4.7. Датчик температури, вологості та тиску BME280

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;

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- 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 датчика BME280 через модуль I2C до Arduino представлена на рис.4.4. [14]

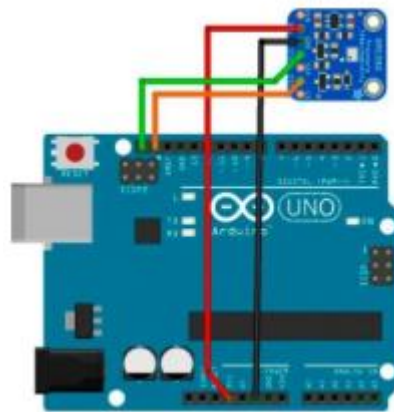


Рис.4.4. Схема підключення BME280 через I2C до Arduino Uno

Мікросхема MICS-6814 використовується датчиком вібрації якості повітря рис.4.5.

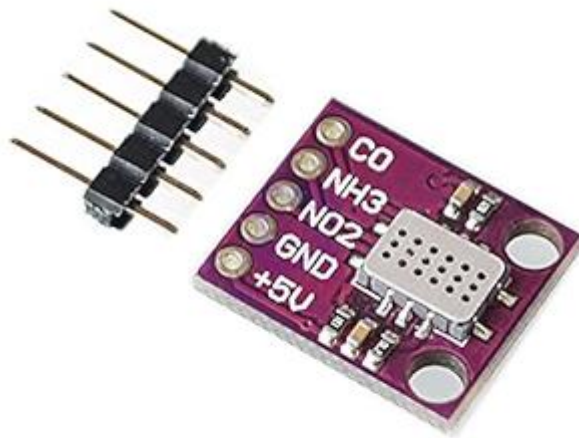


Рис.4.5. Датчик якості повітря MICS-6814

Це надійний MEMS-датчик для виявлення забруднень від автомобільних вихлопів і сільськогосподарських/промислових запахів.

Структура чіпа датчика кремнію складається з точної мікромеханічної діафрагми та вбудованого нагрівального резистора з чутливим шаром нагорі. Три окремі газові чутливі елементи інтегровані. Він може виявляти вихлопні, промислові та сільськогосподарські відходи у суворих умовах.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення модуля: 4.9В ~ 5,1 В;
- Температура та вологість робочого середовища: -30 ~ 85 °С, 5 ~ 95% відносної вологості;
- Розмір модуля: 16,9 мм * 14,1 мм * 3,2 мм з двома монтажними отворами М3.

Схема підключення модуля MICS-6814 до Arduino Uno представлена на рис.4.6.

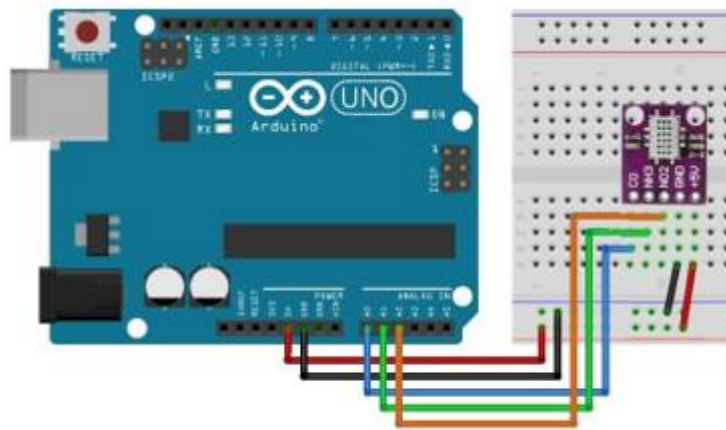


Рис.4.6. Схема підключення MICS-6814 до Arduino Uno

Діапазон виявлення газу:

- Окис вуглецю CO 1 - 1000ppm;
- Діоксид азоту NO₂ 0,05-10ppm;
- Етанол C₂H₅OH 10 - 500ppm;
- Водень H₂ 1 - 1000ppm;
- Аміак NH₃ 1 - 500ppm;
- Метан CH₄ > 1000ppm;
- Пропан C₃H₈ > 1000ppm;
- Iso-Бутан C₄H₁₀ >1000ppm.[15]

Модуль Grove PPD42NS – Dust Sensor дає гарне уявлення про якість повітря у навколишньому середовищі шляхом вимірювання концентрації пилу. Рівень твердих частинок (PM level) у повітрі вимірюється шляхом підрахунку часу перебування у малому імпульсі (LPO time) у заданий час. Час LPO пропорційно концентрації PM. Цей датчик може забезпечити надійні дані для систем очищення повітря, він реагує на діаметр PM 1 мкм.

Модуль PPD42NS представлений на рис.4.7.



Рис.4.7. Датчик пилу PPD42NS

Датчик використовує метод підрахунку для вимірювання концентрації пилу, а не зважування, а показник pcs/L або pcs/0.01cf. Рекомендації: встановлюйте датчик у вертикальному положенні, при використанні вперше потрібно 3 хвилини попереднього нагріву, не змінюйте стандартну конфігурацію, це може призвести до пошкодження датчика.

Особливості:

- 1) Стабільне та чутливе виявлення сигаретного диму та пилу всередині приміщень;
- 2) Повітря самоусмоктується механізмом генерації повітря з вбудованим нагрівачем;
- 3) Висока чутливість протягом тривалого часу;
- 4) Подвійний вихід для частинок 1 мкм та 2.5 мкм (приблизно);
- 5) Сумісний з Grove інтерфейс (додатковий провід із роз'ємом).

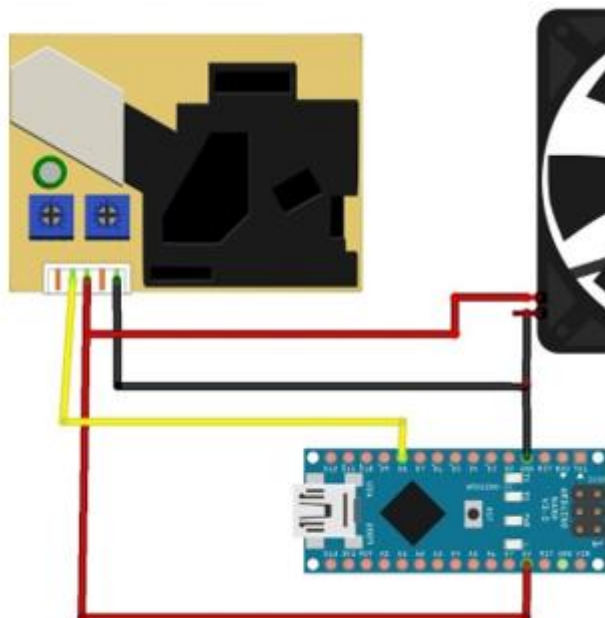


Рис.4.8. Схема підключення PPD42NS до Arduino Nano

Технічні характеристики:

- Робоча напруга: 4.75...5.75V;
- Споживаний струм у режимі очікування: 90 мА;
- Визначається діапазон концентрації: 0~28.000 pcs/liter / 0 ~ 8000 pcs/0.01cf;
- Дрібнодисперсні зважені частинки (PM_{2,5}): 5 мкг/м³ середньорічне значення, 15 мкг/м³ середньодобове значення;
- Тверді крупнодисперсні частинки (PM₁₀): 15 мкг/м³ середньорічне значення, 45 мкг/м³ середньодобове значення;
- Робоча температура: 0 ... +45 ° C;
- Вихід: Negative Logic, Digital output, High: вище 4.0 В (Rev.2), Low: нижче 0.7 В;
- Виявлення діаметра частинок: >, 1 мкм;
- Діапазон вологості: 95% rh або менше;
- Розміри: 59x 45 x 22 мм.[16]

4.3.Вибір пристроїв для відображення показників

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Для виводу показників викривується на дисплей. Використовується дисплей в 20 символів на 4 рядки. Для економії виводів підключення до Arduino Nano викривується послідовне підключення через інтерфейс I2C (рис.4.9).

LCD екран 20 символів 4 рядки з управлінням по шині I2C (TWI, PC), що дуже зручно при нестачі вільних висновків на Arduino, достатньо підключити всього два дроти і можна повністю керувати дисплеєм.

Перед початком роботи необхідно налаштувати яскравість дисплея. Тому потрібно підкрутити яркість з другого блоку плати.



Рис. 4.9.LCD дисплей 20x4 шина I2C синій:

а) зовнішня сторона, б) зворотна сторона

LCD дисплей 2004 I2C з синім підсвічуванням – це недорогий екран типу LCD для виведення команд та тексту у візуальний вигляд. Такий дисплей чудово поєднується з різними платами розробки Raspberry Pi, та багатьма іншими, і стане чудовим доповненням Вашого роботизованого пристрою.

Дисплей має жовте 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

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

сумісного чіпа з HD44780, це дає можливість працювати з ним через бібліотеку.

Схема підключення до Arduino Uno по інтерфейсу I2S представлена на рис.4.10.

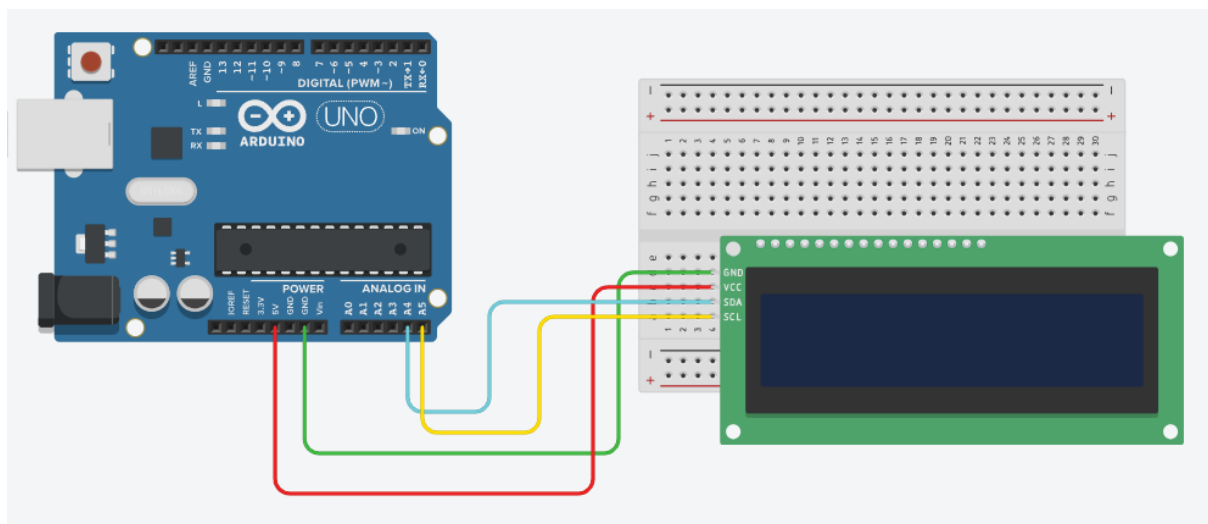


Рис.4.10. Схема підключення до Arduino Uno по інтерфейсу I2C

Ця модель має вбудований потенціометр для регулювання контрастності та яскравості дисплея для кращого огляду. Інтенсивність підсвічування безпосередньо не регулюється через інтерфейс I2C, проте на платі I2C є перемичка, яка подає живлення на підсвічування. Цю перемичку можна зняти та подати напругу на штир роз'єму, найближчий до маркування світлодіода на платі, щоб забезпечити живлення підсвічування окремо.

Характеристики:

- Тип: I2C дисплей;
- Колір підсвічування: синій;
- Символи: 20 знаків x 4 рядки
- Вхід живлення постійного струму: 5V;
- Робочий струм (загальний): 40 мА;
- Робочий струм (тільки підсвічування): 30 мА;
- Розмір дисплея (друкована плата): 99 x 60 мм;

- Висота дисплея з друкованою платою: 21 мм;
- Лицьова панель дисплея: 97 x 40 мм.[17]

4.4. 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 сумісню з мікроконтролером ATmega328 (рис.4.13).



Рис. 4.13. Кнопка тактова SPST-NO

Технічні характеристики:

- Тип перемикача мікроперемикач: ТАСТ;
- Контакти: SPST-NO;
- Кількість можливих положень: 2;
- Кількість фіксованих положень: 1;
- Навантаження контакту: 0.05A/5B;
- Монтаж: SMT;
- Підсвічування: LED;
- Колір підсвічування: жовтий;
- Сила перемикання: 4Н;
- Розміри корпусу: 9.85x9.85мм;
- Висота кнопки: 3.95мм;
- Алгоритм роботи: OFF-(ON);

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- Тип клавiшi: кругла;
- Крок висновкiв: 7.05мм;
- Робоча температура: -40...95°C;
- Виводи: пiд пайку;
- Опiр контакту макс.:100мОм;
- Серiя виробника: 3006;
- Ресурс: 500000 циклiв;
- Покриття контакту: позолота;
- Клас захисту: IP40;
- Вiдстань мiж рядами: 3.05мм.[18]

4.5.Вибiр блока живлення

Зведемо всi обранi складовi системи в таблицю для аналізу живлення табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Живлення елементiв схеми

Назва компоненту	Живлення
Arduino Nano	5В, 60мА
BME280	1,8-3,6 В
PPD42NS	4,75-5,75 В
MICS-6814	4,9-5,1 В
LCD 2004	5В
Кнопка SPST-NO	5В

В якостi вторинного джерела живлення пропонується використати блок живлення унiверсальний 5В 2А, роз'єм 5.5х2.5мм AksPower, вiн зображений на рисунку 4.12.



Рис. 4.12. Блок живлення 5В 2А AksPower

Характеристики:

- Вх. напруга: 90 - 264 В;
- Вих. напруга: 5 В;
- Потужність: 10 Вт;
- Вих. сила струму: 2 А;
- Вихідний роз'єм: 2.5 x 5.5;
- Довжина / Тип кабелю: 1.4 м;
- Захист КЗ, перевантаження, перенапруга;
- Розміри: 64 x 30 x 45 мм;
- Вага; 90 г. [19]

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.6. Принципова електрична схема

Принципова електрична схема представлена на рис.4.13.

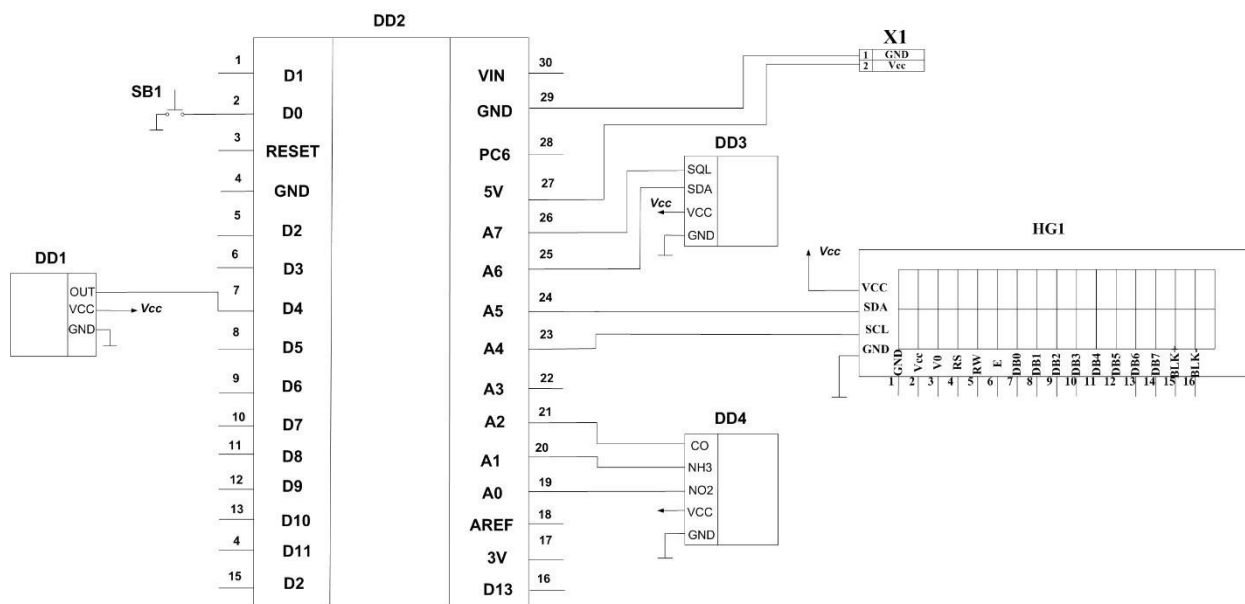


Рис. 4.13. Принципова електрична схема системи

Вона має наступні складові:

DD1	датчик пилу PPD42NS
DD2	Arduino Nano
DD3	барометричний датчик BME280
DD4	датчик якості повітря MICS-6814
HG1	ЖК-дисплей LCD-2004B з I2C
SB1	Мікроперемикач SPST-NO
X1	роз'єм для блоку живлення AksPower 5B 2.4A

4.7. Розрахунок похибок вимірювання температури

Проведено десять повторних вимірювань датчиком пилу PPD42NS. Визначимо вміст твердих частинок в повітрі. Вимірювання вмісту

твердих крупнодисперсних частинок (PM10) згідно технічних характеристик в діапазоні: 15 мкг/м³ середньорічне значення, 45 мкг/м³ середньодобове значення.

Отримали наступну вибірку $V = (4.92; 5.03; 4.95; 5.06; 5.05; 4.96; 4.96; 5.04; 4.98; 4.94)$ мкг/м³.

За відомими формулами шукаємо:

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

$$\Delta \bar{V} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \cong 5,002$$

2) похибки повторних вимірювань ΔV_i та ΔV^2

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

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

№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

4) випадкову похибку вимірювання за (4.2).

З табл. 4.1 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (3.17) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 8} \sum_{i=1}^{10} (\bar{V} - V_i)^2} \approx 0,058;$$

та знайдемо випадкову похибку:

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

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 5.2.)

4) знаходимо похибку приладу за (3.27):

$$\Delta_{\text{пр}} V = \frac{1}{300} t_p k V_{rp} ;$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 3.3 знайдемо $t_{0,95} = 2,0$.

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

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

5) похибку заокруглення за (3.28): $\Delta R_3 = P \frac{h}{2}$.

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,05.

Отже:

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

6) загальну абсолютну похибку (3.21):

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

7) 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 $\Delta \bar{V}$:

$$\Delta \bar{V} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \Delta V_i \cong 5,055 \text{ мкг/м}^3.$$

Запишемо кінцевий результат:

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

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

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 увімкнення вимірювального пристрою.

Наступним кроком є ініціалізація, яка відповідає за підключення датчиків та інших компонентів вимірювальної системи до відповідних контактів мікроконтролера.

Блок підключення бібліотек завантажує необхідні бібліотеки для роботи з різними компонентами системи: дисплеєм, барометричним датчиком, датчиком формальдегіду, датчиком часток пилу та датчиком вуглекислого газу.

Блок опису змінних визначає змінні, які будуть використовуватися в програмному коді для отримання, зберігання та обробки даних з датчиків. Дані можуть надходити в різних одиницях виміру, тому їх необхідно конвертувати в систему СІ.

Блок опитування перевіряє стан кнопки: якщо кнопка натиснута, вимірювальна система працює в циклі по 30 секунд. Якщо кнопка не натиснута, система припиняє роботу.

Блок циклу використовується для опитування датчиків кожні 30 секунд. Цей блок буде повторюватися кожні 30 секунд, доки система не буде вимкнена кнопкою вимикання. Він замикає процес опитування всіх датчиків, розташування даних на дисплеї та виведення оброблених даних на дисплей.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



Рисунок 5.1 – Блок-схема алгоритму роботи системи

5.2. Розробка програми

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. 5.2.

```
meteoClock_v1.5 | Arduino 1.8.9
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

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

// пины
#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.
avrduide: ser_open(): can't open device "\\.\COM5": 00 000000 0000 00000000 0000.

80 Arduino/Genuino Uno на COM5

Рис. 5.2.Результат компіляції скетча в Arduino IDE

6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка друкованої плати

Друкована плата, панель або пластина, що складається з одного або пари струмопровідних малюнків. Вони розташовуються на поверхні діелектричної основи. У деяких випадках використовується система провідних малюнків, що знаходяться на поверхні та в обсязі діелектричної основи. Основне призначення друкованих плат – механічне кріплення квантової електроніки та електронної техніки, а також їхнє електричне з'єднання.

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 – 87 x 67 мм.

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

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Основні поняття надійності. Надійність - це властивість технічних систем виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, зберігання і транспортування

Надійність включає в себе такі властивості ТС, як: безвідмовність, довговічність, збережуваність і ремонтпридатність

Безвідмовність – властивість ТС безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання

Довговічність – властивість ТС зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонтів.

Збережуваність – це властивість ТЗ безперервно зберігати справний та працездатний стан протягом і після зберігання та транспортування.

Збережуваність характеризується здатністю об'єкта протистояти негативному впливу умов зберігання та транспортування його на безвідмовність та довговічність. Тривале зберігання та транспортування об'єктів можуть зменшити їх надійність при подальшій роботі в порівнянні з об'єктами, які не піддаються зберігання та транспортуванню шляхом проведення ремонту та технічного обслуговування.

Ремонтпридатність – властивість ТЗ, що полягає у її пристосованості до попередження та виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень та усунення їх наслідків шляхом проведення ремонту та технічного обслуговування.

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

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

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:

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

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

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):

$$\lambda = 67,25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

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
0,9833	0,9669	0,9508	0,9350	0,8741	0,7144	0,5839	0,5104

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

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

Підставляючи дані в формулу (6.4)

одержимо $T = (67,25 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14\,869,23$ годин.

Таблиця 6.2 – Перелік комплектуючих виробів

Поз	Найменування	Кіл	$\lambda_{oi} \times 10^6 \text{ год}^{-1}$	Формула розрахунку	Коефіцієнти				$\sum \lambda_i \times 10^6 \text{ год}^{-1}$
1	Мікросхеми				a1	a2	a4	a6	
	Arduino Nano	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				a1	a2	a4	a6	
	PPD42NS	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
	MICS-6814	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				a1	a2	a4	a6	
	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				a1	a2		a6	
	SPST-NO	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	Блок живлення 5В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
	Разом								67,25

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

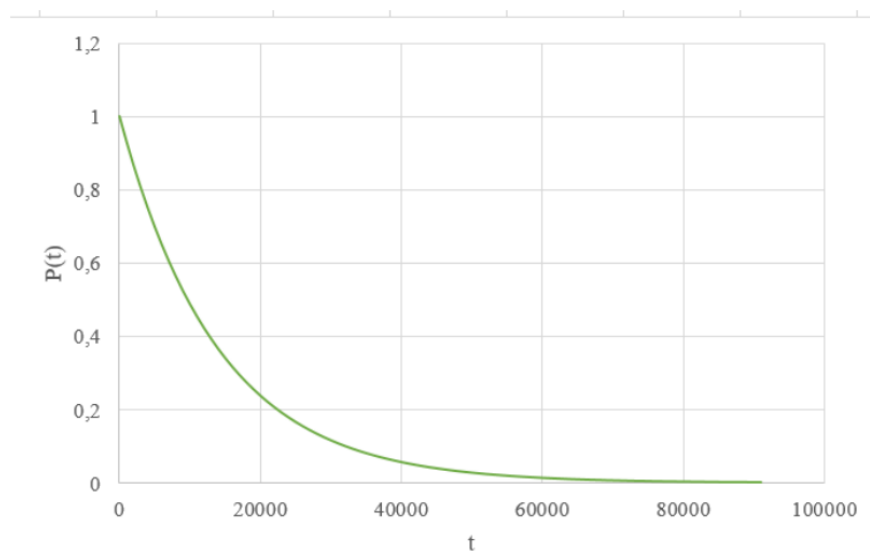


Рис. 6.3 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

7. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА 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.

Аналіз ризиків та небезпек є важливим аспектом розробки та експлуатації комп'ютеризованої системи моніторингу стану повітря в промисловій зоні. Розуміння можливих ризиків та небезпек дозволяє забезпечити безпеку як самої системи, так і персоналу, що її обслуговує, а також зменшити ймовірність виникнення аварійних ситуацій. У цьому розділі розглядаються основні ризики та небезпеки, що можуть виникнути під час експлуатації системи, а також вимоги до безпеки для їх запобігання.

Одним з головних ризиків є технічні несправності компонентів системи. Це можуть бути відмови сенсорів, процесорів, модулів передачі даних або системи живлення. Технічні несправності можуть призвести до неправильної роботи системи, втрати даних або навіть повної відмови системи. Для мінімізації цього ризику необхідно використовувати надійні компоненти з високими показниками довговічності та проводити регулярне технічне обслуговування, включаючи перевірку та калібрування сенсорів, перевірку стану модулів та системи живлення.

Іншим важливим ризиком є зовнішні впливи, такі як зміни температури, вологості, атмосферного тиску, механічні вібрації та електромагнітні завади. Ці фактори можуть впливати на точність вимірювань та стабільність роботи компонентів системи. Для захисту від зовнішніх впливів необхідно використовувати захисні корпуси та екрани, що забезпечують захист сенсорів, процесорів та інших компонентів. Крім того, важливо проводити тестування на стійкість до зовнішніх впливів та враховувати результати під час проектування системи [17].

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Ще одним ризиком є можливість несанкціонованого доступу до системи або даних. Кібербезпека є критичним аспектом для комп'ютеризованої системи моніторингу, оскільки несанкціонований доступ може призвести до втрати або зміни даних, а також до порушення роботи системи. Для забезпечення кібербезпеки необхідно використовувати сучасні методи захисту, такі як шифрування даних, аутентифікація користувачів та контроль доступу. Крім того, важливо проводити регулярні перевірки на вразливості та оновлювати програмне забезпечення для забезпечення захисту від нових загроз.

Експлуатація системи у промисловій зоні також пов'язана з ризиками для здоров'я та безпеки персоналу. Це можуть бути ризики, пов'язані з електричними ударами, механічними пошкодженнями або впливом шкідливих речовин. Для забезпечення безпеки персоналу необхідно дотримуватися вимог охорони праці, використовувати захисні засоби та проводити навчання персоналу з безпечної експлуатації системи. Важливо забезпечити наявність інструкцій з експлуатації та обслуговування системи, що включають інформацію про потенційні ризики та заходи безпеки.

Окремим аспектом є ризики, пов'язані з аварійними ситуаціями, такими як пожежі, вибухи або витoki небезпечних речовин. Ці ситуації можуть призвести до пошкодження системи та створити загрозу для здоров'я персоналу та навколишнього середовища. Для мінімізації цих ризиків необхідно забезпечити наявність систем пожежної безпеки, включаючи датчики диму та вогню, автоматичні системи гасіння пожеж та аварійні виходи. Важливо також розробити плани евакуації та навчити персонал діям у разі виникнення аварійних ситуацій.

7.2. Важливі вимоги для безпеки

Вимоги до безпеки при експлуатації системи включають дотримання стандартів та нормативних документів, що регулюють безпеку електричних та електронних систем. Це включає стандарти з електричної безпеки, захисту

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від вибухів, кібербезпеки та охорони праці. Дотримання цих стандартів дозволяє забезпечити високий рівень безпеки та мінімізувати ризики під час експлуатації системи.

Електрична безпека є критичним аспектом, що включає захист від коротких замикань, перевантажень та електричних ударів. Для цього необхідно використовувати відповідні запобіжники, автоматичні вимикачі та заземлення. Важливо забезпечити правильне підключення всіх компонентів системи та проводити регулярні перевірки на наявність електричних дефектів.

Захист від вибухів є важливим аспектом для систем, що експлуатуються у середовищах з підвищеною небезпекою вибухів, таких як промислові зони з наявністю легкозаймистих речовин. Для цього необхідно використовувати компоненти, що відповідають вибухозахищеним стандартам, а також забезпечити наявність систем вентиляції та контролю концентрацій небезпечних речовин.

Кібербезпека включає захист даних та системи від несанкціонованого доступу, хакерських атак та інших кіберзагроз. Для цього необхідно використовувати шифрування даних, багатофакторну аутентифікацію, контроль доступу та регулярні оновлення програмного забезпечення. Важливо також проводити регулярні перевірки на вразливості та навчання персоналу основам кібербезпеки.

Охорона праці включає забезпечення безпеки персоналу під час експлуатації та обслуговування системи. Це включає використання захисних засобів, таких як рукавички, окуляри, каски та інші засоби індивідуального захисту. Важливо також забезпечити наявність інструкцій з безпечної експлуатації системи, проводити регулярні тренінги та навчання персоналу.

Для забезпечення безпеки при експлуатації системи важливо також проводити регулярні аудити безпеки. Це включає перевірку дотримання стандартів та нормативних документів, оцінку ризиків та розробку заходів

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для їх мінімізації. Аудити безпеки дозволяють виявляти потенційні проблеми та вживати заходів для їх усунення до того, як вони вплинуть на роботу системи.

Важливим аспектом забезпечення безпеки є також підготовка до надзвичайних ситуацій. Це включає розробку планів евакуації, навчання персоналу діям у разі виникнення аварійних ситуацій та забезпечення наявності необхідного обладнання для ліквідації наслідків аварій. Підготовка до надзвичайних ситуацій дозволяє мінімізувати їх вплив на роботу системи та забезпечити безпеку персоналу [1].

7.3. Розроблення комплексних заходів охорони праці

Комплексні заходи з охорони праці – це заходи щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, підвищення наявного рівня охорони праці, запобігання випадкам виробничого травматизму, професійного захворювання, аваріям і пожежам.

Ці заходи можуть включати:

1) Навчання та інструктаж: Регулярне проведення навчання та інструктажів з охорони праці для працівників, включаючи навчання з використання засобів індивідуального захисту та надання першої медичної допомоги.

2) Оцінка ризиків: Проведення регулярної оцінки ризиків для виявлення потенційних небезпек на робочому місці та розробка заходів для їх мінімізації або усунення.

3) Засоби індивідуального захисту: Забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту, такими як захисні каски, окуляри, респіратори, рукавиці тощо.

4) Вентиляція та контроль за чистотою повітря: Встановлення систем вентиляції та фільтрації для забезпечення чистоти повітря у виробничих приміщеннях, особливо там, де використовуються шкідливі речовини.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

5)Технічне обслуговування обладнання: Регулярне технічне обслуговування та перевірка обладнання для запобігання аварійним ситуаціям та забезпечення його безпечної експлуатації.

6)Ергономіка робочого місця: Організація робочих місць з урахуванням ергономічних вимог для зниження фізичного навантаження на працівників та запобігання професійним захворюванням.

7)Психологічна підтримка: Надання психологічної підтримки та консультацій для працівників для зменшення стресу та запобігання професійному вигоранню.

8)Пожежна безпека: Встановлення систем протипожежного захисту, регулярне проведення тренувань з евакуації та забезпечення підприємства засобами пожежогасіння.

Важливим аспектом є також моніторинг та контроль виконання заходів з охорони праці, що дозволяє своєчасно виявляти порушення та вживати заходів для їх усунення. Комплексні заходи з охорони праці спрямовані на створення безпечних та здорових умов праці для всіх працівників, що, у свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності праці та загальному покращенню робочого середовища.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі була створена комп'ютеризована система для вимірювання параметрів і моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста.

У першому розділі було сформульовано технічне завдання.

У другому розділі розглянуті існуючі системи вимірювання параметрів та моніторингу стану повітря в промисловій зоні міста .

У третьому розділі було обґрунтовано вибір елементів системи та побудовано її структурну схему. Комп'ютеризована система складається з мікроконтролера, датчика пилу, датчика якості повітря, барометричного датчика, дисплея, кнопки керування та блока живлення.

У четвертому розділі були обрані компоненти системи та створена принципова схема. Також були розраховані похибки вимірювання вмісту твердих частинок у повітрі.

У п'ятому розділі розроблено алгоритм роботи системи та відповідну програму.

У шостому розділі було спроектовано друковану плату та прораховані показники надійності системи.

У сьомому розділі розглянуто питання охорони праці в промисловості та методи нормування шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атмосферний тиск і його вимірювання. Барометри [Електронний ресурс]– Режим доступу: <https://probapera.org/publication/13/56036/atmosfernyj-tysk-barometry.html>.
2. Барометр MINGLE BKT381 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.joom.com/uk/products/611647446df02501ee0b3f88>.
3. Барометр Altitude (Delite) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://shop.barkas.net/product/altitude>.
4. Настінний механічний барометр Baro 132ТНВ [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://foster.com.ua/nastennyi-barometr-baro-132thb>.
5. Ручний барометр testo 511 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.testo.kiev.ua/ru/testo-511.html>.
6. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи : підручник. У 2 ч. Ч. 1. Мікропроцесорні системи/ А. О. Новацький. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 361с.
7. Що таке датчик тиску та які є види датчиків тиску [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://europromtrading.com.ua/shcho-take-datchik-tysku-ta-yaki-je-vidi-datchikov-tysku>.
8. Дисплей Засоби відображення інформації. Частина 1 : навчальний посібник / Л. В. Крилик, О. О. Селецька, І. В. Сухоцька. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 82 с.
9. Основи електроніки : навч. посіб. / А. С. Васюра, Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 197 с. 10.
10. Види кнопок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://001.com.ua/uk/knopky-keruvannya>.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

11. Структурна схема [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/7bykov_metodvkaз_vykonannya_bakalavr_skyh_dyplomnyh_robit/3.2.2.html.
12. Мікроконтролер Atmega328 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fd24.com.ua/ua/p1044866005-chip-atmega328p-dip.html>.
13. Дисплей LCD1602 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p1433688907-displej-lcd-1602.html>.
14. Барометр BMP180 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod664-barometr-bmp180-datchik-atmosfernogo-davleniya>.
15. Підключення барометру BMP180 до мікроконтролеру [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.avislab.com/esp8266-nodemcu-i2c-bme280>.
16. Жовтий світлодіод моделі L-1154GT від компанії Kingbright [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://m-teh.com.ua/svetodyod-3mm-krasnyi-dyffuznyi>.
17. Кнопка тактова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://m-teh.com.ua/knopka-taktova-tact-12x12-11.0>.
18. Акумулятор на 4,8 V вольт В 2300 Mah Ni-Mh [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/p2137723616-akkumulyator-dlya-igrushek.html>.
19. EasyEDA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://easyeda.com>.
20. Дизайн друкованих плат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.fmuser.net/content/?17004.html>.
21. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
22. Види інструктажів з охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vinetc.org.ua/novini-ta-podii/instrukta_zhi-pitan.

23.Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» // Розробники: Подчашинський Юрій, Чепюк Ларіна, Петросян Руслан, 2021. – 60с.

					МММТ.480.013.018 – ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

