

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 концентрації
небезпечних газів у виробничих приміщеннях**

Виконав: студент 4 курсу, групи MT-4
напряму Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Петренко Владислав Анатолійович
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. каф. ІВТ
Подчащинській Ю.О.

(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

інформаційно-вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент Петренко Владислава Анатолійовича

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система для вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях

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

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «10» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи вивід на дисплей концентрації небезпечних газів, звукове та світлове оповіщення про критичну концентрації газів (CO, H₂S, CH₂O, NH₃ >400ppm, CO₂>1000ppm), світлова індикація при роботі системи (зелений світлодіод), включення та виключення системи

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) технічне завдання, опис існуючих систем для вимірювання небезпечних газів, розробка структурної схеми, розробка принципової, розробка блок-схеми алгоритму та програми, розрахунок надійності та точності, охорона праці

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

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму, друкowana плата

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

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

7. Дата видачі завдання 4 квітня 2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих систем	4.05.2025-8.05.2025	
2	Опис технічного завдання	10.05.2025-11.05.2025	
3	Обґрунтування складових системи вимірювання кількості зрідженого газу	12.05.2025-15.05.2025	
4	Розробка структурної схем системи для вимірювання концентрації небезпечних газів	16.05.2025-18.05.2025	
5	Розробка принципової схем системи для вимірювання концентрації небезпечних газів	19.05.2025-24.05.2025	
6	Розробка блок-схеми алгоритму та програми системи	25.05.2025-27.05.2025	
7	Розрахунок надійності та точності системи	28.05.2025-29.05.2025	
8	Опис охорони праці	30.05.2025-2.06.2025	
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації	3.06.2025-10.06.2025	

Студент

(підпис)

Петренко В.А.

Керівник роботи

(підпис)

Подчашинський Ю.О.

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система для вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях» містить 80 сторінок, 15 рисунків, 8 таблиць, 3 формул, 30 джерел.

В роботі проводиться обґрунтування актуальності проєктування комп'ютеризованої системи вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях.

Розроблена структурна схеми системи вимірювання концентрації небезпечних газів. На базі структурної схеми та технічних характеристик була розроблена принципова схема. На основі принципової схеми була розведена друкована плата. Розроблений алгоритм та відповідна програма. Розрахована точність системи. Розрахована надійність системи.

Ключові слова: небезпечні гази, датчик газів, мікроконтролер, система вимірювання концентрації газу.

ANNOTATION

Bachelor's thesis on the topic "Computerized system for measuring the concentration of hazardous gases in production premises" contains 65 pages, 15 figures, 8 tables, 3 formulas, 30 sources.

The work justifies the relevance of designing a computerized system for measuring the concentration of hazardous gases in production premises.

A structural diagram of the system for measuring the concentration of hazardous gases has been developed. Based on the structural diagram and technical characteristics, a schematic diagram has been developed. Based on the schematic diagram, a printed circuit board has been designed. An algorithm and a corresponding program have been developed. The accuracy of the system has been calculated. The reliability of the system has been calculated.

Keywords: hazardous gases, gas sensor, microcontroller, gas concentration measurement system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1. Призначення та область застосування.....	8
1.2. Умови експлуатації.....	8
1.3. Технічні параметри системи.....	8
1.4.Вимоги до конструктивного оформлення.....	10
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	11
2.1. Перелік небезпечних газів у виробничих приміщеннях	11
2.2. Огляд та аналіз існуючих вимірювачів концентрації небезпечних газів	14
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	23
3.1. Обґрунтування складових системи.....	23
3.2. Обґрунтування датчика концентрації газів	24
3.3. Обґрунтування мікроконтролеру	26
3.4. Обґрунтування світлового та звукового оповіщення.....	33
3.5. Обґрунтування дисплея.....	34
3.6.Обґрунтування живлення системи.....	36
3.7. Структурна схема.....	38
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	40
4.1. Вибір датчиків концентрації газів	40
4.2. Вибір мікроконтролеру.....	45
4.3. Вибір світлового та звукового оповіщення	47
4.4.Вибір дисплея.....	49
4.5. Вибір живлення системи.....	51
4.6. Побудова принципово-електричної схеми.....	54
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	56
5.1. Розробка алгоритму	56
5.2. Розробка програми.....	58
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	62
6.1.Розробка друкованої плати.....	62
6.2.Вибір корпусу.....	66
6.3. Розрахунок надійності системи.....	67
6.4.Розрахунок похибок вимірювання концентрації газів	70
7.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	72
7.1. Охорона праці.....	72
7.2. Вимоги безпеки до виробничих і допоміжних приміщень.....	73
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	81

					МММТ 480.011.011- ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Комп'ютеризована система для вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях	Літ.	Арк.	Аркшів
Розробив	Петренко						5	80
	Подчашинськи							
Рецензен						ДУ «Житомирська політехніка» МТ-4		
Н. контр.								
Затверд.	Подчашинськи							

ВСТУП

Моніторинг концентрації шкідливих газів у виробничих приміщеннях є надзвичайно важливим для збереження здоров'я працівників, попередження аварійних ситуацій та відповідності санітарним нормам і стандартам безпеки праці. В умовах роботи з токсичними речовинами або газовими системами навіть незначне перевищення концентрацій може мати серйозні наслідки – від гострих отруєнь до пожеж чи вибухів.

Сучасні газоаналізатори дозволяють у реальному часі визначати рівні газів, таких як CO (чадний газ), CH₄ (метан), NO₂ (оксид азоту), NH₃ (аміак), H₂S (сірководень), що забезпечує оперативне реагування у разі перевищення допустимих норм. Такий моніторинг не лише підвищує рівень безпеки, а й допомагає оптимізувати вентиляцію, техпроцеси та мінімізувати ризики.

Серед популярних рішень – портативні газоаналізатори, стаціонарні системи з багатоточковими сенсорами, а також розумні IoT-системи з передачею даних у хмару.

Переваги: висока точність вимірювань, можливість безперервного контролю, сигналізація у режимі реального часу, інтеграція з системами автоматичного вентиляційного керування.

Недоліки: висока вартість професійних моделей, необхідність регулярного калібрування, обмежений термін служби деяких сенсорів (особливо електрохімічних).

Враховуючі важливість моніторингу концентрації шкідливих газів у виробничих приміщеннях та існуючі недоліки існуючих газоаналізаторів, пропонується розробити комп'ютеризовану систему для вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях.

Для розробки систему для вимірювання концентрації небезпечних газів потрібно виконати наступні задачі:

1. Проаналізувати існуючі газоаналізатори на ринку, професійні стаціонарні системи вимірювання газів в повітрі.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		6

2. Обґрунтувати складові системи для вимірювання концентрації небезпечних газів.

3. Побудувати структурну та принципову схеми системи для вимірювання концентрації небезпечних газів.

4. Розробити друковану плату системи.

5. Прорахувати надійність та точність системи.

6. Розглянути охорону праці у виробничих приміщеннях.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система повинна а автоматичному або в автоматизованому режимі забезпечити: контроль концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях, вивести показники кількості газів на дисплей, вивести звукове оповіщення про критичний рівень концентрації небезпечних газів.

Область застосування системи для вимірювання контроль концентрації небезпечних газів є виробництво, а саме виробничі приміщеннях. Необхідно розробити структуру системи, підібрати відповідну елементну базу, створити електричну принципову схему та друковану плату, а також реалізувати алгоритм функціонування й програмне забезпечення. Окрім цього, важливо провести оцінку точності та надійності системи, а також врахувати аспекти охорони праці при її використанні.

Початок розробки – 25 квітня 2025 р.

Кінець розробки – 10 червня 2025 р.

1.2. Умови експлуатації

- Температура навколишнього середовища від 0 °С до + 45°С;
- Відносна вологість до 95% при температурі +25°С (без конденсації);
- Атмосферний тиск 630-800 мм рт. ст;
- Хімічно активні компоненти вприсутні;
- Вібрація, тряска, удари, пил присутні;
- Характер роботи перервний;
- Системна ремонтпридатна, відновлювальна;
- Джерело живлення – 3,7 В $\pm 5\%$.

Комп'ютеризована система для вимірювання концентрації небезпечних газів експлуатується безпосередньо у виробничих приміщеннях, тому умови її роботи залежать від середовища, де відбувається виробництво: цеха, відділи,

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		8

кабінети, склади, допоміжні криті приміщення (опалювальні та неопалювальні).

Комп'ютеризована система для вимірювання концентрації небезпечних газів повинні проходити сертифікацію в метрологічних центрах та повірку відповідна за графіком.

Після монтажу система для вимірювання концентрації небезпечних газів проходить первинне налаштування та калібрування. Для цього проводиться тестові вимірювання на спеціальні реагенти. Система для вимірювання концентрації небезпечних газів зазвичай працює стабільно без потреби в частому обслуговуванні, однак важливо дотримуватись інструкцій з експлуатації та правил техніки безпеки.

1.3. Технічні параметри системи

На вхід системи подається:

- Сигнал з датчиків концентрації газів повітря.

На вихід системи подається:

- Звукове сповіщення про критичний рівень концентрації газів в повітрі;
- Світлове оповіщення про роботу системи при різних концентрацій газів в повітрі;
- Вивід показників концентрації газів повітря на дисплей.

Вхідні та вихідні сигнали опрацьовує мікроконтролер.

Режими роботи системи: автоматичний.

Технічні характеристики системи та її складових частин:

- Тоність концентрації вуглекислого газу CO₂ повина складати: відносна похибка 2 %, абсолютна похибка вимірювання 13ppm;
- Діапазон вимірювання концентрації вуглекислого газу CO₂: від: 0 л до 2000ppm;
- Напрацювання на відмову повинно складати близько 12 000 годин;
- Дисплей використовує підключення по інтерфейсу I2C.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Дрк.
						9
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Система повинна базуватись на уніфікованих компонентах – мікроконтролері, газовому сенсорі, LCD-дисплеї, двох світлодіодах та бузері. Використання уніфікованих елементів дозволяє легко здійснювати їх заміну без потреби в модифікації електричної принципової схеми.

1.4.Вимоги до конструктивного оформлення

Конструктивно система повина знаходитись в корпусі з певними доробками: датчик рівня концентрації газів повинен виглядати зовні з корпусу; звукова та світлова сигналізація повина також виглядати з корпусу, вивід показників повинен виводитися на дисплей, також повинен мати отвір корпусі.

Габарити системи: 148x92x52мм (розмір плати 88x128 мм).

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

2.ОГЛЯД ТА АНАЛІЗІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Перелік небезпечних газів у виробничих приміщеннях

Датчики якості повітря знаходять широке застосування в промисловості для забезпечення дотримання стандартів безпеки та гігієни праці. Вони виявляють шкідливі забруднювачі та гарантують, що якість повітря в промислових приміщеннях залишається в допустимих межах.

Перелік небезпечних газів у виробничих приміщеннях: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), діоксид сірки (SO₂), діоксид азоту (NO₂), оксид азоту (NO), озон (O₃), сірководень (H₂S), формальдегід (CH₂O), пари аміаку (NH₃).

Чадний газ (оксид вуглецю, CO) утворюється при неповному згорянні органічного палива внаслідок нестачі кисню. Потрапляючи у кров, чадний газ руйнує гемоглобін крові і погіршує насичення організму киснем. Після однієї години перебування в приміщенні, у повітрі якого міститься лише 0,1% CO – людина непритомніє. Концентрація чадного газу у приміщенні на рівні 0,5% є смертельно небезпечною – отруєння настає вже за 20 хвилин, а при концентрації 1% – смерть настає через хвилину.

CO₂ – вуглекислий газ або діоксид вуглецю — це безбарвний газ, який не має запаху при малих концентраціях. Він виділяється людьми, тваринами та рослинами. Газ без запаху і смаку, який помітний людині лише через свої негативні наслідки: нездужання, погану концентрацію та втрату працездатності. Люди вдихають кисень з повітря при вдиху і виділяють вуглекислий газ у повітря при видиху. Вдихуване повітря містить 21% об'єму кисню та 0,035% - вуглекислого газу. А видихуване повітря містить лише 16% об'єму кисню і вже 4% - вуглекислого газу. Двоокис вуглецю токсичний для людини лише в концентрації 2,5% об'єму, але за показниками, у закритих приміщеннях, з великою кількістю людей та обмеженою вентиляцією, значення від 5000 до 6000 проміле CO₂ з'являється вже через кілька хвилин. Щоб нормалізувати ці процеси, необхідний своєчасний примусовий повітрообмін: провітрювання або вентиляція.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		11

Діоксид сірки (SO₂) – також безбарвний газ, але з гострим запахом. Для SO₂ погодинне граничне значення – 350 мкг/м³, не може перевищуватися більш ніж 24 рази протягом календарного року; 24-годинне граничне значення – 125 мкг/м³, не може перевищуватися більш ніж 3 рази протягом календарного року. Вплив діоксиду сірки в концентраціях вище ГДК може викликати порушення функцій дихання і суттєве збільшення різних хвороб дихальних шляхів, відзначають також дію на слизові оболонки, запалення носоглотки, бронхіти, кашель, хрипоту і біль в горлі. Особливо висока чутливість до дії діоксиду сірки спостерігається у людей з хронічними порушеннями органів дихання, з астмою.

Діоксид азоту NO₂ – безбарвний отруйний газ, без запаху, дратівливо діє на органи дихання – 40 мкг/м³, погодинне граничне значення – 200 мкг/м³, не може перевищуватися більш ніж 18 разів протягом календарного року. Особливо небезпечні оксиди азоту в містах, де вони взаємодіють з вуглеводнями вихлопних газів і можуть утворювати фотохімічний туман – смог. Отруєння оксидами азоту починає проявляється з легкого кашлю. При підвищенні концентрації NO₂, виникає сильний кашель, блювота, іноді головний біль. При контакті з вологою поверхнею слизової оболонки оксиди азоту утворюють кислоти HNO₃ і HNO₂, які призводять до набряку легенів.

Приземний озон (O₃) надзвичайно сильний окисник і дуже шкідливий, як для організму людини, так і для інших живих організмів – граничне добове 8-годинне значення – 120 мкг/м³, не може перевищуватися більш, ніж 25 днів протягом календарного року за 3 роки. Висока окислювальна здатність озону і здатність до утворення вільних радикалів кисню визначають його високу токсичність. Вплив озону на організм є загальнотоксичним, подразнювальним, канцерогенним і мутагенним, а також може призводити до передчасної смерті. Найбільш небезпечний вплив високих концентрацій озону в повітрі на органи дихання прямим подразненням. Згідно директиви 2002/3/ЕС поріг для населення складає не більше 180 мкг/м³, впродовж години. При перевищенні

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

240 мкг/м³ впродовж трьох годин в ЄС спрацьовує сигнал тривоги для населення.

Пари аміаку (NH₃) також дуже шкідливі для здоров'я. Парами аміачних газів можна сильно отруїтися. При отруєнні в першу чергу страждають очі і слизові оболонки дихальних шляхів [1].

Сірководень (H₂S) – це безбарвний газ із характерним запахом тухлих яєць, який, будучи щільнішим за повітря, може накопичуватися в низинних місцях у тихих умовах.

Сірководень утворюється під час розпаду органічних матеріалів, екстрагується з нафтою (коли нафта вважається кислою) і часто виявляється під землею під час прокладання тунелів і в каналізації. Він є складовою біогазу і міститься у великих кількостях на очисних спорудах, насосних станціях, пресових цехах, котельнях і практично будь-де, де очищуються стічні води. У деяких промислових цілях він використовується, а в інших виробляється як побічний продукт (наприклад, виробництво волокна).

Цей газ подразнює шкіру та слизові оболонки через його високу розчинність у воді та знижує парціальний тиск кисню в легенях шляхом пригнічення дії цитохромоксидази, трансмембранної молекули, що спричиняє утруднення дихання (дефіцит кисню на клітинному рівні). Це прискорюється при вищих концентраціях, що потенційно може призвести до колапсу/втрати свідомості.

Нижня межа подразнення оболонок очей. Порогове граничне значення для людини становить 10 ppm [2].

Формальдегід (CH₂O), також відомий як метиловий альдегід або формол, є безбарвним газом з різким запахом. Він утворюється під час неповного згоряння органічних матеріалів, таких як деревина та вугілля, а також у результаті промислових процесів.

Формальдегід є високотоксичним і може викликати різноманітні проблеми зі здоров'ям. Формальдегід може викликати atopічну екзему та різні алергічні стани.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		13

При низькій концентрації відбувається подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів та кон'юнктив, кашель та печіння очей. У більш високих концентраціях виникають: сильна сльозотеча, набряки та пневмонія. Належить між мутагенні та канцерогенні речовини.

ВООЗ рекомендує не перевищувати тривалу концентрацію 60 мг / м³ [3,4].

2.2. Огляд та аналіз існуючих газових детекторів

Аналізатор якості повітря CEM DT-9881 представлений на рис.2.1.



Рис.2.1. Аналізатор якості повітря CEM DT-9881

Аналізатор якості повітря CEM DT-9881 – це міні-лабораторія екологічного контролю, яка широко використовується в різноманітних галузях промисловості для визначення таких параметрів:

- Вміст у повітрі дрібнодисперсних (0,3; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10 мкм) частинок (пилу);
- Концентрація чадного газу і формальдегіду в навколишньому середовищі;
- Температура повітря;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

- Відносна вологість повітря;
- Температура точки роси.

Технічні характеристики аналізатора СЕМ DT-9881 предствалені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Технічні характеристики аналізатора СЕМ DT-9881

Детектор вмісту формальдегіду	
Діапазон значень	0,01-5,00 частинок на млн. (PPM)
Базова точність	±5 % (всієї шкали вимірювання)
Одиниця вимірювання	0,01 ppm
Детектор чадного газу	
Діапазон значень	10-1000 частинок на млн. (PPM)
Базова точність	±5 % (усієї шкали вимірювання)
Одиниця вимірювання	1 ppm
Температура експлуатації	від 0 до 50 °C (від 32 до 122 °F)
Умови зберігання	температура: від -10 до 60 °C (від 14 до 140 °F)
	вологість: від 10 до 90 % за умови відсутності конденсації
Дисплей	кольоровий рідкокристалічний екран розміром 2,8 дюйма і роздільною здатністю 320×240 з функцією підсвічування
Живлення	
Батарея	акумуляторна
Тривалість роботи	приблизно 4 години в режимі безперервного вимірювання
Тривалість зарядки батареї	приблизно 2 години з використанням мережевого адаптера

Особливості аналізатора якості повітря СЕМ DT-9881:

- кольоровий рідкокристалічний дисплей розміром 2,8 дюйма;
- завдяки вбудованій камері є можливість здійснення фото- і відеозйомки у форматах JPEG та 3GP відповідно;
- можливість одночасного визначення вмісту в повітрі завислих дрібнодисперсних частинок різних розмірів за допомогою застосування шести каналів вимірювання;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ док.м.	Підпис	Дат		15

- наявність детекторів визначення концентрації чадного газу і формальдегіду;
- функція визначення мінімального, середнього, максимального й диференціального значення вимірюваних величин;
- можливість запису результатів вимірювання на карту пам'яті ємністю 8 Гб, передачі даних до персонального комп'ютера за допомогою міні USB для здійснення подальшого аналізу отриманих результатів;
- можливість налаштування коефіцієнта випромінювання, програмування затримок, вибору часу вибірки підрахунку даних, вибір одиниць вимірювання та мови інтерфейсу;
- функція автоматичного вимкнення живлення;
- передбачена реєстрація 5000 записів та здійснення відеозйомки протягом 20 хвилин;
- наявність звукової сигналізації за умови виходу вимірюваних показників за межі встановлених діапазонів;
- передбачена можливість встановлення пристрою на штативі, що йде в комплекті [5].

Газовий детектор BW GasAlert Extreme вимірює аміак NH_3 , діоксид азоту NO_2 , діоксид сірки SO_2 , діоксид хлору ClO_2 , кисень O_2 , озон O_3 , оксид азоту NO , оксид етилену ETO , сірководень H_2S , фосфін PH_3 , хлор Cl_2 , ціаністий водень HCN , чадний газ CO . Газовий детектор BW GasAlert Extreme представлений на рис.2.2.



Рис.2.2. Газовий детектор BW GasAlert Extreme

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		16

Переносний одноканальний детектор газу GasAlert Extreme призначений для безперервного контролю повітря робочої зони, вимірювань концентрації одного з потенційно небезпечних газів і парів та подачі сигналізації при перевищенні контрольованим газом встановлених порогів сигналізації.

Детектори можуть застосовуватися в наступних галузях промисловості: підприємства газовидобутку і газопереробні заводи, підприємства сфери трубопровідного транспорту, хімічні підприємства, металургійні комбінати, сфера житлово-комунального господарства: водоканали, колектори, котельні, тепломережі, водозабори і інші, телекомунікаційні підприємства, виробництво паперу та целюлози, харчова промисловість і холодокомбінати, гірничодобувна промисловість, залізничні та транспортні компанії, а також ряд інших галузей. У тому числі небезпечних можливістю раптових викидів.

Технічні характеристики GasAlert Extreme:

- Непереривне відстеження до 4 небезпечних газів: горючих газів, H₂S, O₂, CO;
- Гарантований термін роботи – мінімум 12 годин при температурі до – 20 °C зниження без ефективності виявлення нижньої межі вибуховості (НВВ) водню, ацетилену та інших горючих газів;
- Надійна перезаряджаемая літія – полімерна батарея, випробувана на придатність до роботи в екстремальних умовах;
- Ергономічність і зручність носіння – низька вага;
- Концентрації газу відображаються на ЖК - дисплей в режимі реального часу;
- Яскраві, що видно зі всіх сторін полоси візуальної попереджувачої сигналізації;
- Клас захисту IP68, гарантує максимальну пило - і водонепроникність – до 45 хвилин на глибині 1,2 м
- Удобство застосування, захист від неумелого звернення – управління однією кнопкою, інтуїтивно зрозумілі символічні значки на ЖК -дисплеї;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		17

- Індикатор IntelliFlash™, який вказує, що детектор пройшов випробування на працездатність і видає точні дані;
- Самотестування датчиків, стану акумулятора, нерозривності цепи, а також аудіовізуальної сигналізації при включенні;
- Сумісність з док-станцією MicroDock II для автоматичного випробування на працездатність і калібрування;
- Сумісність з ПО Fleet Manager II для ведення звітності та управління комплексом детекторів на підприємстві;
- Підтримка кількох мов [6].

Аналізатор якості повітря KORNO GT-1000-JM3 представлений на рис.2.3.



Рис.2.3. Аналізатор якості повітря KORNO GT-1000-JM3

Аналізатор містить 2 датчики газу (CO/CH₂O) плюс 1 датчик пилу.

KORNO GT-1000-JM3 – багатофункціональний портативний вимірювач концентрації газу і пилу, який може містити до 5 датчиків газу або 3 датчики газу плюс 1 датчик пилу.

Прилад може досліджувати частинки пилу розміром 0,3/0,5 мкм, 1,0 мкм, 2,5 мкм, 10 мкм за допомогою лазерного сенсора. Аналізатор якості повітря одночасно визначає температуру і вологість середовища, яке досліджується.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		18

KORNO GT-1000-JM3 оснащено водонепроникною та пилонепроникною конструкцією корпусу з класом захисту IP66 і 3,5 дюймовим кольоровим LCD дисплеєм IPS для якісного відображення показань під будь-яким кутом.

Доступне автоматичне і ручне збереження до 154000 груп даних, також користувач може переглядати дані показань на дисплеї. Дані можна експортувати на комп'ютер для перегляду та збереження у графічному форматі або форматі EXCEL.

Аналізатор якості повітря KORNO GT-1000-JM3 застосовують на виробництві, в офісних приміщеннях, у медичних і освітніх установах, жилих приміщеннях, під час введення будівель та приміщень в експлуатацію, в місцях тривалого перебування людей тощо.

Технічні характеристики аналізатора якості повітря KORNO GT-1000-JM3 представлені в табл.2.2 [7].

Таблиця.2.2.Технічні характеристики аналізатора якості повітря KORNO GT

Виявлення газу	2 газу + пил (налаштувати відповідно до потреб користувача)
Час реакції	≤20 секунд (T90)
Точність виявлення	≤ ±3 % (залежно від конкретного типу датчика)
Помилка лінійності	≤ ±1 %
Нульовий дрейф	≤ ±1 % (FS/рік)
Час відновлення	≤ 20 секунд
Налаштування датчика газу	користувач може налаштувати 1–5 датчиків газу в будь-якій комбінації
Повторюваність	≤ ± 1 %
Вибухозахищеність	CNEx16.0537
Ліцензія на виробництво	Guangdong Manufacturing 00000052 (Китайська метрологічна сертифікація)
Температура і вологість:	діапазон визначення температури: -40...+120 °C діапазон визначення вологості: 0...100 % RH

Датчик пилу	лазерний датчик пилу (опційно) визначає частинки пилу розміром 0,3/0,5 мкм, 1,0 мкм, 2,5 мкм, 10 мкм
Метод виявлення	вбудований мініатюрний повітряний насос для всмоктування повітря
Зберігання даних	доступне автоматичне і ручне збереження до 154 000 груп даних. Користувач може переглядати дані на дисплеї.
Режим друку	доступні автоматичний і ручний друк, користувач може скинути цикл друку (мікропринтер необов'язково)
Умови роботи	діапазон робочої температури: - 30...+60 °С діапазон робочої вологості: ≤90 % RH, без конденсації діапазон робочого тиску: - 30...100 кПа джерело живлення – полімерна акумуляторна батарея високої ємності 4000 мА
Габарити	255x80x60 мм (ДxШxВ)
Вага	0,5 кг
Додаткові аксесуари	мікропринтер, bluetooth-принтер, датчик частинок пилу PM2.5, додавання різних типів датчиків, модуль GPRS, карта пам'яті 32G, функція сигналізації mandown

Порівняльна таблиця систем вимірювання концентрації газу для зведених в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Порівняльна таблиця газоаналізаторів

Характеристика	KORNO GT-1000-JM3	BW GasAlert Extreme	CEM DT-9881
Тип пристрою	Портативний багатогазовий детектор	Одногазовий детектор	Аналізатор якості повітря
Кількість газів	До 4 одночасно	1 (залежно від моделі)	CO, HCHO, частки РМ
Діапазон вимірювання	Залежить від конфігурації	CO: 0–1000 ppm; H ₂ S: 0–100 ppm; O ₂ : 0–30% об.	CO: 10–1000 ppm; HCHO: 0.01–5.0 ppm; PM: 0.3–10 µm
Тип сенсорів	Електрохімічні, ІЧ, каталізатори	Електрохімічні	Лазерний для часток, електрохімічні

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат.		20

Сигналізація	Звукова, візуальна, вібрація	Звукова (95 дБ), візуальна, вібрація	Звукова, візуальна
Дисплей	LCD з підсвічуванням	LCD з підсвічуванням	2.8" TFT кольоровий
Живлення	Акумулятор	Змінна 3В батарея	Вбудований акумулятор
Час роботи	До 12 годин	До 2 років (залежно від моделі)	Близько 4 годин
Розміри та вага	Залежить від моделі	2.8 x 5.0 x 9.5 см; 82 г	240 x 75 x 57 мм; 570 г
Додаткові функції	Даталогер, калібрування, захист IP65	Даталогер, захист IP66/67, багатомовність	Вимірювання температури, вологості, точки роси, зберігання даних на SD-карті

По розглянутим аналізаторам можна зробити висновки:

KORNO GT-1000-JM3: Ідеально підходить для професійного використання з можливістю одночасного моніторингу кількох газів. Має гнучкі налаштування та високу точність вимірювань.

До недоліків можна віднести: високу вартість, потребує періодичного обслуговування, вага більша, ніж у кишенькових моделей.

BW GasAlert Extreme: Надійний одногазовий детектор з тривалим терміном служби батареї. Підходить для тривалого використання в умовах підвищеної небезпеки.

До недоліків можна віднести: вимірює лише один газ, без дисплея з кольоровим інтерфейсом, обмежений функціонал.

CEM DT-9881: Багатофункціональний аналізатор якості повітря, що вимірює не лише гази, але й частки пилу, температуру та вологість. Підходить для комплексного моніторингу мікроклімату.

До недоліків можна віднести: обмежений час автономної роботи, не підходить для промислових небезпечних середовищ, менша точність у вимірюванні газів, ніж у професійних детекторів.

Розробка власної системи вимірювання концентрації небезпечних газів дозволить забезпечити високу точність і адаптивність до конкретних умов експлуатації.

Така система може бути оптимізована під індивідуальні потреби виробництва, з урахуванням особливостей приміщень, типів газів і вимог до сигналізації.

Розробка власної системи вимірювання концентрації небезпечних газів буде коштувати в рази дешевше існуючих систем.

Крім того, власна система відкриває можливість для гнучкого налаштування інтерфейсу, інтеграції з іншими безпековими або автоматизованими системами, а також зниження витрат на обслуговування та адаптацію готових рішень. Це дозволяє підвищити загальний рівень безпеки праці та контролю за якістю повітря.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Обґрунтування складових системи

Розробка комп'ютеризованої системи для вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях є важливим кроком для забезпечення безпеки працівників та контролю якості повітря.

Комп'ютеризована система для вимірювання концентрації небезпечних газів буде виконувати такі функції, як:

- Вимірювання концентрації газів: чадного газу, вуглекислого, аміаку, сірководню, формальдегіду;
- Виведення поточних значень концентрацій газів на дисплей;
- Перевірка показників щодо встановлених допустимих меж та виведення повідомлення про норму чи перевищення;
- Світлодіодна індикація: Зелений світлодіод – нормальний рівень; Червоний світлодіод – перевищення допустимої концентрації;
- Активування звукового сигналу при перевищенні допустимих рівнів газів;
- Вмикання/вимикання системи кнопкою;
- Живлення системи від батареї.

Для виконання цих функцій системи необхідні наступні складові:

1. Мікроконтролер, що буде забезпечувати достатню обчислювальну потужність та гнучкість для обробки даних з датчиків, вивід показників на дисплей та керування індикацією.

2. Датчики для моніторинг концентрацій газів: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), аміак (NH₃), сірководень (H₂S), формальдегід (HCHO).

3. Дисплей для виводу показників концентрації газів та повідомлень про включення/виключення системи, повідомлень норми значень концентрацію газів чи перевищення.

4. Світлодіод червоний та зелений для світлової індикації рівня концентрації газів.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

5. Бузер для звукової індикації критичного рівня концентрації газів.
6. Кнопка ввімкнення/вимкнення для керування живленням системи.
7. Джерело живлення для безперебійного живлення системи від акумулятора.
8. Підвищувач напруги для узгодження напруги живлення для мікроконтролеру.

3.2. Обґрунтування датчиків концентрації газів

Для вимірювання концентрації газів виробничого приміщення потрібно обрати датчики. Враховуючи п.2.1 пропонується такий перелік небезпечних газів у виробничих приміщеннях: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), діоксид сірки (SO₂), оксид азоту (NO), озон (O₃), сірководень (H₂S), формальдегід (CH₂O), аміак (NH₃).

Проаналізуємо перелік небезпечних газів на джерела утворення, небезпеку та марку датчика та зведемо в таблиц. 3.1.

Таблиця 3.1. Аналіз небезпечних газів у виробничих приміщеннях

Газ	Джерела утворення	Небезпека	Рекомендований датчик
CO (чадний газ)	Згоряння палива, двигуни, опалення	Отруйний, без запаху	MQ-7, ZE07-CO
CO ₂ (вуглекислий газ)	Видихання, горіння, бродіння	Гіпоксія, втома	MH-Z19B, SCD30
NH ₃ (аміак)	Хімічна промисловість, добрива, очисні споруди	Їдкий запах, подразнення	MQ-137, ZE03-NH3
CH ₄ (метан)	Газові установки, шахти	Вибухонебезпечний	MQ-4, GM-813
H ₂ S (сірководень)	Біологічне розкладання, нафтопереробка	Дуже токсичний, запах гнилі	MQ-136, ZE08-H2S
NO _x (оксиди азоту)	Двигуни, зварювання	Подразнення дихальних шляхів	MiCS-4514, ZE25-NO2
ТОЛ (легкі органічні сполуки)	Лаки, фарби, хімікати	Канцерогенні, алергічні реакції	MQ-135, CCS811
Формальдегід (HCHO)	Меблі, пластик, будматеріали	Канцероген, подразнення	ZE08-CH2O, SGP30

Згідно табл.3.1 маємо 8 різних небезпечних газів. Для виробничого приміщення ключовими є такі небезпечні гази, з огляду на загрози життю і здоров'ю:

- Чадний газ (CO);
- Вуглекислий газ (CO₂);
- Аміак (NH₃);
- Сірководень (H₂S).

Для надійної роботи системи бажано обирати датчики з цифровим виходом і калібруванням.

Для перерахованих вище небезпечних газів пропонується використати наступні датчики:

- MQ-135 – визначає: CO₂, CO, HCHO (формальдегід), NH₃, бензол, дим.
- MQ-137 – спеціалізований на аміаку, але MQ-135 також вловлює NH₃.
- MH-Z19B – точний цифровий CO₂ (залишимо для надійності).
- MQ-7 – специфічний до CO, але MQ-135 теж частково вловлює CO.

Як видно з переліку, деякі датчики багатофункціональні, тому врахувавши це в табл.3.2, обиремо три датчики.

Таблиця 3.2.Оптимізований склад датчиків

Датчик	Гази	Примітки
MQ-135	CO ₂ , CO, HCHO, NH ₃ , дим	Багатофункціональний
MQ-136	H ₂ S	Важливий для виробничих умов
MH-Z19B	CO ₂	Точний, цифровий

Отже, MQ-137 і MQ-7 не потрібні, відповідно зменшуємо кількість до трьох датчиків: MQ-135, MQ-136, MH-Z19B.

3.3. Обґрунтування мікроконтролеру

Для отримання сигналів з датчик концентрації газів MQ-135, MQ-136, МН-Z19В, вивід показів з датчиків на дисплей, аналіз допустимих та критичних рівнів концентрації газів, керування звуковою та світловою індикацією потрібно застосувати мікроконтролер.

Так, як пристрій повинен бути компактний, переносний, тому потрібно застосувати мікроконтролер.

Основні тренди 2025 року у мікроконтролерах та мікропроцесорах:

- Підвищення енергоефективності;
- Вбудовані апаратні прискорювачі для ML/AI;
- Покращені засоби кібербезпеки;
- Інтегровані радіомодулі (Wi-Fi 6/6E, BLE 5.4, Thread);
- Більша інтеграція периферії на чіпі;
- Розвиток архітектури RISC-V як альтернативи ARM та x86.

Мікроконтролери:

1. ARM Cortex-M серії:

- Cortex-M85 – найновіша і найпотужніша серія з розширеними можливостями для ML;
- Cortex-M55 та M33 – енергоефективні ядра з підтримкою Helium для векторних обчислень;
- Cortex-M7/M4/M0+ – стабільно популярні архітектури.

2. AVR мікроконтролери:

- ATmega4809 і новіші версії ATmega32xx серії;
- AVR Dx серія – нове покоління з кращою продуктивністю;
- ATtiny серія з оновленими периферійними пристроями.

3. PIC мікроконтролери:

- PIC18-Q43 і новіші моделі PIC18F серії;
- PIC32MZ DA – високопродуктивні 32-бітні контролери;
- PIC16F17xx – енергоефективні 8-бітні чіпи.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

4. STM32 серії:

- STM32U5 (ультра-низьке енергоспоживання);
- STM32H7 (висока продуктивність);
- STM32G4 і L5 (збалансованість характеристик).

ARM Cortex-M85 (рис.3.1) – це найпотужніший мікроконтролер в сімействі Cortex-M від ARM Holdings, випущений як еволюційний розвиток архітектури Cortex-M7 та M55. Цей мікроконтролер створений для високопродуктивних вбудованих систем, що вимагають обчислювальної потужності на рівні мікропроцесорів при збереженні енергоефективності мікроконтролера [8-11].



Рис.3.1. Зовнішній вигляд мікроконтролера ARM Cortex-M85

Технічні характеристики ARM Cortex-M85

- Архітектура: ARMv8.1-M;
- Розрядність: 32-біт;
- Частота роботи: до 1.2 ГГц (залежно від імплементації);
- Продуктивність: До 8.75 CoreMark/МГц;
- Ефективність Dhrystone: До 6.28 DMIPS/МГц;
- Технологія виготовлення: 5-6 нм (залежно від виробника);
- Конвеєр: 6-ступінчастий суперскалярний конвеєр з динамічним передбаченням переходів;
- Набір інструкцій: Thumb-2 з розширеннями DSP;
- Helium технологія: Інтегрований мультибітовий векторний процесор (MVE) з підтримкою операцій fp16, fp32 та INT8;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		27

- FPU: Вбудований повнофункціональний блок з підтримкою IEEE 754;
- Шина пам'яті: 64-бітна шина AXI;
- Захист пам'яті: Розширений MPU (Memory Protection Unit) до 16 регіонів;
- Інтерфейси кеш-пам'яті: Конфігуруємі L1 І-кеш та D-кеш (до 256 КБ кожен);
- Ультранизьке енергоспоживання в режимі сну менше 5 мкВт;
- Багаторівневі режими сну з швидким пробудженням (менше 10 мкс);
- Інтерфейс трасування: Вдосконалений ETM (Embedded Trace Macrocell);
- Точність відліку часу: Високоточний таймер з роздільною здатністю до 1 нс;
- Периферія: Вбудовані контролери для різних інтерфейсів (залежить від імплементації виробника).

Cortex-M85 позиціонується як основний мікроконтролер для реалізації крайових AI-застосунків та високопродуктивних вбудованих систем, де потрібні обчислення в режимі реального часу з обмеженим енергоспоживанням [8].

ATmega328 – це 8-бітний мікроконтролер сімейства AVR від компанії Atmel (тепер входить до складу Microchip Technology) рис.3.2.



Рис.3.2.Зовнішній вигляд мікроконтролера ATmega328

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

Основні технічні характеристики ATmega328:

- 8-бітний AVR мікроконтролер;
- Модифікована гарвардська архітектура;
- RISC архітектура (Reduced Instruction Set Computing);
- Швидкість: до 20 МГц (16 МГц у Arduino Uno);
- Продуктивність: до 20 MIPS при тактовій частоті 20 МГц;
- 32 КБ Flash-пам'яті (з яких 0.5 КБ використовується для завантажувача), 2 КБ SRAM, 1 КБ EEPROM;
- 23 програмовані лінії вводу/виводу;
- 6 каналів 10-бітного АЦП;
- 6 каналів ШІМ (PWM);
- Інтерфейси: UART, SPI, I²C (TWI);
- Напруга живлення: 1.8-5.5В (ATmega328P);
- 28-контактний PDIP, 32-контактний TQFP/QFN/MLF;
- Температурний діапазон: -40°C до +85°C;
- 100 000 циклів запису/стирання Flash-пам'яті;
- 100 000 циклів запису/стирання EEPROM.

ATmega328 широко використовується в популярних платформах Arduino, таких як Arduino Uno та Arduino Nano, що зробило його одним з найпопулярніших мікроконтролерів для початківців та любителів електроніки [9].

PIC16 – це сімейство 8-бітних мікроконтролерів середнього рівня від компанії Microchip Technology. Це одне з найпопулярніших сімейств у лінійці PIC (рис.3.3).

Основні технічні характеристики мікроконтролерів сімейства PIC16:

- 8-бітна RISC архітектура;
- Гарвардська архітектура (окремі шини для програм і даних);
- Набір з 35-49 інструкцій (залежно від моделі);
- Тактова частота: до 20 МГц;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

- Однотактний цикл виконання більшості інструкцій;
- Flash-пам'ять програм: від 512 байт до 14 КБ, RAM: від 25 до 368 байт, EEPROM: від 0 до 256 байт;
- Програмовані цифрові входи/виходи: від 6 до 54 виводів;
- АЦП: до 14 каналів з роздільною здатністю 8-10 біт;
- ШІМ (PWM) модулі: до 4 каналів;
- Інтерфейси: UART, SPI, I²C (залежно від моделі);
- Апаратні таймери: 1-3 таймери різної розрядності;
- Напруга живлення: 2.0-5.5В (залежно від моделі);
- 8, 14, 18, 20, 28 40/44 – контактні.



Рис.3.3.Зовнішній вигляд мікроконтролера PIC16

Мікроконтролери PIC16 широко використовуються в промисловій автоматизації, побутовій електроніці, автомобільних системах та багатьох інших сферах завдяки своїй надійності, доступності та хорошему співвідношенню ціна/функціональність [10].

STM32 (рис.3.4) – це сімейство 32-бітних мікроконтролерів від компанії STMicroelectronics, побудованих на ядрі ARM Cortex-M. Ця серія відрізняється високою продуктивністю, багатою периферією та оптимальним енергоспоживанням.

Технічні характеристики STM32:

- 32-бітна ARM Cortex-M архітектура (M0, M0+, M3, M4, M7 залежно від серії);

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

- Тактова частота: від 24 МГц до 600 МГц (залежно від моделі);
- Продуктивність: до 2000 DMIPS (Dhrystone MIPS) для старших моделей;
- Модифікована гарвардська архітектура;
- Flash-пам'ять: від 16 КБ до 2 МБ, RAM: від 4 КБ до 1 МБ, підтримка зовнішньої пам'яті для деяких серій, деякі моделі мають вбудовану EEPROM або інтерфейси для зовнішньої EEPROM;
- До 168 програмованих виводів GPIO, до 24 каналів 12/16-бітного АЦП до 2 каналів 12-бітного ЦАП;
- Численні інтерфейси: UART/USART (до 10), SPI (до 6), I²C (до 4), CAN (до 3), USB, Ethernet, SDIO/SDMMC, HDMI, DCMI;
- Напруга живлення: 1.8-3.6В (типово 3.3В);
- Корпуси: від 20-контактних QFN до 216-контактних LQFP та BGA.



Рис.3.4. Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32

Мікроконтролери STM32 широко використовуються в промисловій автоматизації, медичному обладнанні, споживчій електроніці, автомобільній електроніці, системах IoT та багатьох інших сферах завдяки високій продуктивності, багатій функціональності та хорошему співвідношенню ціна/якість [11].

Для порівняння та вибору оптимального мікроконтролера зведемо в таблицю мікроконтролери: ARM Cortex-M85, ATmega328P, STM32, PIC16.табл.3.3.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Таблиця 3.3. Порівняльна таблиця мікроконтролерів ARM Cortex-M85, ATmega328P, STM32, PIC16

Характеристика	ARM Cortex-M85	ATmega328P	STM32	PIC16
Архітектура	32-біт	8-біт	32-біт	8-біт
Ядро	ARM Cortex-M85 (Helium)	AVR	ARM Cortex-M (M0-M7)	PIC RISC
Тактова частота	До 800 МГц	До 20 МГц	24-600 МГц	До 20 МГц
Flash-пам'ять	До 32 МБ	32 КБ	16 КБ - 2 МБ	0.5-14 КБ
RAM	До 32 МБ	2 КБ	4 КБ - 1 МБ	25-368 байт
EEPROM	Зовнішня	1 КБ	Залежить від моделі	0-256 байт
АЦП	12/16-біт	10-біт, 6 каналів	12/16-біт, до 24 каналів	8/10-біт, до 14 каналів
Цифрові виводи	50+	23	До 168	6-54
Інтерфейси	UART, SPI, I ² C, USB, Ethernet, CAN, ін.	UART, SPI, I ² C	UART, SPI, I ² C, USB, Ethernet, CAN, ін.	UART, SPI, I ² C (не всі моделі)
Напруга живлення	1.62-3.6В	1.8-5.5В	1.8-3.6В	2.0-5.5В
Енергоспоживання (активний)	~30-70 мА/МГц	~0.2 мА при 1 МГц	~100 мкА/МГц	~100-300 мкА/МГц
Режим сну	<5 мкА	<0.1 мкА	<1 мкА	<1 мкА
Складність освоєння	Висока	Низька	Середня	Середня
Екосистема розробки	Професійна	Проста, Arduino IDE	Професійна, STM32Cube	Середня
Вартість	Висока	Низька	Середня	Низька
Типове застосування	Високопродуктивні системи, ІІІ на периферії	Прості проекти, Arduino	Промислові системи, IoT	Промислова автоматика

Для системи визначення концентрації газів у виробничих приміщеннях ATmega328P є оптимальним вибором з кількох ключових причин:

1. Баланс можливостей і складності – шести каналів 10-бітного АЦП достатньо для типових газових сенсорів, а обчислювальні можливості задовольняють потреби аналізу даних.

2. Доступна екосистема розробки – величезна кількість готових бібліотек для газових сенсорів через платформу Arduino значно спрощує та прискорює розробку.

3. Економічна ефективність – доступна вартість як самого мікроконтролера, так і відладочних плат робить систему бюджетною, особливо при необхідності розгортання на кількох точках контролю.

4. Енергоефективність – низьке споживання енергії важливе для автономних систем моніторингу або резервних систем.

5. Надійність – перевірена часом архітектура з мінімальною кількістю збоїв.

Потужніші рішення на базі STM32 або ARM Cortex-M85 були б надмірними для цієї задачі, збільшуючи складність розробки та вартість без суттєвих переваг для функціональності системи визначення концентрації газів.

3.4. Обґрунтування світлового та звукового оповіщення

Різноманітні електронні системи сьогодення повсюдно включають у свою конструкцію оптичні та звукові елементи сигналізації, що допомагають інформувати оператора про поточний режим роботи або настання визначених подій. З-поміж усіх типів таких індикаторних пристроїв найбільшого поширення набули світлодіодні індикатори (LED) та пристрої акустичного сповіщення (бузери).

Для сигналізації нормальної концентрації газів в повітрі застосовується зелений світлодіод. Для оповіщення про критичний концентрацію газу в повітрі застосовується буюер та червоний світлодіод.

Зелений світлодіод застосовується як індикатор нормального режиму роботи. Зелений колір зазвичай асоціюється з безпекою, стабільністю та дозволом на дію, тому його використовують для сигналізації про коректне функціонування системи або про готовність до роботи.

Буюер (зумер) – це електронний або електромеханічний пристрій, що генерує звуковий сигнал фіксованої або змінної тональності. Він використовується для звукової індикації та попередження в електронних пристроях та системах.

За способом керування бузери поділяються:

1. Активні (автогенеруючі) бузери:

					<i>МММТ 480.011.011- ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		<i>33</i>

- Мають вбудований генератор звукового сигналу;
- Видають звук при подачі постійної напруги;
- Простіші в підключенні (потрібно лише живлення).

2. Пасивні бузери:

- Не мають власного генератора;
- Потребують зовнішнього джерела змінного сигналу;
- Дозволяють генерувати сигнали різної тональності та мелодії.

За конструкцією бузери бувають: герметичні, SMD-бузери, панельні бузери та модульні бузери.

Технічні характеристики бузерів:

- Робоча напруга: від 1.5В до 24В (залежно від моделі);
- Частота звучання: зазвичай 2-4 кГц (оптимальний діапазон для людського слуху);
- Рівень гучності: від 75 дБ до 110 дБ;
- Струм споживання: від кількох мА до десятків мА.

У сучасних системах бузери часто працюють у парі з мікроконтролерами, що дозволяє генерувати складні звукові сигнали, мелодії та підлаштовувати гучність залежно від умов експлуатації [12].

Пропонується використати п'єзоелектричний активний модульний бузер.

3.5. Обґрунтування дисплея

У системах моніторингу повітря для виробничих приміщень необхідно чітке, наочне та доступне відображення показників для оператора.

Дисплей застосовується для виводу показів з датчиків газів, аналіз допустимих та критичних рівнів концентрації газів, повідомлення про критичний рівень чи норму.

Для проектів із моніторингу концентрації газів у повітрі використовуються кілька типів дисплеїв. Основні з них представлені в таблиці 3.4 [13].

					<i>МММТ 480.011.011- ПЗ</i>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докв.	Підпис	Дат		

Таблиця 3.4.Порівняльна таблиця дисплеїв

Тип дисплея	Характеристики	Переваги	Недоліки
LCD 16x2/20x4 (I2C або без)	Символьний дисплей, 2 або 4 рядки по 16-20 символів	Низька ціна, простота підключення, підтримка кирилиці	Обмежений обсяг інформації, без графіки
OLED SSD1306 (0.96", 128x64)	Графічний дисплей, чорно-білий, I2C або SPI	Чітке зображення, мале енергоспоживання, підтримка графіки і тексту	Дорожчий за LCD, менший розмір екрана
TFT дисплеї (1.8", 2.4", 3.5")	Кольорові дисплеї з високою роздільністю	Багато інформації, підтримка кольору та графіки	Велике енергоспоживання, складніше керування
E-ink дисплеї	Відображають інформацію як на папері, тримають зображення без живлення	Наднизьке енергоспоживання, читабельність при яскравому світлі	Повільне оновлення, висока ціна

Для системи обрано мікроконтролер Atmega328, кількість виводів обмежена, тому потрібно застосувати послідовне підключення через інтерфейс I2C. Завдяки такому підключенню достатньо двох виводів для SDA і SCL, не враховуючи живлення та заземлення. Також потрібно врахувати, те що маємо багато показників з датчиків для виводу, а також повідомлення норму концентрації, тому потрібен дисплей на багато символів. Для запропонованих задач пропонується обрати OLED дисплей.

Переваги OLED дисплея SSD1306:

1. Компактність – займає мінімум місця на платі, що важливо в мобільних або настінних пристроях.
2. Низьке енергоспоживання – підходить для систем, що живляться від батарей.
3. Висока контрастність – текст чітко видно навіть у темряві.
4. Підтримка графіки – можна виводити піктограми, шкали, індикатори, що покращує інтерфейс користувача.
5. Підключення через I2C – займає лише 2 цифрових пінів Arduino, залишаючи інші для сенсорів.

Для невеликих систем моніторингу якості повітря, особливо з живленням від батарей, OLED-дисплей – оптимальний вибір завдяки поєднанню функціональності, економії енергії та зручності відображення.

3.6. Обґрунтування живлення системи

Система вимірювання концентрації газів буде працювати перервно, тобто буде вмикатися та вимикатися. Для керування живленням системи потрібно застосувати кнопку.

Кнопка перемикає стан системи між ввімкненою та вимкненою.

Обираємо звичайну кнопку без фіксацією (моментальну кнопку), яка підключається до цифрового піну мікроконтролера. Це означає, що логіка кнопки така:

- коли кнопка не натиснута, на піні – логічна "1" (високий рівень)
- Коли натиснута – замикається на землю, і на піні – логічна "0".

Таким чином, буде використана кнопка – без фіксації, а логіка перемикання буде реалізована програмно (натиснув – змінив стан).

Кнопка без фіксації – це кнопка, яка повертається у вихідний стан одразу після натискання. Такий тип кнопок працює лише під час фізичного контакту — коли кнопку натиснуто. Після відпускання вона автоматично повертається у початкове положення.

Основні характеристики:

- Моментна дія: активна тільки під час натискання.
- Типова поведінка: використовується для подачі короткого імпульсу, наприклад, щоб включити або перемкнути режим [14].

Живлення системи полягає у забезпеченні всіх її компонентів необхідною електричною енергією для стабільного функціонування. У випадку мікроконтролерних систем, зокрема тих, що здійснюють моніторинг концентрації газів, критично важливо, щоб кожен елемент отримував напругу, що відповідає його технічним вимогам.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Дрк.
						36
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Живлення системи буде відбуватися від акумулятора, враховуючи напругу живлення мікроконтролера та всіх складових системи.

Акумулятор – це джерело електроенергії, що накопичує заряд та дозволяє багаторазово заряджати і використовувати його для живлення електронних пристроїв, зокрема мікроконтролерних систем.

Основні типи акумуляторів, які застосовуються в мікроконтролерних проєктах:

1. Li-ion (літій-іонні):

- Переваги: висока енергоємність, компактність, тривалий термін служби.

- Напруга: 3.7 В (один елемент), часто використовують 18650.

- Застосування: автономні Arduino-проєкти, портативні пристрої.

2. Li-Po (літій-полімерні):

- Переваги: ще компактніші, легші за Li-ion, гнучкі форми.

- Недоліки: чутливі до перезаряду і глибокого розряду.

- Застосування: дрони, модулі з обмеженим простором.

3. NiMH (нікель-метал-гідридні):

- Переваги: безпечніші, ніж літєві, не потребують складного контролера.

- Недоліки: нижча енергоємність, ефект пам'яті.

- Застосування: прості проєкти, радіоелектроніка.

4. Свинцево-кислотні (наприклад, 12В для великих систем):

- Переваги: надійні, витримують великі струми.

- Недоліки: важкі, великі.

- Застосування: охоронні системи, резервне живлення.

5. CR2032 та інші кнопкові (одноразові або акумуляторні):

- Переваги: компактні, підходять для малопотужних пристроїв.

- Недоліки: мала ємність.

- Застосування: годинники реального часу, пульти.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Вибір акумулятора залежить від потужності, розміру, ваги, вимог до тривалості роботи й наявності зарядного модуля. У мікроконтролерних проєктах часто використовують Li-ion або Li-Po акумулятори.

Для живлення вашої мікроконтролерної системи моніторингу газів, яка включає Atmega328, OLED-дисплей, датчики MQ-135, MQ-136, MH-Z19B, світлодіоди та звуковий сигналізатор, оптимальним вибором буде літій-іонний акумулятор типу 18650 з ємністю від 2200 мА·год.

Так, як напруга живлення літій-іонний акумулятора типу 18650 складає 3.7 В, тому потрібно застосувати додатково підвищувальний перетворювач (перетворювач напруги) до 5 В для стабільного живлення мікроконтролеру [15].

3.7. Структурна схема

Враховуючи функції системи вимірювання концентрації газів в повітрі, обґрунтовані складові системи та їх зв'язки, побудуємо структурну схему рис.3.5.



Рис.3.5. Структурна схема

Складові структурної схеми наступні:

- Мікроконтролер;
- Датчик вуглекислого газу;
- Датчик сірководню;
- Датчик багатофункціональний (аміак, чадний газ, формальдегід);
- Зелений світлодіод;
- Червоний світлодіод;
- Бузер;
- Перетворювач напруги;
- Акумулятор;
- Дисплей.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір датчиків концентрації газів

Для вимірювання концентрації газів виробничих приміщень в п.3.2 був обґрунтовано вибір датчиків. А саме, пропонується обрати MQ-135 для визначення чадного газу CO, формальдегіду HCHO, NH₃ аміаку; MQ-136 для визначення сірководню H₂S, MH-Z19B для точного визначення вуглекислого газу CO₂.

Датчик концентрації газів MQ-135 представлений на рис.4.1.



Рис.4.1. Модуль датчика концентрації газів MQ-135
(багатофункціональний: CO, HCHO, NH₃)

Датчик газу MQ-135 призначений для виміру наявності в навколишньому повітрі шкідливих домішок газу. Як чутливий елемент датчика служить пластина діоксиду олова (SnO₂), який має низьку провідність в чистому повітрі. Коли датчик виявляється серед пар токсичних газів, його провідність зростає. Датчик MQ-135 дуже чутливий до аміаку, сульфідів, пар бензолу та алкоголю, CO₂ та ідеально підходить для моніторингу диму та інших шкідливих домішок у повітрі.

Буде застосовувати модуль датчика MQ-135. На платі модуля передбачений компаратор визначення порогового значення концентрації шкідливих речовин. Поріг спрацьовування визначається потенціометром. Схема підключення модуля датчика MQ-135 до Ардуіно Уно представлена на рис.4.2.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

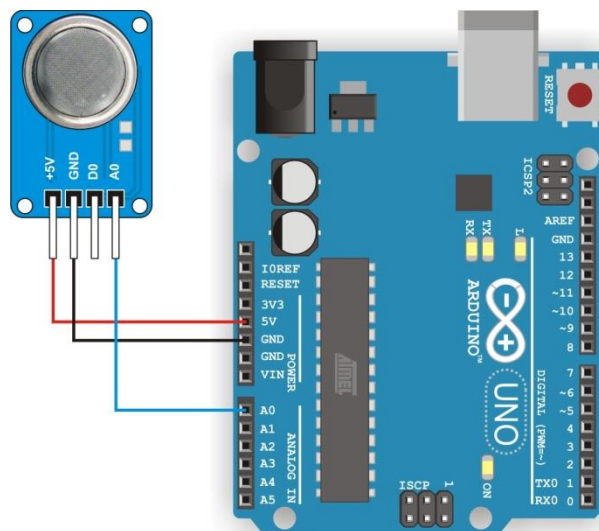


Рис.4.2. Підключення датчика концентрації газів MQ-135 до Arduino Uno

На рис. 4.3 показано зміну опору датчика залежно від концентрації різних газів у навколишньому повітрі у мільйонних частках (від загального обсягу газу).

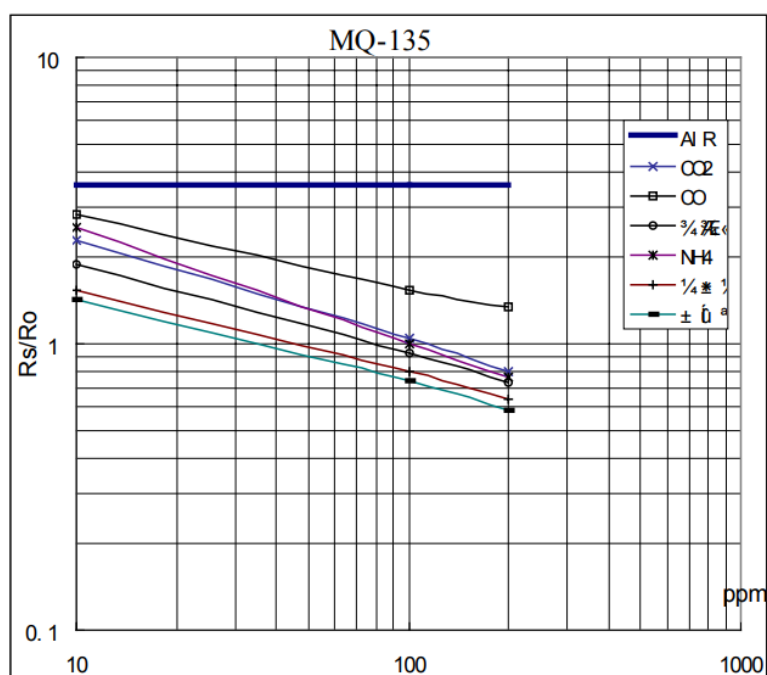


Рис.4.3. зміну опору датчика залежно від концентрації різних газів у навколишньому повітрі у мільйонних частках (повітря, вуглекислий газ, чадний газ, етиловий спирт, аміак, толуол, ацетон)

де R_o : опір датчика при 100 ppm NH_3 у чистому повітрі, R_s : опір датчика при різних концентраціях газів.

Технічні характеристики датчика MQ-135:

- Напруга живлення: 5 В
- Споживаний струм: 160 мА
- Робоча температура, 10- 45°C
- Відносна вологість: менше 95%
- Концентрація кисню в повітрі (стандартна): 21%
- Стандартна температура вимірювання: 20°C
- Вологість: 65%
- Діапазон вимірювань аміаку: 10 ppm ÷ 300 ppm; бензин: 10 ppm ÷ 1000 ppm; етиловий спирт: 10 ppm ÷ 300 ppm [16].

Чутливим матеріалом газового датчика MQ136 (рис.4.4) є оксид олова SnO₂, який має нижчу провідність у чистому повітрі. У присутності газу сірководень H₂S провідність датчика зростає разом зі зростанням його концентрації. Користувачі можуть конвертувати зміну провідності у відповідний вихідний сигнал концентрації газу за допомогою простої схеми.

Газовий датчик MQ136 має високу чутливість до газу сірководень H₂S, також може добре контролювати органічні пари, включаючи сірку.



Рис.4.4.Модуль датчика газу сірководню MQ-136

Підключення датчика газу сірководню MQ-136 аналогічне датчику газу MQ-135 (рис.4.2) по аналоговому піну.

Технічні характеристики датчику MQ-136:

- Діапазон виявлення: 1~200 ppm;
- Напруга петлі: $V_s \leq 24V$;
- Напруга нагрівача: 5.0 В±0.1В;
- Опір навантаження RL: регульований;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		42

- Чутливість: R_s (у повітрі)/ R_s (50ppm H₂S) ≥ 3 ;
- Вихідна напруга: $\Delta V_s \geq 0.5V$ (у 50ppm H₂S);
- Нахил концентрації: $\alpha \leq 0.6$ (R200ppm/R50ppm H₂S);
- Температура/вологість: 20°C $\pm$ 2°C, 55% $\pm$ 5%RH;
- Час попереднього нагрівання: понад 48 годин [17].

Для виявлення вуглекислого газу CO₂ пропонується застосувати МН-Z19В рис.4.5.



Рис.4.5.Модуль датчика концентрації газів МН-Z19В

Компактний та енергоефективний інфрачервоний оптичний датчик МН-Z19В Gas Sensor для вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO₂ – діоксид вуглецю) у повітрі. Відмінне рішення для використання в системах оцінки якості повітря, системах "розумний дім" та обладнання для вентиляції та очищення повітря.

Модуль має два виходи для отримання даних – послідовний UART-інтерфейс та ШІМ-сигнал. Вихідні інтерфейси мають логічні рівні TTL 3.3В, але вони мають сумісність з 5-вольтовою логікою.

Датчик МН-Z19В може працювати в одному з двох діапазонів виміру: 0...2000 або 0...5000 ppm. Вибір діапазону здійснюється програмно через UART-інтерфейс. У датчику є вбудована термокомпенсація, що дозволяє використовувати датчик при температурі від 0°C до +50°C з мінімальною похибкою.

При використанні датчика CO₂ МН-Z19В обов'язково потрібно

враховувати, що ці датчики мають деяку інерційність показань – при зміні					Арк.
					43
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат	

МММТ 480.011.011- ПЗ

концентрації вуглекислого газу датчику потрібно близько хвилини для видачі коректних значень. Також варто звернути увагу на те, що після подачі живлення датчику потрібно близько трьох хвилин для підготовки до роботи, протягом цього часу показання концентрації CO₂ використовувати не можна, оскільки вони значно відрізнятимуться від дійсності.

Схема підключення датчика МН-Z19В до Raspberry Pi представлена на рис.4.6.

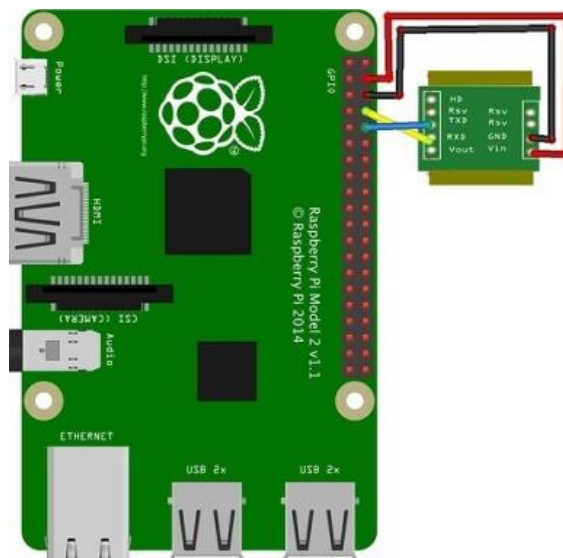


Рис.4.6.Підключення датчика концентрації газів МН-Z19В до Raspberry Pi

Підключення датчика концентрації газів МН-Z19В до мікроконтролерів та платформ відбувається зазвичай наступним чином:

- RXD(датчик) → TXD(мікроконтролер);
- TXD(датки) → RXD(мікроконтролер);
- GND → GND;
- VIN → 5В.

Технічні характеристики:

- Визначається газ: CO₂;
- Робоча напруга: 3.6 ~ 5.5В;
- Споживання струму: менше 18мА;
- Діапазон вимірювання: 0 – 5000 PPM (0 ~ 0.5%);
- Точність вимірювань: ± (50ppm+5%);
- Сигнал на виході: UART(Tx,Rx), PWM;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		44

- Час розігріву: до 3 хв;
- Час розпізнавання T90: менше 60 сек.;
- Робоча температура: 0 ~ 50 °C;
- Робоча вологість довкілля: 0 ~ 95% RH (без конденсату);
- Габарити (ДхШхВ): 33мм*20мм*9мм;
- Вага: 21 г;
- Термін експлуатації: понад 5 років [18].

4.2. Вибір мікроконтролеру

В якості мікроконтролеру обраний мікроконтролер АТmega328 (рис.4.7).



а



б

Рис.4.7.Зовнішній вигляд АТmega328: а) цоколь 28 виводів, б) цоколь на 32 виводи

Розпіновка АТmega328 представлена на рис.4.8.

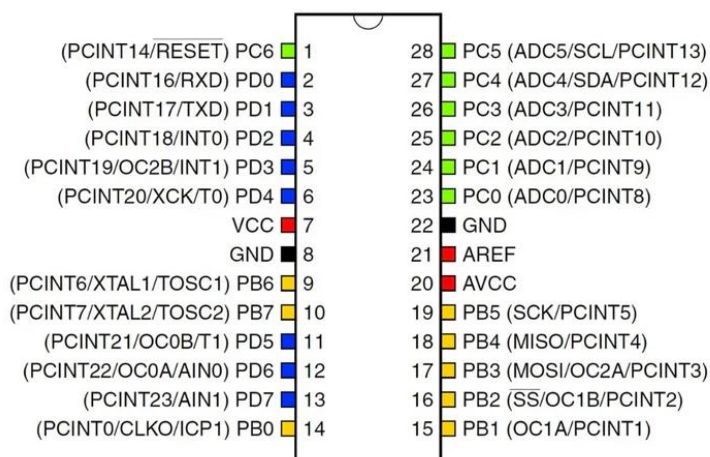


Рис.4.8.Розпіновка АТmega328

ATmega328 – це 8-бітовий мікроконтролер компанії Microchip Technology (раніше Atmel), який базується на архітектурі AVR. Це один із найпопулярніших мікроконтролерів. ATmega328P в DIP-корпусі має попередньо встановлений завантажувач Arduino UNO (16МГц). Це дозволить Код Arduino в проектах користувача можна без фактичного використання плати Ардуїно.

Особливості

1. 8-бітна архітектура megaAVR.
2. Тактова частота 20 МГц, підтримка зовнішнього генератора імпульсів.
3. Продуктивність 20 MIPS при 20 МГц.
4. 131 інструкція, більшість із яких виконується за 1 такт.
5. 2 КБ SRAM, 32 КБ Flash та 1 КБ EEPROM-пам'яті.
6. Напруга живлення від 1,8 до 5,5 В.
7. 10-бітовий АЦП на 6 каналів.
8. 6 каналів ШІМ.
9. Вбудований аналоговий компаратор.
10. Мікросхема поставляється у корпусі SPDIP28 для вивідного монтажу.
11. Можливість прототипування пристроїв на макетній платі.
12. Мікроконтролер вже має прошитий Bootloader, який дозволяє завантажувати програми через Serial-з'єднання.

Технічні характеристики:

- Ядро: AVR (RISC-архітектура);
- Робоча частота: до 20 МГц;
- Флеш-пам'ять: 32 КБ (з яких 0.5 КБ використовується для завантажувача);
- SRAM: 2 КБ;
- EEPROM: 1 КБ;
- Кількість виводів (пінів): 28 (DIP) або 32 (TQFP/QFN);

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

- Кількість ліній вводу/виводу: до 23;
- Таймери: $2 \times 8\text{-біт}$, $1 \times 16\text{-біт}$;
- Інтерфейси: SPI, I2C (TWI), UART;
- АЦП (ADC): 10-бітовий, 6 або 8 каналів;
- Живлення: 1.8-5.5 В[19,20].

Для роботи з чіпом ATmega328P використовується рідне середовище програмування Microchip Studio IDE, яке містить глибокий інструментарій C/C++.

Мікроконтролер ATmega328P також підтримується середовищем програмування Arduino IDE – встановіть бібліотеку MiniCore та використовуйте для прошивки контролер зі стандартним скетчем ArduinoISP [20].

4.3. Вибір світлового та звукового оповіщення

Для індикації стану роботи системи пропонується використати світлодіоди зеленого та червоного кольорів. Для сповіщення про критичний рівень концентрації газу в приміщенні передбачено використання звукового сигналу – бузера. Світлодіоди зеленого та червоного кольорів зображені на рисунку 4.9, а зовнішній вигляд бузера – на рисунку 4.10.



Рис.4.9.Зовнішній вигляд зеленого та червоного світлодіода

Технічні характеристики:

- Колір: зелений, червоний;
- Розміри корпусу (діаметр х висота): 5х9 мм;
- Висота зел'ниїініжок: 18 мм;
- Робоча напруга: 3,0-3,2 В;
- Номінальний струм: 20 мА;
- Передача кольорів: 10000-12000 К;
- Сила світла: 13000-15000 мкд;
- Кут свічення 30°;
- Робоча температура: -40 ° до 85 ° С [21].

Активний буюер представлений на рис.4.11.



Рис.4.11. Зовнішній вигляд активного буюера

Буюер активний 5 В для Arduino на платі – це електронний звуковий сигналізатор, який можна використовувати в різних електронних пристроях, охоронних системах, іграшках, домашній автоматичі, а також у різних проєктах робототехніки. Він являє собою невеликий циліндричний модуль на плати керування з трьома виводами.

Активний буюер працює від постійної напруги 5 В. Звуковий сигнал генерується за допомогою вбудованого генератора.

Технічні характеристики:

- Робоча напруга: 3,3 – 5 В;
- Частота: 2300 Гц;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		48

- Максимальний струм споживання: 30-50 мА;
- Тривалість сигналу: 1-1000 мс;
- Розмір друкованої плати: 3,3 см х 1,3 см.

Активний зумер на платі має 3 виводи:

- VCC – живлення (зазвичай 3,3 В або 5 В);
- I/O – керуючий сигнал;
- GND – земля [21].

4.4.Вибір дисплея

Для виводу концентрації газів в повітрі, норми концентрації пропонується обрати OLED дисплей SSD1306 з інтерфейсом I2C рис.4.12.

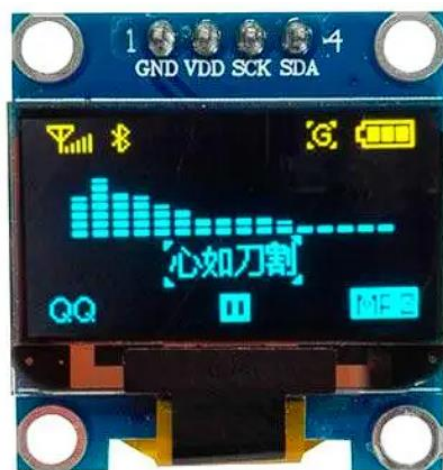


Рис.4.12. Зовнішній вигляд OLED дисплею SSD1306

OLED-дисплей SSD1306 – це популярний графічний дисплей на органічних світлодіодах, який широко використовується в мікроконтролерних проектах завдяки своїй компактності, енергоефективності та гарній якості зображення.

Параметри OLED-дисплея SSD1306:

- Розмір екрана: 0.96";
- Тип екрана: OLED;
- Роз'єм: 4-PIN;

- Напруга живлення: 3.3-5В;
- Роздільна здатність дисплея: 128×64 px;
- Товщина: 12 мм (з роз'ємом);
- Ширина: 27 мм;
- Довжина: 28 мм;
- Вага: 6 грам;
- Кут огляду: >160 градусів

Цоколювання роз'єму:

- GND: Загальний
- VCC: Напруга живлення
- SDA: Шина даних
- SCL: Шина тактування даних.

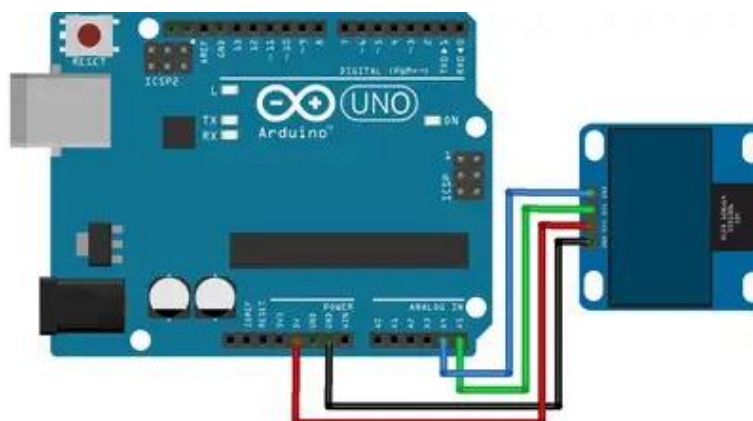


Рис.4.13. Підключення модуля OLED SSD1306 з I2C інтерфейсом

Для підключення модуля OLED 128x64 0.96 дюйма з I2C інтерфейсом SSD1306 необхідно виконати такі кроки:

1. Підключіть VCC модуля до живлення +3.3V або +5V.
2. Підключіть модуль GND до землі (GND).
3. Підключіть SDA модуля до відповідного піна SDA вашого мікроконтролера.
4. Підключіть SCL модуля до відповідного піна SCL вашого мікроконтролера [22].

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

4.5. Вибір живлення системи

Живлення системи для вимірювання рівня концентрації газів в повітрі виробничого приміщення відбувається від акумулятора типу 18650 ємністю від 2200 мА·год, напруга живлення складає 3.7 В (рис.4.14).



Рис.4.14. Зовнішній вигляд акумулятора літєвий Li-Ion 18650

Переваги застосування акумулятора літєвого Li-Ion 18650:

- Напруга: 3.7 В — підходить для Arduino та більшості датчиків;
- Ємність: 2200–3000 мА·год забезпечить автономну роботу протягом 5–10 годин, залежно від споживання;
- Доступність: Широко поширені, легко знайти та замінити;
- Компактність: Підходить для портативних пристроїв.

Акумулятор літєвий Li-Ion 18650 без електроніки захисту 2200mAh, 3,6-3,7В, 18650, Кеерpower. Стандартний літій-іонний акумулятор 18650 3,6 В – 3,7 В 2200 мАч.

Розроблено для районів із низьким енергоспоживанням до 4,5 Ампер. Плоский позитивний полюс (промисловий стандарт) не допускає послідовного з'єднання, де кілька батарей використовуються одна одною без механічного з'єднання.

Технічні характеристики акумулятора літєвого Li-Ion 18650:

- Мінімальна ємність: 2200mAh при 0.2C;
- Номінальна напруга: 3,6 В – 3,7 В;
- Напруга наприкінці заряду: $4,2 \pm 0,05$ В;
- Напруга кінця розряду: 2,5 В;
- Максимальний струм розряду (постійний): $2C = 4,4A$ (4400mA);

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		51

- Максимальний струм розряду (імпульс приблизно 3 с): $3C = 6,6A$ (6600mA);
- Стандартний струм розряду: 0,45 A (450 mA);
- Діаметр: 18,30 мм $\pm 0,15$ мм;
- Висота: 65,20 мм $\pm 0,20$ мм;
- вага 45г $\pm$ 1г.

Напруга живлення елементів системи має наступні номінали:

- Мікроконтролер Atmega328: 1,8-5,5В;
- Датчик MQ-136, MQ-136, МН-Z19В: 5В, 3,6 -5.5В;
- Дисплей OLED SSD1306: 5В;
- Бузер активний: 3,3 - 5В;
- Світлодіод червоний та зелений: 3,0-3,2 В [23].

Так, як напруга живлення літій-іонний акумулятора типу 18650 складає 3.7 В, а мікроконтррлера та компонентів 5В, тому потрібно застосувати додатково підвищувач напруги до 5В для стабільного живлення мікроконтролеру. Оже, необхідні додаткові компоненти, а саме Підвищувальний перетворювач (Boost Converter) до 5 В для стабільного живлення мікроконтролеру Atmega328 та периферії.

Пропонується застосувати підвищувальний перетворювач напруги DC-DC MT3608 рис.4.15.



Рис.4.15. Підвищувальний перетворювач напруги DC-DC MT3608

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		52

Модуль підвищувального DC/DC перетворювача призначений для отримання напруги до 28 вольт і струмом навантаження до 2 ампер від джерел живлення з більш низькою напругою.

Представлений модуль підвищувального перетворювача постійної напруги DC/DC зібраний на базі мікросхеми MT3608. На вхід модуля (далі MT3608) можна подавати напругу від 2 до 24 вольт яке буде підвищено до 5-28 вольт відповідно.

Необхідна на виході пристрою – напруга встановлюється за допомогою багатооборотного підлаштування резистора, його опір 100 кОм. На платі модуля MT3608 є позначення входу і виходу. Перетворювач постійного струму MT3608 як джерело живлення може використовувати сонячну батарею, акумулятор або блок живлення AC/DC з вихідною напругою від 2 до 24 вольт. Генератор модуля працює на частоті близько 1,5 МГц.

Характеристики стабілізатора напруги MT3608:

- Вхідна напруга: 2-24 В постійного струму;
- Вихідна напруга: 3-28 В постійного струму (регулювання за допомогою потенціометра);
- Максимальний вихідний струм: 2 А;
- Ефективність: $\leq 93\%$;
- Робоча температура: $-65 - 90^{\circ}\text{C}$;
- Вага: 4 г ;
- Розмір: 36x17x14 мм [24].

Для подачі живлення на систему вимірювання концентрації газів застосовується кнопка без фіксації LB12B2-G10F-DYR5-24V-N рис.4.16.



Рис.4.16. Кнопка живлення без фіксації LB12B2-G10F-DYR5-24V-N

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		53

Технічні характеристики кнопки:

- Тип перемикача: антивандальний;
- Форма кнопки: кругла, опукла;
- Фіксація: Ні;
- Контакти: SPST-NO;
- Колір підсвічування: Червоний;
- Напруга живлення: 5-24 В AC/DC;;
- Діаметр монтажного отвору: 12 мм
- Висота: 21,3 мм.;
- Зовнішній діаметр: 14 мм;
- Клас захисту: IP65;
- Матеріал корпусу: латунь нікельована;
- Опір ізоляції: ≥ 1000 МОм;
- Опір контактів: ≥ 50 МОм;
- Робоча температура: $-30...+80^{\circ}\text{C}$;
- Механічний термін служби: 100 000 циклів;
- Особливості: символ ON/OFF [25].

4.6. Побудова принципово-електричної схеми

Враховуючи вибір елементної бази та їх технічні характеристики побудуємо принципову схему рис.4.16.

Підключення дисплея до мікроконтролера відбувається по інтерфейсу I2C OLED SSD1306 до аналогових входів PC4 та PC5. Підключення датчиків MQ-135 та MQ-136 відбувається до аналогових входів PC0 та PC1. Підключення датчика газу MH-Z19B до цифрових входів PD1 та PD2. Зелений та червоний світло діод підключення до цифрових виходів PD7 та PD6. Бuzzer підключений до цифрового виходу PD1. Кнопка підключена до цифрового входу PD2.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

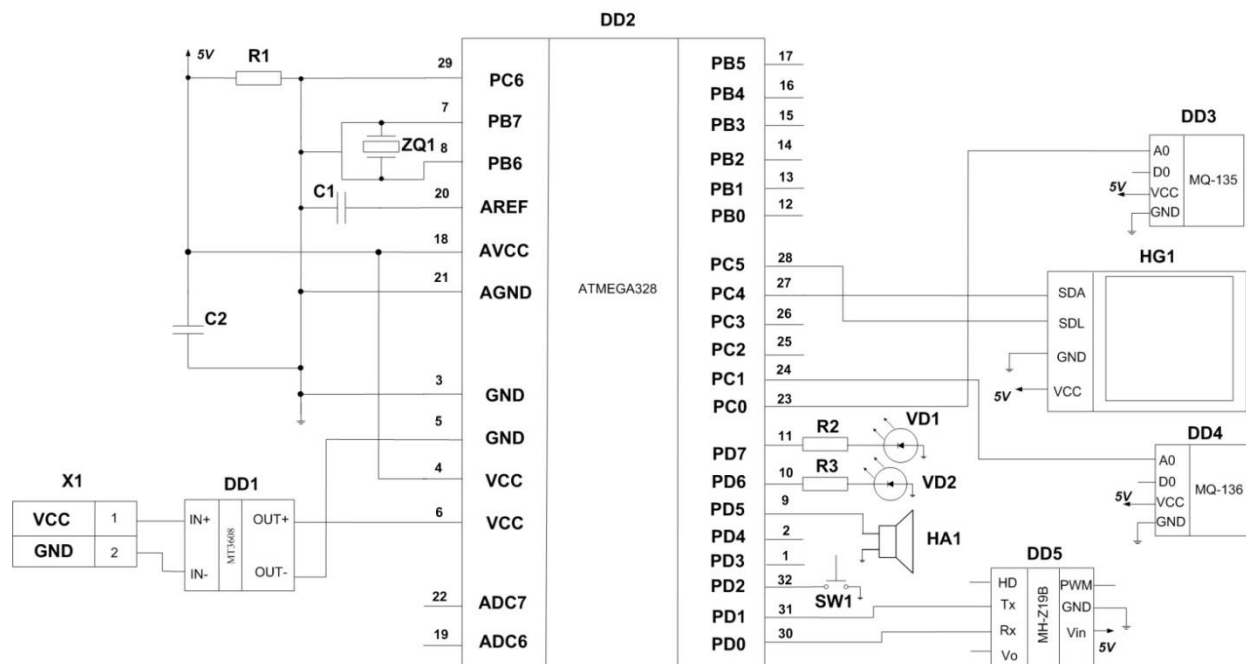


Рис.4.8. Принципова схема системи вимірювання концентрації газів

Складові системи наступні:

- DD1 – підвищувач напруги MT3608;
- DD2 – мікроконтролер Atmega328;
- HG1 – дисплей OLED SSD1306;
- HA1 – бузер;
- VD1 – світлодіод зелений;
- VD2 – світлодіод червоний;
- DD3 – датчик газу MQ-135;
- DD4 – датчик газу MQ-136;
- DD5 – датчик газу MH-Z19B;
- SW1 – кнопка LB12B2-G10F-DYR5-24V-N;
- R1 – 1 кОм;
- R2, R3 – 470 Ом;
- C1 – 100 нФ;
- C2 – 4,7 мкФ;
- ZQ1 – 20 МГц;
- X1 – роз’єм для підключення акумулятора іоно-літєвого Li-Ion 18650.

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1.Розробка алгоритму

Для роботи комп'ютеризованої системи для вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях розроблений алгоритм роботи на рис.5.1.

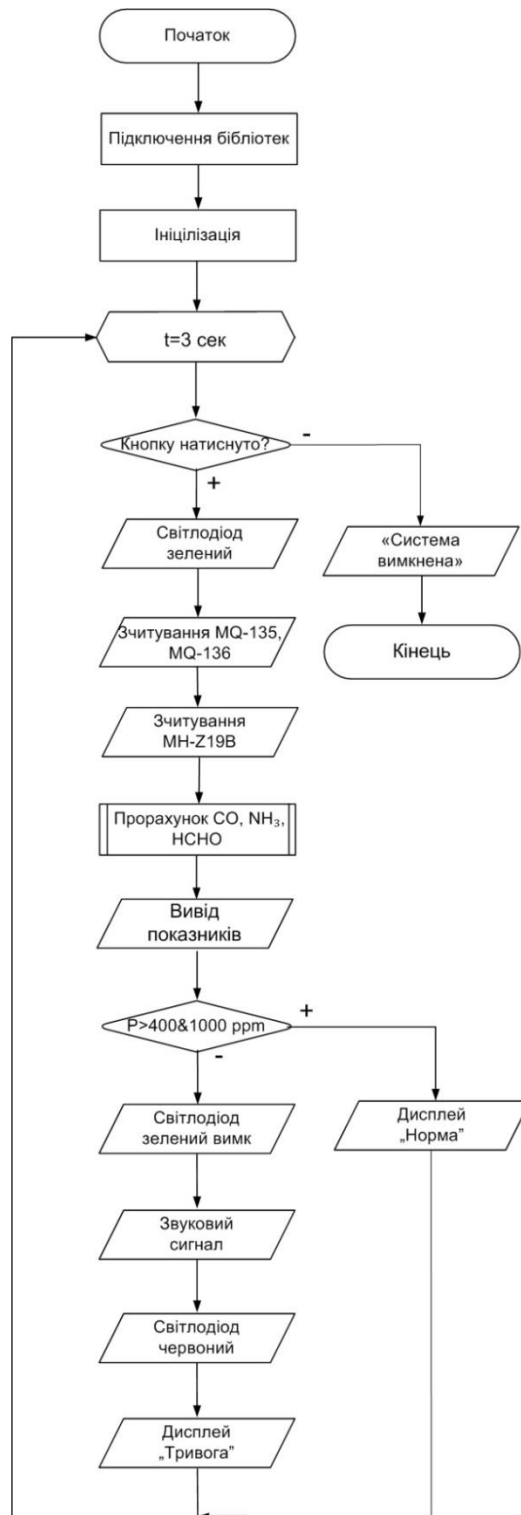


Рис.5.1. Алгоритм роботи програми для визначення концентрації газів

Алгоритм роботи програми для визначення концентрації газів полягає в наступному:

1. Після подачі живлення система починає свою роботу. Запускається мікроконтролер Atmega328, і починається виконання коду з функції setup().

2. Першим етапом виконання програми є підключення необхідних бібліотек, таких як Wire для роботи з I2C, Adafruit GFX та SSD1306 для керування OLED-дисплеєм, а також SoftwareSerial для зв'язку з CO₂-датчиком MH-Z19B.

3. Далі виконується ініціалізація: налаштовуються пінові входи/виходи для кнопки, світлодіодів, бузера і дисплея. OLED-дисплей ініціалізується і виводить повідомлення "Очікування ввімкн." з затримкою 3 секунди, що дозволяє користувачеві підготуватись до запуску системи.

4. У циклі loop() перевіряється стан кнопки. Якщо кнопка не була натиснута, система вважається вимкненою: на дисплеї з'являється повідомлення "СИСТЕМА ВИМКНЕНА", всі індикатори вимикаються, і програма чекає на подальші дії користувача.

5. Якщо користувач натискає кнопку, змінна systemOn перемикається, система активується, і вмикається зелений світлодіод як індикатор нормального режиму роботи. Це сигналізує, що система перейшла в режим зчитування даних.

6. Після активації система зчитує показники з датчиків: MQ-135 (для CO, NH₃, HCHO), MQ-136 (для H₂S) та MH-Z19B (для CO₂). Для MQ-135 виконується аналогове зчитування, після чого отримані значення масштабуються відповідно до передбачених коефіцієнтів. Датчик MH-Z19B зчитується через програмний UART, і значення CO₂ отримується в ppm.

7. Отримані дані обробляються, і відображаються на OLED-дисплеї у два етапи. Спочатку виводяться значення CO, CO₂ та NH₃, потім — HCHO і H₂S. Кожен екран відображається протягом трьох секунд, щоб користувач встиг ознайомитися з показниками.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

8. Після виводу даних відбувається аналіз показників. Якщо значення будь-якого газу перевищує допустимі межі (CO , NH_3 , HCHO або H_2S понад 400 одиниць, CO_2 понад 1000 ppm), система переходить у режим тривоги. В такому разі зелений світлодіод вимикається, вмикається бузер і червоний світлодіод, а на дисплеї з'являється повідомлення "ТРИВОГА". Якщо ж усі значення в межах норми, система залишається у спокійному режимі з увімкненим зеленим світлодіодом та написом "Норма" на дисплеї.

9. Після завершення циклу система знову повертається до перевірки кнопки та оновлення даних. Якщо система увімкнена, вона продовжує періодично опитувати датчики й оновлювати дисплей, формуючи безперервний моніторинг повітря.

5.2. Розробка програми

Розробка програми для мікроконтролеру ATmega328 можна виконати кількома способами:

Перший спосіб – це використання середовища Arduino IDE. Воно підходить для початківців, оскільки має спрощений синтаксис на базі C/C++ і велику кількість готових бібліотек. Програми пишуться швидко, але розробник має обмежений контроль над апаратною частиною мікроконтролера.

Другий спосіб – це використання компілятора avr-gcc разом із системою збирання Makefile. Це більш професійний підхід, який дозволяє краще контролювати ресурси мікроконтролера, оптимізувати код і гнучко керувати процесом компіляції. Проте він вимагає більш глибоких знань і ручного налаштування.

Третій варіант – це робота у середовищі Atmel Studio (тепер Microchip Studio), яке створено спеціально для мікроконтролерів AVR. Воно забезпечує зручний графічний інтерфейс, підтримку налагодження коду і тісну інтеграцію з інструментами програмування. Це потужне середовище, але воно доступне лише для операційної системи Windows.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Четвертий спосіб – це використання платформи PlatformIO, яка працює у середовищі Visual Studio Code. Вона є сучасним кросплатформним рішенням, яке дозволяє розробляти програми для багатьох мікроконтролерів, у тому числі ATmega328. PlatformIO підтримує як Arduino-синтаксис, так і чистий AVR-C.

П'ятий і найбільш складний спосіб – це програмування на мові асемблера. Цей підхід дає повний контроль над кожною командою, дозволяє створювати максимально оптимізовані програми, але вимагає значного досвіду і доброго розуміння архітектури мікроконтролера.

В якості мікроконтролеру обрано Atmega328, тому вибір постає за програмування в Arduino IDE.

Для системи вимірювання концентрації газів виробничого приміщення була розроблена на основі алгоритму роботи рис.5.1. Код програми преведений в Додатку А.

Опишемо основні блоки програми вимірювання концентрації газів повітря виробничого приміщення.

Бібліотеки, які потрібно задіяти:

- Wire.h: для роботи з інтерфейсом I2C (OLED дисплей);
- Adafruit_GFX.h: графічна бібліотека для дисплея;
- Adafruit_SSD1306.h: драйвер для OLED дисплея 128x64;
- SoftwareSerial.h: дозволяє створити додатковий UART для роботи з датчиком MH-Z19B (CO2).

Нижче представлений код для підключення бібліотек:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <SoftwareSerial.h>
```

OLED дисплей (SSD1306) виводить текстову інформацію про гази, статус системи, тривогу. Покази змінюються кожні 3 секунди — два екрани з різними показниками.

```
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
//підключення дисплея
```

					<i>МММТ 480.011.011- ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						59
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

```

        //ініціалізація дисплея
Serial.begin(9600);
co2Serial.begin(9600);

pinMode(greenLED, OUTPUT);
pinMode(redLED, OUTPUT);

pinMode(buzzer, OUTPUT);
pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);

if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    while (true); // Якщо не ініціалізується

    // Покази на дисплей – перший екран
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print("CO: "); display.print(co);
display.print(" CO2: "); display.println(co2ppm);
display.setCursor(0, 16);
display.print("NH3: "); display.println(nh3);
display.display();
delay(3000);

    // Другий екран
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print("HCHO: "); display.println(hcho);
display.setCursor(0, 16);
display.print("H2S: "); display.println(mql36Val);
display.display();
delay(3000);
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print("Статус: ");
if (alarm) {
    display.println("ТРИБОГА!");
    digitalWrite(redLED, HIGH);
    digitalWrite(greenLED, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
} else {
    display.println("Норма");
    digitalWrite(redLED, LOW);
    digitalWrite(greenLED, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
}
display.display();
delay(3000);
}

```

Датчики вимірювання концентрації газів:

- MQ-135 (A0) – вимірює CO, NH₃, HCHO;
- MQ-136 (A1) – вимірює H₂S;
- MH-Z19B (через SoftwareSerial) – вимірює CO₂ (в ppm).

```

// Піни датчиків
const int mql35Pin = A0;    // MQ-135: CO, NH3, HCHO
const int mql36Pin = A1;    // MQ-136: H2S
// UART для MH-Z19B (CO2)
SoftwareSerial co2Serial(10, 11); // RX, TX

```

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

```

int mq135Val = analogRead(mq135Pin);
int mq136Val = analogRead(mq136Pin);
int co2ppm = readCO2();

int co = mq135Val * 0.4;
int nh3 = mq135Val * 0.3;
int hcho = mq135Val * 0.2;

// MH-Z19B - зчитування CO2
int readCO2() {
    byte cmd[9] = {0xFF, 0x01, 0x86, 0, 0, 0, 0, 0, 0x79};
    byte response[9];

    co2Serial.write(cmd, 9);
    delay(100);
    if (co2Serial.available()) {
        co2Serial.readBytes(response, 9);
        if (response[0] == 0xFF && response[1] == 0x86) {
            return response[2] * 256 + response[3];
        }
    }
    return -1;
}

```

Кнопка вмикає/вимикає систему. Має захист від дребезгу (затримка 300 мс). Якщо вимкнена – всі індикатори вимикаються, на дисплеї показ "СИСТЕМА ВИМКНЕНА".

// Кнопка підключення

```

const int buttonPin = 2;
bool systemOn = false;
bool lastButtonState = HIGH;
// Кнопка
bool currentButtonState = digitalRead(buttonPin);
if (lastButtonState == HIGH && currentButtonState == LOW) {
    systemOn = !systemOn;
    delay(300);
}
lastButtonState = currentButtonState;

```

Сигналізація. Світлодіоди: greenLED (6) – горить, якщо все в нормі, redLED (7) – тривога. Buzzer (5) – вмикається при перевищенні порогів. Якщо будь-який газ перевищує допустимий рівень – система переходить в режим тривоги.

```

bool alarm = (co > 400 || nh3 > 400 || hcho > 400 || mq136Val > 400 ||
co2ppm > 1000);
pinMode(greenLED, OUTPUT);
pinMode(redLED, OUTPUT);
pinMode(buzzer, OUTPUT);
pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
digitalWrite(greenLED, LOW);
digitalWrite(redLED, LOW);
digitalWrite(buzzer, LOW);

```

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		61

6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1.Розробка друкованої плати

Друкована плата – це основа для електронних схем, що механічно підтримує і з'єднує електронні компоненти за допомогою провідників, витравлених із шарів міді на ізоляційному підкладці.

Основні характеристики друкованої плати:

- Матеріал підкладки: найчастіше використовується FR4 (склотекстоліт).
- Шари: плати бувають односторонні, двосторонні та багатошарові.
- Технологія виготовлення: хімічне травлення, фрезерування або лазерне гравіювання.
- Провідники: мідні доріжки з'єднують компоненти.
- Монтаж компонентів: поверхневий (SMD) або вивідний (THT).

Вимоги до друкованої плати:

1. Електричні. Провідники мають відповідати схемі без коротких замикань чи обривів; мінімальна ізоляція – 0.2 мм; ширина визначається струмовим навантаженням (IPC-2221).

2. Механічні. Матеріал – FR4 товщиною 1.5 мм; отвори мають відповідати розмірам компонентів; плата повинна витримувати монтаж без пошкоджень.

3. Теплові. Компоненти мають бути розміщені з урахуванням тепловідведення; «гарячі» елементи – з тепловими зонами; матеріал витримує до 140°C.

4. Технологічні. Мінімальна ширина доріжок і зазори – 0.2 мм; контактні майданчики з паяльним покриттям (HASL, ENIG); наявність шовкодруку з позначенням елементів.

5. Експлуатаційні. Робота при -20...+60°C, вологість до 85%; стійкість до вібрацій та ударів; забезпечена електромагнітна сумісність.

Проектування друкованих плат виконується в спеціальних програмних

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

середовищах. Існує багато програм для розробки друкованих плат, як стаціонарних так і он-лайн платформ. Розглянемо найпопулярніші з них:

Eagle (Autodesk Eagle). Потужне середовище з широкими можливостями для створення принципових схем і друкованих плат. Підтримує багатошарові плати, має бібліотеки компонентів і інтеграцію з Fusion 360. Проте інтерфейс досить складний для новачків.

Proteus. Добре підходить для моделювання мікроконтролерних систем. Окрім проектування плат, дозволяє проводити симуляцію схем у режимі реального часу. Проте саме середовище трасування плат має обмежену гнучкість у порівнянні з іншими.

DipTrace. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, хороший баланс між простотою і функціональністю. Підтримує імпорт бібліотек, 3D-моделі, автотрасування. Менш популярний серед спільноти, тому менше сторонніх ресурсів.

EasyEDA. Онлайн-платформа з підтримкою хмарного зберігання. Містить багатий набір бібліотек, простий інтерфейс, інструменти для автотрасування, моделювання схем і пряму інтеграцію з сервісами виготовлення плат (JLCPCB). Ідеально підходить для спільної роботи над проектом та швидкого переходу до виготовлення.

Для розробки нашої системи найкраще обрати EasyEDA, оскільки вона:

- має простий у користуванні інтерфейс;
- не потребує встановлення – працює в браузері;
- дозволяє швидко оформити замовлення на виробництво плати;
- підтримує спільну роботу над проектом онлайн;
- ідеально підходить для невеликих або середніх проектів з мікроконтролерами [26].

Розроблена друкована плата в EasyEDA представлена на рис.6.1-6.5 [27].

Дана друкована плата має два шари, розмір друкованої плати складає 88x128мм.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		63

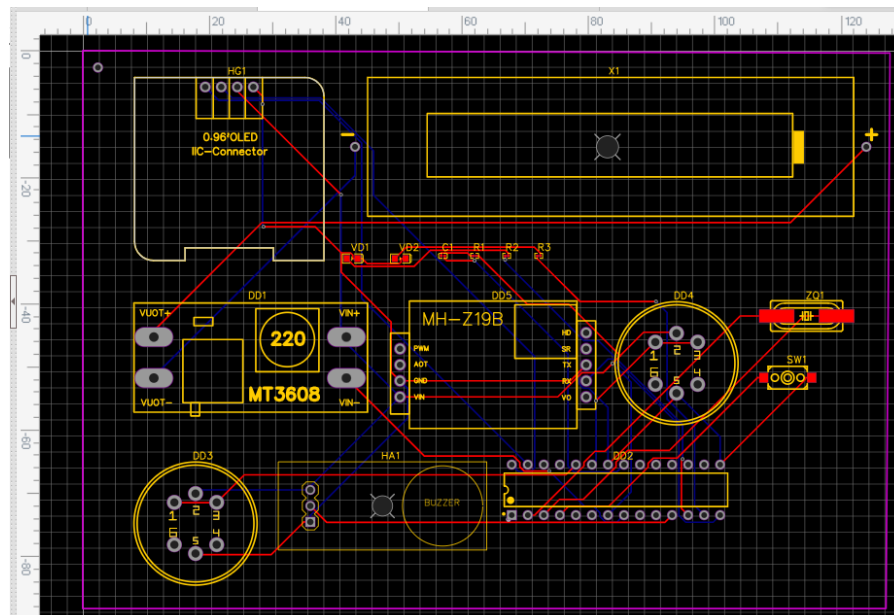


Рис.6.1. Друкована плата в середовищі EasyEDA

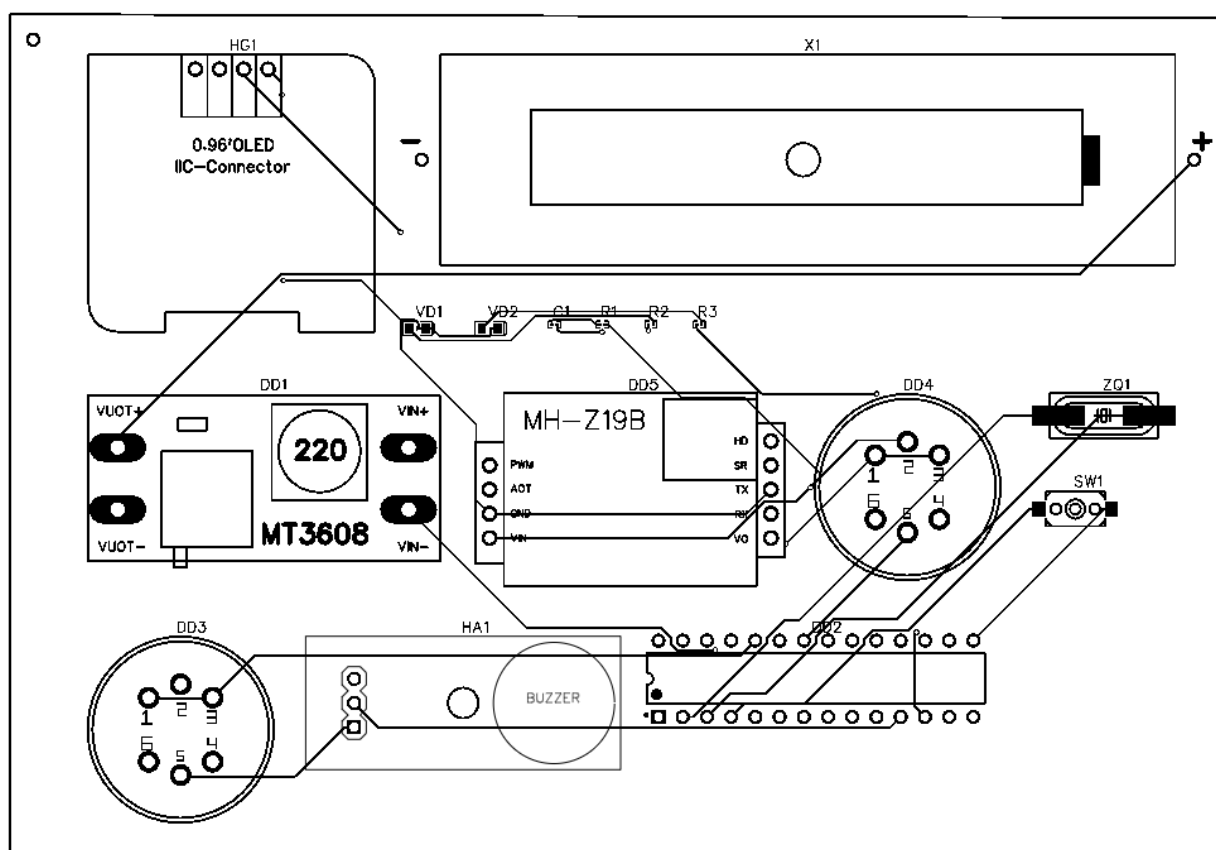


Рис.6.2. Друкована плата верхній шар

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат

МММТ 480.011.011- ПЗ

Арк.

64

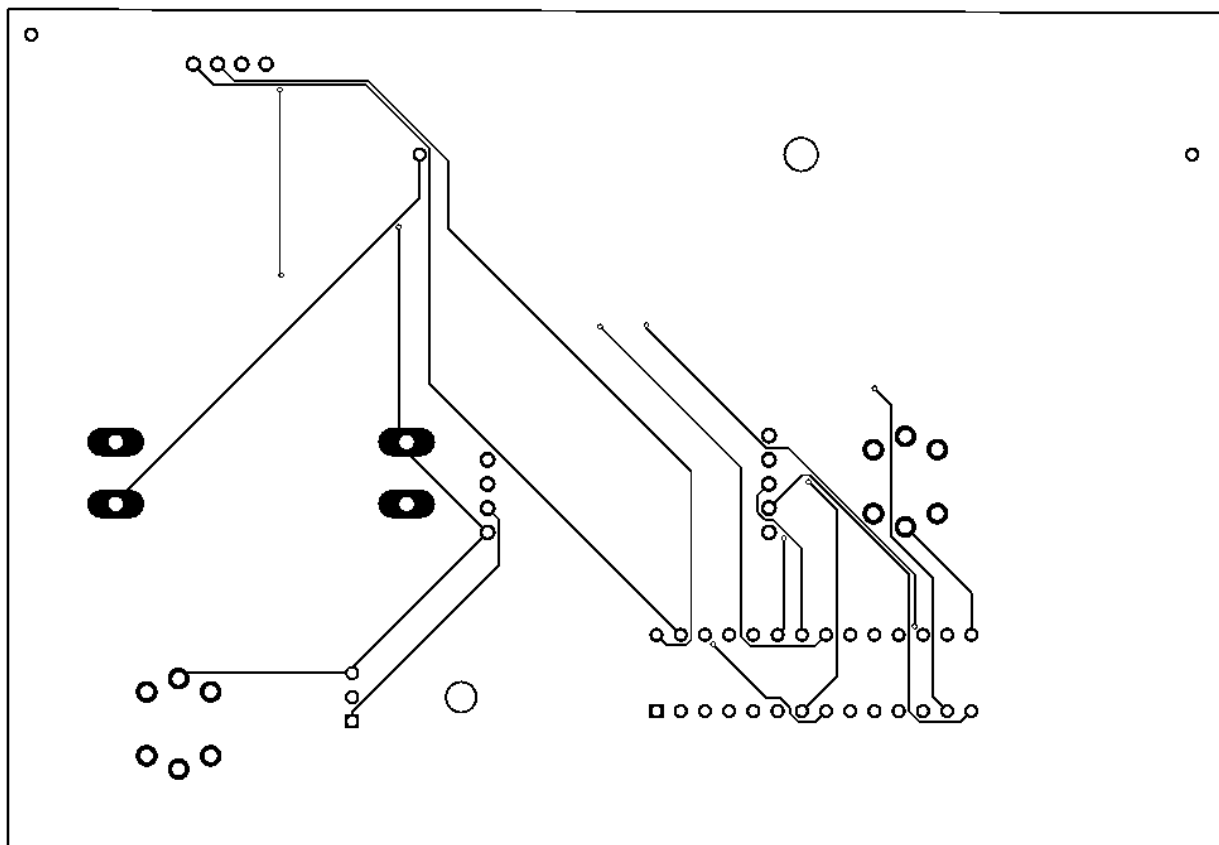


Рис.6.3. Друкована плата нижній шар

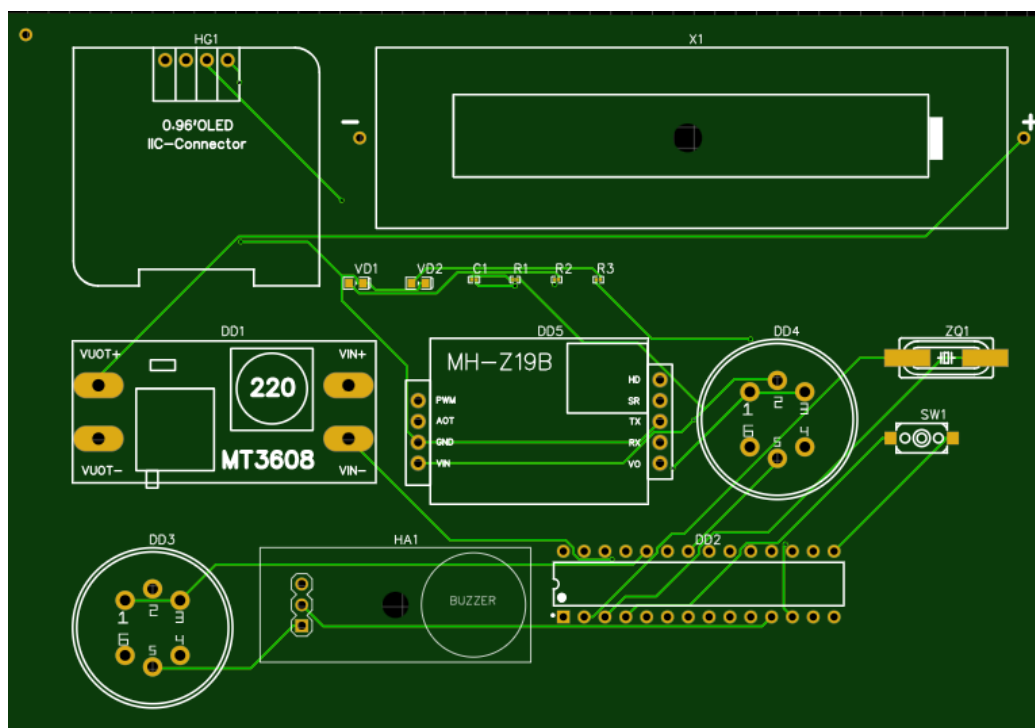


Рис.6.4. 2Д Друкована плата верхній шар

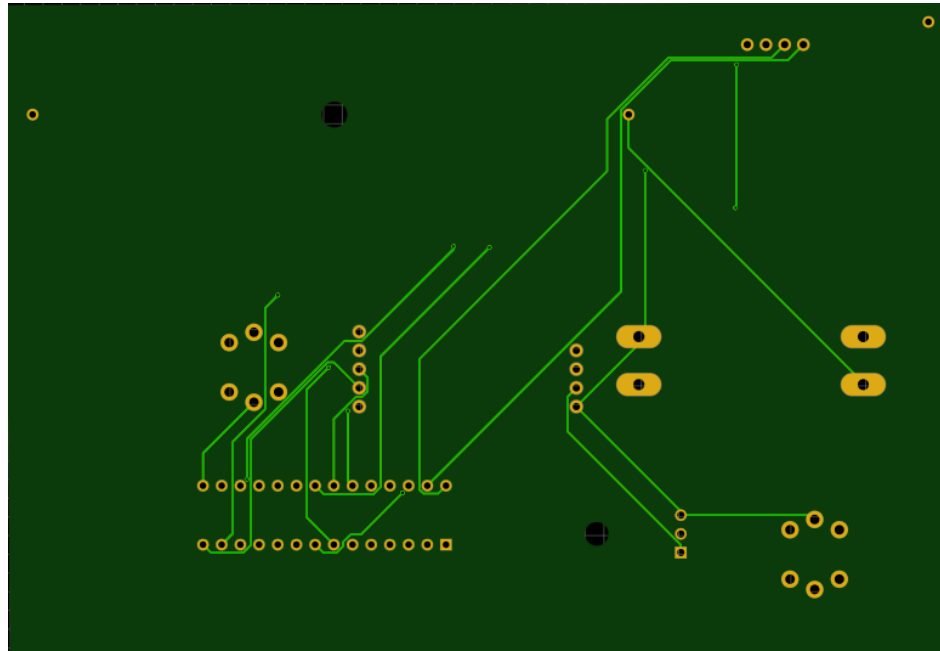


Рис.6.5. 2Д Друкована плата нижній шар

Для подальшої розробки необхідно дзеркально відобразити макет плати та роздрукувати його на принтері. Потім зображення прикладається до основи з текстоліту та пропрасовується праскою для перенесення малюнка. Після цього плату занурюють у розчин хлорного заліза для витравлення мідного шару, залишаючи лише потрібні доріжки. Отвори в платі слід просвердлити спеціальним міні-дрилем із тонким свердлом.

6.2.Вибір корпусу

Система буде автономним окремим пристроєм. Сама система буде знаходитися в пластиковому корпусі D150 (рис.6.6) з розмірами 148x92x52мм з певними доробками: під дисплей та кнопку будуть зроблені отвори, під акумулятор буде застосований спеціальний роз'єм.

Універсальний корпус складається з двох частин, які збираються за допомогою вставок та 4-х шурупів Ø3x30мм.

Для кріплення компонентів у кожній із половинок корпусу передбачені 4 стійки.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		



Рис.6.6. Зовнішній вигляд корпусу D150

- Характеристики D150:
- Корпус D150: чорний;
- Висота 52 мм;
- Ширина 92мм;
- Довжина 148 мм [28].

6.3. Розрахунок надійності системи

Для системи вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях необхідно оцінити надійність.

Надійність – це властивість об’єкта (системи, пристрою, елемента) зберігати свою працездатність упродовж заданого часу або напрацювання в заданих умовах експлуатації.

Для безвідмовної роботи впродовж часу t ймовірність безвідмовної роботи (надійність) визначається за експоненціальним законом розподілу:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.1)$$

де $R(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи протягом часу t , λ – інтенсивність відмов (відмов/год), t – час експлуатації.

Комп’ютеризована система вимірювання концентрації газів призначена для роботи у виробничому приміщенні:

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

– робочий діапазон температури від 0 °С до +45°С, відносна вологість повітря до 95% при 25 °С;

– конструктивно виконано для роботи в середині приміщення з штучно регульованих кліматичних умов, вібростійкий.

Склад виробу – комп’ютеризована система вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях.

Відмова виробу вважається такою, що має місце тоді, коли виходить з ладу будь-який його елемент або вузол, внаслідок чого порушується працездатність усієї системи і стає неможливим її використання за призначенням.

Оцінка надійності створеного пристрою здійснюється на основі його електричної принципової схеми з урахуванням визначеної кліматичної категорії та конструктивного виконання. [29]

Формули для розрахунку інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів наведені в таблиці 6.1, стовпець 5.

Коефіцієнти та інтенсивність відмов визначені по довідковим даним, приведеним у [29] з урахуванням вихідних даних для проектованої системи.

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
	MT3608	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
2	Датчики				a_1	a_2	a_4	a_6	
	MQ-135	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
	MQ-136	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	MH-Z19B	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	Діоди	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
6	Бuzzer	1	3,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	7,98
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	Кварцевий резонатор								
	HC-49 SMD	1	1,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	3,78
9	Пайки	55	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,01155
10	Акумулятор Li-Ion 18650	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
	Разом								81,39

Визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 10 таблиці 6.1):

$$\lambda = 81,39 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Дані розрахунку $R(t)$ приведені в таблиці 6.2.

На графіку,веденому на рис 6.7 приведена залежність надійності $R(t)$.

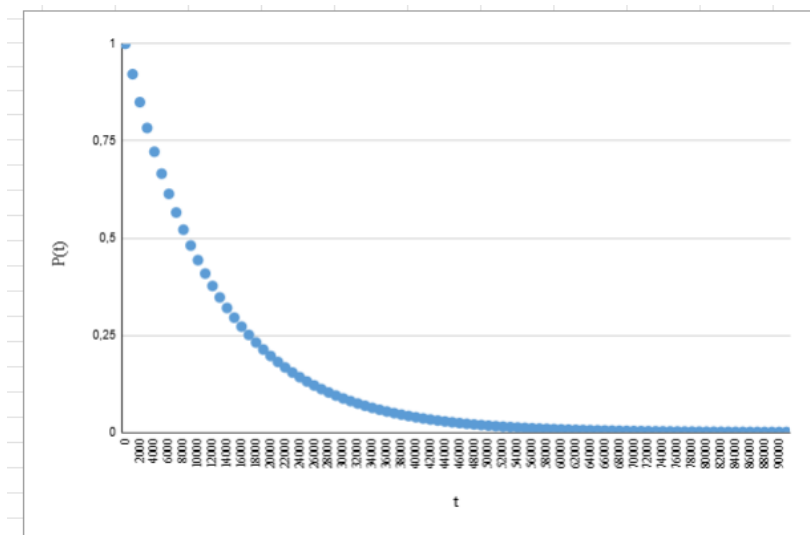


Рис.6.7. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Таблиця 6.2. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,97986	0,96012	0,94078	0,92183	0,84978	0,66567	0,52146	0,44312

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.2)$$

Підставляючи дані в формулу (6.2) одержимо

$$T = (81,39 \cdot 10^{-6})^{-1} = 12286,4 \text{ годин.}$$

6.4. Розрахунок похибок вимірювання кількості зрідженого газу

Було проведено десять повторних вимірювань кількості концентрації вуглекислого газу CO₂ у виробничому приміщенні $P=\{855; 854; 855; 855; 855; 853; 854; 853; 853; 854\}$ ppm. Вибір діапазону датчику МН-Z19В здійснювався програмно та склав 0...2000 ppm. Нормальний рівень для людини складає в межах 800ppm. Граничний рівень для людини вважаємо 1000 ppm.

1) Середнє арифметичне $\bar{P}$:

$$\bar{P} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} P_i \cong 854,1$$

2) Похибки повторних вимірювань ΔL_i та ΔL_i^2

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

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 6.3.

Таблиця 6.3

№ з.п.	P, ppm	ΔP , ppm	ΔP^2 , ppm ²
1	855	0.9	0.81
2	854	0.1	0.01
3	855	0.9	0.81
4	855	0.9	0.81
5	855	0.9	0.81
6	853	1.1	1.21
7	854	0.1	0.01
8	853	1.1	1.21
9	853	1.1	1.21
10	854	0.1	0.01

3) Випадкову похибку вимірювання за: З табл. 6.4 знайдемо коефіцієнт Стьюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{P} - P_i)^2} \approx 0,28 \text{ ppm}$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B P = 2,26 * 0,28 = 0,63 \text{ ppm}$$

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		70

4) Похибку приладу за: $\Delta_{\text{пр}} P = \frac{1}{300} t_p k P_{\text{гр}}$. Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 6.4 знайдемо $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $P_{\text{гр}} = 2000$ ррт, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} L = \frac{1}{300} * 2,0 * 2000 * 1 \approx 13,33 \text{ ррт};$$

5) Похибку заокруглення за формулою $\Delta P_3 = P \frac{h}{2}$. Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду вимірюваної величини – 0,05. Отже:

$$\Delta P_3 = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,47 \text{ ррт}$$

6) Загальну абсолютну похибку:

$$\Delta P = \sqrt{(\Delta_B P)^2 + (\Delta_{\text{п}} P)^2 + (\Delta_3 P)^2} = \sqrt{0,63^2 + 13,33^2 + 0,47^2} \approx 13,36 \text{ ррт}$$

(За правилом «трьох сигм» похибками заокруглення нехтуємо).

7) Відносну похибку за формулою:

$$\delta L = \frac{\Delta P}{\bar{P}} \times 100\% = \frac{13,36}{854,1} \times 100\% \approx 1,56\%$$

Записуємо кінцевий результат:

$$P = (854,1 \pm 13,36) \text{ ррт при } \delta L \approx 1,56 \text{ .}$$

Отже, отримаємо абсолютну похибку вимірювання 13,36 ррт, відносну похибку вимірювання відсотках 1,56%.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Охорона праці

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

Роботодавець – власник підприємства, установи, організації або уповноважений ним орган, незалежно від форм власності, виду діяльності, господарювання, і фізична особа, яка використовує найману працю.

Працівник – особа, яка працює на підприємстві, в організації, установі та виконує обов'язки або функції згідно з трудовим договором (контрактом). Основним законодавчим документом у галузі охорони праці є Закон України “Про охорону праці”, дія якого поширюється на юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих.

До основних функцій служби охорони праці належить:

- розроблення спільно комплексних заходів для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці, планів, програм поліпшення умов праці, запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням, надання організаційно-методичної допомоги у виконанні запланованих заходів;

- підготовка проектів наказів (розпоряджень) з питань охорони праці і внесення їх на розгляд роботодавцю;

- проведення перевірок дотримання працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці;

- проведення з працівниками вступного інструктажу з питань охорони праці;

- ведення обліку та проведення аналізу причин виробничого травматизму, професійних захворювань, аварій на виробництві, заподіяної ними шкоди;

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		72

– складання за участю керівників підрозділів підприємства переліків професій, посад і видів робіт, на які повинні бути розроблені інструкції з охорони (безпеки) праці, що діють в межах підприємства, надання методичної допомоги під час їх розроблення;

– участь у розслідуванні нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві, складанні санітарно-гігієнічної характеристики умов праці працівників, проведенні внутрішнього аудиту охорони праці та атестації робочих місць на відповідність нормативно-правовим актам з охорони праці, розробленні положень, інструкцій, інших актів з охорони (безпеки) праці, що діють у межах підприємства, організації навчання з питань охорони праці тощо;

– контроль за виконанням заходів, передбачених програмами, планами щодо поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, своєчасним проведенням необхідних випробувань і технічних оглядів устаткування, своєчасним проведенням навчання з питань охорони праці, всіх видів інструктажу з охорони праці, забезпеченням працівників відповідно до законодавства спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального та колективного захисту, дотриманням у належному безпечному стані території підприємства, організацією робочих місць відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці тощо[30].

7.2. Вимоги безпеки до виробничих і допоміжних приміщень

Основні вимоги до будівель виробничого призначення викладені в СНиП 2.09.02-85.

При плануванні виробничих приміщень необхідно враховувати санітарну характеристику виробничих процесів, дотримуватись норм корисної площі для працюючих, а також нормативів площ для розташування устаткування і необхідної ширини проходів, що забезпечують безпечну роботу та зручне обслуговування устаткування.

					<i>МММТ 480.011.011- ПЗ</i>	<i>Дрк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Дрк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		<i>73</i>

Вибір типу приміщення визначається технологічним процесом та можливістю боротьби з шумом, вібрацією і забрудненням повітря. Наявність великих за розміром віконних прорізів та ліхтарів має забезпечувати хороше натуральне освітлення. Обов'язковим являється також улаштування ефективної вентиляції.

Якщо в одній будові необхідно розмістити виробничі приміщення, до яких з точки зору промислової санітарії та пожежної профілактики висуваються різні вимоги, то необхідно їх групувати таким чином, щоб вони були ізольованими один від одного. Цехи, відділення та дільниці зі значними шкідливими виділеннями, надлишком тепла та пожежонебезпечні необхідно розташовувати біля зовнішніх стін будівлі і, якщо допустимо за умовами технологічного процесу та потоковістю виробництва – на верхніх поверхах багатоповерхової будівлі. Не можна розташовувати нешкідливі цехи та дільниці (наприклад, механоскладальні, інструментальні, ЕОМ тощо), а також конторські приміщення над шкідливими, оскільки при відкриванні вікон газу та пари можуть проникати в ці приміщення.

Приміщення, де розташовані електрощитове, вентиляційне, компресорне та інші види обладнання підвищеної небезпеки повинні бути постійно зачиненими на ключ, з тим, щоб в них не потрапили сторонні працівники.

З метою запобігання травматизму у виробничих приміщеннях необхідно застосовувати попереджувальне пофарбування будівельних конструкцій та знаки безпеки (ГОСТ 12.4.026-76 „Цвета сигнальные и знаки безопасности“). Наприклад, жовтим кольором (або із чорними смугами) фарбують низько розташовані над проходами конструкції, звуження проїздів, малопомітні сходишки, виступи та перепади в площині підлоги.

Ширина основних проходів всередині цехів та дільниць повинна бути не менше 1,5 м, а ширина проїздів – 2,5 м.

Двері та ворота, що ведуть безпосередньо на двір, необхідно обладнати тамбурами або повітряними (тепловими) завісами.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		74

Важливе значення для здорових та безпечних умов праці мають раціональне розташування основного та допоміжного устаткування, виробничих меблів, а також правильна організація робочих місць. Порядок розташування устаткування і відстань між машинами визначаються їхніми розмірами, технологічними вимогами і вимогами техніки безпеки. Однак, у всіх випадках, до устаткування, що має електропривід, повинен бути вільний підхід з усіх сторін шириною не менше 1 м зі сторони робочої зони і 0,6 м — зі сторони неробочої зони. Виробничі меблі (шафи, стелажі, столи тощо) можна ставити впритул до конструктивних елементів будівлі – стін, колон.

Для обробки та захисту внутрішніх поверхонь конструкцій приміщень від дії шкідливих та агресивних речовин (наприклад, кислот, лугів, свинцю) та вологи використовують керамічну плитку, кислотостійку штукатурку, олійну фарбу, які перешкоджають сорбції цих речовин та допускають миття поверхонь.

Висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2 м, а об'єм і площа – 15 м³ та 4,5 м² відповідно на кожного працівника.

Приміщення чи дільниці виробництва з надлишками тепла (більше 20 ккал/(м³ * год)), а також із значними виділеннями шкідливих газів, парів чи пилу слід, як правило, розміщувати біля зовнішніх стін будівель, а у багатоповерхових будівлях – на верхніх поверхах.

Підлога на робочих місцях має бути рівною, теплою, щільною та такою, що не чинить опір ударам; мати неслизьку та зручну для очистки поверхню; бути стійкою до хімічних впливів та поглинення цих речовин.

Стіни виробничих та побутових приміщень мають відповідати вимогам шумо- і теплозахисту; підлягати легкому прибиранню та миттю; мати оздоблення, що виключає можливість поглинення чи осадження отруйних речовин (керамічна плитка, олійна фарба).

Приміщення, де розміщені виробництва з відділенням шкідливих та агресивних речовин (кислоти, луги, ртуть, бензол, сполуки свинцю та ін.), повинні мати стіни, стелю та конструкції, пофарбовані так, щоб

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

попереджувалась сорбція (осаджування) цих речовин та допускались легкі очищення та миття цих поверхонь.

У приміщеннях з великим виділенням пилу (шліфування, заточка, розмел) слід передбачити прибирання за допомогою пиłosосів чи гідрозмивання.

Колір інтер'єрів приміщень має відповідати вимогам технічної естетики [30].

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

Дана кваліфікаційна робота бакалавра була виконана на тему «Комп'ютеризована система для вимірювання концентрації небезпечних газів у виробничих приміщеннях». Вимірювання концентрації небезпечних газів таких, як чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), аміак (NH₃), сірководень (H₂S) виконується датчиками трьома датчиками MQ-136, MQ-136, MH-Z19B.

Розроблена комп'ютеризована система автоматично вимірює концентрацію небезпечних газів у виробничих приміщеннях. Дані відображаються на дисплеї, зелений світлодіод сигналізує про норму, а при перевищенні порогів спрацьовує звукова та світлова тривога з відповідним повідомленням на екрані.

У кваліфікаційній роботі бакалавра було виконано такі завдання:

1. Проведено аналіз переліку небезпечних газів, що можуть накопичуватись у виробничих приміщеннях.
2. Розглянуті наявні системи вимірювання концентрації небезпечних газів.
3. Обґрунтовано вибір складових елементів системи моніторингу концентрації газів.
4. Розроблено структурну схему системи концентрації газів.
5. Побудовано принципову електричну схему та розроблено друковану плату.
6. Створений алгоритм системи та написано програмне забезпечення.
7. Проведено розрахунок показників надійності та точності системи: напрацювання на відмову становить 12 286 годин, абсолютна похибка вимірювання концентрації CO₂ – 13,36 ppm, відносна похибка – 1,56%.

Створена система дозволяє автоматично контролювати концентрацію небезпечних газів у виробничих приміщеннях, забезпечуючи своєчасне виявлення перевищень норм, підвищення рівня безпеки працівників та відповідність вимогам охорони праці.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Контроль якості повітря. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nubip.edu.ua/node/78991>.
2. Сірководень. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gastech.com.ua/UA/sirkovoden-h2s>.
3. Формальдегід. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cleanair.org.ua/pollutant/formaldehyde_ua.
4. Ратушняк Г.С. Теоретичні основи технології очищення газових викидів/Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002. - 96 с.
5. Аналізатор якості повітря СЕМ DT-9881. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/analizator-kachestva-vozdruha-cem-dt-9881-ua.html>.
6. Газоаналізатор Honeywell BW Gas AlertMicro Clip XL. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tdz.net.ua/p2446005144-gazoanalizator-honeywell-gas.html>.
7. Аналізатор якості повітря KORNO GT-1000-JM3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/analzator-yakost-povtrya-pil-co-ch2o-rh-korno-gt-1000-jm3.html>.
8. ARM Cortex-M85 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mouser.de/new/renesas/renesas-ra8m1-32-bit-mcus>.
9. Datasheet Atmega328 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eu.mouser.com/new/microchip/atmelatmega328>.
10. Мікроконтролер pic16f [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ae.rsdelivers.com/fi/product/microchip/pic16f18326-i/p/microchip-pic16f>.
11. Мікроконтролер STM32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.directindustry.com/stmicroelectronics/product-33699-558379.html>.
12. Класифікація бузерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/aktivnyj-zummer>.
13. Різновиди дисплеїв. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.makerguides.com/displays-for-arduino-overview>.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		78

14. Кнопки без фіксації. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiostore.ua/knopki-bez-fiksatsii>.

15. Вибір акумулятора. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: racheldebarros.com/prop-making/electronics/how-to-choose-the-right-battery-to-power-your-electronics-project.

16. DataSheet Mq135. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/download/datasheet/sensors/mq135.pdf>.

17. DataSheet Mq136. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tme.eu/Document/978fc1a44264ff3b8b765e66760d2b5e/MQ136.pdf>.

18. DataSheet MH-Z19B. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino-ide.com/modules/48-podkljuchenie-mh-z19-k-arduino.html>.

19. DataSheet ATmega328. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/figure/CAN-bus-system-ATmega328-ATmega328>.

20. Мікроконтролер ATmega328. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod15-mikrokontroller-atmega328p-ru>.

21. Світлодіод 5 мм червоний [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiobox.in.ua/ua/p1887669812-svetodiod-krasnyj-sht.html>.

21. Активний зумер 5В на платі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p2271652574-aktivnyj-zummer-plate.html>.

22. OLED-дисплей SSD1306. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mehanika-net.uaprom.net/ua/p1882764919-oled-displej-graficheskij.html>.

23. Акумулятор літійовий Li-Ion 18650. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://9da.com.ua/ru/product/57995>.

24. Підвищувальний перетворювач напруги DC-DC MT3608 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://klmaster.com/catalog/povyshayushchiy-preobrazovatel-napryajeniya-mt3608-455>.

25. Кнопка антивандальна LB12B2-G10F-DYR5-24V-N [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/LB12B2-G10F-DYR5-24V-N>.

26. 10 найкращих програмних засобів для проектування друкованих плат. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.desdelinux.net>.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат.		79

27. Офіційний сайт Easyeda. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://easyeda.com>.

28. Корпус D150. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronica.in.ua/p1530388577-korpus-d150-chernyj.html>.

29. Коренівська О.Л., Бенедицький В.Б.. Теорія надійності, експлуатації та ремонту радіоелектронної та телекомунікаційної техніки. Навчальний посібник. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 180 с.

30. Охорона праці. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://profiteh.ua/shcho-take-okhorona-pratsi>.

					МММТ 480.011.011- ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		