

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему:

**Комп'ютеризована система для вимірювання запиленості
повітря у промисловій зоні міста**

Виконав: студентка 4 курсу, групи МТ-4
напряму Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Коваль Анастасія Євгеніївна

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор каф. ІВТ

Подчашинський Юрій Олександрович

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____.

(прізвище та ініціали)

Житомир 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

« 4 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Коваль Анастасії Євгеніївни _____

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система для вимірювання запиленості повітря у промисловій зоні міста

Затверджена Наказом по університету від « 4 » квітня 2025 р. № 131/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «11» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: вивід значень запиленості на дисплей, включення та виключення системи, світлова сигналізація для критичних та нормальних значень, точність системи не менше 0,5 мкг/м³, час безвідмовної роботи системи не менше 14 000 годин

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
Аналіз існуючих приладів вимірювання запиленості, розробка структурної схеми, розробка принципової схеми, розробка конструкторської частини, розробка блок-схеми алгоритма та програми системи, розрахунок точнісних та надійнісних показників системи, розгляд охорони праці

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

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму, 3Д креслення корпусу

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-7	Подчашинський Ю.О.		

7. Дата видачі завдання 4 квітня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих пристроїв моніторингу пилу	4.04.2025-19.04.2025	
2	Розробка структурної системи для вимірювання запиленості повітря	10.04.2025-20.04.2025	
3	Розробка принципової системи для вимірювання запиленості повітря	21.04.2025-22.04.2025	
4	Опис обраних складових системи	23.04.2025-25.04.2025	
5	Розробка блок-схеми та програми системи	10.05.2025-12.05.2025	
6	Розрахунок точності та надійності системи	13.05.2025-14.05.2025	
7	Побудова 3Д моделі корпусу	26.05.2025-29.05.2025	
8	Оформлення презентації	2.06.2025-10.06.2025	

Студент

(підпис)

Коваль А.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Подчашинський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система для вимірювання запиленості повітря у промисловій зоні міста» містить 64 сторінки, 24 рисунки, 1 таблиця, 13 формули, 21 джерело.

В роботі проводиться обґрунтування актуальності створення системи для вимірювання запиленості повітря у промисловій зоні міста.

Розроблена структурна, функціональна та принципова схеми система вимірювання запиленості повітря. На базі принципової схеми розроблений 3-D модель корпусу системи. Прорахована надійність системи.

Розроблена блок-схема алгоритму роботи програми та відповідна програма.

Комп'ютеризована система вимірювання запиленості повітря пропонує автоматизований та достовірний метод контролю запиленості, що має критичне значення для екологічної безпеки та покращення умов життєдіяльності в промислових зонах.

Ключові слова: датчик пилу, запиленість повітря, мікроконтролер, комп'ютеризована вимірювальна система.

ANNOTATION

The bachelor's thesis on "Automated bird-catching system" contains 53 pages, 24 figures, 5 tables, 4 formulas, 23 sources.

This work substantiates the relevance of creating an automated system for measuring air dust concentration in an industrial zone of the city.

The structural, functional, and schematic diagrams of the air dust concentration measurement system have been developed. A printed circuit board has been designed based on the schematic diagram. The reliability of the system has been calculated.

A flowchart of the program's operation algorithm and the corresponding program have been developed. The computerized air dust measurement system offers an automated and reliable method for dust control, which is critical for environmental safety and improving living conditions in industrial areas.

Keywords: dust sensor, air dustiness, microcontroller, computerized measuring system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1. Призначення та область застосування.....	8
1.2. Умови експлуатації	8
1.3. Технічні параметри системи.....	9
1.4. Вимоги до конструктивного оформлення.....	10
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	13
2.1. Загальні положення щодо якості та запиленості повітря	13
2.2. Аналіз існуючих систем для виявлення запиленості повітря.....	14
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ.....	22
3.1. Обґрунтування мікроконтролеру.....	22
3.2. Обґрунтування датчика пилу.....	23
3.3. Обґрунтування дисплея.....	24
3.4.Обґрунтування кнопки.....	25
3.5.Обґрунтування індикації.....	26
3.6.Обґрунтування акумулятора.....	27
3.7. Структурна схема.....	29
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	30
4.1. Вибір мікроконтролеру.....	30
4.2. Вибір датчика пилу.....	31
4.3.Вибір дисплея.....	33
4.4.Вибір кнопок та індикації.....	34
4.5. Вибір акумулятора.....	36
4.6. Побудова принципово-електричної схеми.....	38
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	42
5.1. Розробка алгоритму	42
5.2. Розробка програми.....	43
6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА.....	47
6.1.Розробка корпусу системи.....	47
6.2. Розрахунок надійності системи.....	50
6.3. Розрахунок похибок вимірювання	53
7.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
7.1. Охорона праці.....	57
7.2. Розробка заходів з охорони праці.....	58
7.3. Пожежна безпека приміщення.....	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

					МММТ 480.004.005- ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Коваль А.Е.			Комп'ютеризована система для вимірювання запиленості повітря в промисловій зоні міста Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркшів
Перевірив		Подчашинський Ю.О					5	64
Рецензент						ДУ «Житомирська політехніка», МТ-4		
Н. контр.								
Затверд.		Подчашинський Ю.О.						

ВСТУП

Забруднення атмосферного повітря є однією з найактуальніших екологічних проблем сучасності, що негативно впливає на здоров'я населення, стан довкілля та сталий розвиток міських територій.

Особливо гостро ця проблема постає в промислових зонах, де інтенсивна виробнича діяльність є значним джерелом викидів твердих частинок (пилу) в атмосферу. Підвищена концентрація пилу в повітрі може призводити до респіраторних захворювань, серцево-судинних патологій та інших негативних наслідків для здоров'я людини.

Ефективний моніторинг рівня запиленості повітря є критично важливим для оцінки екологічної ситуації, впровадження природоохоронних заходів та забезпечення безпеки життєдіяльності населення. Традиційні методи вимірювання запиленості часто є трудомісткими, потребують значних часових витрат та не завжди забезпечують необхідну оперативність і точність отриманих даних. У зв'язку з цим, розробка та впровадження комп'ютеризованих систем для автоматизованого вимірювання запиленості повітря в промислових зонах є надзвичайно актуальним завданням.

Автоматизація процесу вимірювання дозволить здійснювати безперервний моніторинг, оперативно отримувати достовірні дані про рівень забруднення, своєчасно виявляти перевищення гранично допустимих концентрацій та приймати обґрунтовані рішення щодо запобігання негативному впливу на довкілля та здоров'я людей.

Розробка комп'ютеризованої системи для вимірювання запиленості повітря в промисловій зоні міста є вкрай актуальною через зростаюче навантаження на атмосферне повітря та необхідність оперативного реагування на його забруднення.

Існуючі системи моніторингу запиленості повітря, такі як стаціонарні метеостанції чи ручні пробовідбірники, часто громіздкі, дорогі, повільні в аналізі даних та не забезпечують достатньої мобільності чи безперервності моніторингу.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме тому об'єктом цього дослідження є процес вимірювання та моніторингу запиленості атмосферного повітря в промислових зонах. А предметом дослідження – комп'ютеризована система для вимірювання концентрації пилу в повітрі, яка спрямована на створення компактної, надійної та автоматизованої системи, яка мінімізує згадані недоліки, забезпечуючи швидке та точне отримання даних.

Метою даної дипломної роботи є розробка та обґрунтування архітектури комп'ютеризованої системи для вимірювання запиленості повітря у промисловій зоні міста для забезпечення ефективного моніторингу якості повітря.

Для досягнення поставленої мети було сформовано та виконані такі завдання: проаналізовано актуальність проблеми моніторингу запиленості повітря в промислових зонах, сформовано та обґрунтовано вимоги до системи, вибрано та обґрунтовано її основні компоненти, розроблено структурну схему системи, сформовано основні питання охорони праці та пожежної безпеки, а також розроблено блок-схему алгоритму роботи програми та відповідну програму для мікроконтролера.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система призначена для автоматичного, безперервного та високоточного монітористу рівня запиленості, а саме концентрації твердих частинок різного розміру, в атмосферному повітрі промислової зони міста. Комп'ютеризована система може бути ефективно застосована в таких сферах:

- в промислових підприємствах, а саме для моніторингу шкідливих викидів в повітря та аналізування джерел забруднення. Контролю якості повітря та забезпечення безпечних умов праці для персоналу.

- в науково – дослідних установах для проведення наукових досліджень з метою вивчення динаміки забруднення атмосферного повітря. Розробки та вдосконалення методів і засобів контролю за якістю повітря.

- в екологічних інспекціях для оцінки впливу промислових підприємств на якість повітря в міській екосистемі та оперативного контролю за рівнем забруднення.

1.2. Умови експлуатації

У комп'ютеризованій системі вимірювання запиленості повітря важливо враховувати різні фактори навколишнього середовища, механічні впливи, умови ремонту та заходи безпеки.

Кліматичні умови експлуатації:

- Температура: Діапазон робочих температур від -15°C до $+45^{\circ}\text{C}$.
- Вологість: Відносна вологість повітря не більше 80% при температурі $+25^{\circ}\text{C}$. Необхідно уникати конденсації вологи.
- Атмосферний тиск: Робочий діапазон від 84 до 106.7 кПа (630–800 мм рт. ст.).

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Агресивні речовини: Захист від корозійно-активних парів і газів, які можуть бути присутні в промисловій атмосфері (наприклад, сірчистий газ, оксиди азоту, аміак).

Допустимі межі механічні вібрації:

– Частотний діапазон: Від 10 до 55 Гц.
– Амплітуда вібрацій: Не більше 0.15 мм.
– Удари: Стійкість до одиничних ударів з прискоренням до 15 м/с² тривалістю 2–15 мс.

– Кріплення: Всі компоненти системи (датчики, контролер, з'єднувальні кабелі) повинні бути надійно закріплені для запобігання зміщенню або пошкодженню від вібрації.

Умови ремонту:

– Документація: Наявність повної технічної документації (схеми, інструкції з експлуатації та ремонту, переліки запасних частин).

– Доступність: Забезпечення вільного доступу до всіх компонентів системи для проведення діагностики та ремонту. Система повинна бути спроектована з урахуванням легкої заміни модулів.

1.3. Технічні параметри системи

Інформація, що подається на вхід системи:

– Дані від датчика пилу, а саме зміна напруги, що відображає кількість частинок пилу.

– Управляючі сигнали (для ручного режиму): Кнопка, яка подає цифрові сигнали для включення/виключення системи.

– Інформація, що знімається з виходу системи:

– Відображення цифрових значень концентрації пилу на РК-дисплеї.

Режими роботи системи:

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Напіваавтоматичний режим: Виконання ініціювати вимірювання комп'ютеризованої системи натисканням кнопки.

– Після ініціації, система виконує вимірювання та відображення автоматично. Даний режим роботи системи дозволяє гнучкіше керування процесом моніторингу за потреби.

– Живлення системи: 5 В;

– Час невідмовної роботи: не менше 14 000 год;

– Час відгуку : від 1 до 10 с;

– Точність системи повинна складати не менше 0.50 мкг/м³;

1.4. Вимоги до конструктивного оформлення.

Вимоги до конструктивного оформлення системи та її частин:

– Компактний розмір системи: 100x80x20 мм.

– Матеріал: Корпус повинен бути виготовлений з міцного, довговічного та стійкого до корозії матеріалу, такого як ABS-пластик, полікарбонат або метал.

– Герметичність: Всі шви та з'єднання корпусу повинні бути герметичними. Всі отвори (для кабелів, датчика, кнопок) повинні бути оснащені герметичними вводами або ущільнювачами.

– Кріплення: Корпус повинен мати надійні елементи для монтажу на вертикальній або горизонтальній поверхні з можливістю швидкого зняття для обслуговування.

– Надійність системи забезпечує:

– Оптимізація схеми: Продумана схемотехніка, що мінімізує кількість компонентів та забезпечує стабільну роботу в умовах промислових навантажень.

– Програмне забезпечення: Надійне та стабільне програмне забезпечення, що включає механізми самодіагностики та обробки помилок.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Калібрування та тестування: Ретельне калібрування та тестування кожної системи перед введенням в експлуатацію.

Вимоги до внутрішнього розташування компонентів:

– Модульність: Всі основні функціональні блоки (плата контролера, датчик, блок живлення, дисплей) повинні бути виконані у вигляді окремих модулів, що дозволяє їх легку заміну та обслуговування.

– Кабельна розводка: Внутрішня розводка кабелів повинна бути упорядкованою, з фіксацією дротів, що виключає їх випадкове від'єднання або пошкодження.

– Доступність для обслуговування: Розташування компонентів повинно забезпечувати зручний доступ для діагностики, заміни батареї, калібрування або підключення до налагоджувального порту.

Вимоги до датчика пилу:

– Розташування: Датчик пилу повинен бути розміщений таким чином, щоб забезпечити безперешкодний доступ повітря до його вимірювальної камери. Оптимально, якщо датчик винесений назовні корпусу або має спеціальний повітрозабірний отвір з фільтром грубої очистки для запобігання потраплянню великих частинок та комах.

– Захист від забруднення: Вхідні та вихідні отвори датчика повинні бути захищені від прямого попадання крапель води або великих частинок пилу, які можуть забити датчик.

– Взаємне розташування елементів

– Дисплей: Дисплей повинен бути інтегрований у передню панель корпусу, забезпечуючи чітке та зручне зчитування інформації. Він має бути захищений прозорим, стійким до подряпин матеріалом.

– Кнопки/Елементи управління: Будь-які кнопки інші елементи управління повинні бути розташовані поруч з дисплеєм, на передній панелі, для легкого доступу та взаємодії.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Світлодіодні індикатори: Якщо є індикатори вони повинні бути виведені на зовнішню панель корпусу.

Вимоги до елементів відображення, управління та індикації.

– Розмір та читабельність: Дисплей повинен бути достатньо великим, щоб чітко відображати інформацію. Символи повинні бути контрастними та добре читабельними з відстані до 1-2 метрів.

– Стійкість: Екран повинен бути стійким до механічних пошкоджень, вібрації, пилу та вологи.

– Інформативність: На дисплеї має відображатися поточна концентрація пилу та стан системи.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Загальні положення щодо якості та запиленості повітря

Повітря є життєво важливим компонентом навколишнього середовища, і його якість безпосередньо впливає на здоров'я людини та стан екосистем.

Для забезпечення екологічної безпеки та контролю за рівнем забруднення атмосферного повітря розроблено систему законодавчих та нормативних актів, які встановлюють певні вимоги та граничні значення концентрації забруднюючих речовин.

Існують загальні положення щодо якості атмосферного повітря в Україні, основні нормативні документи, що регулюють ці питання, а саме Закон України «Про охорону атмосферного повітря» визначає правові та організаційні основи діяльності у сфері охорони атмосферного повітря з метою забезпечення екологічної безпеки, запобігання забрудненню та погіршенню природних властивостей атмосферного повітря, а також забезпечення сприятливих умов життєдіяльності людини.

Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП 201-97) встановлювали гігієнічні нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. Важливо зазначити, що цей документ втратив чинність. Наразі, згідно з інформацією від Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, відбувається розробка нових нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря, які будуть наближені до європейських стандартів та враховуватимуть не лише вплив на людину, але й на екосистеми.

Загальними нормами та межами запиленості повітря (пилу) вважається:

– Гранично допустима концентрація (ГДК): Це максимальна концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, яка при тривалому впливі не чинить шкідливого впливу на здоров'я людини та навколишнє природне середовище.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ГДК для пилу можуть різнитися залежно від:
- Розміру частинок пилу (дисперсності): Дрібнодисперсний пил (PM2.5, PM10) є більш небезпечним для здоров'я, оскільки може проникати глибоко в легені.
- Хімічного складу пилу: Вміст шкідливих речовин, таких як важкі метали, діоксид кремнію тощо, може значно підвищувати небезпеку пилу.
- Категорії території: Норми для повітря населених місць можуть бути суворішими, ніж для повітря робочої зони промислових підприємств (хоча і там існують свої ГДК для забезпечення безпеки праці).

2.2 Аналіз існуючих систем виявлення запиленості повітря

На сьогоднішній день існує ряд систем, призначених для моніторингу запиленості повітря. Ці системи варіюються за принципом дії, рівнем автоматизації, точністю вимірювань та сферою застосування. Серед поширених систем, можна виокремити :



Рисунок 2.2 - Детектор якості повітря «Benetech GM8804»

Основний принцип дії: Benetech GM8804 використовує оптичний метод розсіювання світла для виявлення та вимірювання концентрації твердих частинок PM2.5 та PM10 в повітрі.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Вбудований лазерний діод освітлює повітряний потік, що проходить через вимірювальну камеру. Частинки пилу, що знаходяться в цьому потоці, розсіюють світло, яке фіксується фотодетектором. Інтенсивність розсіяного світла пропорційна концентрації частинок певного розміру.

Технічні характеристики :

- Вимірювальні елементи: Безконтактний
- Точність: Зазвичай вказується як $\pm 10\%$ або ± 25 мкг/м³.
- Мінімальний розмір реєстрованих частинок : 0,3мкм.
- Розмір частинок: 2.5 мкм/10 мкм
- Розширення : 1 мкг/м³; 0,01 мг/м³.
- Діапазон вимірювання концентрації частинок: 0-5000 мкг/м³.
- Час відгуку : 10 с.
- Робоча температура: від 0°C до +50°C
- Розмір: 135x92x65 мм
- Вага: 0.152 кг
- Живлення: Працює від вбудованого акумулятора або через USB-підключення.

– Дисплей: Оснащений цифровим РК-дисплеєм для відображення поточних значень PM2.5 та PM10.

– Особливості : звуковий сигналізатор та світловий індикатор.

Переваги використання:

– Портативність та компактність: Легкий та зручний для перенесення, що дозволяє проводити вимірювання в різних точках.

– Оперативність: Швидкий час відгуку забезпечує можливість оперативного контролю рівня запиленості.

– Простота використання: Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та відображення результатів.

Недоліки використання для промислової зони:

– Обмежена точність: Точність вимірювань може бути недостатньою для контролю відповідності суворим промисловим нормативам.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Відсутність автоматизованої передачі даних: Зазвичай не передбачає можливості автоматичної передачі даних на центральний сервер або в хмарне сховище для безперервного моніторингу та аналізу в реальному часі.
- Обмежений функціонал: Як правило, вимірює лише PM2.5 та PM10 і не надає інформації про інші параметри якості повітря або хімічний склад пилу.
- Чутливість до умов експлуатації: Екстремальні температури та висока вологість можуть впливати на точність вимірювань. Потребує захисту від агресивного промислового середовища.
- Потреба в періодичній калібровці: Для підтримки точності прилад потребує регулярної калібровки.



Рисунок 2.3 - Пиломір Korno GT-1000-FC

Основний принцип дії: Korno GT-1000-FC є оптичним пиломіром, що використовує принцип розсіювання світла для вимірювання концентрації зважених частинок пилу в повітрі. Вбудоване джерело світла спрямовує промінь у потік повітря, що проходить через вимірювальну камеру.

Частинки пилу, потрапляючи в промінь, розсіюють світло під різними кутами. Інтенсивність розсіяного світла, виміряна чутливим фотоприймачем, пропорційна концентрації та розміру частинок пилу. Цей прилад, як правило, здатний розрізняти фракції PM1, PM2.5, PM10 та загальний зважений пил (TSP).

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Технічні характеристики :

- Вимірювальні елементи: Безконтактний;
- Точність: $\leq \pm 5 \%$;
- Розмір частинок: 0,3/0,5 мкм, 1,0 мкм, 2,5 мкм, 10 мкм за допомогою лазерного датчика;
- Роздільна здатність: 1 мкг/м³;
- Діапазон вимірювання концентрації частинок: 0-999 мкг/м³;
- Робоча температура: від -30°C до +60°C;
- Розмір: 255x80x60 мм;
- Вага: 0,5 кг;
- Дисплей: цифровий;
- Живлення: полімерна акумуляторна батарея високої ємності 4000 мА;
- Особливості: мікропринтер, bluetooth-принтер, лазерний датчик пилових частинок PM2.5, додавання різних типів датчиків, модуль GPRS, карта пам'яті 32G, функція сигналізації mandown.

Переваги використання :

Вища точність: Забезпечує більш точні вимірювання порівняно з побутовими детекторами, що є важливим для контролю за промисловими нормативами.

Вимірювання різних фракцій пилу: Дозволяє отримувати інформацію про концентрацію PM1, PM2.5, PM10 та TSP, що є важливим для оцінки впливу на здоров'я та довкілля.

Можливість автоматизації та інтеграції: Наявність стандартних інтерфейсів передачі даних дозволяє інтегрувати пиломір у автоматизовані системи моніторингу та керування.

Реєстрація даних: Вбудований логер та програмне забезпечення спрощують збір, зберігання та аналіз даних.

Промислове виконання: Міцний корпус та можливість роботи в різних умовах роблять його придатним для використання в промислових середовищах.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки використання:

Вища вартість: Зазвичай дорожчий за побутові детектори якості повітря.

Потреба в кваліфікованому обслуговуванні та калібруванні: Для забезпечення точності потребує періодичної калібровки та обслуговування фахівцями.

Чутливість до забруднення оптики: В умовах високої запиленості може вимагати частішого очищення оптичних елементів для запобігання спотворенню результатів.



Рисунок 2.4 - Аналізатор запиленості повітря DT-9880

Основний принцип дії : DT-9880 працює за принципом оптичного підрахунку частинок (лазерного розсіювання). Цей метод є одним з найпоширеніших і найефективніших для визначення концентрації та розмірів частинок в повітрі.

Технічні характеристики:

- Вимірювальні елементи: Безконтактний;
- Точність: $\leq \pm 5-10\%$;
- Розмір частинок: 0,3/0,5 мкм, 1,0 мкм, 2,5 мкм, 10 мкм;
- Діапазон вимірювання концентрації частинок: 0,3 - 10 мкг/м³;
- Робоча температура: від -20°C до +70°C;

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- Розмір: 200x70x50 мм;
- Вологість: 0% до 100% RH;
- Час відгуку: 1-10 сек;
- Вага: 0,5 кг;
- Дисплей : Великий кольоровий РК-дисплей з підсвічуванням, що відображає всі вимірювані параметри одночасно або послідовно;
- Живлення: Акумуляторна батарея (літій-іонна) для автономної роботи та адаптер змінного струму для зарядки та живлення від мережі;
- Пам'ять: Вбудована пам'ять для зберігання великої кількості вимірювань (тисячі записів) з датою та часом.

Особливості: Одночасне вимірювання та відображення концентрації частинок в 6 каналах (6 діапазонів розмірів частинок) до 0.3 мкм, вимірювання температури і вологості повітря, а також визначення температури точки роси і температури вологого термометра;

Переваги використання:

Висока точність та надійність вимірювань: використання лазерного розсіювання для точного підрахунку та визначення розмірів частинок (наприклад, PM2.5, PM10).

Розширений функціонал: вимірювання кількох фракцій пилу: Здатність одночасно вимірювати та відображати концентрацію різних розмірів частинок.

Зручність та ергономіка: компактний розмір та невелика вага роблять його зручним для перенесення та вимірювань на місці. Вбудований акумулятор дозволяє працювати без підключення до мережі протягом тривалого часу.

Недоліки використання:

Висока вартість: Професійні аналізатори коштують значно дорожче, ніж саморобні рішення на базі Arduino, що робить їх недоступними для більшості аматорів або невеликих проектів з обмеженим бюджетом.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складність ремонту та обслуговування: ремонт може бути складним і вимагати спеціалізованого обладнання та знань.

Вимоги до зберігання та експлуатації: Хоча прилад і призначений для промислового використання, він все ж вимагає дбайливого ставлення, особливо до оптичної частини. Забруднення оптичного тракту може вплинути на точність.



Рисунок 2.5 - Портативний лічильник дрібнодисперсних частинок пилу в повітрі CEM DT-96

Основний принцип роботи : CEM DT-96 базується на оптичному підрахунку частинок (лазерному розсіюванні), аналогічно DT-9880. Забір повітря виконується за допомогою вбудованого насосу, який забирає певну кількість повітря.

Технічні характеристики:

- Точність: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ / 2°F ;
- Роздільна здатність: 1 мкг/м^3 ;
- Розмір частинок: 0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10 мкм;
- Діапазон вимірювання концентрації частинок: $0,5 - 20 \text{ мкг/м}^3$;
- Робоча температура: від -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$;
- Вологість: 0% до 100% RH;
- Час відгуку: 1-10 сек;

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Живлення : Вбудований літій-іонний акумулятор (3.7 В);
- Дисплей : Кольоровий TFT-РК-дисплей, 2.8 дюйми;
- Вага: 0,300 кг;
- Габарити: 185x55x38мм.

Переваги використання: Висока портативність та компактність: Це один з найменших і найлегших професійних лічильників частинок, що робить його ідеальним для моніторингу в польових умовах, в різних приміщеннях або для особистого використання.

Висока точність: Незважаючи на компактний розмір, він використовує лазерний метод, забезпечуючи значно вищу точність порівняно з бюджетними датчиками.

Доступність: Зазвичай, СЕМ DT-96 є більш доступним за ціною, ніж DT-9880, що робить його привабливим для широкого кола користувачів, яким потрібен професійний, але не надмірно дорогий інструмент.

Недоліки використання: Кількість каналів розміру частинок: У порівнянні з більш дорогими професійними лічильниками, DT-96 може мати меншу кількість каналів для класифікації розмірів частинок.

Точність в екстремальних умовах: Хоча він призначений для використання в різних умовах, в екстремальних температурних або вологих режимах точність може дещо знижуватися.

Обмежена ємність акумулятора: Залежно від інтенсивності використання, акумулятора може вистачити лише на кілька годин, що вимагає періодичної підзарядки.

Аналіз існуючих систем показує, що вони мають суттєві недоліки для комплексного та ефективного моніторингу запиленості повітря в промислових зонах. Тому існує очевидна потреба у розробці власної комп'ютеризованої системи, яка була б компактною, надійною, економічно вигідною, адаптованою до умов промислової зони, та забезпечувала б автоматизований безперервний моніторинг з можливістю передачі даних, мінімізуючи при цьому вимоги до складного обслуговування.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ

3.1. Обґрунтування мікроконтролера

Вибір мікроконтролера є одним з найважливіших рішень при проектуванні вбудованих систем, оскільки він визначає обчислювальні можливості, кількість доступних входів/виходів, енергоспоживання та загальну гнучкість системи.

Для комп'ютеризованої системи вимірювання запиленості повітря необхідно обрати мікроконтролер, який забезпечить:

- Достатню продуктивність: для швидкого зчитування даних з датчика пилу, обробки отриманих значень та виведення інформації на дисплей;
- Наявність необхідних інтерфейсів: для підключення датчика пилу (як правило, аналоговий або послідовний інтерфейс), дисплея (часто I2C або SPI) та кнопок;
- Простоту програмування та налагодження: наявність широкої спільноти, бібліотек та зручних середовищ розробки значно прискорює процес;
- Доступність та вартість: оптимальне співвідношення ціни та функціоналу.

Враховуючи ці вимоги, доцільно розглянути мікроконтролери сімейства AVR, зокрема плату Arduino Uno, яка базується на мікроконтролері ATmega328P.

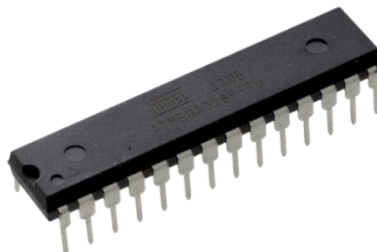


Рисунок 3.1 - мікроконтролер ATmega328P

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Переваги мікроконтролера (АТmega328Р) для даної системи:

- Широкий функціонал: АТmega328Р має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи) та 6 аналогових входів, що є достатнім для підключення датчика пилу, РК-дисплея, кнопок та індикації;
- Надійність: Мікроконтролери AVR відомі своєю надійністю та стабільністю роботи.

З огляду на ці фактори, плата Arduino Uno з мікроконтролером АТmega328Р є оптимальним вибором для реалізації центрального керуючого елемента комп'ютеризованої системи вимірювання запиленості повітря.

3.2. Обґрунтування датчика пилу

Для вимірювання запиленості повітря ключовим компонентом є датчик пилу. Існує велика кількість різноманітних типів датчиків пилу, які відрізняються принципом дії, точністю, чутливістю, діапазоном вимірювання та вартістю. Для даної системи необхідно врахувати такі критерії вибору:

- Діапазон вимірювання: Датчик повинен охоплювати діапазон концентрацій пилу, актуальних для промислової зони;
- Точність та роздільна здатність: Достатня точність для моніторингу, що дозволить виявляти зміни концентрації та контролювати перевищення норм;
- Інтерфейс: Сумісність з обраним мікроконтролером (аналоговий або цифровий вихід);
- Надійність та довговічність: Здатність працювати в умовах промислового середовища (температура, вологість, можливі вібрації).

З урахуванням цих критеріїв, доцільно розглянути оптичні датчики пилу, такі як серія Sharp GP2Y1010AU0F.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтування вибору: Датчики серії Sharp GP2Y1010AU0F: Це аналогові датчики, що вимірюють оптичну щільність пилу. Вони відносно недорогі, прості в підключенні до аналогових входів Arduino та забезпечують достатню чутливість для виявлення загальної запиленості.

Маючи обґрунтування вибору датчику пилу можна зробити висновок, що саме він ефективно виявляє наявність зважених частинок (пилу) у повітрі. Він є дуже простим для підключення до аналогових входів Arduino або інших мікроконтролерів, не потрібно використовувати складні протоколи зв'язку (як I2C або SPI), що значно спрощує програмування та налагодження.

3.3. Обґрунтування дисплея

Дисплей є важливим елементом інтерфейсу користувача, що забезпечує візуальне відображення інформації про поточний рівень запиленості повітря та стан системи.

Критерії вибору дисплея:

- Читабельність: Інформація на дисплеї повинна бути чіткою та легко читатися в умовах промислової зони;
- Розмір: Достатній розмір для відображення необхідних даних;
- Енергоспоживання: оптимізоване енергоспоживання.

Найбільш поширеними та зручними для використання з Arduino є символьні РК-дисплеї (LCD) 16x2 або 20x4 з контролером HD44780. Вони є недорогими, мають широку підтримку у вигляді бібліотек Arduino та дозволяють відображати текстову та числову інформацію.

Обґрунтування вибору: Символьний РК-дисплей 16x2 або 20x4 з I2C-модулем є ідеальним варіантом. Він забезпечує: достатню кількість символів: 16 або 20 символів у рядку та 2 або 4 рядки відповідно достатньо для виведення поточної концентрації пилу, одиниць вимірювання та текстових повідомлень про стан системи.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

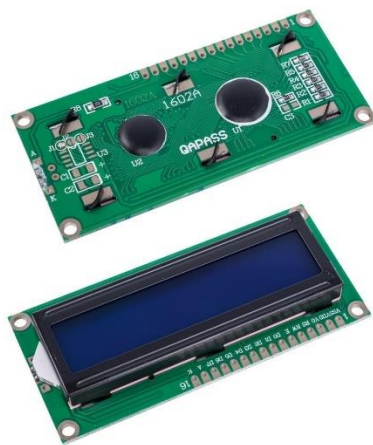


Рисунок 3.2 - дисплей (LCD) 16x2

Простота підключення так, як завдяки I2C-модулю значно спрощується схемотехніка та зменшується кількість необхідних пінів мікроконтролера.

3.4. Обґрунтування кнопки

Кнопка в комп'ютеризованій системі для вимірювання запиленості повітря необхідна для ручного ініціювання вимірювань та зміни режимів роботи.

Критерії вибору кнопки:

- Тип: Натискна кнопка без фіксації;
- Надійність: Стійкість до частих натискань;
- Простота підключення: Легка інтеграція з цифровими входами мікроконтролера;
- Тактильний відгук: Чіткий тактильний відгук при натисканні.

Для даної системи підійде звичайна тактильна кнопка або кнопка типу "push button" (без фіксації). Вона буде підключатися до цифрового входу мікроконтролера.

Вибір кнопки перемикача обумовлений її простотою, низькою вартістю, надійністю та легкістю інтеграції з мікроконтролером Arduino.



Рисунок 3.4 – кнопка перемикач

Вона ефективно виконуватиме функцію ініціювання вимірювань або перемикання режимів, забезпечуючи необхідну взаємодію користувача з системою.

3.5. Обґрунтування індикації

Індикація в системі може слугувати для візуального відображення стану системи або певних подій, що доповнює інформацію на дисплеї. Наприклад, світлодіод може інформувати про увімкнення системи, активний режим вимірювання, або про перевищення гранично допустимого рівня запиленості.

Критерії вибору індикації:

- Чіткість: Індикатор повинен бути добре помітним;
- Простота керування: Легке ввімкнення/вимкнення мікроконтролером;
- Низьке енергоспоживання: Особливо якщо використовується кілька індикаторів;
- Вартість: Доступність;
- Низьке енергоспоживання: Ефективно перетворюють електроенергію на світло;
- Різноманітність кольорів: Можливість використання різних кольорів світлодіодів для різних станів (наприклад, зелений – норма, червоний – перевищення);

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Малий розмір: Компактність дозволяє легко інтегрувати їх у корпус пристрою.

Для даної системи індикації, враховуючи особливості промислового середовища, де візуальні сигнали часто є більш надійними, доцільно буде обрати прості світлодіоди двох кольорів, які будуть відображати стан запиленості повітря.



Рисунок 3.5 - світлодіод

Обґрунтування вибору: Світлодіоди є оптимальним рішенням для реалізації візуальної індикації в даній системі. Їх можна використовувати для індикації:

- Режиму роботи: Наприклад, один LED світиться, коли система активно вимірює;
- Стану тривоги: Інший LED (можливо, червоний) починає блимати або світитися, коли концентрація пилу перевищує заданий поріг;
- Статусу живлення: LED може просто вказувати, що пристрій увімкнено.

3.6. Обґрунтування акумулятора

Для забезпечення автономної роботи комп'ютеризованої системи вимірювання запиленості повітря, особливо в умовах промислової зони, де доступ до постійного джерела живлення може бути обмежений, необхідно передбачити живлення від акумулятора.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Критерії вибору акумулятора:

- Ємність: Достатня ємність для забезпечення тривалого часу автономної роботи системи;
- Напруга: Сумісна з вимогами до живлення мікроконтролера та інших компонентів;
- Тип: Поширені та надійні типи акумуляторів;
- Габарити та вага: Компактні розміри для зручного розміщення в корпусі пристрою.

Зважаючи на всі критерії вибору акумулятор, найбільш доцільним буде обрати дві літій-іонних (Li-ion) батареї ємністю 3.7 В. Для автономної роботи, цей вибір є оптимальним.

Переваги літій-іонних батарей:

- Висока питома ємність: Забезпечують значну ємність при відносно невеликих розмірах та вазі;
- Висока віддача струму: Здатні забезпечувати необхідний струм для роботи всіх компонентів;
- Низький саморозряд: Дозволяють зберігати заряд протягом тривалого часу, коли система не використовується;
- Стабільна напруга: Надають відносно стабільну вихідну напругу протягом більшої частини циклу розряду.

3.7. Структурна схема

Структурна схема системи відображає основні функціональні блоки системи та їхні взаємозв'язки.

Вона дозволяє наочно представити загальну архітектуру пристрою.

На основі обґрунтованих компонентів, структурна схема комп'ютеризованої системи для вимірювання запиленості повітря може бути представлена наступним чином (рис 3.7)

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 – розроблена структурна схема

Складові елементи структурної схеми:

- Акумулятор;
- Датчик пилу;
- Мікроконтролер;
- Тактильна кнопка;
- Зелений світлодіод;
- Червоний світлодіод;
- Дисплей.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

Обраний мікроконтролер: Arduino Uno (на базі мікроконтролера ATmega328P).

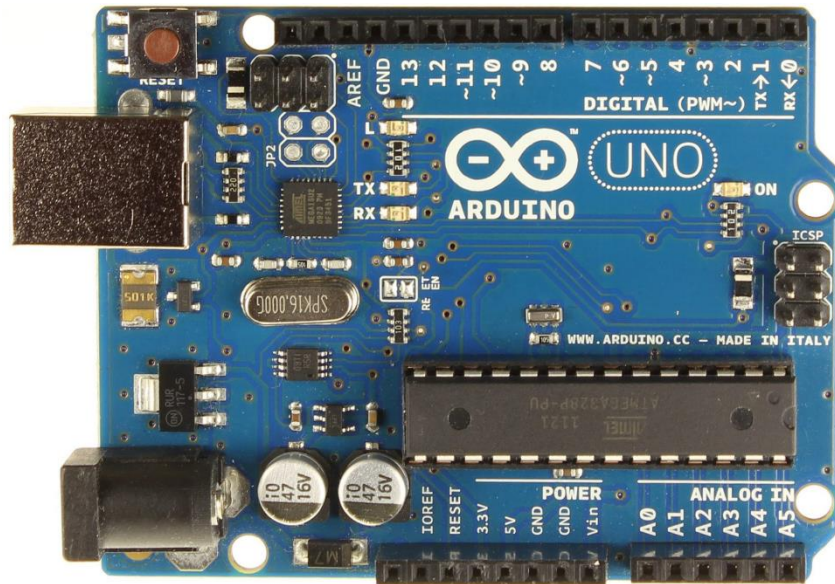


Рисунок 4.1 - Arduino Uno

Достатня продуктивність: Мікроконтролер ATmega328P, що є основою Arduino Uno, має достатню обчислювальну потужність (тактова частота 16 МГц) та обсяг пам'яті (32 КБ Flash, 2 КБ SRAM, 1 КБ EEPROM) для зчитування даних з датчика пилу, виконання розрахунків, керування дисплеєм та світлодіодами, а також обробки вхідних сигналів з кнопки.

Наявність необхідних інтерфейсів: Arduino Uno має достатню кількість аналогових входів (6 шт.), цифрових входів/виходів (14 шт.) а також інтерфейси UART, I2C, SPI, що дозволяє легко підключати всі необхідні компоненти (датчик пилу, LCD-дисплей, кнопки, світлодіоди).

Низька вартість та доступність: Arduino Uno є одним з найдоступніших мікроконтролерів на ринку, що робить його привабливим для бюджетних проектів та навчальних цілей.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Гнучкість живлення: Плата може живитися від USB або зовнішнього джерела живлення (7-12В), що забезпечує зручність при розробці та можливість інтеграції з акумулятором.

Технічні характеристики ATmega328P (основа Arduino Uno):

- Архітектура: 8-розрядний AVR;
- Тактова частота: 16 МГц;
- Флеш-пам'ять: 32 КБ (з яких 0.5 КБ зайнято бутлоадером);
- SRAM: 2 КБ;
- EEPROM: 1 КБ;
- Цифрові I/O піни: 14 (з них 6 з ШІМ);
- Аналогові входи: 6;
- Робоча напруга: 5 В;
- Діапазон вхідної напруги : 7-12 В.

4.2. Вибір датчика пилу

Обраний датчик пилу: Оптичний датчик пилу з інфрачервоним світлодіодом (IR LED) та фототранзистором модель Sharp GP2Y1010AU0.



Рисунок 4.2 - Sharp GP2Y1010AU0

Обґрунтування вибору датчика пилу Sharp GP2Y1010AU0:

- Принцип роботи: Датчик використовує інфрачервоний світлодіод та фототранзистор для вимірювання розсіювання світла частинками пилу в повітрі. При подачі струму на ІЧ-світлодіод, він випромінює світло, яке розсіюється на частинках пилу і вловлюється фототранзистором. Цей метод дозволяє вимірювати концентрацію зважених частинок (PM2.5, PM10).
- Простота інтеграції: Датчик надає аналоговий вихідний сигнал, який легко зчитується аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера Arduino. Це спрощує підключення та програмування.
- Компактність та вартість: Датчики цього типу є досить компактними та економічними, що відповідає вимогам до загального розміру та бюджету системи.
- Врахування "нульового порогу": Код програми враховує "нульовий поріг напруги", що є типовим для таких датчиків і дозволяє відсікати шуми при відсутності пилу.

Технічні характеристики:

- Тип сенсора: Оптичний, для виявлення пилу;
- Джерело світла: Інфрачервоний світлодіод;
- Вихідний сигнал: Аналоговий (напруга);
- Діапазон вимірювання: Зазвичай ефективний діапазон становить від 0.5 до 200 мкг/м³ (мікрограм на кубічний метр);
- Напруга живлення (VCC): 5 В DC (постійного струму);
- Споживаний струм:
- Типовий: 20 мА;
- Піковий (під час імпульсу IR LED): близько 100 мА;
- Час відгуку: ~0.5 с;
- Розміри: 46 x 30 x 17.6 мм;
- Кількість виводів: 6.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.3. Вибір дисплея

Обраний дисплей: Символьний РК-дисплей (LCD) формату 16x2 з синім підсвічуванням на контролері HD44780.

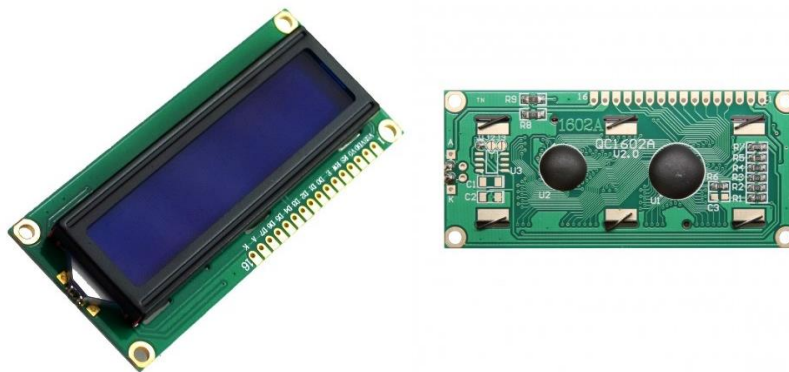


Рисунок 4.4.1 – LCD дисплей

Простота інтеграції та програмування: Дисплеї на контролері HD44780 є стандартом, для них існує велика кількість готових бібліотек (як LiquidCrystal для Arduino) та прикладів, що значно спрощує розробку. Можливе використання як 4-бітного, так і 8-бітного інтерфейсу, а також I2C-адаптера для мінімізації кількості проводів.

Достатня інформативність: Формат 16 символів у двох рядках є достатнім для відображення ключових даних: поточна концентрація пилю ($0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$), одиниці вимірювання та поточний статус (Level Normal або Level Exceeded). Для даної системи немає потреби в складному графічному інтерфейсі.

Низьке енергоспоживання: Порівняно з графічними TFT-дисплеями або OLED, символьні LCD споживають значно менше енергії, особливо якщо підсвічування не використовується постійно або його яскравість регулюється. Це сприяє енергоефективності всієї системи.

Низька вартість: Це один з найдоступніших типів дисплеїв, що важливо для бюджетних рішень.

Читабельність: Наявність синього підсвічування та білих символів забезпечує хорошу читабельність інформації в різних умовах освітлення, типових для промислових приміщень.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підтримка користувацьких символів: Як видно з коду (lcd.createChar), дисплей підтримує створення користувацьких символів, що дозволяє відображати деякі українські літери або спеціальні позначки, які відсутні в стандартній таблиці символів (хоча у наданому коді є проблема з кодуванням кирилиці, що потребує вирішення на етапі налагодження).

Технічні характеристики (типового LCD 16x2 на HD44780):

- Тип: Символьний LCD;
- Формат: 16 символів x 2 рядки;
- Колір підсвічування: Синій (з білими символами);
- Контролер: Сумісний з Hitachi HD44780;
- Напруга живлення: 5 В;
- Інтерфейс: Паралельний (4-бітний або 8-бітний), можливе використання I2C-адаптера;
- Кількість контактів: 16 (без I2C-адаптера);
- Робоча температура: Зазвичай 0°C до +50°C. Для промислового використання слід перевірити розширений діапазон.

4.4. Вибір кнопок та індикації

Обрані компоненти: Кнопка перемикач KCD1-2 був обраний як основний елемент керування системою моніторингу, дозволяючи запускати та зупиняти процес вимірювань в напівавтоматичному режимі.



Рисунок 4.4 - Кнопка KCD1-2

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тактильна кнопка KCD1-2 з двопозиційним перемикачем типу ON-OFF



Рисунок 4.4 – Світлодіоди зеленого та червоного кольору

Індикація: Два світлодіоди (LED) – зелений та червоний.

Обґрунтування вибору кнопок:

- Тип дії: Миттєва дія без фіксації є стандартним рішенням для управління мікроконтролерами (наприклад, для перемикання режимів, скидання, підтвердження).
- Простота інтеграції: Легке підключення до цифрових входів Arduino з використанням підтягуючих (pull-up) або стягуючих (pull-down) резисторів (часто вбудовані в Arduino).
- Тактильний відгук: Чіткий тактильний і звуковий відгук при натисканні забезпечує зворотний зв'язок користувачеві.
- Компактність та вартість: Дуже компактні та надзвичайно дешеві компоненти, що ідеально підходять для прототипування та бюджетних проектів.

Технічні характеристики (типової тактильної кнопки):

- Тип контакту: NO (Normally Open) – нормально розімкнутий;
- Напруга: До 12-24В;
- Струм: До 50 мА;
- Ресурс: Зазвичай 50 000 – 100 000 натискань;
- Розміри: Типовий розмір 6х6 мм.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтування вибору світлодіодів (LED):

- Візуальна індикація: Світлодіоди є основним засобом візуальної індикації стану системи, що критично важливо в умовах високого промислового шуму, де звукові сигнали можуть бути нечутними.
- Сигналізація:
- Зелений LED: Універсально прийнятий символ нормального стану, безпеки або правильного функціонування.
- Червоний LED: Універсально прийнятий символ небезпеки, попередження або перевищення норми.
- Низьке енергоспоживання: Світлодіоди споживають дуже мало енергії, що позитивно впливає на загальну енергоефективність системи.
- Технічні характеристики (типового світлодіода):
- Напруга прямого зміщення: 1.8 В - 3.5 В (залежить від кольору).
- Прямий струм: 10 мА - 20 мА (з обмежувальним резистором).

4.5. Вибір акумулятора

Обраний акумулятор: Згідно структурної схеми, для забезпечення автономної роботи пристрою передбачається використання двох літій-іонних (Li-Ion) батарей, кожна з напругою 3.7 В.



Рисунок 4.5 – Li-Ion батарея

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтування вибору (Li-Ion):

– Висока питома енергетична щільність: Li-Ion акумулятори забезпечують найбільшу кількість енергії на одиницю маси або об'єму, що критично для компактних пристроїв.

– Висока напруга елемента: Один Li-Ion елемент зазвичай має номінальну напругу 3.7В, що дозволяє легко отримати необхідні 5В для системи за допомогою підвищувального перетворювача (boost converter) або використовувати декілька послідовно з понижувальним (buck converter).

– Низький саморозряд: Ці акумулятори мають дуже низький рівень саморозряду, що дозволяє зберігати заряд протягом тривалого часу.

– Довговічність: Сучасні Li-Ion акумулятори витримують сотні циклів заряд/розряд.

Технічні характеристики (типових Li-Ion батарей 3.7 В):

- Номінальна напруга: 3.6 В - 3.7 В (для одного елемента).
- Загальна напруга при послідовному з'єднанні двох елементів: 7.2 В - 7.4 В.
- Напруга повного заряду: 4.2 В (для одного елемента).
- Загальна напруга при послідовному з'єднанні двох елементів: 8.4 В.
- Напруга повного розряду: 2.5 В - 3.0 В (для одного елемента). Не рекомендується розряджати нижче 2.5В для уникнення пошкодження батареї.
- Ємність: від 1500 мАг до 3500 мАг (для одного елемента).
- Життєвий цикл: 300-500 циклів (до падіння ємності до 80%).
- Робоча температура:
- Заряд: 0°C до 45°C;
- Розряд: -20°C до 60°C.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.6. Побудова принципово-електричної схеми

Побудова принципово-електричної схеми є ключовим етапом, який візуалізує електричні зв'язки між усіма обраними компонентами. Схеми буде включати:

Мікроконтролер ATMEGA328 (DD2):

- Центральний елемент: Як центральний елемент вашої системи, що виконує обчислення, керування та обмін даними.
- Живлення: Піни VCC (4, 6) та GND (3, 5) мікроконтролера підключені до відповідних ліній живлення (+5V та GND). AVCC (20) також підключений до +5V для аналогової частини.
- Тактування: До пінів 7 та 8 (PB6, PB7) підключено кварцовий резонатор ZQ1 (наприклад, на 16 МГц) та конденсатори C1, C2 для забезпечення стабільної тактової частоти. Резистор R1 підключений до піна 29 (PC6) та +5V, що є частиною типової обв'язки.

Датчик пилю Sharp GP2Y1010AU0F (DD3):

- Пін VCC датчика: Підключений до лінії живлення +5V.
- Пін GND датчика: Підключений до загальної землі (GND).
- Пін V0 (аналоговий вихід): Підключений до аналогового входу PC0 (ADC0) мікроконтролера ATMEGA328 (що відповідає аналоговому піну A0 на платі Arduino Uno).
- Пін LED (для керування ІЧ-світлодіодом датчика): Підключений до цифрового/аналогового піна PC1 (ADC1) мікроконтролера ATMEGA328 (що відповідає аналоговому піну A1 на платі Arduino Uno). Цей пін використовується для імпульсного увімкнення ІЧ-світлодіода датчика.

ПК-дисплей I2C (HG1): прибрати нумерацію і вирівняти як вище

- I2C-адаптер: Ваш дисплей використовує I2C-адаптер, що значно спрощує підключення.
- Пін SDA: Підключений до піна PC4 (SDA / Analog A4) мікроконтролера ATMEGA328.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Пін SCL: Підключений до піна PC5 (SCL / Analog A5) мікроконтролера ATMEGA328.

– Пін VCC: Підключений до лінії живлення +5V.

– Пін GND: Підключений до загальної землі (GND).

Кнопка керування (SW1):

– Один вивід кнопки: Підключений до цифрового піна PD2 (Digital Pin 2) мікроконтролера ATMEGA328.

– Інший вивід кнопки: Підключений до загальної землі (GND).

– Внутрішній pull-up резистор: Активується програмно в Arduino для цього піна (INPUT_PULLUP), що дозволяє зчитувати натискання кнопки без необхідності зовнішнього резистора. Коли кнопка не натиснута, пін знаходиться у стані HIGH; при натисканні – у стані LOW.

Індикація (LED):

– Червоний LED (VD1): Анод підключений до цифрового піна PD7 (Digital Pin 13) мікроконтролера ATMEGA328 через обмежувальний резистор R2 (зазвичай 220-330 Ом). Катод підключений до GND.

– Зелений LED (VD2): Анод підключений до цифрового піна PB0 (Digital Pin 8) мікроконтролера ATMEGA328 через обмежувальний резистор R3 (зазвичай 220-330 Ом). Катод підключений до GND.

Модуль живлення:

– Акумуляторний блок: Складається з двох літій-іонних батарей 3.7 В, з'єднаних послідовно (2S). Це забезпечує вихідну напругу в діапазоні від 7.2 В (номінальна) до 8.4 В (повністю заряджений).

– Модуль зарядки та захисту: Акумуляторний блок підключається до спеціалізованого модуля зарядки та захисту (наприклад, на базі TP5100 або подібного, призначеного для 2S Li-Ion батарей). Цей модуль забезпечує безпечну зарядку та захист батарей від перерозряду, перезаряду та короткого замикання.

Підключення до системи (X1):

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Плюсовий вивід (+) з модуля зарядки/захисту (з напругою 7.2 В - 8.4 В) підключається до піна VCC вхідного роз'єму X1.
- Мінусовий вивід (-) з модуля зарядки/захисту підключається до піна GND вхідного роз'єму X1.
- Живлення мікроконтролера та інших компонентів: Мікроконтролер ATMEGA328 (як частина плати Arduino Uno або окремої схеми) має вбудований стабілізатор напруги. Напруга 7.2-8.4 В з акумуляторного блоку (через модуль зарядки/захисту) подається на вхід стабілізатора, який перетворює її на стабілізовані 5 В. Усі компоненти системи (датчик пилю, LCD дисплей, світлодіодні індикатори), які потребують стабілізованих 5 В, отримують живлення від цієї стабілізованої лінії +5V та загальної землі (GND), що виводяться з мікроконтролера (або плати Arduino).

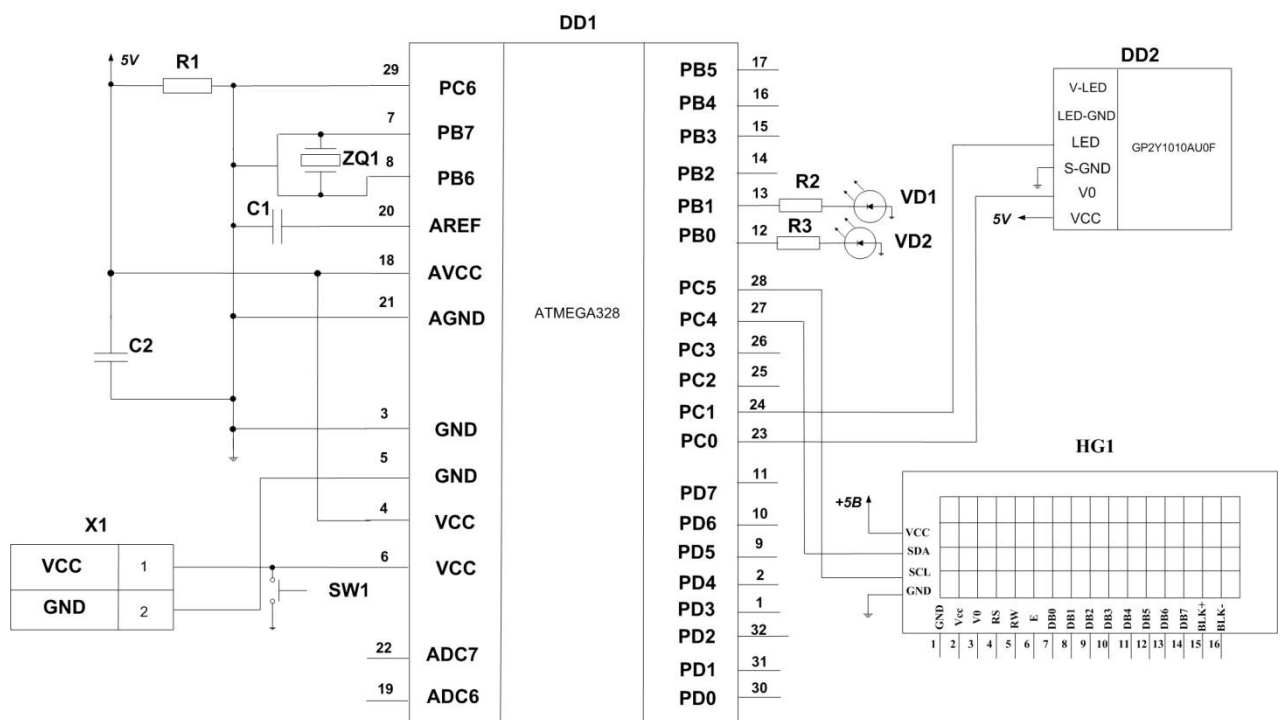


Рисунок 4.6 – Принципово електрична схема

Перелік елементів принципово-електричної схеми :

- DD1 - Мікроконтролер ATMEGA328 ;
- DD2 - Датчик пилю Sharp GP2Y1010AU0F ;

- HG1 - Дисплей LCD 2004;
- ZQ1 - Кварцовий резонатор 16 МГц ;
- R1, R2, R3 - 10 кОм;
- C1, C2 - 22 пФ;
- VD1, VD2 - Світлодіоди LED;
- SW1 - Кнопка KCD1-2;
- X1 - Роз'єм для живлення акумуляторній батареї 3,7В.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1 Розробка алгоритму

Враховуючи функціональні вимоги до напівавтоматичного режиму та наявність ключових компонентів системи (датчики, індикація, дисплей, кнопка), був розроблений алгоритм, представлений на рис. 5.1.

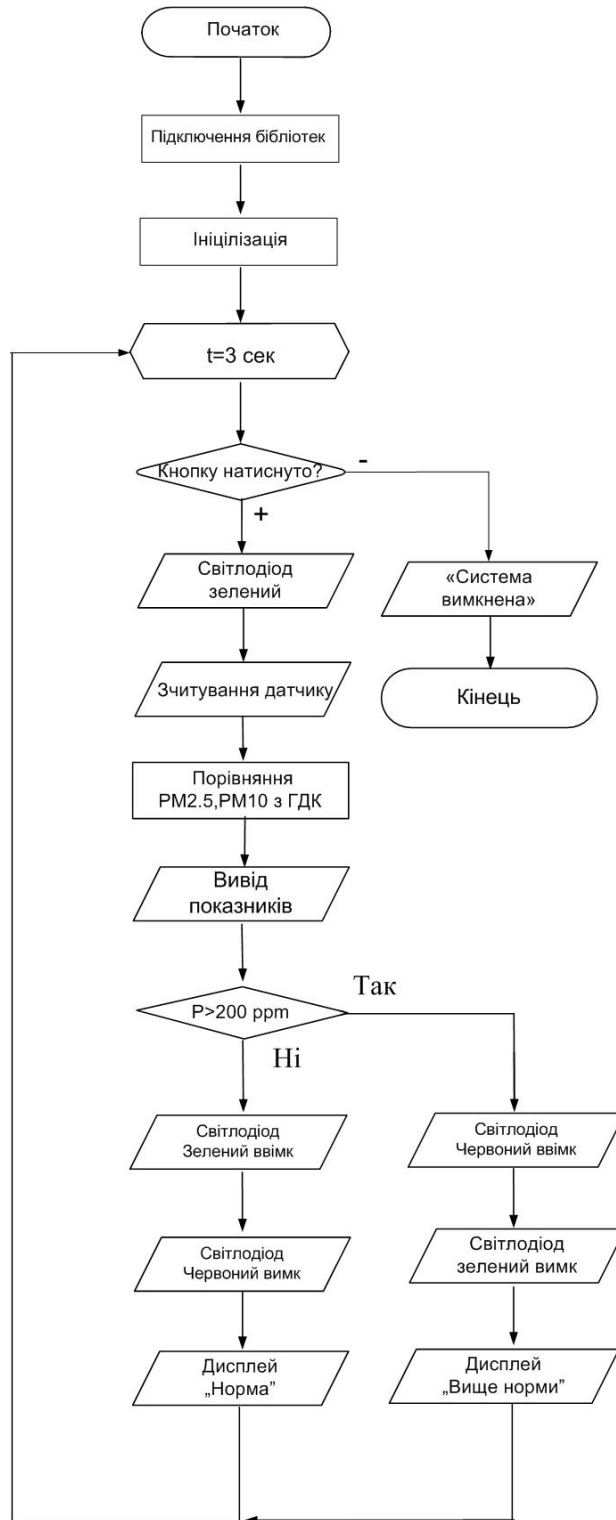


Рисунок 5.1 - Блок-схема алгоритму

Алгоритм роботи системи починається з ініціалізації та підключення бібліотек, після чого відбувається затримка 3 секунди. Далі система циклічно перевіряє натискання кнопки: якщо кнопку натиснуто, система вимикається, виводить повідомлення "Система вимкнена" і завершує роботу. Якщо кнопку не натиснуто, відбувається зчитування даних з датчика пилу SDS01, показники PM2.5 та PM10 порівнюються з гранично допустимими концентраціями, і результати виводяться на дисплей. Залежно від рівня запиленості, вмикається червоний або зелений світлодіод та виводиться повідомлення "Вище норми" або "Норма" відповідно, після чого цикл повторюється із затримкою 3 секунди.

5.2 Розробка програми

Підготовка та налаштування середовища розробки:

Встановлення Arduino IDE: Завантажте та встановіть інтегроване середовище розробки Arduino (IDE) з офіційного веб-сайту.

- Встановлення бібліотек:
- LiquidCrystal_I2C: Ця бібліотека необхідна для роботи з РК-дисплеєм через I2C адаптер;
- Wire.h: Ця бібліотека є вбудованою в Arduino IDE і потрібна для I2C комунікації;
- Вибір плати;
- Вибір порту.

Оголошення змінних та констант:

- Визначення робочої напруги: Використання директиви `#define OPERATING_VOLTAGE` для встановлення робочої напруги плати (5.0 В для AVR, 3.3 В для інших) є важливим для коректного перетворення аналогових значень;
- Призначення пінів: Оголошуємо константи для пінів світлодіодів

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(ledPin1, ledPin2) та пінів датчика Sharp GP2Y1010AU0F (PIN_AOUT, PIN_IR_LED);

- Ініціалізація РК-дисплея: Створюємо об'єкт LiquidCrystal_I2C з правильною I2C адресою (0x27) та розміром дисплея (20 стовпців, 4 рядки);

- Змінні для даних датчика: Оголошуємо змінні для зберігання сирого значення АЦП (sensorADC), напруги (sensorVoltage) та розрахованої концентрації пилу (sensorDustDensity);

- Нульовий поріг: Визначаємо zeroSensorDustDensity для обробки мінімальних значень напруги від датчика;

- Користувацькі символи: Оголошуємо масиви байтів для кожного спеціального символу, які будуть відображатися на LCD. Це дозволить виводити українські символи, які не є стандартними для РК-дисплея.

Налаштування функції setup().

Налаштування пінів: Встановлюємо режими роботи для всіх підключених пінів:

- pinMode(ledPin1, OUTPUT) та pinMode(ledPin2, OUTPUT) для світлодіодів;

- pinMode(PIN_IR_LED, OUTPUT) для керування ІЧ-світлодіодом датчика Sharp;

- Початково вимкніть світлодіоди (digitalWrite(ledPin1, LOW), digitalWrite(ledPin2, LOW)) та ІЧ-світлодіод датчика (digitalWrite(PIN_IR_LED, HIGH));

- Ініціалізація Serial-монітора: Serial.begin(9600) для налагодження та виведення інформації у послідовний порт;

- Ініціалізація РК-дисплея: lcd.init() та lcd.backlight() для ввімкнення та підсвічування дисплея;

- Створення користувацьких символів: Використовуємо lcd.createChar() для завантаження визначених користувацьких символів (українських літер) у пам'ять LCD.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реалізація основного циклу loop().

- Зчитування даних з датчика Sharp GP2Y1010AU0F;
- Вмикаємо ІЧ-світлодіод датчика (digitalWrite(PIN_IR_LED, LOW));
- Затримка delayMicroseconds(280) для стабілізації;
- Зчитуємо аналогове значення з виходу датчика (sensorADC = analogRead(PIN_AOUT));
- Вимикаємо ІЧ-світлодіод (digitalWrite(PIN_IR_LED, HIGH));
- Затримка delayMicroseconds(9620) для завершення 10 мс циклу зчитування;
- Перетворення даних:
- Перетворюємо sensorADC у напругу (sensorVoltage = (OPERATING_VOLTAGE / 1024.0) * sensorADC * 11;);
- Перетворюємо напругу в концентрацію пилу (sensorDustDensity = 0.17 * sensorVoltage - 0.1;);
- Враховуємо zeroSensorDustDensity, встановлюючи sensorDustDensity = 0; якщо напруга нижча за поріг;
- Виведення на Serial Monitor: Розраховану концентрацію пилу для налагодження;
- Виведення на РК-дисплей:
- Встановлюємо курсор (lcd.setCursor(2,0) та lcd.setCursor(2,1));
- Виводимо текст "Концентрація пилу" та значення sensorDustDensity з одиницями виміру, використовуючи користувацькі символи;
- Логіка керування світлодіодами та відображення статусу:
- Якщо sensorDustDensity > 200 мкг/м³;
- Увімкніть червоний світлодіод (digitalWrite(ledPin1, HIGH));
- Вимкніть зелений світлодіод (digitalWrite(ledPin2, LOW));
- Виведіть "УВАГА! Високий рівень пилу..." в Serial Monitor та на LCD (використовуючи користувацькі символи);
- Інакше (норма):

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вимкніть червоний світлодіод (digitalWrite(ledPin1, LOW));
- Увімкніть зелений світлодіод (digitalWrite(ledPin2, HIGH));
- Виведіть "Рівень пилу в нормі..." в Serial Monitor та на LCD (використовуючи користувацькі символи);
- Затримка: delay(1000) для встановлення періоду між вимірюваннями. Тестування та налагодження.
- Serial Monitor: Спостерігати за виводом даних у Serial Monitor для перевірки коректності зчитування та розрахунків;
- LCD: Переконайтеся, що інформація коректно відображається на дисплеї, включаючи користувацькі символи;
- Світлодіоди: Спостерігаємл за їх роботою відповідно до рівня запиленості.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка корпусу системи

Розробка корпусу є досить важливою частиною кожного пристрою, так як корпус не лише захищає внутрішні електронні компоненти від зовнішніх впливів та механічних пошкоджень, але й забезпечує зручність експлуатації системи моніторингу та вимірювання запиленості повітря.

Розробку корпусу можна розділити на наступні етапи:

1) Визначення вимог та збір інформації.

На початковому етапі було сформовано основні вимоги до корпусу, виходячи з функціоналу пристрою та умов його експлуатації:

Захист компонентів: Корпус повинен забезпечити надійний захист для плати Arduino Uno, LCD-дисплея, датчика пилу (SDS011), світлодіодного індикатора (NeoPixel) та тактильної кнопки від пилу, вологи та ударів.

Ергономіка: Розташування елементів керування та індикації має бути інтуїтивно зрозумілим та зручним для користувача.

Вентиляція: Для коректної роботи датчика пилу (SDS011) необхідні спеціальні вентиляційні отвори, що забезпечують вільний потік повітря через сенсорний елемент, при цьому запобігаючи прямому потраплянню великих частинок пилу або води.

2) Вимірювання компонентів та проектування в CAD-системі.

Після визначення вимог, ключовим кроком стало точне вимірювання всіх електронних компонентів, які мали бути розміщені всередині корпусу та на його зовнішніх панелях. Це включало:

Розміри плати Arduino Uno: Визначення довжини, ширини та висоти плати, а також розташування монтажних отворів та USB-порту.

Розміри LCD-дисплея (16x2 з I2C адаптером): Вимірювання габаритів самого дисплея та його плати з I2C адаптером для створення точного вирізу на передній панелі.

Розміри датчика пилу SDS011: Визначення його довжини, ширини, висоти та розташування повітрязабірних/вихідних отворів.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри тактильної кнопки: Діаметр та висота кнопки для створення відповідного отвору на панелі.

3) Виготовлення корпусу на 3D-принтері.

Після завершення 3D-моделювання за розрахованими параметрами системи, модель корпусу була експортована у формат STL, який є стандартним для 3D-друку. Виготовлення корпусу здійснювалось за допомогою 3D-принтера з використанням полілактиду (PLA). Вибір PLA обумовлений його доступністю, легкістю друку, достатньою міцністю для внутрішнього використання та екологічністю.

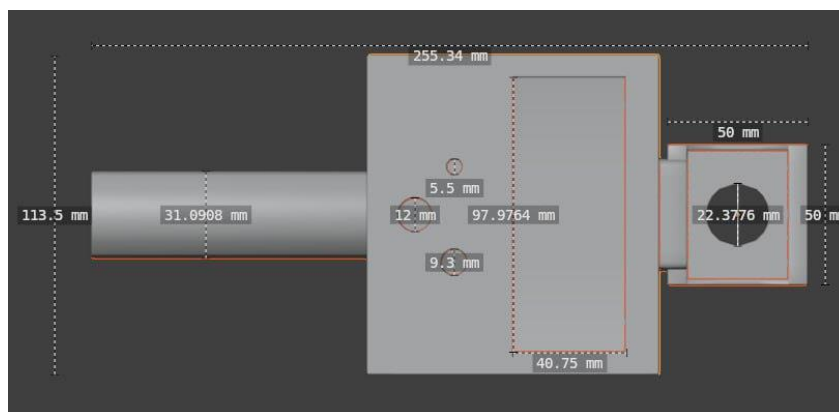


Рисунок 6.1

Основний блок: Має розміри приблизно 98 мм (ширина) x 41 мм (висота) x 255 мм (загальна довжина з ручкою) або 184 мм (довжина основного блоку).

Ручка/тримач: Циліндрична форма з виступаючою частиною близько 31 мм.

Модуль датчика: Квадратний блок розміром 50x50 мм з круглим отвором діаметром 22.3776 мм.

Елементи керування: Вбудовані отвори для кнопок/індикаторів на верхній панелі та виріз для LCD на передній.

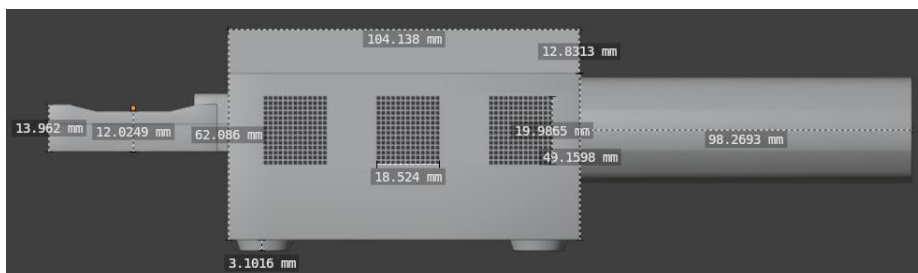


Рисунок 6.2

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основний блок корпусу має довжину 104.14 мм, ширину приблизно 98 мм та висоту близько 49.16 мм.

Ручка (тримач) : Довжиною приблизно 62.09 мм з частиною, що має ширину близько 12.02 мм.

Вентиляційні вікна (бічна панель): Наявні три прямокутні решітки з розмірами кожного вікна приблизно 18.524 мм (ширина) на 19.9865 мм (висота).

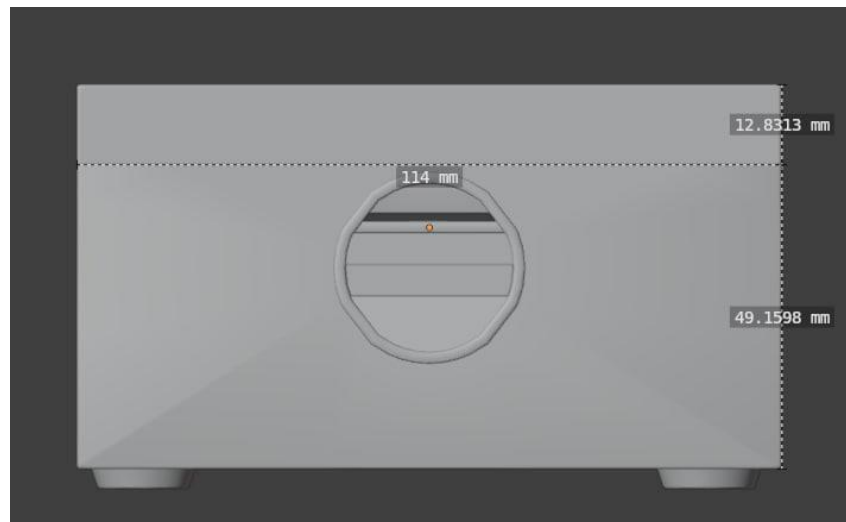


Рисунок 6.3

Загальна ширина корпусу: 114 мм.

Загальна висота корпусу: Приблизно 49.16 мм.

Вертикальне відхилення від верхнього краю до центрального елемента: 12.83 мм.

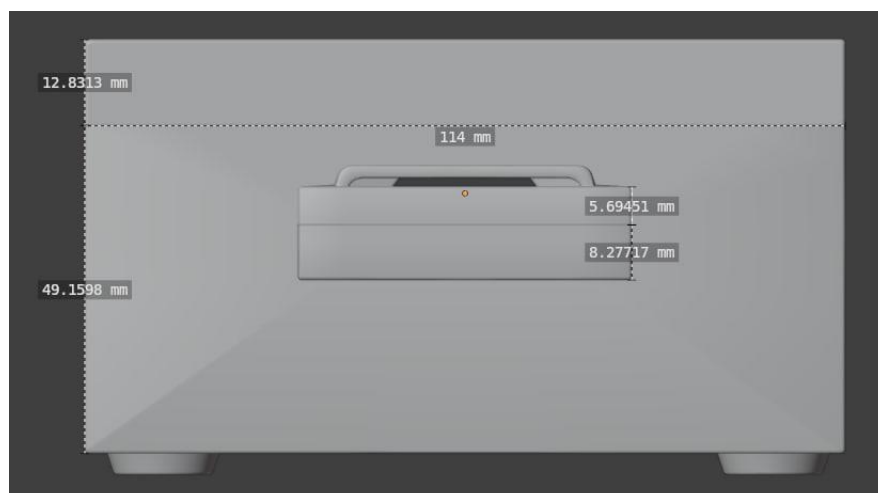


Рисунок 6.4

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На цій панелі розташований центральний елемент, який має ширину 114 мм, тобто дорівнює загальній ширині панелі. Цей елемент виступає від поверхні на 5.69 мм і має загальну висоту 8.28 мм.

6.2. Розрахунок надійності системи

Надійність розробленої комп'ютеризованої системи для вимірювання запиленості повітря є критично важливою для забезпечення її тривалої та стабільної роботи.

Ця система розміщується у спеціально спроектованому та виготовленому на 3D-принтері корпусі блакитного кольору.

Для живлення системи використовується два літій-іонних акумулятори по 3,7 В. Дані про рівень запиленості повітря відображаються на вбудованому дисплеї.

1. При розрахунку надійності було визначено три основні кількісні показники:

2. Імовірність безвідмовної роботи за заданий час, $P(t)$: Цей показник характеризує ймовірність того, що система буде безперервно функціонувати протягом певного інтервалу часу без збоїв. Типові інтервали для оцінки становлять 500, 1000 або 2000 годин.

3. Параметр потоку відмовлень, $\lambda(t)$: Він відображає кількість відмов на одиницю часу, віднесених до кількості справних елементів на початок цього інтервалу.

4. Середній наробіток до відмовлення, T_e : Це середній час, протягом якого система працює без збоїв до першого відмовлення.

– Методологія розрахунку надійності:

– Розрахунок показників надійності проводився з використанням методу λ -характеристик.

Цей підхід ґрунтується на інтенсивності відмовлень кожного комплектуючого виробу (КВ) та поправочних коефіцієнтах.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поправочні коефіцієнти враховують реальні умови експлуатації та режими роботи виробу, такі як:

5. Умови навколишнього середовища: Виріб призначений для роботи в умовах помірного клімату (робочий діапазон температури від -25 до $+55^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря до 80% при $+20^{\circ}\text{C}$).

6. Механічні впливи: Система конструктивно виконана для роботи, зокрема, на зовнішній частині автомобіля, що робить її вібростійкою.

Відмовленням виробу вважається вихід з ладу будь-якої його складової частини (вузла), що призводить до порушення працездатності системи та унеможлиблює її використання за призначенням (тобто, для вимірювання запиленості повітря).

Прийняті допущення для розрахунку:

– Відмовлення комплектуючих виробів та інтегральних схем вважаються випадковими та незалежними подіями.

– Відмовлення будь-якого КВ призводить до відмовлення виробу в цілому.

– Інтенсивність відмовлень КВ протягом терміну їхньої служби в однакових робочих режимах та умовах є постійною.

– Закон розподілу безвідмовної роботи в розрахунках передбачається експоненціальним.

Розрахунок надійності був виконаний відповідно до електричної принципової схеми системи, а також з урахуванням заданої кліматичної категорії та умов експлуатації.

Параметр потоку відмовлень (λ): Загальний параметр потоку відмовлень виробу, визначений шляхом підсумовування інтенсивностей відмовлень всіх комплектуючих (згідно Таблиці 6.2) становить:

$$\lambda = 71,25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.} \quad (6.2)$$

Ймовірність безвідмовної роботи ($P(t)$): Ймовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t розраховувалася за формулою :

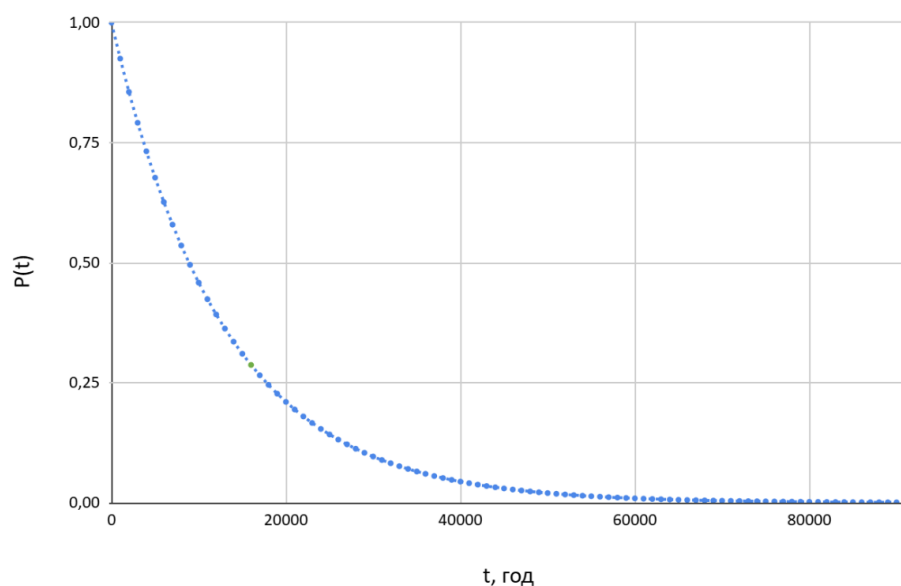
$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t. \quad (6.3)$$

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 – 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	2	3	4	5	6				7
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	
	GP2Y1010AU0F	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	Резистори	3	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,04032
4	Конденсатори	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,02688
5	Світлодіоди	2	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,638
7	Дисплей	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
8	Кнопки								
	KCD1-2	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1		0,7	1	0,294
9	Кварцевий резонатор								
	16 МГц	1	1,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	3,78
10	Пайки	55	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,01155
11	Акумулятор Li-Ion 18650 3,7 В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
12	Разом								71,25

На графіку, приведеному на рис 6.5 приведена залежність надійності $P(t)$.

Рисунок 6.5 - Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Дані розрахунків для різних інтервалів часу наведені в Таблиці 6.2, що дозволяє оцінити надійність системи з плином часу.

Таблиця 6.2 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,9811	0,9622	0,9432	0,9243	0,8543	0,6746	0,5352	0,4614

Середній наробіток до відмовлення (T_0): Цей показник розраховується за формулою $T_0 = \lambda^{-1}$. Підставляючи значення λ , отримаємо:

$$T_0 = \lambda^{-1} = (71,25 \cdot 10^{-6})^{-1} \approx 14035 \text{ год.} \quad (6.4)$$

6.3. Розрахунок похибок вимірювання

Для визначення точності системи вимірювання запиленості повітря, що базується на оптичному датчику пилу Sharp GP2Y1010AU0F, було проведено серію повторних вимірювань. Згідно з технічними характеристиками, діапазон вимірювання датчика Sharp GP2Y1010AU0F становить від 0 до 500 мкг/м^3 .

Надана вибірка концентрації пилу P (мкг/м^3):
 $P = (0.03, 0.05, 0.07, 0.08, 0.11, 0.12, 0.11, 0.13, 0.08, 0.13)$

Кількість вимірювань $n=10$.

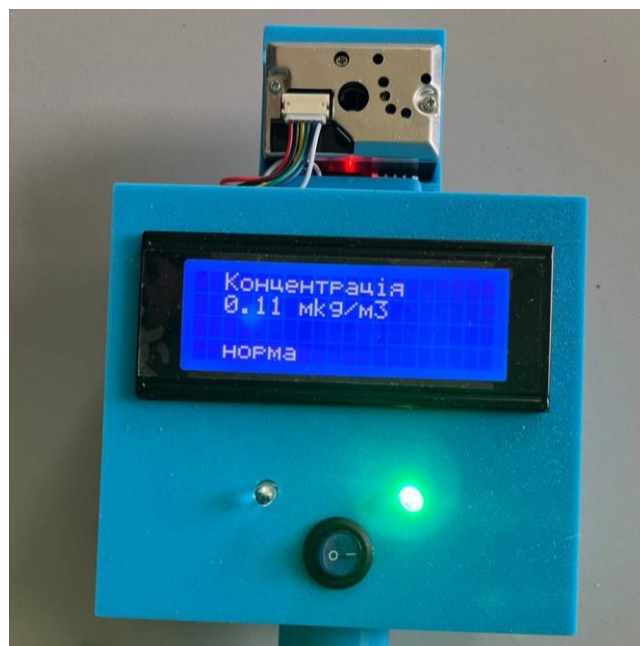


Рисунок 6.6 – результат вимірювання концентрації пилу (0,11 мкг/м^3)

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



Рисунок 6.7 - результат вимірювання концентрації пилу (0,05 мкг/м3)



Рисунок 6.6 - результат вимірювання концентрації пилу (0,07 мкг/м3)

1. Розрахунок середнього арифметичного значення $\bar{P}$:

$$\bar{P} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} P_i \cong 00,91 \quad (6.5)$$

$$\bar{P} = 0.091 \text{ мкг/м}^3 \quad (6.6)$$

2. Розрахунок похибок повторних вимірювань ΔP_i та ΔP_i^2 :

$$\Delta P = |\bar{P} - P_i| \text{ та } \Delta P_i^2 = (\bar{P} - P_i)^2, \quad (6.7)$$

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3– Результати вимірювань та обчислень для концентрації пилу

№ з.п	P , мкг/м ³	ΔP_i , мкг/м ³	ΔP_i^2 , мкг/м ³
1	0,03	0,061	0,003721
2	0,05	0,041	0,001681
3	0,07	0,021	0,000441
4	0,08	0,011	0,000121
5	0,11	0,019	0,000361
6	0,12	0,029	0,000841
7	0,11	0,019	0,000361
8	0,13	0,039	0,001521
9	0,08	0,011	0,000121
10	0,13	0,039	0,001521
Сер.ариф.	0,091	0,029	0,001079

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (6.3.1). За даними табл. 4.2 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (6.3.3) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{P} - P_i)^2} \approx 0.0109 \text{ мкг/м}^3 \quad \dots \quad (6.8)$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B P = 2,26 \cdot 0,032848 \approx 0,024634 \text{ мкг/м}^3 \quad \dots \quad (6.9)$$

3. Похибка приладу :

$$\Delta_{\text{пр}} P = \frac{1}{3000} t_p k T_{\text{гр}} \quad (6.10)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.2 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $P_{\text{гр}} = 500 \text{ мкг/м}^3$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} P = \frac{1}{3000} \cdot 2,0 \cdot 1 \cdot 500 \approx 0,376 \text{ мкг/м}^3; \quad (6.11)$$

4. Похибка заокруглення :

$$\Delta P_3 = P \frac{h}{2}. \quad (6.12)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,01. Отже:

$$\Delta P_3 = 0,95 \cdot \frac{0,01}{2} \approx 0,005 \text{ мкг/м}^3; \quad (6.13)$$

Розрахунок загальної абсолютної похибки $\Delta_{\text{заг}}P$:

$$\Delta P = \sqrt{(\Delta_B P)^2 + (\Delta_{\text{пр}} P)^2 + (\Delta P_3)^2} = \sqrt{0,025^2 + 0,376^2 + 0,005^2} \approx 0,3768 \text{ мкг/м}^3 \approx 0,4 \text{ мкг/м}^3 \quad (6.14)$$

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Охорона праці

Охорона праці є комплексною системою правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Для комп'ютеризованої системи вимірювання запиленості повітря, забезпечення безпеки експлуатації та обслуговування є пріоритетним завданням, що відповідає вимогам Закону України "Про охорону праці" та іншим нормативно-правовим актам.

При експлуатації та обслуговуванні комп'ютеризованої системи вимірювання запиленості повітря можуть виникати такі потенційні небезпеки та шкідливі фактори:

Електрична небезпека:

– Ураження електричним струмом: Система живиться від двох послідовно з'єднаних літій-іонних акумуляторів (7.2 В - 8.4 В) та має внутрішні електричні кола напругою 5 В. Незважаючи на низьку напругу, неправильне підключення, пошкодження ізоляції проводів, коротке замикання або контакт з несправними компонентами можуть призвести до електричного удару або іскріння.

– Перегрів компонентів: Надмірний струм або несправність компонентів (особливо модуля живлення або акумуляторів) може призвести до перегріву та подальшого пошкодження пристрою або виникнення пожежі.

Хімічна небезпека (пов'язана з акумуляторами):

– Витік електроліту: У разі пошкодження літій-іонних акумуляторів можливий витік хімічно активного електроліту, що може викликати подразнення шкіри, очей та дихальних шляхів.

– Загоряння/вибух акумуляторів: При перезаряді, перерозряді, короткому замиканні, механічному пошкодженні або перегріві Li-Ion акумулятори можуть загорітися або вибухнути з виділенням токсичних газів.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фактори навколишнього середовища:

– Агресивні речовини: Корозійно-активні пари і гази можуть пошкодити електронні компоненти та з'єднання, знижуючи надійність та безпеку.

– Пилові частинки: Хоча система вимірює пил, надмірне забруднення самого датчика може призвести до його некоректної роботи та необхідності очищення, під час якої можуть вивільнятися шкідливі частинки.

7.2. Розробка заходів з охорони праці

Для забезпечення безпечної експлуатації та обслуговування комп'ютеризованої системи вимірювання запиленості повітря розробляються та впроваджуються такі заходи:

Захист від механічних впливів:

– Корпус: Корпус системи виготовлений з полілактиду забезпечує міцність, довговічність, герметичність та стійкість до зовнішніх механічних впливів, вібрацій та одиничних ударів .

– Надійне кріплення: Всі внутрішні компоненти та зовнішні елементи повинні бути надійно закріплені для запобігання зміщенню або пошкодженню від вібрації та ударів.

Технічна доступність:

Модульна конструкція: Система спроектована з урахуванням модульності, що спрощує діагностику та заміну несправних елементів.

Доступність для обслуговування: Розташування компонентів повинно забезпечувати вільний доступ для діагностики, заміни акумуляторів, калібрування та підключення до налагоджувального порту.

Організаційні та профілактичні заходи:

Документація: Розробка повної технічної документації, включаючи принципові схеми, інструкції з експлуатації, інструкції з безпеки, посібники з ремонту та переліки запасних частин.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулярне обслуговування: Проведення планових перевірок стану корпусу, кабелів, роз'ємів, а також функціональних тестів системи.

Контроль умов експлуатації: Забезпечення експлуатації системи в межах допустимих кліматичних умов (-15°C до +45°C, вологість до 80% при +25°C), а також захист від корозійно-активних речовин.

7.3. Пожежна безпека приміщення

Забезпечення пожежної безпеки приміщення, де експлуатується та зберігається комп'ютеризована система вимірювання запиленості повітря, є критично важливим.

Основні вимоги до пожежної безпеки регламентуються Кодексом цивільного захисту України та Правилами пожежної безпеки в Україні.

Аналіз потенційних джерел займання:

– Літій-іонні акумулятори: Це основне потенційне джерело пожежної небезпеки. У разі несправності модуля зарядки/захисту, механічного пошкодження, перезаряду, перерозряду або перегріву, Li-Ion акумулятори можуть загорітися з виділенням великої кількості тепла та токсичних газів, або навіть вибухнути. Особливо небезпечним є тепловий розгін акумулятора.

– Електричні кола: Короткі замикання в електричних колах, перевантаження проводів або несправності компонентів можуть призвести до іскріння, перегріву та займання.

– Зовнішні джерела: Недбале поводження з відкритим вогнем, паління, несправності електромережі приміщення, в якому знаходиться пристрій.

Профілактичні заходи:

- Правильне поводження з акумуляторами: Забезпечити зарядку акумуляторів лише за допомогою штатного модуля зарядки, призначеного для Li-Ion 2S батарей, що має вбудовані функції захисту. Забороняється заряджати акумулятори без нагляду або залишати їх у повністю розрядженому стані на тривалий час.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Захист від механічних пошкоджень: Корпус пристрою повинен надійно захищати акумулятори від ударів, падінь та проколів.

– Температурний режим: Не допускати експлуатації та зберігання пристрою поблизу джерел тепла або у місцях з підвищеною температурою, що перевищує допустимі межі (+45°C).

– Запобігання коротким замиканням: Всі електричні з'єднання повинні бути якісно виконані та ізольовані. Забезпечити відсутність сторонніх предметів, що можуть спричинити коротке замикання, поблизу електричних частин пристрою.

– Розміщення: Розміщувати систему на негорючій поверхні, подалі від легкозаймистих матеріалів.

– Засоби пожежогасіння:

– Первинні засоби: Приміщення, де експлуатується система, повинно бути оснащене первинними засобами пожежогасіння. Для гасіння електрообладнання під напругою (до 1000 В) необхідно використовувати вуглекислотні (ВВК) або порошкові (ВП) вогнегасники.

– Заборона використання води: Категорично забороняється використовувати воду для гасіння пожеж, спричинених загорянням літій-іонних акумуляторів або електрообладнання, оскільки це може погіршити ситуацію (спричинити вибух водню або розтікання палаючого електроліту).

– Протипожежна сигналізація: За наявності в приміщенні слід передбачити встановлення системи автоматичної пожежної сигналізації.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання даної дипломної роботи було успішно розроблено та обґрунтовано архітектуру комп'ютеризованої системи для вимірювання запиленості повітря у промисловій зоні міста. Виконані дослідження та розробки, які дозволили досягти поставленої мети – створення ефективного засобу для моніторингу якості повітря.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено аналіз актуальності проблеми: Обґрунтовано значущість моніторингу запиленості повітря в промислових зонах, виявлено недоліки традиційних методів вимірювання та підкреслено необхідність автоматизації для оперативного отримання достовірних даних.

2. Сформовано та обґрунтовано вимоги до системи: Детально визначено функціональні та технічні параметри системи, включаючи кліматичні та механічні умови експлуатації, вимоги до ремонтпридатності, живлення, а також конструктивного оформлення, надійності та взаємного розташування компонентів.

3. Вибрано та обґрунтовано основні компоненти системи: Проведено ретельний вибір та обґрунтування ключових апаратних засобів, таких як:

4. Розроблено структурну схему системи: Наочно представлено взаємозв'язки між основними функціональними блоками (акумулятор, датчик пилу, мікроконтролер, кнопка, світлодіоди, дисплей), що демонструє загальну архітектуру пристрою.

5. Опрацьовано питання охорони праці та пожежної безпеки: Проаналізовано потенційні небезпеки (електричні, хімічні, механічні, екологічні) та розроблено комплекс заходів для їх запобігання, включаючи технічні рішення (захист від ураження струмом, герметичність, надійне кріплення, модульність) та організаційні (навчання персоналу, документація, контроль умов експлуатації). Особливу увагу приділено безпеці поводження з літій-іонними акумуляторами.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Розроблено корпус системи та протестована робота системи в умовах наближених до промислової зони міста.

7. Визначено показники надійності та точності. Середній наробіток до відмовлення визначено на рівні: 14035 год. Загальна абсолютна похибка вимірювання системи склала: 0,4 мкг/м3.

Розроблена комп'ютеризована система вимірювання запиленості повітря є ефективним, компактним та надійним рішенням, здатним забезпечити безперервний моніторинг та оперативне реагування на зміни якості атмосферного повітря. Модульна конструкція та чітко визначені вимоги до експлуатації та ремонту забезпечують її високу ремонтпридатність та тривалий термін служби.

Перспективи подальшого розвитку:

- Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера з реалізацією алгоритмів фільтрації даних, калібрування та інтерфейсу користувача.

- Розширення функціоналу шляхом додавання можливості вимірювання інших параметрів повітря (температури, вологості, концентрації шкідливих газів).

- Додавання модулів для дистанційної передачі даних на комп'ютер та мобільний телефон.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Екологічні проблеми промислового комплексу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://buklib.net/books/23380>.
2. Детектор якості повітря Benetech GM8804 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://storgom.ua/ua/product/detektor-kachestva-vozduha-benetech-gm8804.html#properties-tab>.
3. Пиломір Korno GT-1000-FC [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gastech.com.ua/product/korno-gt-1000-jmfc-pylomir>.
4. Портативний лічильник дрібнодисперсних частинок пилу в повітрі СЕМ DT-96 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://simvolt.ua/portativniy-lchilnik-chastok-pilu-cem-dt-96.html>.
5. Датчик Sharp GP2Y1010AU0F [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://diylab.com.ua/p81697125-sensor-zadimlenosti-zapilenosti.html>.
6. Arduino UNO [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>.
7. ATmega328 [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.onerivertronics.com/product/1914589-atmega328p-ru.html>.
8. РК-дисплей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ardushop.in.ua/arduino/lcd-display-1602-hd44780-with-green-backlight>
9. Літій-іонні (Li-Ion) акумулятори [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://batteryswapstation.com/uk/3-7v-li-ion-battery>.
10. Стаття «Які бувають світлодіоди: огляд основних типів і характеристик» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pkf-elektroplast.com.ua/ua/a399159-kakie-byvayut-svetodiody.html>.
11. Навчальний посібник «Побудова блок-схем». УДК 004.075.8 Швачич Г.Г., В.М. Пасинков, Г.А. Павленко. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2004. – 24 с.
12. Мікроконтролера ATmega328P [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Методичні ремондації до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні системи». Розробники: Подчашинський Юрій, Чепюк Ларіна, Петросян Руслан. – Житомир : ДУ «Житомирська політехніка», 2021 – 60 с.

14. Розрахунок надійності [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7310107/page:9>.

15. Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>.

16. Законодавча і нормативна база охорони праці в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/184537/mod_resource/content/1/%D0%BB2.pdf.

17. Петухов В.М. Конструювання та технологія виробництва електронних засобів. Підручник. Київ: НТУУ "КПІ", 2012.

18. Креслення електричних схем [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7658538>.

19. Расчет надежности. Методическое пособие по дипломному проектированию – РГКРИПТ, Ростов-Дон, 2004. – 407 с.

20. Конспект лекцій на тему «Методи оцінки небезпечних та шкідливих виробничих факторів» (для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності «Охорона праці на електричному транспорті») / К. В. Данова ; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. - Х.: ХНУМГ, 2014. – 31 с.

					МММТ 480.004.005- ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		