МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему "Дослідження та розробка системи вимірювання концентрації озону"

Виконав: студент II курсу, групи 8.1713
спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Електроніка
(код і назва освітньої програми)

В. Є. Кісельов
(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д. техн. н. Алексієвський Д.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент зает. дир. НВКФ "Еколех" Шершов С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Критська Т.В.
"1" 10 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кісельову Віталію Єгоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) "Дослідження та розробка системи вимірювання концентрації озону"

керівник роботи Алексієвський Дмитро Геннадійович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "30" вересня 2024 року № 1483-с

2 Строк подання студентом роботи 06 грудня 2024

3 Вихідні дані до роботи Комплект технічної документації на озонаторну станцію

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів вимірювання концентрації озону. 2. Синтез та дослідження моделі системи вимірювання. 3. Розробка та дослідження блоку обробки сигналів сенсорів. 4. Розробка друкованої плати блоку. 5. Економіка та організація науково-дослідної лабораторії. 6. Вимоги з охорони праці

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

1. Структура озонатора. 2. Візуально-блочна модель системи вимірювання. 3. Розширена модель системи вимірювання. 4. Структура системи обробки сигналів сенсорів 5. Блок обробки сигналів сенсорів (кр.) 6. Блок-схема алгоритму керування мікроконтролером. 7. Результати моделювання блоку обробки сигналів сенсорів 8. Друкована плата блоку обробки сигналів сенсорів 9. Стрічастий графік проекту

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Алексієвський Д.Г., проф.	01.10.23	10.11.23
2	Алексієвський Д.Г., проф.	10.11.23	19.01.24
3	Алексієвський Д.Г., проф.	19.01.24	19.04.2
4	Алексієвський Д.Г., проф.	19.04.24	20.09.
5	Алексієвський Д.Г., проф.	20.09.24	05.11.2
6	Алексієвський Д.Г., проф.	05.11.24	19.11.2

7 Дата видачі завдання 01.10.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз методів вимірювання	10.11.2023	
2	Синтез та дослідження моделі	19.01.2024	
3	Розробка та дослідження блоку обробки	19.04.2024	
4	Розробка друкованої плати блоку	20.09.2024	
5	Економіка та організація роботи	05.11.2024	
6	Вимоги з охорони праці	19.11.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	29.11.2024	
8	Оформлення графічної частини	06.12.2024	

Студент _____ Кісельов В.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Алексієвський Д.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Туришев К.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить 104 стор., 40 рис., 6 табл., 42 інформаційних джерел і 2 додатки на 4 стор.

СЕНСОР, ВІЗУАЛЬНО-БЛОЧНА МОДЕЛЬ, МОДЕЛЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМНИЙ КОД, ДРУКОВАНА ПЛАТА,

Мета роботи – є дослідження математичних методів для розробки системи визначення концентрації озону.

Задачі роботи – розробка моделі системи вимірювання; дослідження розробленої моделі; розробка програмно-апаратної частини блоку обробки сигналів сенсорів; дослідження розробленого блоку; розробка топології друкованої плати блоку.

Методи рішення задач – синтез моделі; моделювання системи вимірювання; синтез схеми блоку обробки сигналів сенсорів; синтез програмного коду керування; моделювання блоку; трасування друкованої плати.

Розроблено структуру озонатору з сенсорами вимірювальної системи, його модель і схему блоку обробки сигналів сенсорів, що дозволяє підвищити функціональність обладнання і точність визначення концентрації озону у складі озонаторних станцій.

Результати роботи рекомендуються використати для створення макетного зразка системи.

Роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення Інженерного навчально – наукового інституту ім. Ю. М. Потебні ЗНУ з 01.10.2023 по 06.12.2024.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ 8
1.1 Класифікація методів вимірювання концентрації озону 8
1.2 Метод оптичної абсорбційної спектроскопії 8
1.3 Лазерна резонансна абсорбційна спектроскопія 11
1.4 Інтерферометрія Фабрі-Перо 12
1.5 Інтерферометрична фотоакустична спектроскопія 13
1.6 Напівпровідникові оксидно-металеві сенсори 14
1.7 Вуглецеві сенсори 16
1.8 Барвникові сенсори 16
1.9 Сенсори з розкладанням тепла 17
1.10 Soft сенсори озону 17
1.11 Порівняльна характеристика сенсорів озону 18
2 СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ 21
2.1 Структура системи вимірювання концентрації озону 21
2.2 Візуально-блочна модель системи вимірювання концентрації озону 23
2.3 Розширена модель системи вимірювання концентрації озону 25
2.4 Дослідження моделі системи вимірювання концентрації озону 27
3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ ОЗОНАТОРНОЇ СТАНЦІЇ 31
3.1 Структура системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції 31
3.2 Розробка схеми електричної принципової блоку обробки сигналів сенсорів 36
3.3 Розробка програмного коду керування мікроконтролером датчика 45

3.4 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону 50
3.5 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури 52
3.6 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору тиску 54
4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ БЛОКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ 60
4.1 Обґрунтування обрання інструментарію розробки друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів 60
4.2 Розробка топології міжелементних з’єднань друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів 64
4.3 Особливості технології виготовлення і складання друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів 69
5 ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ 72
5.1 Формуляр проекту 72
5.2 Характеристика робіт за проектом 73
5.3 Робоча структура проекту - WBS 75
5.4 Організаційна структура проекту - OBS 75
5.5 Структура затрат проекту - CBS 77
5.6 Матриця відповідальності 77
5.7 Система кодування проекту 77
5.8 CTR - каталог 80
5.9 Стрілчастий графік 83
5.10 Розрахунок тривалості проекту з урахуванням запасів часу 84
6 ВИМОГИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ У НАУКОВО-ДОСЛІДНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ 87
6.1 Основи положення технічної безпеки в лабораторії 87
6.2 Пожежна безпека при виробництві 88
6.3 Санітарні норми для роботи в лабораторії 90

6.4 Дослідження засобів ураження струмом і надання першої допомоги потерпілим 92
6.5 Розрахунок одиночного заземлення у будівлі 95
ВИСНОВКИ 99
СПИСОК ПОСИЛАНЬ 100
ДОДАТОК А 105
ДОДАТОК Б 106

ВСТУП

Озон або триатомний кисень відомий своїми сильними окисними властивостями. Завдяки цій властивості озон широко застосовується в промисловості, наприклад, для знищення вірусів [1], дезінфекції морської води [2], очищення стічних вод [3], пакування харчових продуктів [4], консервування овочів [5] і антиоксидантного збагачення фруктів [6].

Сьогодні з цією метою використовується ультрафіолетове (УФ) випромінювання, хлор або озон. Однак озон має кращий спроможність щодо дезінфекції, оскільки він може досягати важкодоступних місць і не залишає токсичних залишків. Але озон становить небезпеку для здоров'я, особливо при наявності респіраторних захворювань. Таким чином, моніторинг вмісту озону є важливим.

Очищення води – одна з найгостріших та головних проблем теперішнього часу через те, що постійно збільшується об’єм забруднень. Сьогодні якістю не може похвалитися навіть та вода, яка використовується для водопостачання. Постійного очищення потребують приблизно 90% всіх водних ресурсів, що використовуються, тому що джерела прісної води не в змозі забезпечити вимогам населенню землі в загальному плані, а також зокрема землевласникам та містам [7].

Не дивлячись на те що озон широко використовують для обробки питної води, подальший розвиток технології озонування вимагає якісно нового підходу до вирішення ряду практичних завдань. Так, на відміну від адсорбційних методів, при окисленні озоном або будь-яким іншим окислювачем продукти реакції залишаються у воді. Чітке уявлення про вміст озону, що розчинено у робочому середовищі, дозволить не тільки розробити надійні методи очищення води, але і забезпечити гнучке проведення цього процесу, що допускає варіювання кількості озону і часом його контакту з водою.

Для цього широко використовуються вимірювачі концентрації озону, робота яких ґрунтується як на контактних методах визначення, так і на безконтактних методах [8]. Обрання методу вимірювання обумовлюється вимогами до певної озонаторної станції з точки зору ефективності очищення, енергоефективності та безпеки використання.

Тому у науково-дослідній лабораторії «Промислової електроніки» кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення було створено промисловий озонатор [9], що має широкий спектр використання щодо знезараження і очищення робочих середовищ.

Таким чином, дослідження та розробка системи вимірювання концентрації озону для промислового озонатора є актуальним науково-технічним завданням.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ

1.1 Класифікація методів вимірювання концентрації озону

За останній час були запропоновані різні підходи до вимірювання концентрації озону. Розробникам обладнання надається можливість обирати певний метод вимірювання відповідно до його застосування. Сенсори озону можуть бути створено на основі:

- оптичної абсорбційної спектроскопії [10];
- резонансної спектроскопії [11];
- інтерферометрів Фабрі - Перо [12];
- інтерферометричної фотоакустичної спектроскопії [13];
- металооксидного напівпровіднику [14];
- вуглецу [15];
- барвнику [16];
- розкладання тепла [17];
- soft - сенсора [18].

1.2 Метод оптичної абсорбційної спектроскопії

Принцип оптичної абсорбційної спектроскопії полягає в тому, що озон поглинає певну довжину хвилі світла, яка відрізняється від інших речовин. Поперечний переріз поглинання озону на конкретній довжині хвилі наведено на рис. 1.1 [10]. Озон має максимум поглинання на довжині хвилі 253,65 нм (переріз поглинання 1,147×10-21 м^2 молекула$^{-1}$) і мінімум поглинання на довжині хвилі 377,5 нм (переріз поглинання 4,4×10-29 м^2 молекула$^{-1}$) [19].

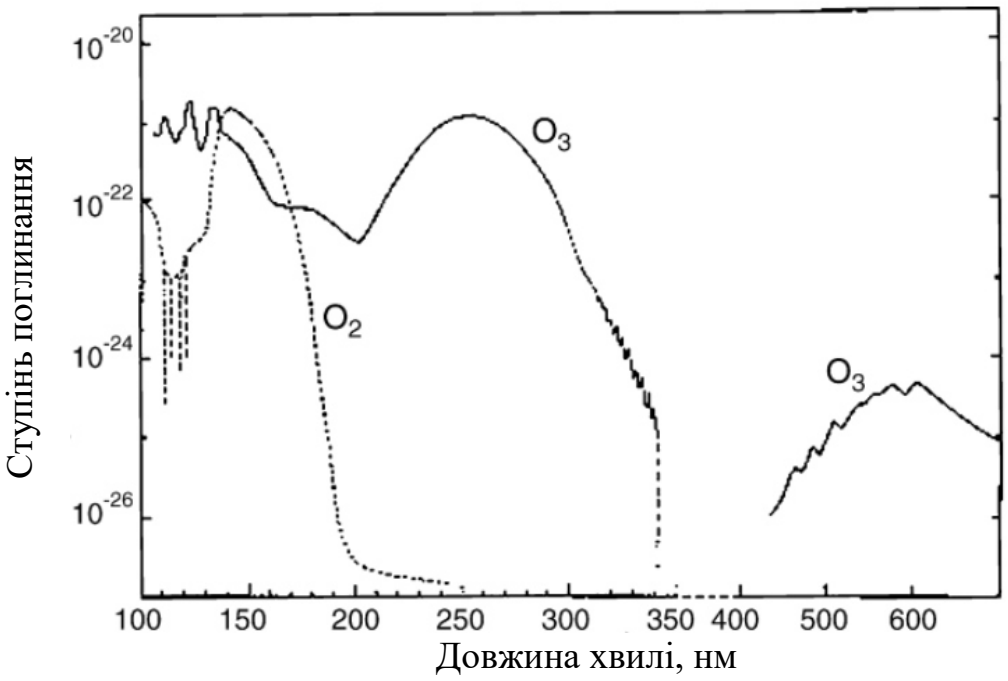


Рисунок 1.1 – Спектральна характеристика поглинання озону

Аналіз рис. 1.1 показує, що вимірювання інтенсивності випромінювання на довжини хвилі, що поглинає, і довжини хвилі, що не поглинає, може бути використано для визначення концентрації озону, згідно із законом Бера – Ламберта [10]:

$$A = \varepsilon \, c \, l = \ln(I_0 / I_t) \quad , \qquad (1.1)$$

де I_0 - інтенсивність світла, що надходить на зразок або на довжина хвилі, де не відбувається поглинання; I_t - інтенсивність світла, що пройшов через зразок; l - довжина оптичного шляху, м; c - концентрація озону, моль $м^{-3}$; ε - молярний коефіцієнт поглинання, $м^2$ $моль^{-1}$; A - ступінь поглинання.

Перевагами оптичної абсорбційної спектроскопії є надійна конструкція сенсора, миттєвий час відгуку та можливість віддаленого моніторингу через оптоволоконний дріт. Недоліки цього методу полягають у тому, що відповідне обладнання вимагає великих витрат щодо придбання фотонного устаткування

та наявність реєстрації шумових сигналів через коливання інтенсивності світла.

При цьому можуть використані різні джерела випромінювання. Оптична абсорбційна спектроскопія зазвичай застосовує структуру у вигляді джерела випромінювання, газової комірки та детектору.

Спочатку у таких вимірювачах використовувались у якості джерел випромінювання широкосмугові дейтерієво - вольфрамові галогенні лампи. Це в свою чергу потребувало застосування спектрометрів для вибіркового вимірювання інтенсивності на робочої довжини хвилі. Згодом у якості джерел випромінювання почали широко використовувати світлодіоди, що пов’язано з тим, що вони мають довший термін служби (10000 годин), ніж дейтерієво-вольфрамові галогенні лампи (1000 годин).

У деяких сучасних розробках почалося поновлення застосування широкосмугових дейтерієвих джерел випромінювання, довжина хвиль якого Нещодавно у [10] повернено до широкосмугового джерела світла знаходиться у діапазоні від 215 нм до 400 нм. Це пов’язано з високою вихідною потужністю широкосмугового джерела світла (100 Вт) у порівнянні зі світлодіодами (200 мкВт).

У якості робочого середовища у оптичній абсорбційній спектроскопії традиційно застосовувалась просвічувана газова комірка. Але останнім часом багато розробок виконано на основі відбиваючих газових комірок [10]. Це пояснюється тим, що у останніх випромінювання проходить подвійний оптичний шлях при однакової фізичної довжини комірки. Збільшення оптичного шляху дозволяє випромінюванню більш інтенсивно взаємодіяти з озоном, що є підґрунтям для розробок датчика озону зі зменшеними ваго-габаритними показниками.

Разом з тим, у [20] показано, що просвічувана газова комірка переважна, ніж відбивна, через погіршення властивостей дзеркала при довгому терміні використання.

1.3 Лазерна резонансна абсорбційна спектроскопія

У основі лазерної резонансної абсорбційної спектроскопії полягає принцип вимірювання на основі експоненціального загасання світла в оптичному середовищі, яке складається з двох дзеркал, як показано на рис. 1.2 [11]. В залежності від концентрації озону змінюється час на вимкнення резонатора, тобто час, що необхідний для зменшення інтенсивності світла до e^{-1} його початкової інтенсивності.

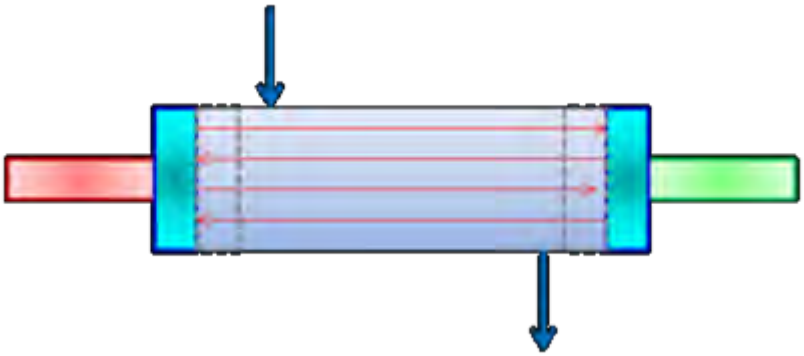


Рисунок 1.2 – Структура робочої комірки на основі лазерної резонансної абсорбційної спектроскопії

Перевагою цього методу є те, що коливання інтенсивності лазера не впливає на вимірювання, оскільки вимірюється час. Крім того, можливо збільшити довжину оптичного шляху до кількох кілометрів, щоб максимізувати взаємодію світла зі зразком. Цей метод також використовується для виявлення вологи, вимірювання показника заломлення та концентрації аерозолю, аналізу атомних слідів та ідентифікації хімічних сполук у полум’ї низького тиску.

При вимірюванні концентрації озону він спочатку перетворюється на діоксид азоту за допомогою оксиду азоту, потім концентрація озону розраховується на основі вимірювання концентрації діоксиду азоту. Це обумовило

створення датчиків підвищеної точності - 130 ppt за об’ємом у діапазоні вимірюваних концентрацій від 0,026 ppb до 250 ppb за об’ємом.

Також лазерна резонансна абсорбційна спектроскопія застосовується для вимірювання конценрацій більшості парникових і промислових газів через релеївське розсіювання в УФ області, яке обернено пропорційне довжині хвилі в ступені 4.

Таким чином, метод лазерної резонансної абсорбційної спектроскопії призначено для вимірювання невеликих концентрацій озону.

1.4 Інтерферометрія Фабрі-Перо

Інтерферометрія Фабрі-Перо - це проста багатопрохідна техніка для збільшення довжини оптичного шляху, що складається з двох близько розташованих плоских паралельних дзеркал, які утворюють клин [12]. Фіксоване положення дзеркала утворює еталон Фабрі-Перо. Струтура еталону Фабрі-Перо показана на рис. 1.3. Так як невелика кількість промінів світла виходить з дзеркала у вигляді смуг; тому, надходження світла на детектор незначно зменшується. Дискретні смуги утворюються лише за допомогою монохроматичного світла завдяки когерентності; інакше утворюються різнокольорові спектри.

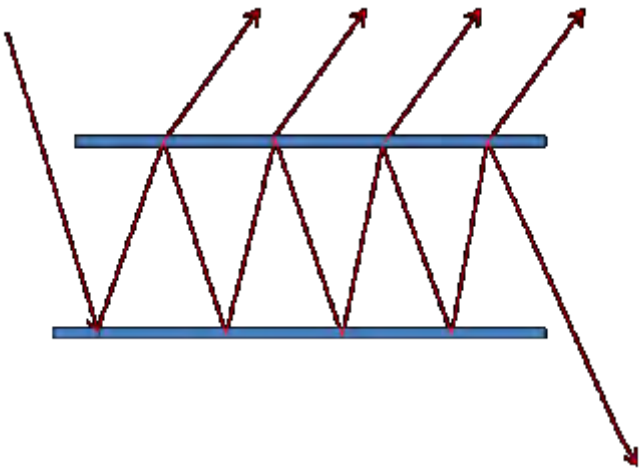


Рисунок 1.3 – Структура еталону Фабрі-Перо

Прикладом застосування цього методу є картування озону в тропосфері з космосу за допомогою подвійної еталонної інтерферометрії Фабрі-Перо. При цьому вимірювання проводиться на геосинхронній навколоземній орбіті. Інфрачервоне світло з довжиною хвилі близько 9,6мкм використовується для цього застосування для відділення озону від стратосфери та тропосфери. Така технологія є можливою, оскільки інтерферометрія Фабрі-Перо фіксує зображення з високою роздільною здатністю. Сигнатура озону в тропосфері нижча, ніж сигнатура озону в стратосфері. Таким чином, для вимірювання озону в тропосфері необхідний датчик високої роздільної здатності. Оскільки джерело інфрачервоного випромінювання є гарячим, то для досягнення необхідного співвідношення сигнал/шум на рівні 100 потрібна робоча температура нижче 65 К. Крім того, датчик не призначений для безперервного вимірювання, оскільки кожне сканування потребує 30 хвилин калібрування.

1.5 Інтерферометрична фотоакустична спектроскопія

У [13] було розроблено оптоволоконний датчик озону на основі фотоакустичної спектроскопії з резонатором. При цьому фотоакустичний сигнал вимірюється не мікрофоном, а кварцовим резонатором. Спочатку на резонаторі створюються коливання на резонансній частоті. Величину зміщення резонансної частоти вимірюють за допомогою інтерферометра з модуляцією інтенсивності. Нижня частина резонатора вібрує менше, ніж його верхня частина. Лазерні промені з довиною хвилі 532 нм в свою чергу спрямовані як на нижню, так і на верхню частину резонатора. Слабке поглинання озону відбувається на довжині хвилі 532 нм. Таким чином, різна концентрація озону буде поглинати різну кількість світла та впливати на інтенсивність випромінювання, що вимірюється.

Перевагами таких датчиків є низька межа виявлення концентрацій озону на рівні 2,13 ppm ± 0,02 ppm при стабільній роботі протягом 63 год. Крім того, зазначені датчики мають низький рівень шуму, що обумовлено функціонуванням резонатору на вузькій резонансній частоті. Таким чином, акустичний шум, який виходить за резонансну частоту резонатора, не впливатиме на вимірювання. Однак на точність датчика впливає температура або тиск, коли положення резонатора може зсуватися. Тому вимірювальні комірки за цим методом виготовляються у герметичних корпусах.

1.6 Напівпровідникові оксидно – металеві сенсори

Перші розробки напівпровідникових оксидно-металевих сенсорів створювались на основі триоксиду вольфраму n – типу провідності і функціонували при досить високих температурах від 470 K до 720 K потрібних для швидкого відновлення датчику. Згодом було створено сенсори для визначення концентрації озону, що працюють при кімнатній температурі [14], які не передбачають наявність нагрівача і знижують таким чином витрати на споживання електричноїенергії.

Сучасні розробки у цьому напрямі спрямовані на покращенні часу реакції та часу відновлення чутливого елементу. У таких датчиках використовується ефект циклічного фотовідновлення і повторного окислення плівки оксиду цинку під дією УФ випромінювання. Це обумовлено тим, що відбувається фотовідновлення (збільшення кількості електронів або зменшення опору), коли оксид цинку піддається дії УФ світла [14]. Потім відбувається окислення, коли оксид цинку піддається впливу озону (зменшення кількості електронів або збільшення опору). Час відгуку та час відновлення обираються як еталон для вимірювання концентрації озону.

Порівняння характеристик сенсорів на основі плівок з оксиду цинку наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння характеристик сенсорів на основі плівок з оксиду цинку

Тип поверхні	Зняття УФ опромінення	Подання і подальше зняття УФ опромінення
Тонка плівка оксиду цинку	Реакція відсутня	Кілька хвилин на відгук та відновлення
Товста плівка оксиду цинку	Реакція відсутня	Кілька хвилин на відгук та відновлення
Наностржні оксиду цинку	Реакція відсутня	Час відгуку - 45 с, час відновлення - 5 с

Аналіз табл. 1.1 показує, що наностржні оксиду цинку мають найшвидші цикли фотовідновлення та повторного окислення порівняно з тонкою і товстою плівками. Тобто структура поверхні є домінуючим фактором для ефективності зондування озону, оскільки озон піддається впливу поверхні плівки. Наностржні мають кристалічну структуру та велике співвідношення площі поверхні до об'єму, яке забезпечує велику кількість вільних поверхневих, що покращує вимірювання озону з точки зору часу відгуку та часу відновлення.

Також поєднання оксиду олова та оксиду цинку покращує динамічний діапазон напівпровідникових оксидно-металевих сенсорів. Наностржні оксиду цинку мають малий динамічний діапазон (від 1 ppm до 2,5 ppm). Додавання оксиду олова дозволяє визначати концентрацію озону у широкому динамічному діапазоні, при поєднанні з наночастинками оксиду олова - від 10 ppb до 200 ppm і разом з мезопористим оксидом олова - від 20 ppb до 2,4 ppm. Вимірювання озону від 0 до 500 ppb за час відгуку 240 с можливе за допомогою тонкої плівки товщиною 40 нм, яка складається з 90 відсотків In_2O_3, 3 відсотків ZnO та 7 відсотків SnO_2.

1.7 Вуглецеві сенсори

Вуглецеві сенсори функціонують завдяки зменшенню їх опору під дією озону, що обумовлюється зростанням концентрації дірок при перенесенні електронів від вуглецю до озону. У [15] розроблені вуглецеві наносенсори для вимірювання концентрації озону у рідкому і газоподібному середовищах. Також було створено гібридний сенсор, що складається з оксиду олова та вуглецевих нанотрубок [15], але час відгуку цього перетворювача (40 хв.) вищий, ніж у сенсорах на основі вуглецевих нанотрубок (100 с). Перевагою гібридного сенсора (20 ppb) над сенсором з вуглецевих нанотрубок (50 ppb) є нижча порогова чутливість.

Схожість між гібридними сенсорами з вуглецевими нанотрубками та вуглецевими сенсорами полягає у необхідності відпалу при 300 °C протягом 60 хв. і 350 °C протягом 30 хв. відповідно. Нагрівання вище рекомендованої температури призводить до пошкодження вуглецевої структури.

1.8 Барвникові сенсори

Барвникові сенсори є одними з перших вимірювальних перетворювачів для виявлення озону і постійно вдосконалювалися [16]. Принцип дії барвникових сенсорів полягає у вицвітанні кольору підкладки, коли вона піддається впливу навколишнього озону. Вицвітання кольору контролюється за допомогою спектрометра. Усі типи барвникових сенсорів є пасивними, портативними та здатними до вимірювання концентрації озону на рівні одиниць ppb. Перші такі прилади складались з індигокарміну та пористого скла [16] і мали тривалий час відгуку (один тиждень), незворотність та перехресної чутливості до діоксиду азоту. Пізніше у сенсорах було використано разом з індигокарміном, кислоту та папір [16], що зменшило час відгуку до кількох годин, але вони все

одно залишались необоротними і перехресно чутливий до перекису водню та вологості.

Разом з тим, було розроблено барвниковий сенсор з використанням індигокарміну, паперу та УФ опромінення [16], що був подібний до класичного сенсору, за винятком того, що він розроблений для захисту від ультрафіолетового випромінювання для застосовування поза приміщеннями.

Згодом було виготовлено барвниковий сенсор з абсолютно нового інгредієнта - оранжевого барвника I, лугу та паперу [16], де успішно було усунено перехресну чутливість за допомогою окисних газів. Однак чутливість до зміни вологості і необоротність все ще залишаються проблемами цих приладів.

1.9 Сенсори з розкладанням тепла

Концентрація озону може бути визначена вимірюванням теплоти термічного розкладання [17]. Озон є нестабільним газом і розкладається природним шляхом, виділяючи при цьому велику кількість тепла (142,7 кДж моль$^{-1}$). Перевагою таких сенсорів є великий динамічний діапазон (від 0 г м$^{-3}$ до 100 г м$^{-3}$) і довготривала стабільність (30 днів) при вимірюванні високої концентрації (90 г м$^{-3}$) [17]. Подібно до перших напівпровідникових металооксидних сенсорів, теплові перетворювачі краще працює при високій температурі. Оптимальна робоча температура поверхні сенсора забезпечується на рівні 680 К, так як озон розкладається повільно при низькій температурі та швидко при високій перед його детектуванням.

1.10 Soft сенсори озону

Зростання вартості вимірювання концентрації озону у промислових озонаторах спонукало здійснювати розрахунок концентрації озону шляхом

вимірювання його вторинних змінних [18]:

- вхідної потужності;
- потоку вихідного газу;
- початкової температури вихідного газу;
- ступеню підвищення температури вихідного газу;
- початкової температури охолоджувальної води та підвищення її температури після озонування.

Ці величини мають вирішальне значення для генерування озону у певній системі. Як правило, усі величини є фіксованими, крім вхідної потужності та потоку газу, що надходить у робоче середовище. Тому концентрацію озону можливо обчислити за допомогою двох змінних.

Перевагою таких сенсорів є низька вартість. Крім того, час відгуку soft сенсорів (0,58 с) менший ніж для барвникових пертворювачів (1 тиждень). Недоліком таких приладів є велика похибка - до 5 %, у порівнянні з комерційними аналізатором озону. Крім того, сенсорам бракує практичності застосування, оскільки не всі генератори озону ідеально виробляють озон із фіксованою швидкістю. При цьому необхідні математичні обчислення обмежені певною системою генерації озону. Крім того, сенсори потребують калібрування один раз на місяць для коригування коефіцієнта, який використовується в розрахунках. Таким чином, у soft сенсорів є значні проблеми, які необхідно вирішувати, особливо це стосується зменшення рівня похибки визначення.

1.11 Порівняльна характеристика сенсорів озону

Сенсори озону зазвичай використовуються для моніторингу вмісту озону в атмосфері або під час санітарної обробки.

Оптична абсорбційна спектроскопія працює на основі поглинання інтенсивності світла озоном, особливо ультрафіолетового світла. Такі сенсори є надійними і і спроможні реєструвати випромінювання через оптоволоконний

дріт. При тому що ці перетворювачі мають миттєвий час відгуку, вплив шумових сигналів є завданням, яке потрібує вирішення.

Лазерна резонансна абсорбційна спектроскопія є чутливим методом вимірювання, заснованим на вимірюванні часу. Однак на точність визначення концентрації впливають шумові складові і релеївське розсіювання світла на довгому оптичному шляху.

Інтерферометрія Фабрі-Перо використовує переваги еталону Фабрі-Перо , що збільшує тривалість взаємодії світла з озоном. Обмеженнями таких сенсорів є необхідність охолодження та тривалий час калібрування.

Метод інтерферометричної фотоакустичної спектроскопії засновується на вимірювання фотоакустичного сигналу. Такі сенсори мають низький рівень шуму та низьку порогову чутливість, але на їх точність впливають коливання температури та тиску.

Сучасні металооксидні напівпровідникові сенсори розроблюються таким чином, щоб вони були спроможні працювати при кімнатної температури. Сенсор із плівкою з оксиду цинку функціонує шляхом завдання циклів фотовідновлення та повторного окислення, тоді як УФ випромінювання використовується лише для запуску циклу. При цьому на час відгуку перетворювача значною мірою впливає структура поверхні оксиду цинку.

Вуглецеві сенсори працюють на основі зміни їх опору під час впливу озону. Вдосконалення таких перетворювачів проводяться у напрямках удосконалення структури поверхні, зменшення температури і часу відпалу, що призводить до покращення часу відгуку датчика.

Барвникові сенсори функціонують на основі зміни кольору підкладки під дією озону. Незважаючи на те, що продуктивність цих сенсорів постійно підвищується з точки зору зменшення часу відгуку, проблемами залишаються невелика стійкість до УФ випромінювання, перехресна чутливість до окисних газів та вологості і їх незворотність.

Вимірювання концентрації озону, засноване на визначенні теплоти його розкладання, дозволяє детектувати у широкому діапазоні концентрацій

протягом тривалого періоду часу. Але висока робоча температура цих сенсорів створює проблему з точки зору раціонального використання енергії та вартості порівняно з перетворювачами, що працюють при кімнатній температурі.

Soft сенсори математично обчислюють концентрацію озону як функцію вторинних змінних. Цей метод має низьку вартість компонентів і короткий час відгуку. Похибка ж таких сенсорів може бути зменшена у майбутніх розробках.

Таким чином, метою кваліфікаційної роботи є дослідження математичних методів для розробки системи визначення концентрації озону.

Поставлена мета реалізується шляхом вирішення наступних завдань:

- розробка і дослідження моделі системи вимірювання концентрації озону;
- розробка та дослідження блоку обробки сигналів сенсорів;
- розробка друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів;
- дослідження витрат щодо проведення організації робіт у науково-дослідній лабораторії;
- дослідження вимог з охорони праці та техніки безпеки у науково-дослідній лабораторії.

2 СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ

2.1 Структура системи вимірювання концентрації озону

Продуктивність роботи генераторів озону і безпека їх використання у складі озонаторних станцій визначається за допомогою моніторингу вмісту концентрації розчиненого озону за допомогою контактних і безконтактних методів вимірювання [21]. Деградація параметрів сенсорів озону, що застосовуються при цьому, їх висока складність та вартість, залежність результатів вимірювань від складу робочого середовища визначають необхідність у розробці пристроїв, що безпосередньо не взаємодіють з рідиною, що оброблюється. З цією метою пропонується система моніторингу промислового озонатору [22], структура якого наведена на рис. 2.1.

До складу такої системи, у якості первинних джерел вимірювальної інформації, входять газові сенсори (1, 3), за допомогою яких визнається концентрація озону на вході барботажної колони (виході генератору озону), де відбувається обробка робочої рідини (води), та газовому виході відповідно. Таким чином, різниця між показниками цих перетворювачів дозволить визначити відносну концентрацію озону у рідині, виключаючи безпосередній контакт з нею. У якості вказаних пристроїв пропонується використання сенсорів озону [23] з додатковою корекцією результатів вимірювань в залежності від температури і вологості повітря.

Для визначення абсолютної концентрації озону у воді після її обробки до складу системи введено сенсори тиску (2, 6) mps20n0040d-d [24] і сенсор витрат рідини (4) G ½ [25] , що реєструє швидкість обертання ротору за допомогою елементу Холла. Наявність цифрових виходів обраних сенсорів дозволяє реалізувати інформаційно-вимірювальну підсистему повністю сумісною з системою керування промисловим озонатором.

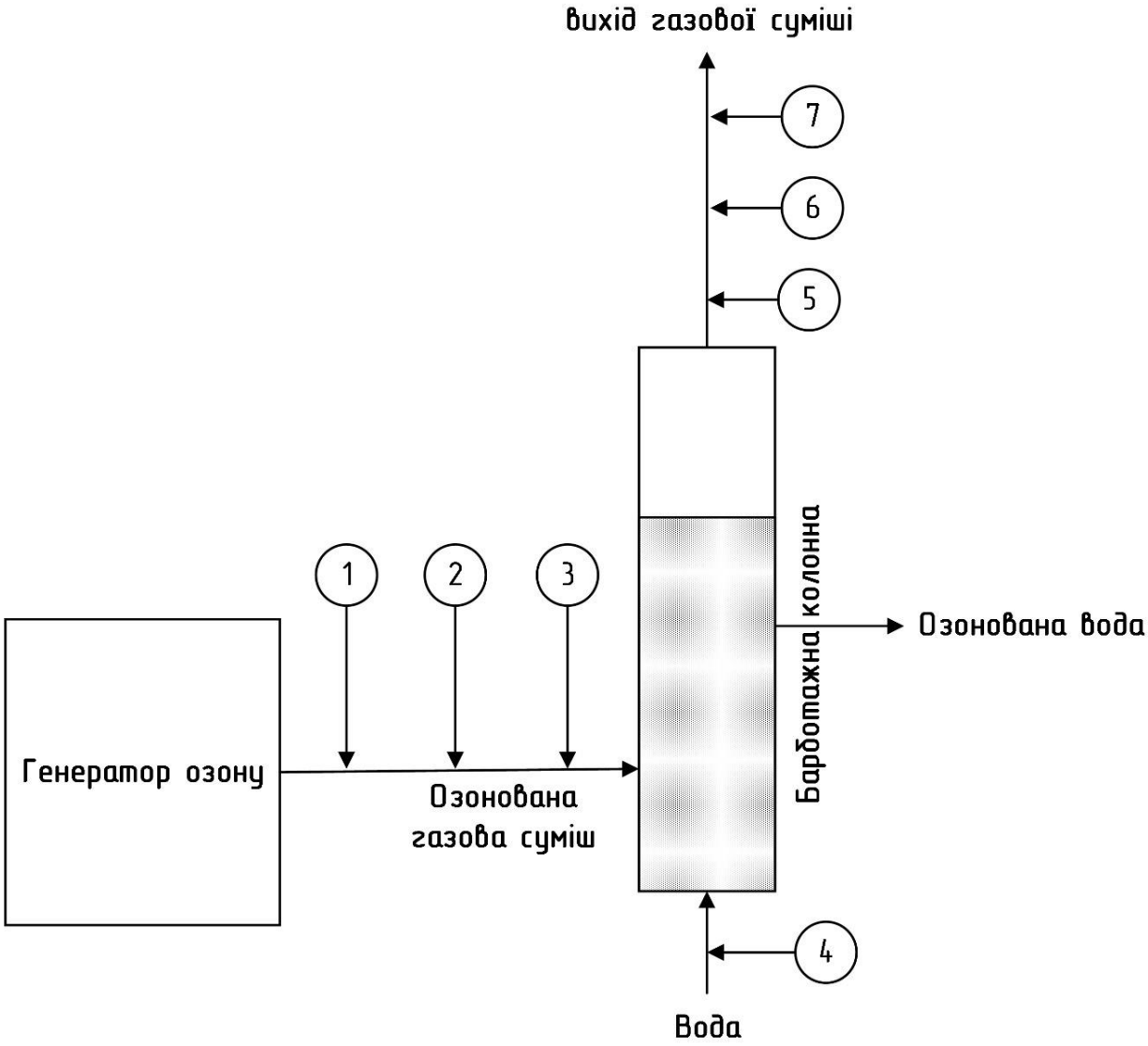


Рисунок 2.1 – Структура озонатору з сенсорами вимірювальної системи: 1, 5 – сенсори озону; 2, 6 – сенсори тиску; 4 – сенсор витрат води; 3, 7 – сенсори температури

Таким чином, запропонована система дозволяє підвищити точність визначення концентрації озону у рідкому робочому середовищі озонаторних станцій, зменшити собівартість і підвищити безпеку їх експлуатації.

2.2 Візуально-блочна модель системи вимірювання концентрації озону

Для дослідження системи вимірювання концентрації озону у складі озонаторних станцій було розроблено візуально-блочну модель, що реалізована в середовищі Simulink. Завдання для моделювання наведено на рис. 2.2.

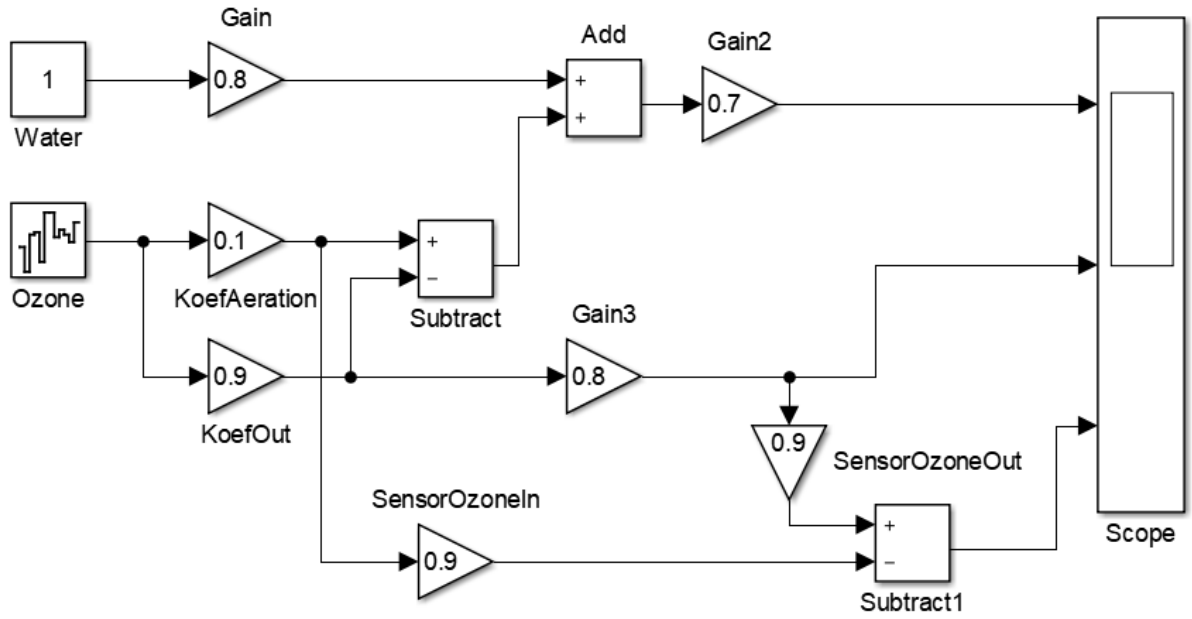


Рисунок 2.2 – Завдання для моделювання системи вимірювання концентрації озону

До складу моделі входять джерело води, що підлягає озонуванню (Water), генератор озону (Ozone), продуктивність якого змінюється стохастичним чином у межах 0,5 – 0,6 його максимальної продуктивності. Блоки Gain, Gain 2 і Gain 3 призначені для моделювання труб водовідведення і газовідведення до барботажної колони Add відповідно. Для врахування ступеню аерації рідини озоном використано блок KoefAeration. Таким чином, на газовому виході барботажної колони присутня парогазова суміш з концентрацією озону, що визначається блоком KoefOut з врахуванням пропускної спроможності вивідного патрубку Gain 3.

Власне сенсори озону, які згідно розробленої структури системи вимірювання встановлені на виході генератора озону і на газовому виході барботажної колони, наведено у моделі за допомогою блоків SensorOzoneIn і SensorOzoneOut відповідно. Прямий і різницевий вихід датчиків Substract 1разом з рівнем озонування рідини подано на графічний вивід Scope для фіксації результатів моделювання.

Результати моделювання системи вимірювання концентрації озону наведено на рис. 2.3.

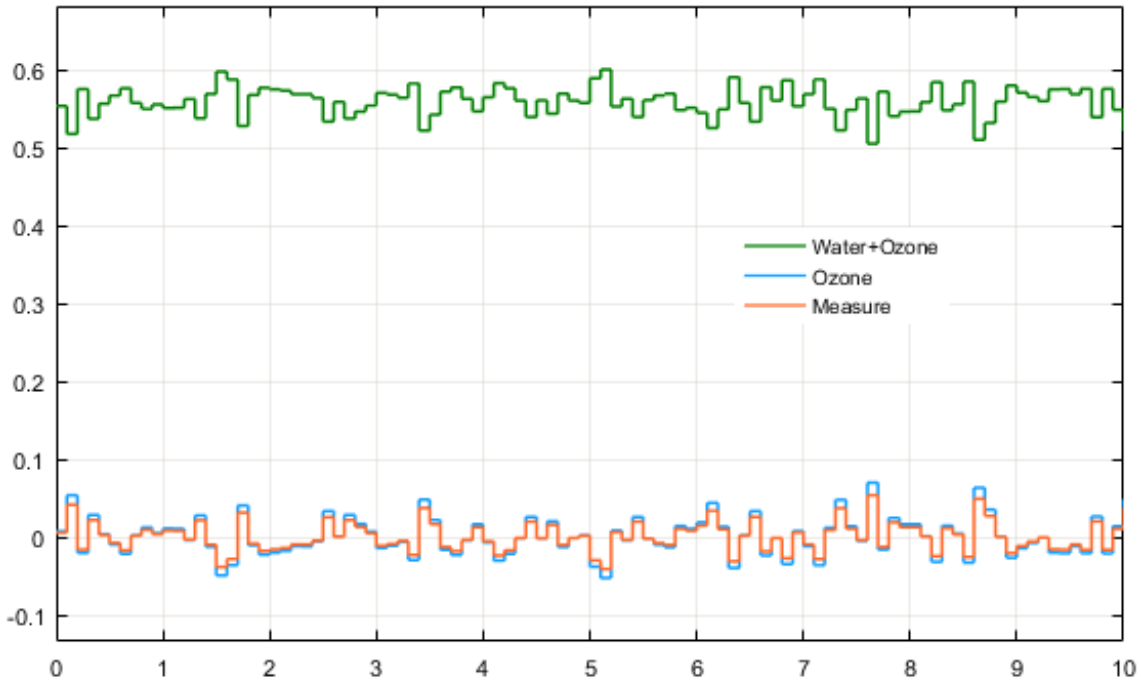


Рисунок 2.3 – Результати моделювання системи вимірювання концентрації озону

Аналіз отриманих результатів показує, що якісно результати вимірювань співпадають з заданим рівнем озонування води. Кількісно результати різняться на максимальну величину похибки, яка виникає внаслідок змін, що вносяться газотранспортною системою озонаторної станції.

2.3 Розширена модель системи вимірювання концентрації озону

Для врахування впливу газотранспортної системи на результати вимірювання концентрації озону за допомогою системи, що пропонується, а також для збільшення швидкості і ефективності прийняття рішень в випадках нештатних змін необхідно розробити модель з врахуванням геометрії труб і умов навколишнього середовища. Така модель також може бути використано для :

- моніторингу перевищення робочих значень озонаторної станції;
- відстеження зміни тиску і попередження щодо часу досягнення критичного значення, у випадках перевищення робочих значень;
- прогнозування продуктивності і енергоефективності генератора озону у випадках аварійного його відключення або виходу з ладу, різкому збільшенні навантаження, температурних змінах робочого середовища.

Крім того, зазначені результати можуть бути застосовані складання планів профілактичних і ремонтних робіт.

Для розрахунку витрати озону у барботажної колоні використано формулу [26]

$$G = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{d\left(p_1^2 - p_2^2\right)}{e\, z\, R\, T\, l}} \quad , \tag{2.1}$$

де G – витрата озону, г/с; d – внутрішній діаметр газопроводу, м; p_1 , p_2 – тиск газової суміші відповідно на газових вході і виході барботажної колони відповідно, Па; e – коефіцієнт гідравличного опору, R – газова постійна, Дж/(г К); T – абсолютна температура газової суміші, К; l – довжина газопроводу, м; z – коефіцієнт стиснення озону.

Розподіляючи складові (2.1) і враховуючі різницю витрати на газових вході і виході барботажної колони, отримаємо:

$$dG = B \cdot (d_1^2 - d_2^2) \cdot \left[\sqrt{\frac{p_1^2 \cdot d_1}{T_1 \cdot l_1}} - \sqrt{\frac{p_2^2 \cdot d_2}{T_2 \cdot l_2}} \right], \qquad (2.2)$$

де dG – зміна витрати озону, що відповідає концентрації озону у рідині, г/с; d_1, d_2 – внутрішній діаметр газопроводу, м; p_1 , p_2 – тиск газової суміші, Па; T_1 і T_2 – абсолютні температури газової суміші, К; l_1, l_2 – довжина газопроводу, відповідно на газових вході і виході барботажної колони, м;

$$B = \frac{\pi}{4\sqrt{e\ z\ R}} \quad . \qquad (2.3)$$

На основі (2.2, 2.3) було синтезовано завдання для моделювання у середовищі Simulink, що наведено на рис. 2.4.

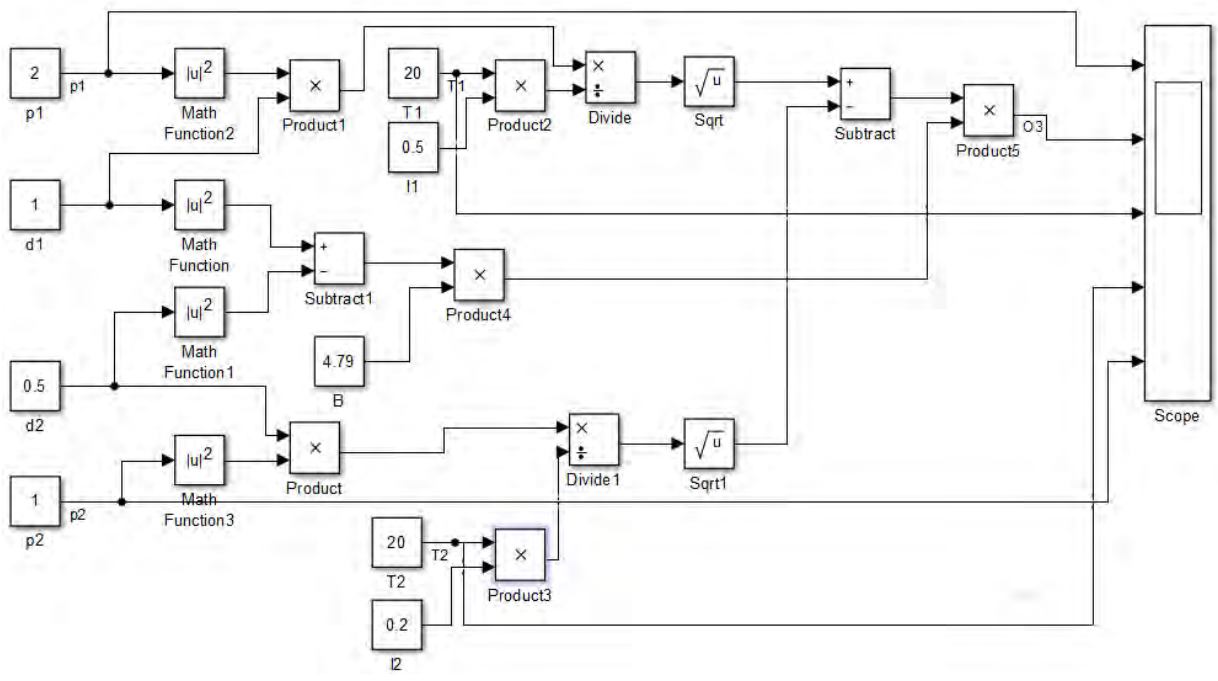


Рисунок 2.4 – Завдання для моделювання системи вимірювання концентрації озону з врахуванням геометрії труб і умов навколишнього середовища

Для відображення результатів моделювання у завданні використано графічний вивід Scope, де відображаються значення концентрації озону у рідині, тиск газової суміші, абсолютні температури газової суміші, відповідно на газових вході і виході барботажної колони.

2.4 Дослідження моделі системи вимірювання концентрації озону

Результати моделювання системи вимірювання концентрації озону з врахуванням геометрії труб і умов навколишнього середовища наведено на рис. 2.5 – 2.8.

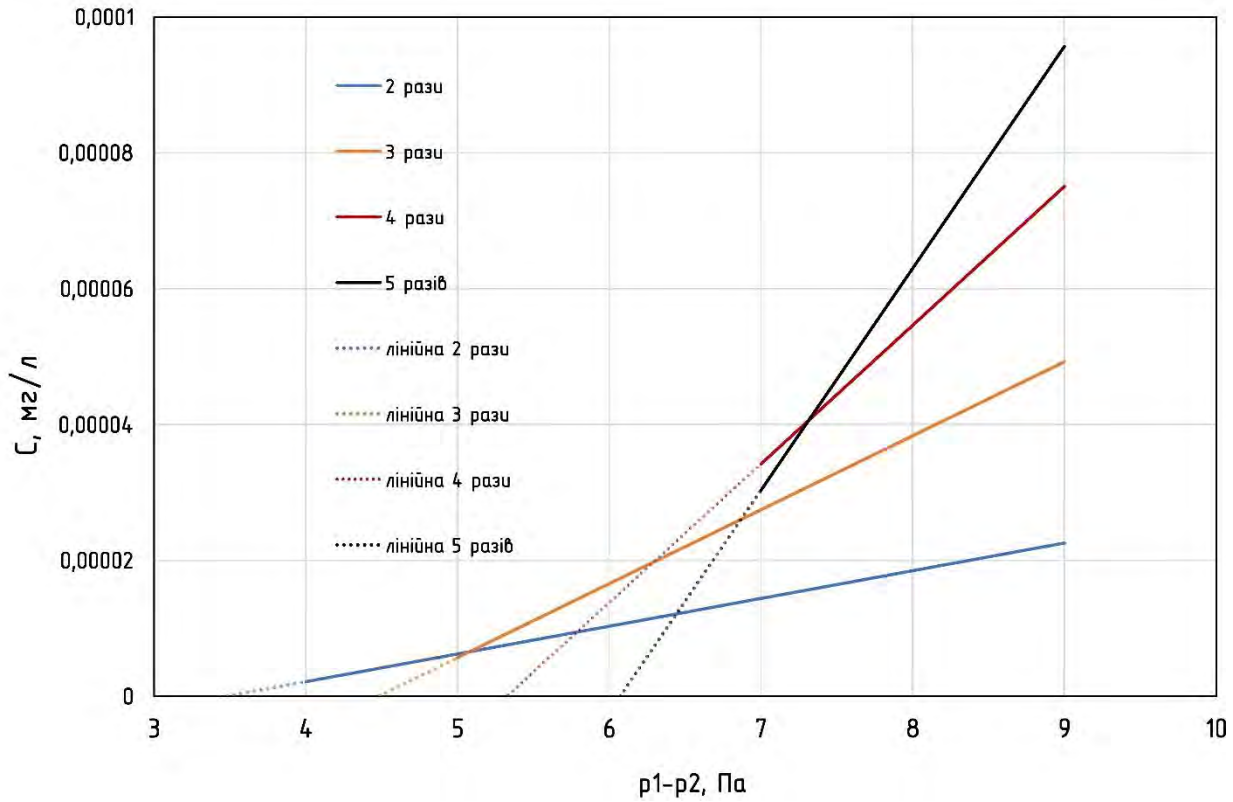


Рисунок 2.5 – Залежність концентрації розчиненого озону від різниці тиску газової суміші на газових вході і виході барботажної колони

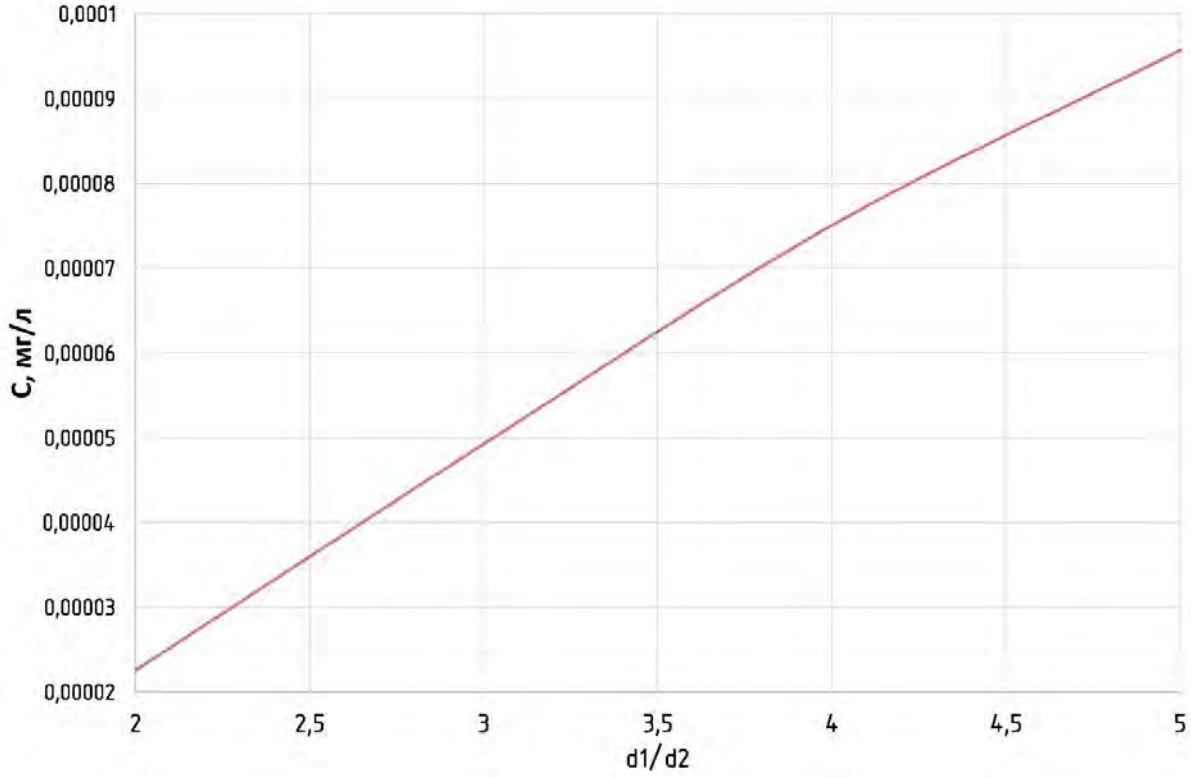


Рисунок 2.6 – Залежність концентрації розчиненого озону від співвідношення внутрішніх діаметрів газопроводів

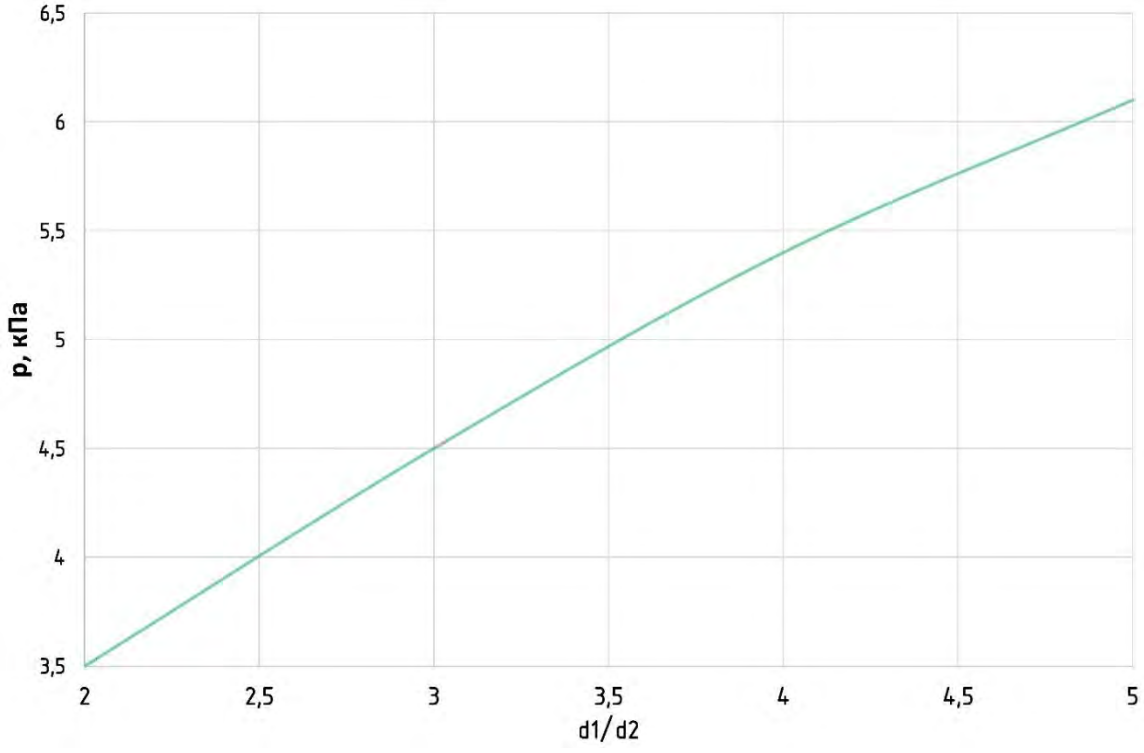


Рисунок 2.7 – Мінімально необхідної різниці тиску газової суміші від співвідношення внутрішніх діаметрів газопроводів

Аналіз рис. 2.5 показує, що концентрація розчиненого озону прямо пропорційна різниці тиску газової суміші на газових вході і виході барботажної колони. Також встановлено, що на значення озонування води впливає співвідношення діаметрів газопроводів (рис. 2.6).

Апроксимація отриманих даних лінійними залежностями дозволяє встановити мінімальне необхідне значення різниці тиску газової суміші на вході і виході барботажної колони, при якому, з врахуванням геометричних параметрів газопроводу, починається процес аерації (рис. 2.7).

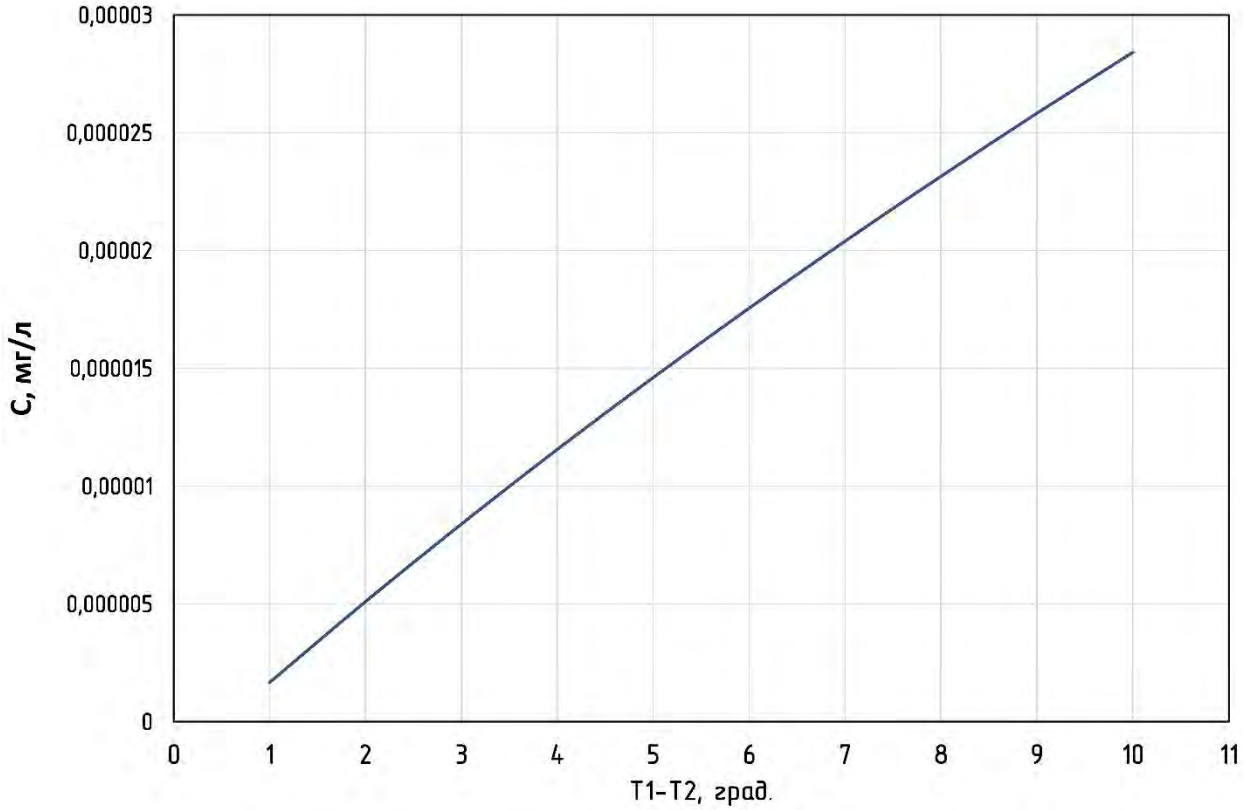


Рисунок 2.8 – Залежність концентрації розчиненого озону від різниці температури газової суміші на газових вході і виході барботажної колони

З рис. 2.8 слід, що концентрація розчиненого озону нелінійно залежить від різниці температур газової суміші на вході і виході озонатору.

Таким чином, отримана модель дозволяє шляхом реалізації на програмно-апаратної платформі системи вимірювання підвищити її функціональність і точність визначення концентрації озону у складі озонаторних станцій.

3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ ОЗОНАТОРНОЇ СТАНЦІЇ

3.1 Структура системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції

З метою реалізації визначення концентрації розчиненого озону було запропоновано структуру системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції, яка наведена на рис. 3.1.

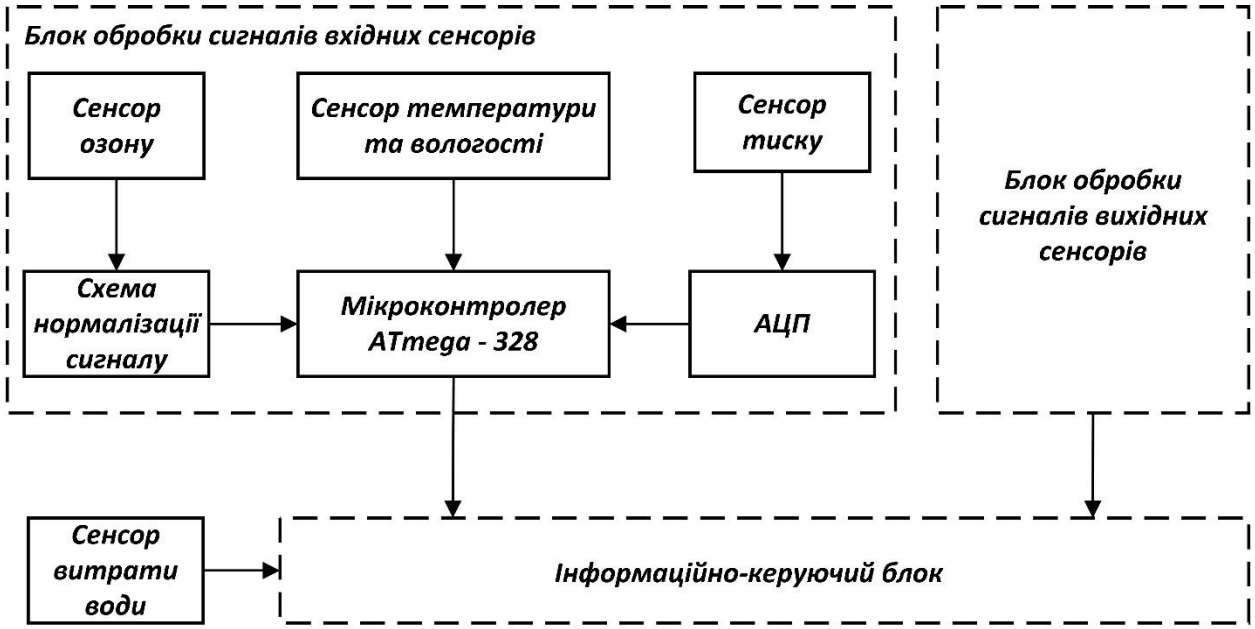


Рисунок 3.1 – Структура системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції

Сенсор озону є перетворювачем MQ-131 high concentration [27], вихідний сигнал якого після нормалізації надходить до аналогового входу мікроконтролера (МК) ATmega328 [28] і перетворюється у дискретний вигляд за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача та надалі обробляється у цифровому вигляді.

Сенсор MQ-131 є перетворювачем електрохімічного типу і відрізняється значною чутливістю до озону в широкому діапазоні вимірювальних концентрацій (рис. 3.2), тривалим терміном служби, низькою вартістю та ін.

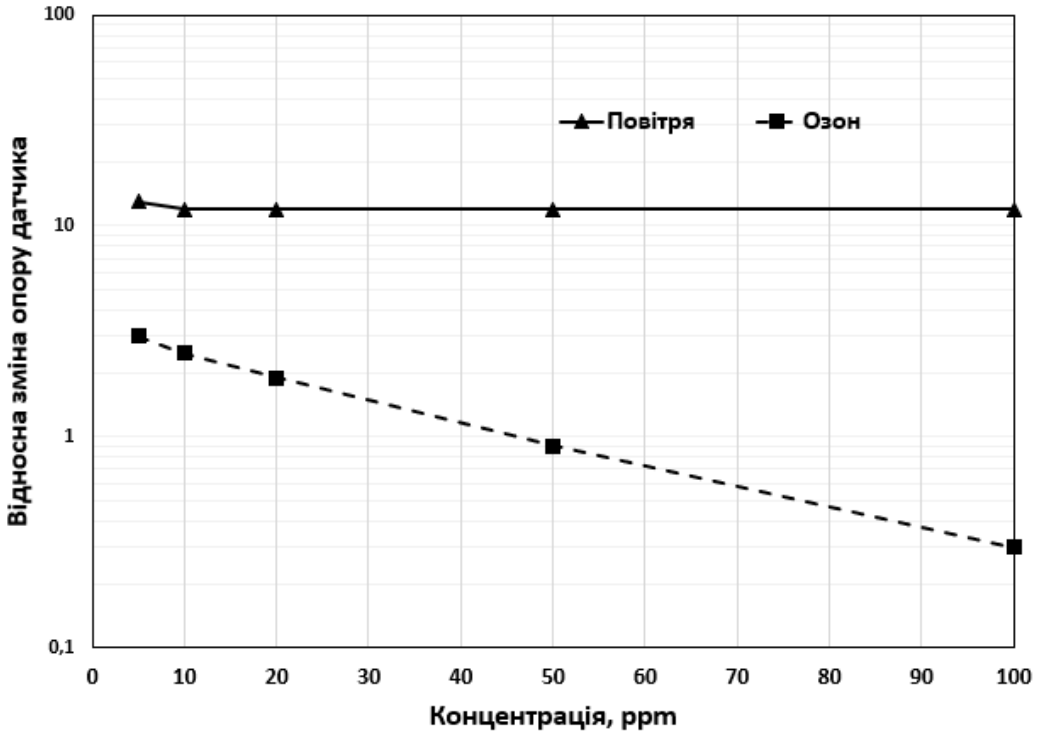


Рисунок 3.2 – Передавальна характеристика датчика

Принцип дії сенсора базується на зміні опору плівки оксиду олова, яку нанесено на поверхню підкладки, при осадженні на неї молекул озону. Для того щоб реакція на поверхні протікала стабільно у часі конструкція чутливого елементу передбачає наявність підігрівача підкладки. Зовні робочу частину приладу захищено металевою сіткою, що виключає можливість запалення горючих газів, які можуть міститись у навколишньому середовищі.

Для проведення вимірювань рекомендується використовувати підключення датчика у якості плеча резистивного дільника з подальшим визначенням вихідної напруги.

Разом з тим, точність вимірювань пристроями на основі датчиків MQ-

131 залежить також від вмісту оксигену у повітрі, температури навколишнього середовища та вогкості повітря, як показано на рис. 3.3 [29]. Також до недоліків слід віднести високе енергоспоживання обумовлене наявністю вбудованого нагрівача, необхідністю первинного та періодичного калібрування та паразитну чутливість до вмісту вуглецю у складі газової суміші.

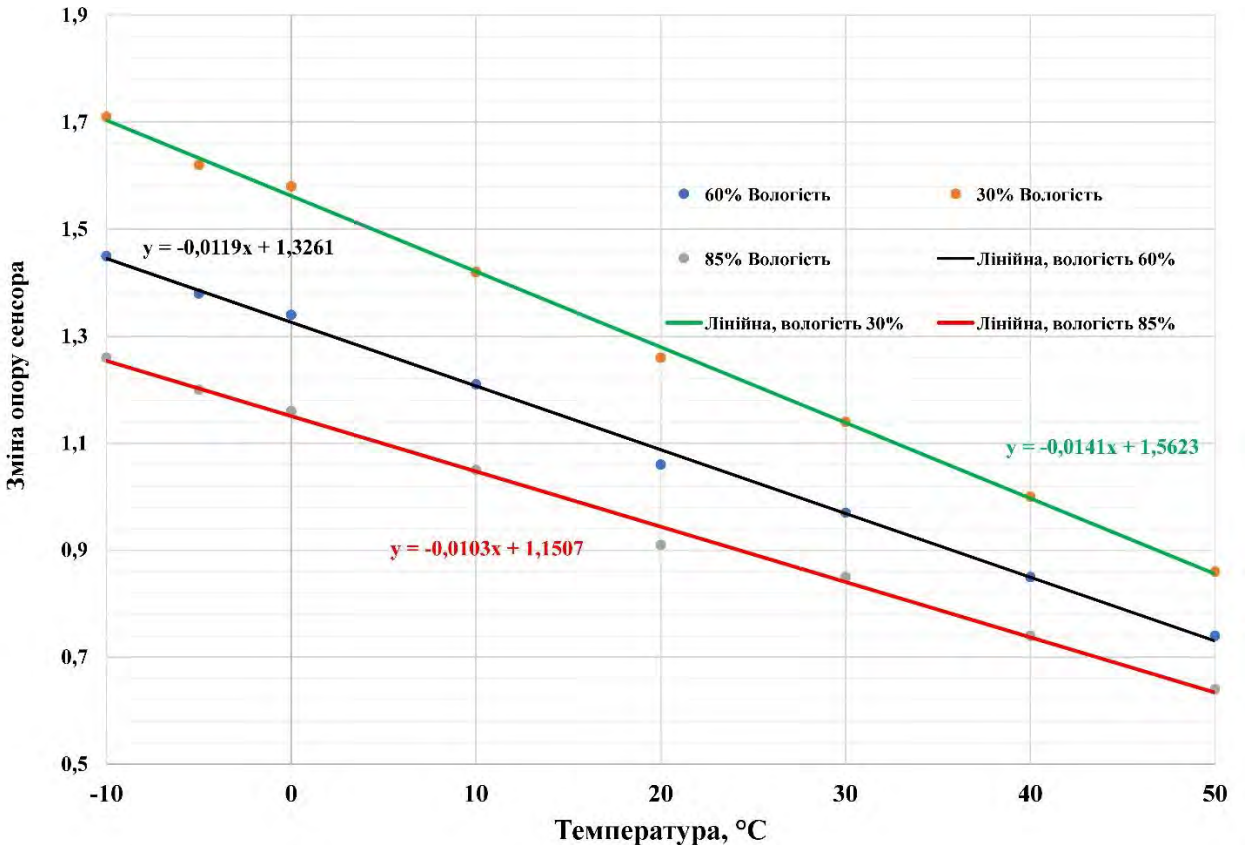


Рисунок 3.3 – Залежність відносної зміни опору сенсора від температури і вологості газової суміші

Таким чином, практичне застосування датчиків MQ-131 можливо розширити шляхом створення вимірювачів з програмно - апаратною обробкою сигналів, що дозволить мінімізувати похибки визначення концентрації озону у повітрі, а також автоматизувати процеси підготовки до функціонування і здійснення автокалібрування. Тому до мікроконтролера надходить інформація з сенсора температури та вологості повітря, що дозволяє скоригувати

результати визначення концентрації озону. Для цього було виконано лінійну апроксимацію залежність відносної зміни опору сенсора від температури і вологості газової суміші (рис. 3.3) і отримані рівняння можуть бути використанні при створенні алгоритму програмного коду з обробки результатів вимірювань.

Також для керування процесом вимірювання і обробки отриманих результатів необхідно здійснити калібрування сенсору з врахуванням визначення температури і вологості повітря. Далі інформація, після переведення у цифровий код вихідних значень сигналу сенсора, результатів вимірювань перераховуються за різними способами наведення вмісту озону та разом зі значеннями температури і вологості надходять до інформаційно-керуючого блоку системи обробки сигналів датчиків озонаторної станції [29].

Сенсор тиску mps20n0040d-d [24] розроблено за технологію мікроелектромеханічних систем і схемотехнічно містить балансно-мостову резистивну схему. Зовнішній вигляд і структуру сенсору тиску наведено на рис. 3.4.

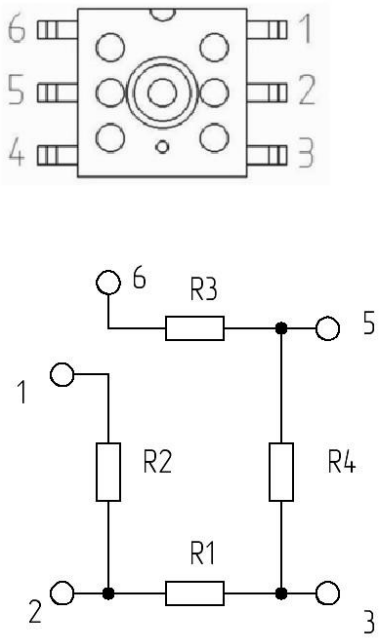


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд і структура сенсора тиску

Для функціонування сенсору між собою з’єднуються контакти 1 і 6. Напруга живлення сенсора складає +5В і прикладається до контакту 2, а загальний – до контакту 5. При цьому вихідний сигнал пропорційний тиску газової суміші знімається між контактами 1,6 і 3. Також для підсилення вихідного сигналу сенсор може під’єднуватись до диференційного підсилювача, створеного на базі операційного підсилювача.

Сенсор витрати води G ½ [25] конструктивно виконано у пластиковому корпусі (рис. 3.5) з напівдюймовим різьбовим з’єднанням 4 з трубопроводом. На верхній частині кришки корпусу 2 розташовано електричний конектор 1 для підключення до інформаційно-керуючого блоку вимірювальної системи. Фіксація корпусу сенсора виконується чотирма гвинтами 3.

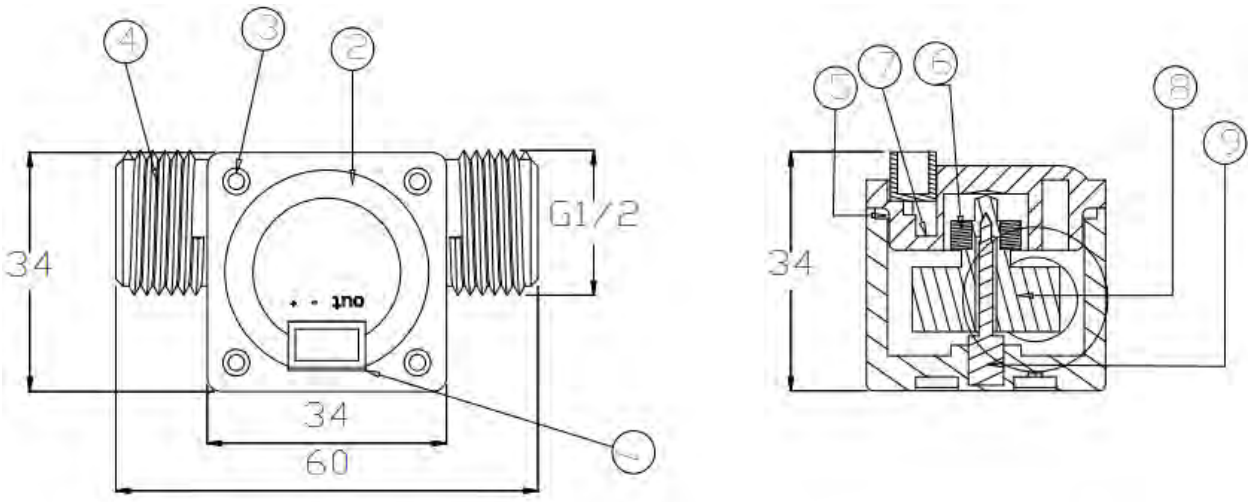


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд і структура сенсора витрати води

Основою сенсора є робоче колесо 8, що обертається навколо вісі з нержавіючої сталі 9 під дією потоку води. На колесі закріплено постійний магніт 6, частота обертання якого залежить від витрати води, що проходить через сенсор і надходить до барботажної колони скрізь вихідний клапан 5. Нерухомий магніточутливий елемент Холла 7 змінює свою вихідну напругу і як слід вихідну напругу сенсора з частотою перетинання його вісі рухомим магнітом.

Таким чином, сенсор витрати води забезпечує передавальну

характеристику, яка наведена на рис. 3.6.

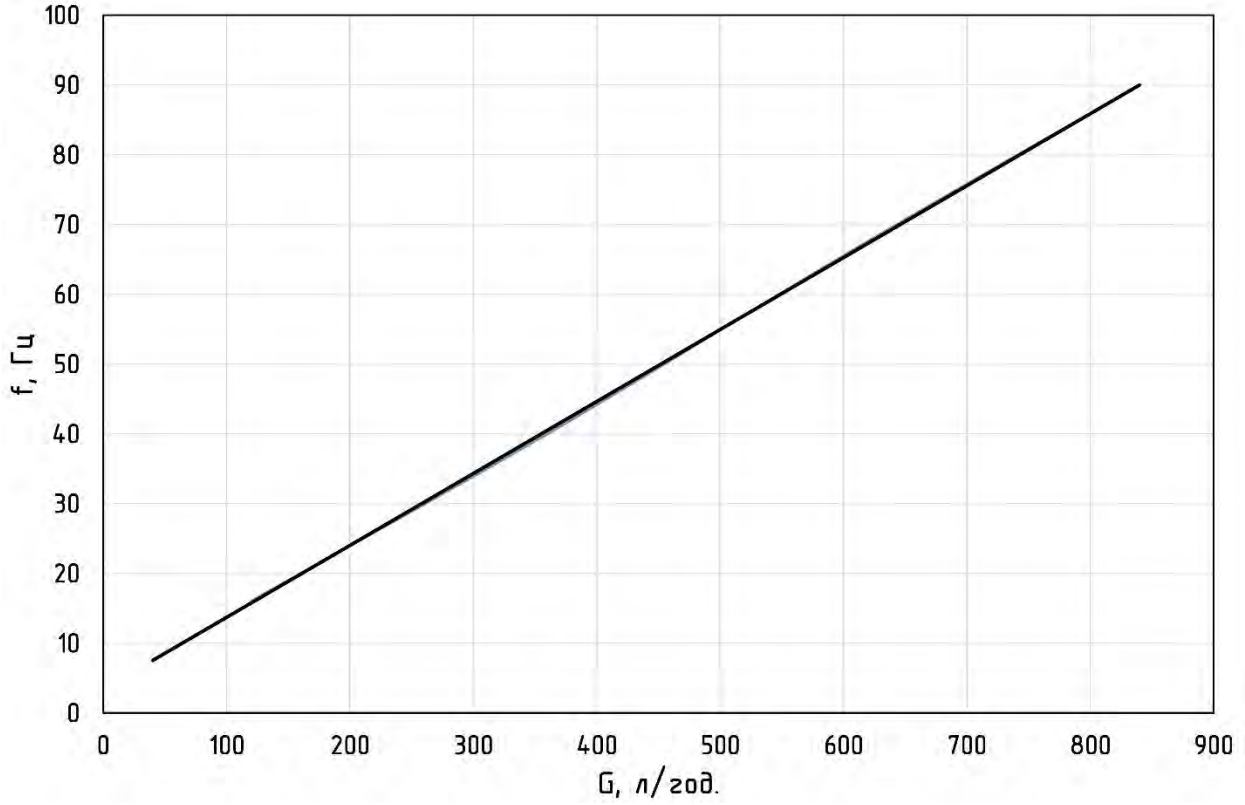


Рисунок 3.6 – Залежність частоти вихідного сигналу сенсора від витрати води

Аналіз рис. 3.6 показує, що передавальна характеристика сенсора є лінійною у діапазоні витрат води від 40 до 845 л/год. При цьому частота вихідних імпульсів змінюється від 8 Гц до 90 Гц. Таким чином, сенсор може бути безпосередньо підключено до цифрової схеми обробки сигналів.

3.2 Розробка схеми електричної принципової блоку обробки сигналів сенсорів

Відповідно до структурної схеми системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції (рис. 3.1) було розроблено його схему електричну принципову, яка наведена на рис. 3.7, а перелік елементів – у Додатку А.

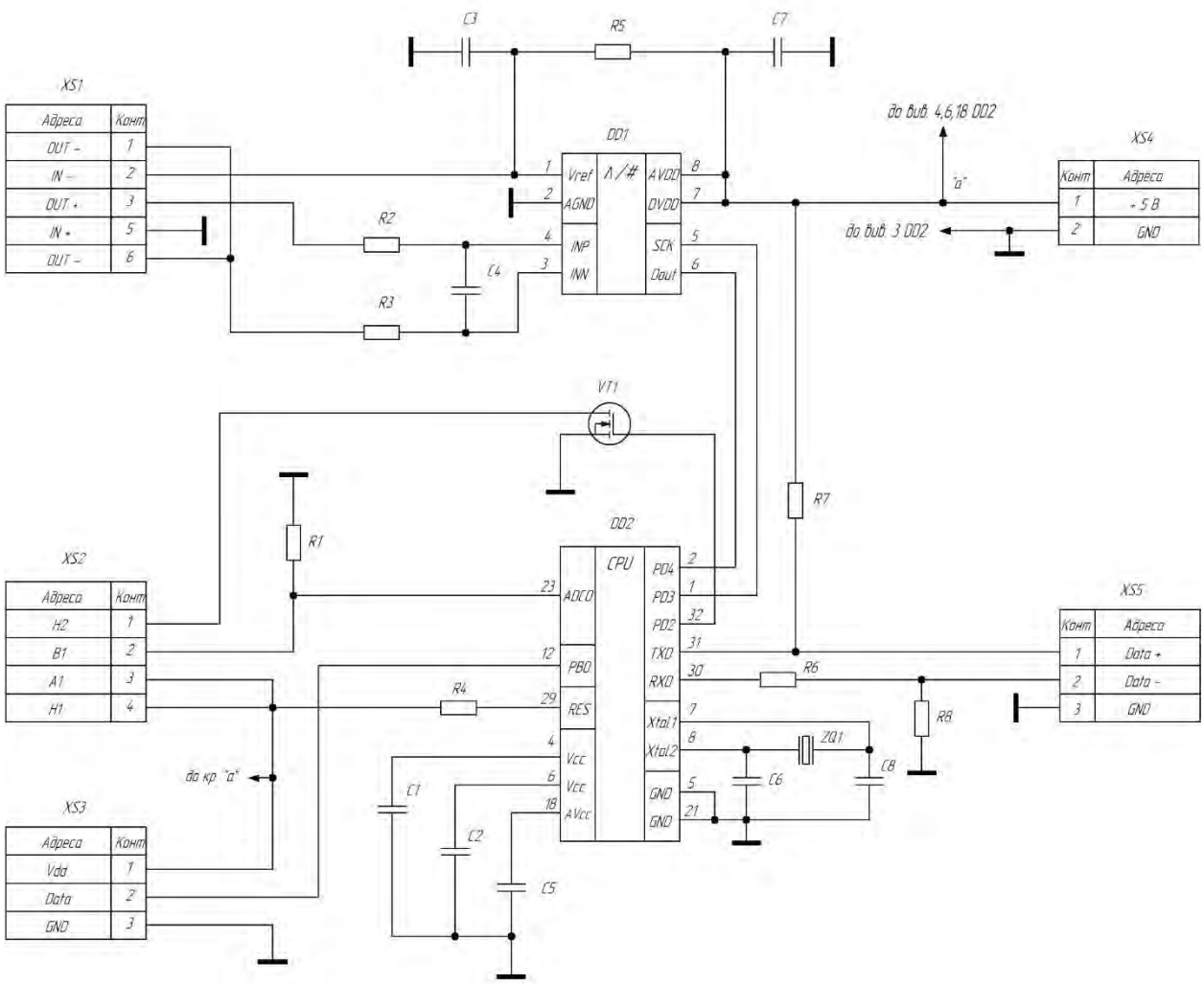


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова блоку обробки сигналів сенсорів

Основним елементом схеми електричної принципової є МК ATmega328P (DD2), що має вбудований інтерфейс внутрішньосхемної відладки, який дозволяє здійснювати внутрішнє налаштування без використання емуляторів. За допомогою зовнішнього інтерфейсу можливо в покроковому режимі виконувати програму прямо в МК, здійснюючи фіксацію значення змінних, регістрів і стану зовнішніх приладів. З'єднання за таким інтерфейсом реалізується чотирьохдротовим зв'язком: TDI (Test Data In), TDO (Test Data Out), TCK (Test Clock), TMS (Test Mode Select) [29].

Побудова МК базується на RISC – архітектурі і відрізняється високою продуктивністю. Основні характеристики мікроконтролера Atmega328 AVR містять 23 лінії вводу/виводу загального призначення, гнучкий таймер або лічильники, включаючи режими порівняння, послідовний програмований USART, внутрішні та зовнішні переривання, послідовний порт SPI, двопровідний послідовний інтерфейс, десятирозрядний шостиканальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), програмований сторожовий таймер, включаючи внутрішній генератор, і п'ять програмних режимів енергозбереження, які можна вибрати.

Також МК обладнано пам’яттю для збереження програми - енергонезалежним ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій), що реалізовано за технологією FLASH, і де зберігається програма, яка виконуватиметься арифметично-логічним пристроєм МК.

Флеш-пам'ять можливо багаторазово перезаписувати, змінюючи або доповнюючи програмний код. При цьому тривалість зберігання інформації становить 40 років, а кількість допустимих циклів стирання/запису може досягати 10000.

Послідовний периферійний інтерфейс МК застосовується для обміну даними між декількома пристроями зі швидкістю до декількох МГц. Для обміну даними за інтерфейсом між двома вузлами використовується три дроти: MOSI (Master Output Slave Input) - дані від ведучого до веденого, MISO (Master Input Slave Output) - дані від веденого до ведучого, CLK (Clock) - тактовий сигнал. Т. ч., пристрої з послідовним периферійним інтерфейсом діляться на два типи: що веде (Master) і ведений (Slave). Якщо до інтерфейсу підключені декілька пристроїв те для обміну даними між ними потрібні додаткові лінії зв'язку (дроти) щоб можливо було вибрати ведений пристрій і зробити запит до нього. Також SPI інтерфейс використовується для внутрішньо схемного SPI програмування, по цьому інтерфейсу до МК підключається програматор [29].

У МК, виводи порту А в містять лінії PA7-PA0, який працює як восьмибітний двонаправлений порт вводу/виводу, а також аналогові входи для

АЦП. Вихідні дані буферів порту А в основному містять симетричні характеристики накопичувача, включаючи високу ємність джерела та стоку. Коли виводи порту А використовуються як входи від PA0 до PA7, вони замикаються ззовні на низький рівень. Виводи цього порту мають тристадійний стан, коли стан скидання вмикається, навіть якщо CLK не працює.

Виводи портів B і D в містять в собі лінії PB7-PB0 і PD7-PD0. Ці порти є восьмибітними двонаправленими портами вводу/виводу з внутрішніми підтягуючими резисторами. Вихід цих двох буферів портів в основному містить симетричні характеристики накопичувача, в тому числі високі можливості як приймача, так і джерела. Як і входи, виводи цього порту, які ззовні затягнуті на низький рівень, забезпечуватимуть струм, якщо резистори активовані. Виводи цих двох портів переходять у тристадійний стан щоразу, коли активується умова скидання, навіть якщо CLK не працює.

Виводи порту С в основному містять в собі від PC7 до PC0 і є восьмибітним двонаправленим портом вводу/виводу. Якщо інтерфейс JTAG дозволено, підтягуючі резистори на виводах PC3 (TMS), PC2 (TCK) і PC5 (TDI) спрацьовують, навіть якщо відбувається скидання. Порт С також виконує функції інтерфейсу JTAG та інші спеціальні функції МК.

Енергонезалежна пам'ять даних (або перепрограмований ПЗП), в якій дані зберігатимуться навіть при відключенні живлення МК. У цій пам'яті можливо зберігати налаштування виконання програми, зібрані дані для статистики роботи пристрою і іншу корисну інформацію. Для перепрограмованого ПЗП виділений окремий адресний простір яке відрізняється від адресного простору оперативної пам’яті і пам’яті для збереження програми. Енергонезалежна пам'ять даних МК має невеликий обсяг. Кількість перезаписів для цього типу пам'яті складає близько 100000 що в 10 разів більше ніж ресурс FLASH пам'яті [29].

Арифметико-логічний пристрій (АЛП) який синхронізується з тактовим сигналом і спираючись на стан лічильника команд вибирає з пам'яті програм чергову команду і робить її виконання.

Тактовий сигнал для МК виробляється тактовим генератором, і може бути поданий як: внутрішній RC- генератор, який можливо калібрувати на потрібну частоту, керамічний або кварцовий резонатор з конденсаторами, зовнішній тактовий сигнал. Для реалізації схеми датчика було обрано кварцовий резонатор ZQ1 з конденсаторами C5, C8, з'єднані таким чином, що імпульси подаються на входи Xtal1, Xtal2 DD1, що забезпечує тактову частоту функціонування МК на рівні 16 МГц.

Архітектура МК, що ґрунтується на розширеній RISC і містить 32 восьмибітних регістрів загального призначення. За один цикл тактування МК може отримати входи з двох регістрів, підключити їх до АЛП для виконання необхідної операції і перемістити результат назад у довільний регістр. При цьому АЛП виконує арифметичні та логічні операції над входами з регістра.

МК також може виконувати однотактне виконання, що означає, що він може виконувати 1 мільйон інструкцій за кожну секунду, якщо частота циклу становить 1 МГц. Якщо робоча частота МК вища, то і швидкість його роботи буде вищою. Таким чином, енергоспоживання потрібно оптимізувати зі швидкістю обробки і, отже, потрібно обирати робочу частоту відповідно.

На програмному рівні встановлення джерела тактових імпульсів здійснюється за допомогою FUSE- бітів. Спеціальні 4 байти даних FUSES настроюють певні глобальні параметри МК в процесі прошивки. Після прошивки дані біти не можливо змінити через внутрішню програму що записана в МК.

Центральний процесор містить в собі АЛП, регістри і оперативну пам'ять. До АЛП підключений блок з 32-х регістрів загального призначення, обсяг кожного з яких дорівнює 1 б. Адресний простір регістрів загального призначення розміщується спочатку оперативної пам'яті і не є її частиною.

В оперативній пам'яті (ОП) здійснюються всі операції з даними. При цьому розмір ОП є обмеженим.

Вбудований до МК аналоговий компаратор порівнює між собою два рівні сигналу і запам'ятовує результат порівняння в певному регістрі, після чого цей результат можливо проаналізувати і виконати необхідні дії.

Для дискретизації вихідного сигналу сенсора озону BQ1 використовується внутрішній АЦП, що далі оброблюється програмним чином. У якості джерела опорної напруги при цьому використовується зовнішнє джерело живлення +5В, стабільність якого впливає на точність результатів вимірювань. Фізично сенсор озону поєднано з портом ADC0 DD1.

Для обміну даними з іншими пристроями використовується універсальний асинхронний приймач (послідовний асинхронний інтерфейс) з підтримкою протоколу RS - 232, завдяки чому МК можливо з'єднати для обміну даними з комп'ютером.

Послідовний інтерфейс з дводротовим підключенням застосовується для обміну даними по дводротовій шині. До такої шини даних можливо підключити до 128 різних пристроїв, використовуючи дві лінії даних : тактовий сигнал і сигнал даних.

Набір блоків портів вводу/виведення – зовнішні контакти, до яких можливо підключити різноманітні датчики. Вихідні драйвери в портах МК дозволяють безпосередньо підключати навантаження із споживаним струмом 20 мА (максимум 40 мА) при напрузі живлення 5В. Загальний струм навантаження для одного порту не повинен перевищувати значення в 80 мА (наприклад на 4 піна для одного з портів повісити по світлодіоду із струмом 15-20 мА).

Для корекції результатів вимірювань озону у розробленій схемі застосовуються дані від датчика вологості і температури DHT11 [30], що підключається через роз’єм XS3 і який поєднано з портом МК PB0. DHT11 представляє собою цифровий датчик температури та вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході.

DHT11 допускає вимірювати температуру та вологість з точністю до десятих часток. Недоліком цього датчика є те, що отримувати нові дані можливо з періодичністю раз за секунду, що з огляду на інерційність сенсору озону MQ-131 не є лімітуючим фактором. Діапазон вимірювання температури становить від 0°C до 50°C з точністю ±2 градуси, а вологості - від 20 до 80% з точністю

5%. При цьому частота вибірки DHT11 становить 1 Гц, тобто одне читання кожну секунду.

Робоча напруга датчику може змінюватись у діапазоні від 3 В до 5 В, при тому що максимальний струм, який використовується під час перетворення (при запиті даних), становить 2,5 мА. Корпус складається з двох частин, де знаходяться сенсор вологості та сенсор температури у вигляді термістору.

Перетворювач вологості містить два електроди з вологоутримувальною підкладкою (зазвичай пластиковий полімер, що проводить), що затискається між ними [29]. При поглинанні водяної пари підкладка вивільняє іони, що, призводить до збільшення провідності між електродами. Т. ч., зміна опору між двома електродами буде пропорційна відносній вологості. Більш висока відносна вологість зменшує опір між електродами, тоді як більш нижча відносна вологість збільшує опір. Термістор створено так, що його опір різко змінюється при зміні температури. Він має негативний температурний коефіцієнт опору, що означає, що зі зростанням температури опір зменшується.

Модуль датчика представляє собою невелику друкована плату з восьмирозрядним АЦП в корпусі SOIC-14, що вимірює та обробляє аналоговий сигнал із збереженими калібрувальними коефіцієнтами, виконує аналого-цифрове перетворення та видає цифровий сигнал з даними про температуру та вологість. Датчик має чотири зовнішні контакти:

- контакт VCC забезпечує живлення датчика; при напрузі живлення 5 В датчик необхідно розташовувати на відстані не більш 20 метрів від джерела живлення, а при напрузі живлення 3,3 В довжина дротів не повинна перевищувати 1 м, щоб падіння напруги в лінії не призводило до помилок вимірювань;
- контакт Data використовується для зв'язку між датчиком та МК;
- контакт NC не використовується;
- контакт GND має бути підключений до загального.

Датчик DHT11 має власний однодротовий протокол, який використовується для передачі даних. Цей протокол вимагає точної синхронізації, що забезпечується програмним чином.

Блок управління реакції на перенагрівання МК відповідає за реакцію і запуск на виконання певних функцій при поданні сигналу на певні входи або ж по якійсь внутрішній події (наприклад зміні стану лічильника таймера). Під кожне переривання розробляється і записується в пам'ять окрема підпрограма.

Напруга живлення подається на виведення МК VCC і GND верхня межа рекомендованої напруги живлення складає 5,5В, абсолютний максимум - 6В, тривала робота при такій напрузі може вивести МК з ладу [31].

ATmega328P має подвійне живлення: виведення VCC і GND використовуються для живлення цифрових схем МК; AVCC і GND - для живлення аналого-цифрового перетворювача. Тому для використання вбудованого АЦП для обробки сигналів сенсора озону до нього підведене живлення так, щоб з'єднати контакт VCC з AVCC, а цифрову землю з аналоговою.

Контакт Reset використовується для генерації сигналу скидання МК. Під час скидання усі регістри введення-виведення набувають своїх початкових значень і виконується команда, розташована у векторі скидання (за нульовою адресою). Як правило, це перехід на адресу початку програми.

Сигнал від сенсора озону, що підключається до розробленої схеми через роз’єм XS2, надходить на вхід ADC0 МК і дискретизується вбудованим АЦП. Вихід МК PD2 використовується для керування процесом підготовки до вимірювань і калібрування сенсора озону шляхом створення керуючої напруги на заслоні транзистора VT1, що виконує функцію керованого джерела струму.

Сенсор тиску mps20n0040d-d з’єднується з блоком обробки сигналів сенсорів через роз’єм XS1. Вимірювальний міст цього перетворювача вихідом підключено через RC – фільтр R2C4 і R3C4 до входів DD1 - АЦП HX710B [32]. Інша діагональ міста також через RC – фільтри R5C3 і R5C7 ввімкнена до роз’єму XS4 джерела живлення +5В.

DD1 HX710B є двадцятичотирьохрозрядний прецизійний АЦП, який призначено для створення промислових систем керування. Для цього у мікросхемі передбачено наявність інтерфейсу до резистивного сенсору мостового типу. Вхідний сигнал подається на входи INN і INP як різниця між потенціалами діагоналі міста і значенням напруги на виводах живлення DVDD і AVDD. До входу Vref підключається джерело опорної напруги +5В.

Вихідний сигнал від сенсора тиску надходить на вхідний вбудований до АЦП диференційний підсилювач, що характеризується низьким рівнем шумів і фіксованим значенням коефіцієнту підсилення на рівні 128 при значенні вхідної напруги ±20 мВ. Також мікросхема HX710B містить схему скидання напруги живлення, що використовується для спрощення ініціалізації цифрового інтерфейсу за виводами SCK і Dout.

Крім того, до складу АЦП входить внутрішній генератор, що забезпечує необхідну частоту системних імпульсів без використання додаткових зовнішніх елементів. При цьому внутрішні регістри не потребують програмного налаштування, а керуються через наявні зовнішні контакти мікросхеми. Так через вивід SCK може здійснюватися керування режимом енергоспоживання або подання зовнішньої синхронізації. Вивід Dout призначено для реалізації видачі результатів перетворення у вигляді послідовного цифрового коду, що надходить на вивід PD4 MK DD2. Тактування АЦП здійснюється через вивід PD3.

Мікросхема HX710B може працювати у широкому діапазоні змін напруг живлення від 2,6В до 5,5В, з значення струму, що споживається, на рівні більш ніж 1,2 мА у нормальному режимі і не більш 1 мкА у режимі зі зниженим енергоспоживанням. У розробленій схемі опорна напруга для АЦП подається від напруги живлення через резистор R5 для того, щоб зменшити енергоспоживання сенсора тиску.

Процес дискретизації сигналу сенсору тиску триває до тих пір, поки на виході Dout діє сигнал високого рівня, на вході SCK – низького рівня. Після завершення перетворення на виході Dout з’являється сигнал низького рівня.

Для зчитування отриманих даних МК подає на вхід SCK 25 тактових імпульсів, кожен з яких змішує цифровий код на виводі Dout на один біт починаючі зі старшого розряду двадцятичотирьохбітового слова. Після зчитування молодшого біта цифрової послідовності вихід Dout знов повертається у стан з високим рівнем сигналу на ньому.

Крім того, коли вивід SCK знаходиться під дією сигналу низького рівня, то АЦП працює у нормальному режимі функціонування. Для скидання мікросхеми необхідно подати на зазначений вхід напругу високого рівня і утримувати її не менш ніж 60 мкс. Якщо це відбувається протягом часу дискретизації сигналу сенсору тиску, то скидання відбувається по завершенню цього періоду, що дозволяє зберегти отримані дані.

3.3 Розробка програмного коду керування мікроконтролером датчика

Для керування мікроконтролером датчику блоку обробки сигналів сенсорів системи вимірювання концентрації озону на мові С++ було розроблено програмний код, що наведено у Додатку Б, а блок-схема якого показана на рис. 3.8.

Спочатку програми описується підключення сенсору температури та вологості блоку обробки до МК шляхом завдання порту

#define DHT11_PIN 8

і створюється об’єкт, що відповідає сенсору DHT11

DHTStable DHT;

Далі створюється об’єкт, що відповідає АЦП, до якого підключено сенсор тиску і визначаються порти підключення його до МК

const int DOUT = 4;

const int SCLK = 3;

HX710B pressure_sensor;

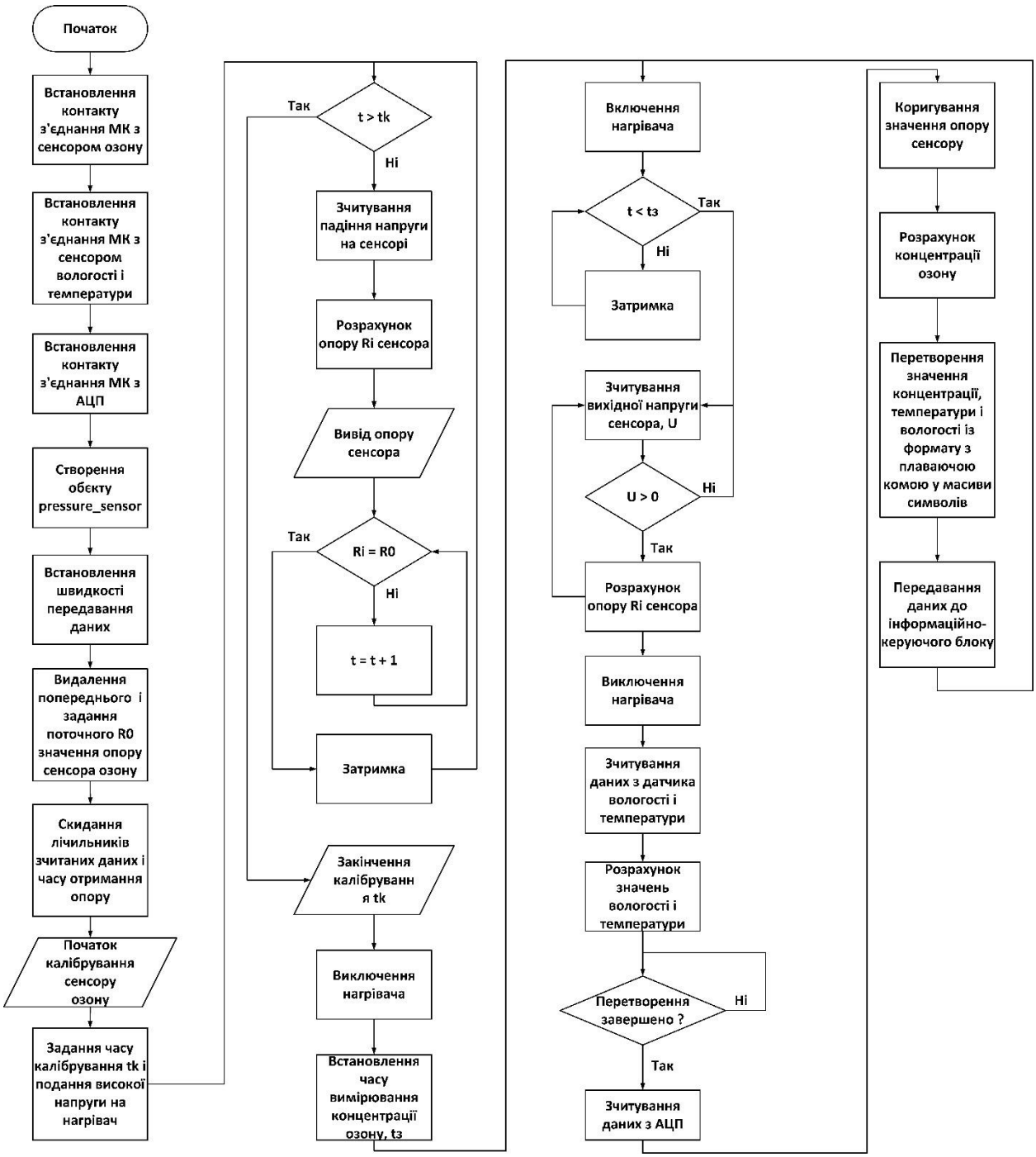


Рисунок 3.8 – Блок-схема алгоритму керування мікроконтролером блоку обробки сигналів сенсорів

Основна частина програмного коду починається з завдання швидкості передавання даних і ініціалізації сенсорів та АЦП

Serial.begin(9600);

dht.begin();

pressure_sensor.begin(DOUT, SCLK);

MQ131.begin(2,A0, HIGH_CONCENTRATION, 1000000);

і очищення попередніх результатів вимірювань

float lastRsValue = 0;

float lastLastRsValue = 0;

uint8_t countReadInRow = 0;

uint8_t count = 0.

На наступному етапі здійснюється калібрування опору сенсору озону за допомогою процедури *MQ131.calibrate()*. Цей процес передбачає встановлення високого рівня напруги на вході схеми керування нагрівачем чутливого елементу сенсору

digitalWrite(pinPower, HIGH);

secLastStart = millis()/1000;

і зчитування падіння напруги, через значення якої перераховується опір

uint16_t valueSensor = analogRead(pinSensor);

*float vRL = ((float)valueSensor) / 1024.0 * 5.0;*

*float rS = (5.0 / vRL - 1.0) * valueRL;*

return rS.

Така процедура здійснюється доти, поки перерахована величина не буде дорівнювати паспортному опору сенсора. На закінченні процедури калібрування генерується сигнал, що вимикає нагрівач і за показниками лічильника фіксується час, яких необхідний для підготовки датчика до використання

digitalWrite(pinPower, LOW);

secLastStart = -1.

Процес отримання і обробки сигналів сенсора озону передбачає використання процедури *MQ131.sample()*, після звернення до якої виконуються дії перевірки, що встановлені опір сенсора і час його нагріву

valueRL = _RL;

if(secLastStart < 0) {

return false;

}.

На наступному кроці знов вмикається напруга нагрівання

digitalWrite(pinPower, HIGH);

secLastStart = millis()/1000;

і циклічно перевіряється умова рівності поточного часу значення часу, який потрібний для виведення датчику у робочий режим

while(!isTimeToRead()) {

delay(1000);

}.

Надалі падіння напруги на сенсорі дискредитується вбудованим аналого-цифровим перетворювачем і перераховується у значення опору, яке використовується для розрахунку концентрації озону:

uint16_t valueSensor = analogRead(pinSensor);

*float vRL = ((float)valueSensor) / 1024.0 * 5.0;*

if(!vRL) return 0.0f;

*float rS = (5.0 / vRL - 1.0) * valueRL;*

return rS; .

Наступним етапом виконання програмного коду є звернення МК до АЦП, щодо закінчення виконання перетворення у цифровий код сигналів з датчика тиску і розрахунку отриманих значень у одиницях Па і атмосфер

if (pressure_sensor.is_ready()) {

Serial.print("Pascal: ");

Serial.println(pressure_sensor.pascal());

Serial.print("ATM: ");

Serial.println(pressure_sensor.atm());

Якщо перетворення не є завершеним, то МК продовжує опитування АЦП.

На рис. 3.3 показано, що на точність визначення концентрації озону у повітрі впливає його температура та вологість. Тому відповідно до результатів

апроксимації впливу температури і вологості повітря на зміну опору сенсора MQ-131, було визначено аналітичні рівняння і коефіцієнти корекції даних вимірювань. З метою програмного здійснення корекції у датчику застосовано сенсор DHT11, данні з якого

float h = dht.readHumidity();

float t = dht.readTemperature();.

на наступних кроках програмного коду використовуються для визначення рівнянь перерахунку опору сенсора озону:

```
temperatureCelsuis = t;
humidityPercent = h;
float MQ131Class::getEnvCorrectRatio() {
if(humidityPercent == 60 && temperatureCelsuis == 20) {
return 1.0;
}
if(humidityPercent > 75) {
return -0.0103 * temperatureCelsuis + 1.1507;
}
if(humidityPercent > 50) {
return -0.0119 * temperatureCelsuis + 1.3261; .
```

На заключному етапі виконується передавання отриманих і оброблених даних від сенсорів озону, температури та вологості і тиску до інформаційно-керуючого блоку системи вимірювання концентрації озону за послідовним інтерфейсом.

Таким чином, розроблений програмний код МК блоку обробки сигналів сенсорів дозволяє реалізувати збирання та попередню обробку даних згідно розробленої моделі системи вимірювання концентрації озону та передавання їх до інформаційно-керуючого блоку.

3.4 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону

Дослідження розробленого блоку обробки сигналів сенсорів системи вимірювання концентрації озону виконувалось шляхом моделювання у середовищі Proteus [33]. Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону показано на рис. 3.9 [29].

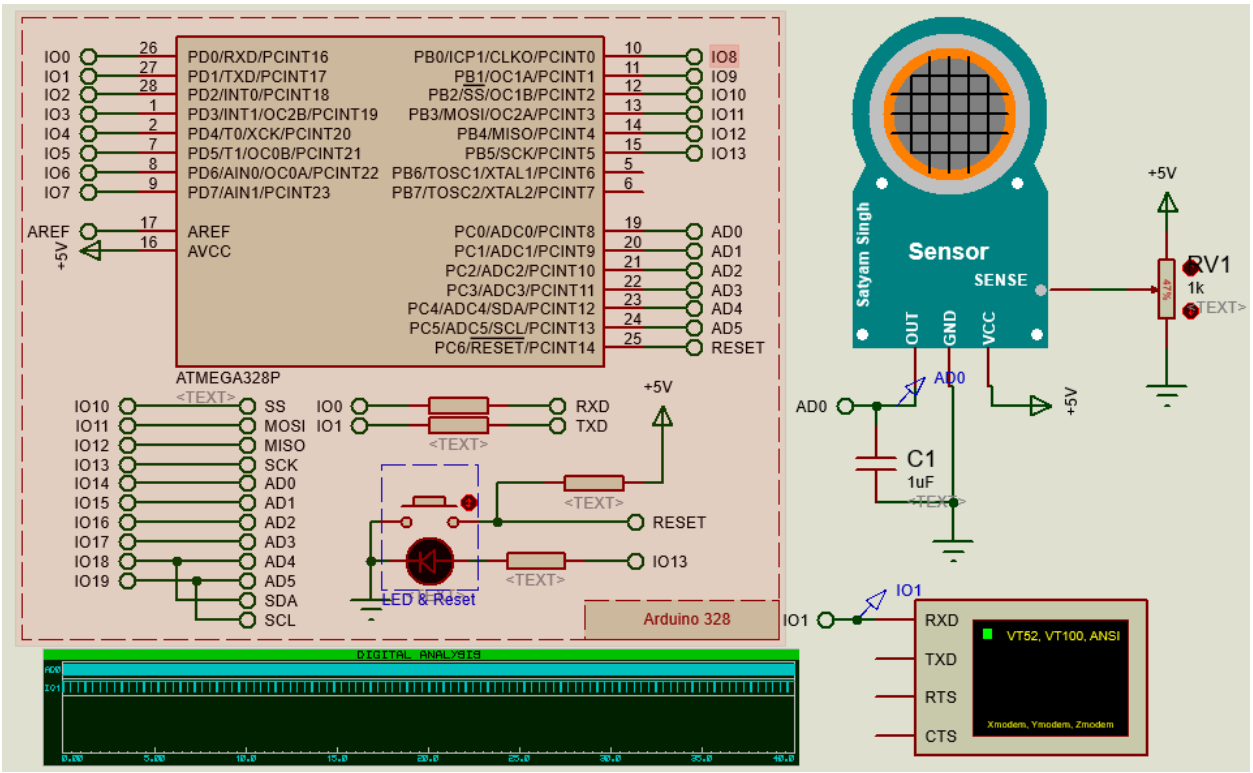


Рисунок 3.9 – Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону

У завданні для моделювання використано модель сенсору озону, яка задається бібліотекою MQ131.hex, що під'єднується із зовнішньої бібліотеки, розробленої для такого приладу. МК подано у вигляді контролерної плати Arduino 328, програмний код якої на мові С++ подано на відповідній вкладинці проекту. За допомогою змінного резистору RV1 імітується зміна концентрації озону у повітрі. Конденсатор С1 використано для згладжування зміни рівню вихідного

сигналу сенсора, що надходить на аналоговий вхід ADC0 МК. Результати обробки вимірювальної інформації надсилаються на послідовний порт МК, для відображення стану якого використано віртуальний термінал. Для відображення сигналів у розробленому завданні використано режим Spice – аналізу.

Результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону у вигляді епюрів сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі МК наведено на рис. 3.10 [29].

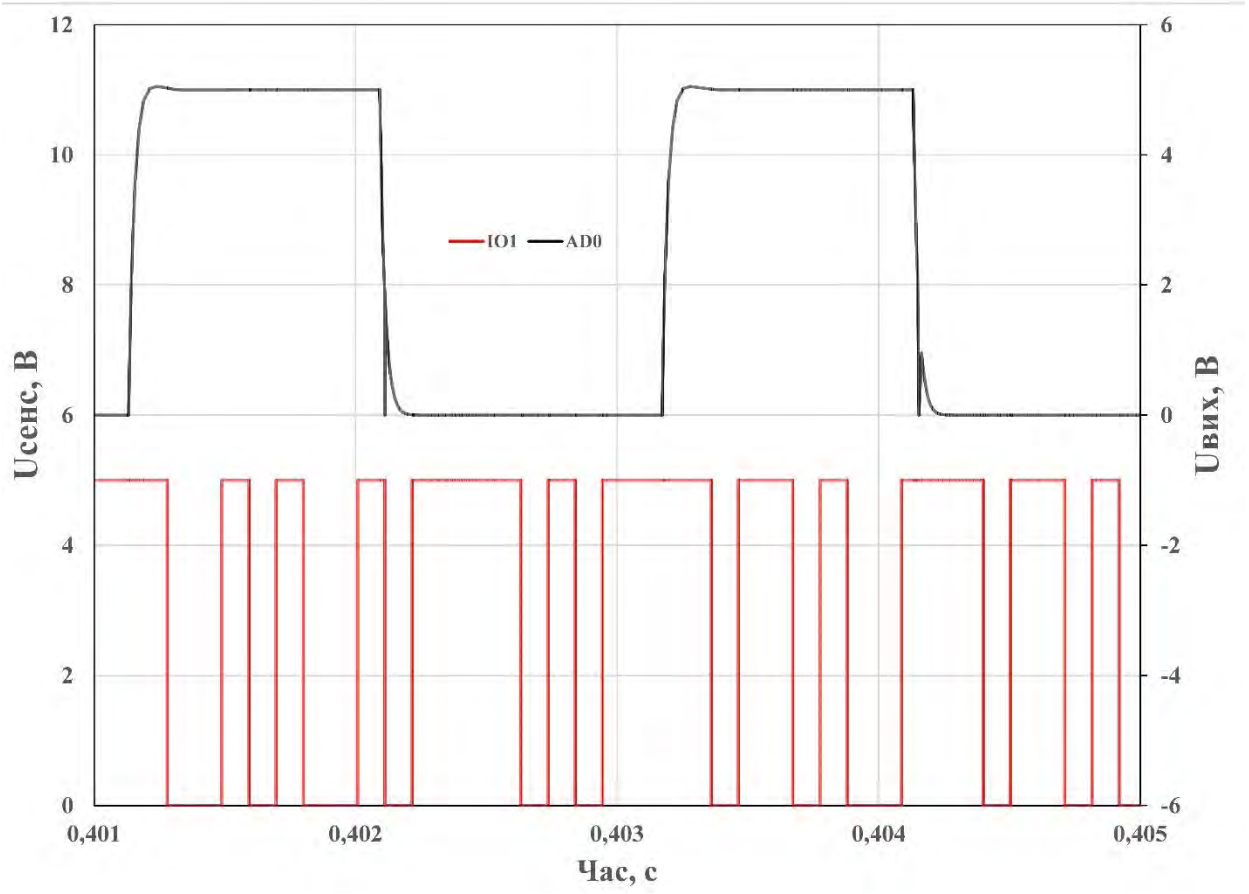


Рисунок 3.10 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі

З рис. 3.10 слід, що на виході сенсору діють сигнали майже прямокутної форми амплітудою 5 В і тривалістю 1 мс. На послідовному інтерфейсі спостерігаються виключно дискретні сигнали, які відповідають ASCII кодам символів, що відображуються.

Таким чином, результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону дозволили встановити, що час підготовки до вимірювань становить 70 мс, швидкодія перетворення складає 15 мс.

3.5 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури

Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури у середовищі Proteus наведено на рис. 3.11 [29].

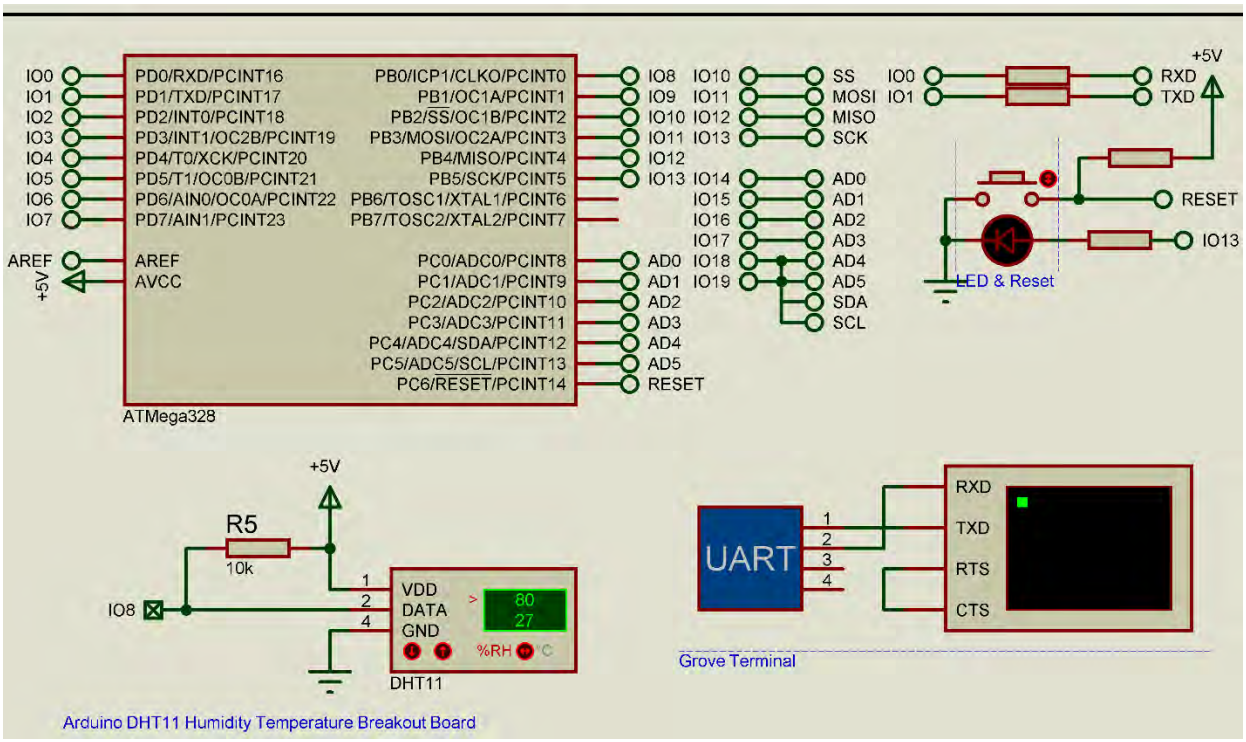


Рисунок 3.11 – Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури

У завданні для моделювання використано бібліотечну модель сенсору вологості і температури DHT11, що з’єднується з МК, який подано у вигляді контролерної плати Arduino 328. Програма керування підсистемою на мові

C++ подано на вкладинці «Початковий код» проекту. Вихідний цифровий сигнал сенсора, що надходить на вхід PB0 МК. Результати обробки вимірювальної інформації подаються на послідовний порт МК, для відображення стану якого використано віртуальний термінал. Для спостереження сигналів у розробленому завданні застосовується режим Spice – аналізу.

Результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону у вигляді епюрів сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі МК наведено на рис. 3.12 [29].

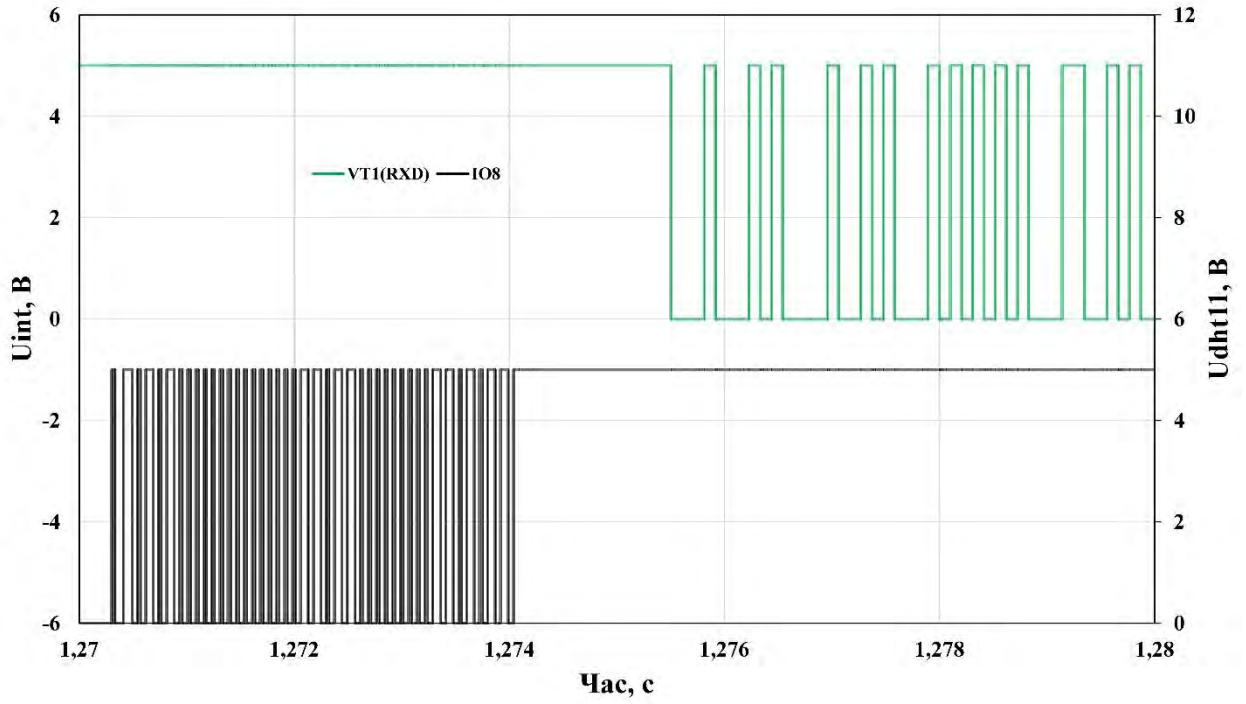


Рисунок 3.12 – Епюри сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі

З рис. 3.12 слід, що на виході сенсору діють цифрові сигнали амплітудою 5 В і тривалістю 1 мс. На послідовному інтерфейсі спостерігаються виключно дискретні сигнали, які відповідають ASCII кодам символів, що відображуються.

Таким чином, результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури показують, що час підготовки до вимірювань становить 1,2 с при затримці вимірювань на рівні 3.8 мс і швидкодії перетворення 1,3 мс. Тому при розробці керуючого коду МК датчика озону необхідно насамперед виконувати ініціалізацію сенсора вологості і температури, після чого здійснити ініціалізацію і калібрування сенсору озону.

3.6 Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору тиску

Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору тиску у середовищі Proteus наведено на рис. 3.13.

У завданні для моделювання використано бібліотечну модель АЦП HX711, що з'єднується з МК, який подано у вигляді контролерної плати Arduino 328, є подвоєним варіантом виконання АЦП HX710B. Тому при моделюванні було використано лише один канал цієї мікросхеми. Також на відміну від розробленої схеми електричної принципової блоку обробки сигналів сенсорів, у завданні використано стабілізоване джерело струму, що виконано на основі регулюємого транзисторного підсилювача, який поєднує вимірювальний міст сенсора з джерелом живлення схеми +5В. Програма керування підсистемою на мові С++ подано на вкладинці «Початковий код» проекту.

Сенсор тиску у завданні наведено у вигляді резистивного мосту, діагоналі якого можливо балансувати під час моделювання. При цьому вихідна напруга сенсора (і як слід вхідна напруга АЦП) контролюється за допомогою віртуального вольтметру.

Вихідний цифровий сигнал АЦП, що надходить на вхід PD3 МК. Результати обробки вимірювальної інформації подаються на послідовний порт МК, для відображення стану якого використано віртуальний термінал. Для спостереження сигналів у розробленому завданні застосовується режим Spice – аналізу.

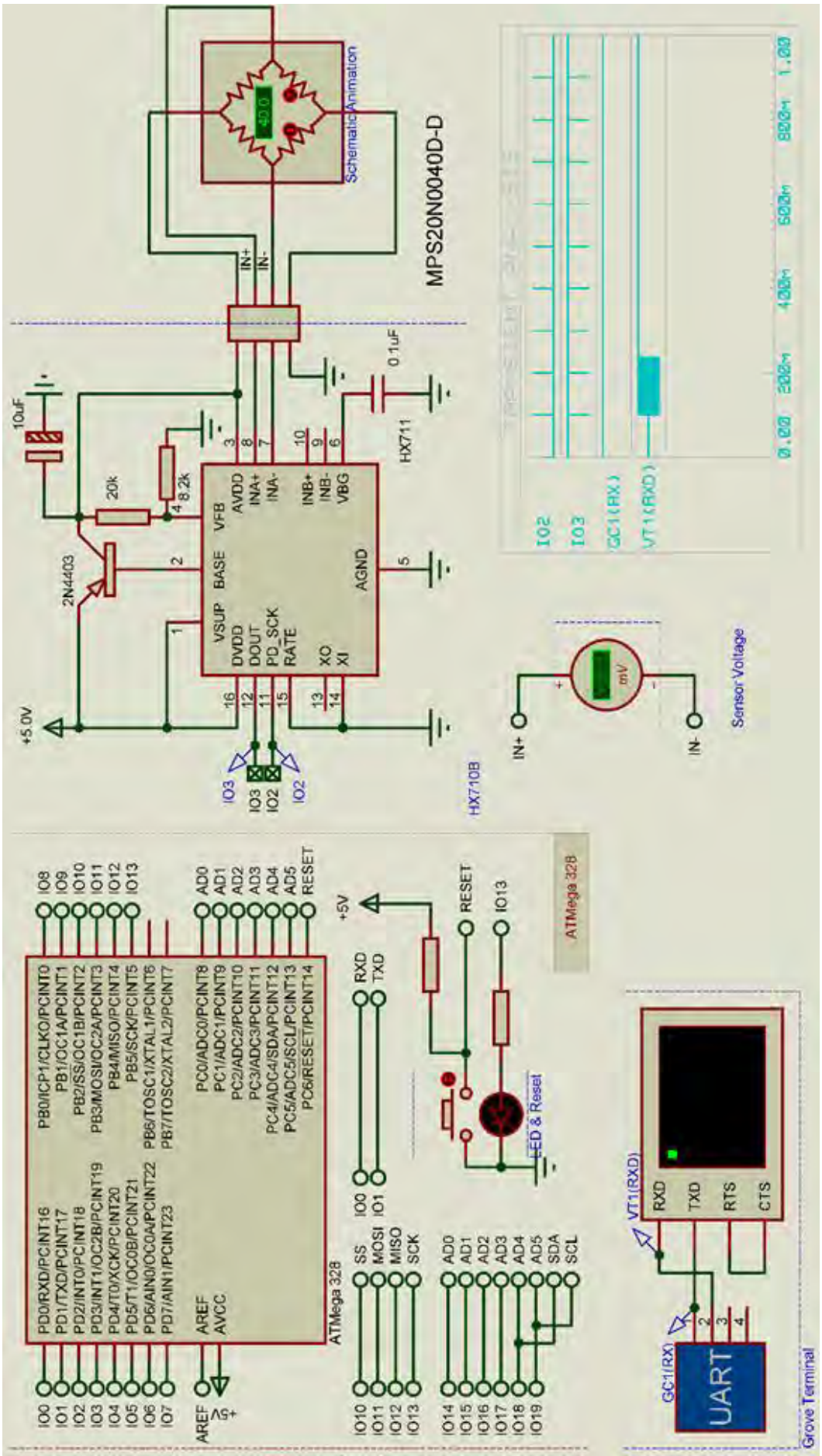


Рисунок 3.13 – Завдання для моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору тиску

Результати моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону у вигляді епюрів сигналів на виході сенсору і послідовному інтерфейсі МК наведено на рис. 3.14-3.17.

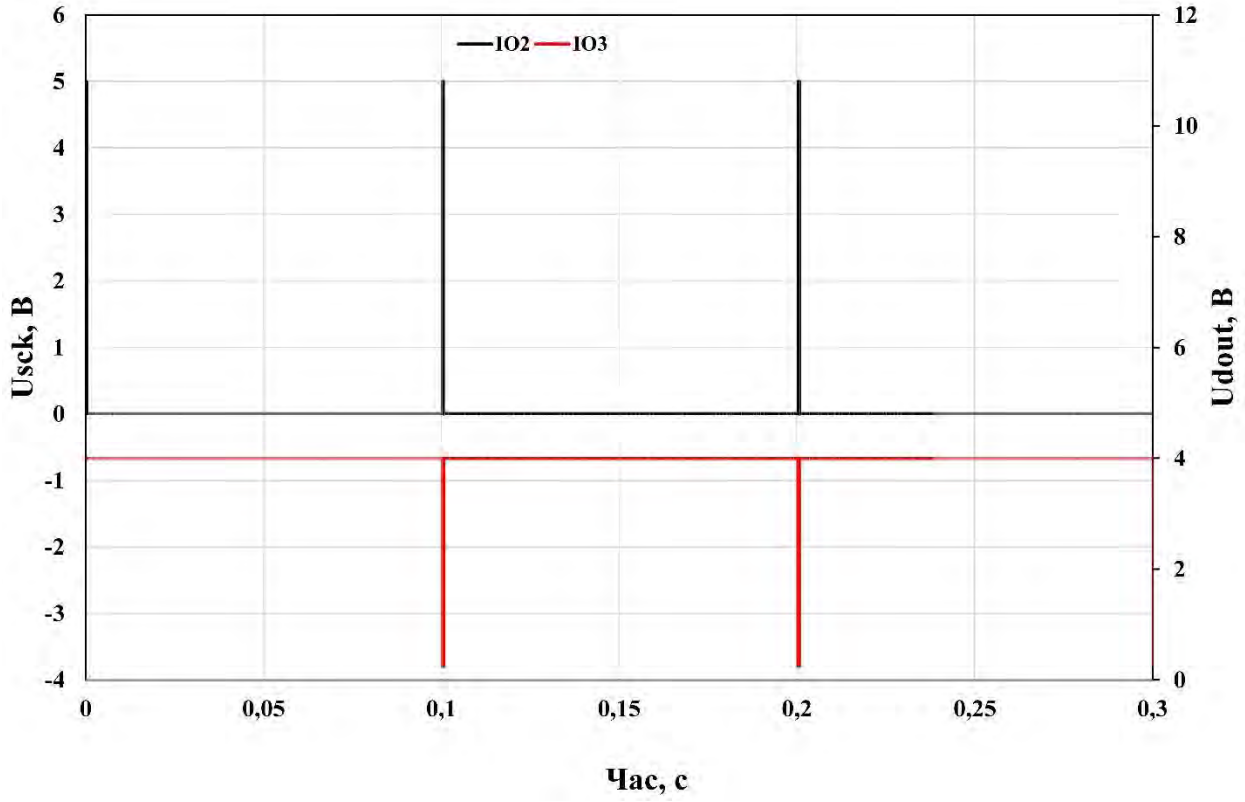


Рисунок 3.14 – Епюри сигналів на входах мікроконтролера при ініціалізації аналого-цифрового перетворювача

З рис. 3.14 слід, що через кожні 0,1 с на вхід SCK АЦП від МК надходять імпульси синхронізації амплітудою +5 В. Таким чином, тактування АЦП здійснюється через вивід PD3 МК. У проміжках часу між такими пакетами відбувається процес дискретизації сигналу сенсору тиску, що триває до тих пір, поки на виході Dout діє сигнал високого рівня, на вході SCK – низького рівня. Після завершення перетворення на виході Dout з’являється сигнал низького рівня (рис. 3.15).

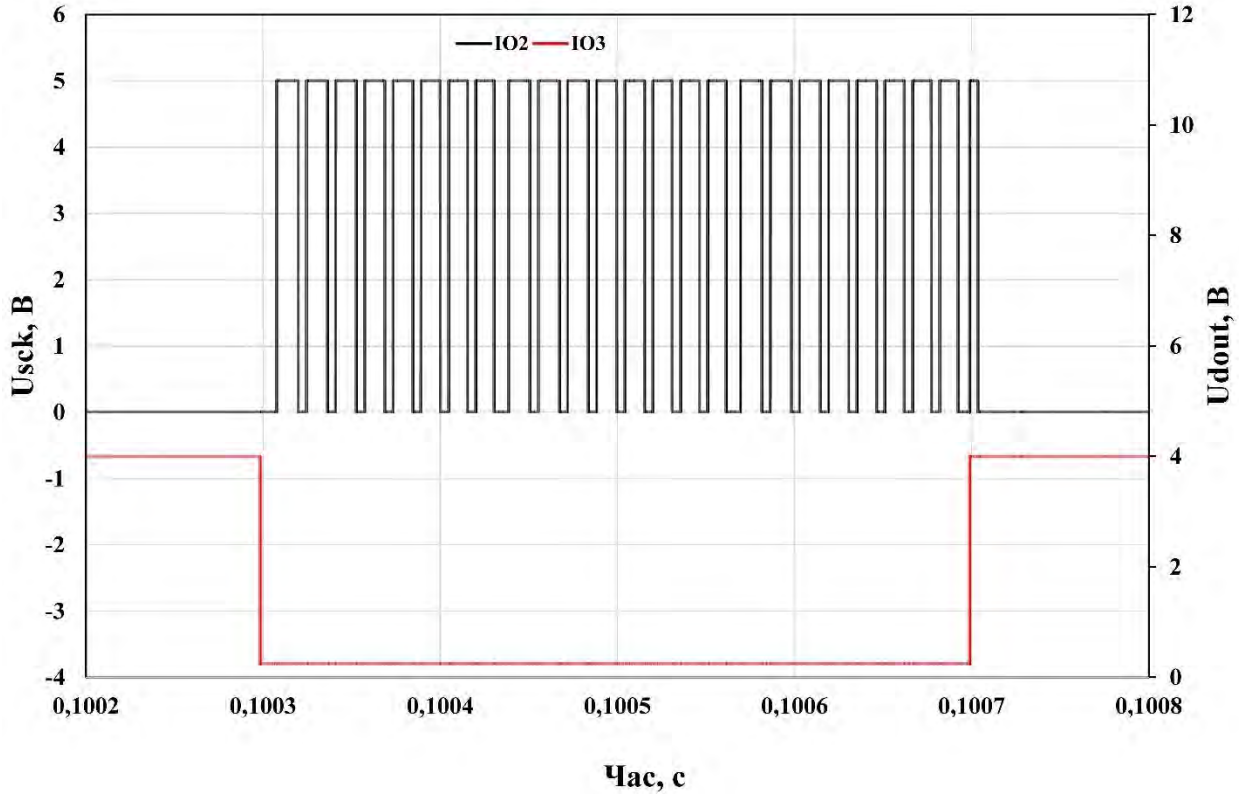


Рисунок 3.15 – Вигляд порожніх пакетів даних на вході мікроконтролера при ініціалізації аналого-цифрового перетворювача

Аналіз рис. 3.15 показує, що спочатку роботи схеми відбувається ініціалізація АЦП і до її закінчення у момент часу 1 с на виході Dout діє лише низький рівень сигналу.

Після того, як буде завершено процес ініціалізації АЦП, для зчитування отриманих даних МК подає на вхід SCK 25 тактових імпульсів, кожен з яких змішує цифровий код на виводі Dout на один біт починаючі зі старшого розряду двадцятичотирьохбітового слова (рис. 3.16). Після завершення зчитування молодшого біта цифрової послідовності вихід Dout знов повертається у стан з високим рівнем сигналу на ньому.

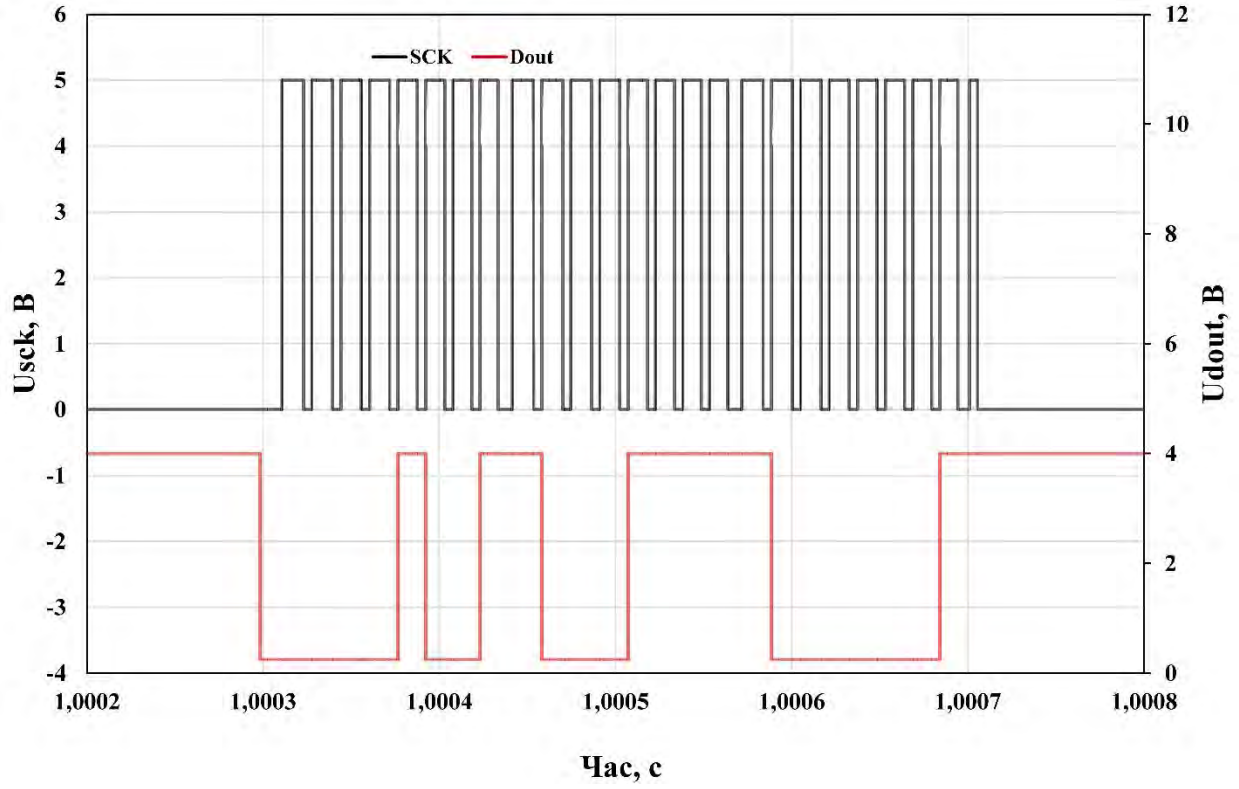


Рисунок 3.16 – Вигляд пакетів даних на вході мікроконтролера після ініціалізації аналого-цифрового перетворювача

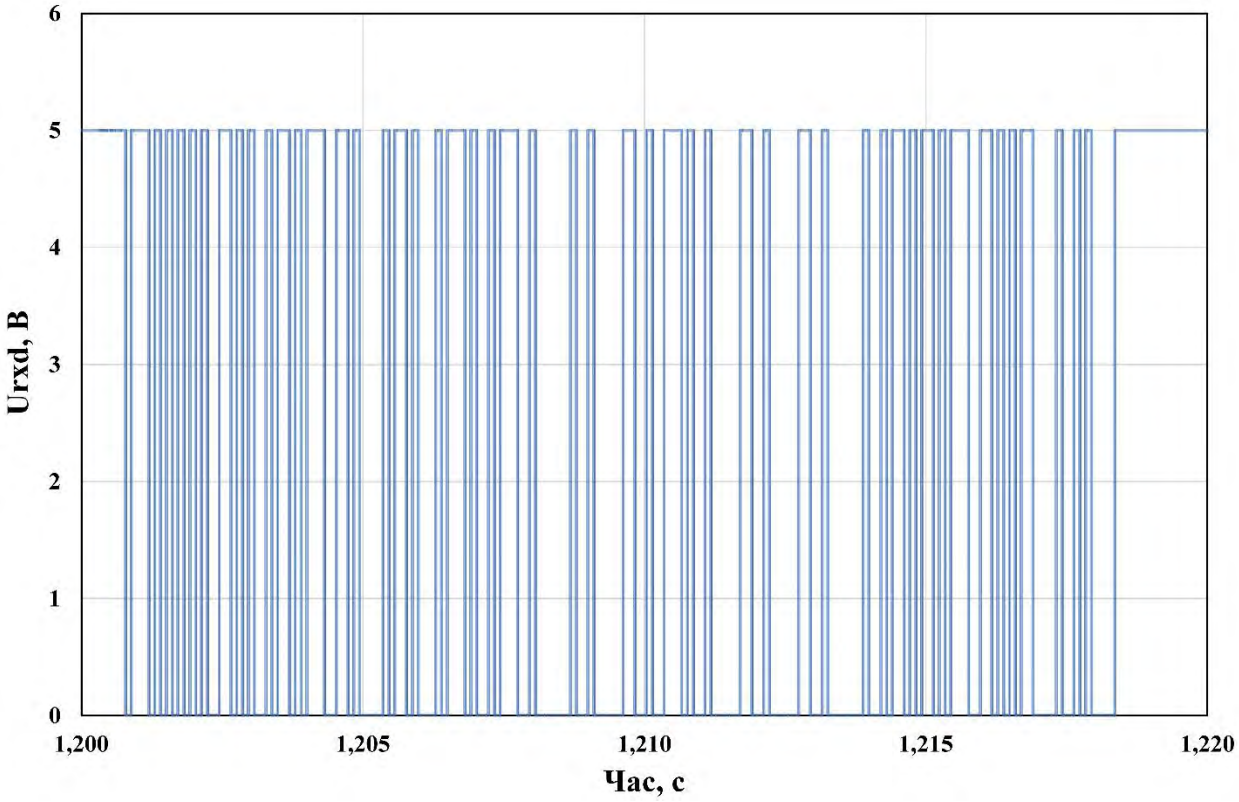


Рисунок 3.17 – Епюри сигналів послідовного інтерфейсу після ініціалізації аналого-цифрового перетворювача

Далі, як слід з рис. 3.16 – 3.17, починається програмна обробка МК отриманих даних від АЦП згідно розробленого програмного коду. Встановлено, що час обробки при цьому становить 1,92 мс після чого дані передаються через послідовний інтерфейс до інформаційно-керуючого блоку системи вимірювання, як показано на рис. 3.17. Таким чином, час надходження даних з інформацією щодо рівня тиску становить 18,3 мс, а загальний час отримання даних від сенсора тиску становить 20,2 мс, після чого процес опитування АЦП повторюється з періодичністю 100 мс.

4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ БЛОКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ

4.1 Обґрунтування обрання інструментарію розробки друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів

Будь-яка система проектування друкованих плат є складним комплексом програм, що забезпечує наскрізний цикл, починаючи з креслення принципової схеми і закінчуючи генерацією керуючих файлів для обладнання виготовлення фотошаблонів, свердління отворів, складання та електроконтролю.

P-CAD - система автоматизованого проектування електроніки (EDA) виробництва компанії Altium, що передбачає графічне введення електричних схем, пакування схеми на друковану плату, інтерактивне розміщення компонентів, ручне, інтерактивне та автоматичне трасування провідників, контроль помилок у схемі та друкованій платі, випуск документації, аналіз цілісності сигналів [34].

P-CAD має порівняно низькі вимоги до ресурсів комп'ютера; версія P-CAD 2000 може повноцінно працювати на комп'ютері з процесором P-133 та обсягом оперативної пам'яті 32 МБ. Можливо, це одна з причин високої популярності P-CAD серед проектувальників.

В останній версії системи P-CAD з'явилися нові потужні можливості, такі як робота з диференціальними парами, мультимаршрутне трасування з урахуванням заданих правил проектування, ортогональне перетягування провідників та ін. У редакторі схем покращено структуру управління багатолистовими проектами. Однак у 2006 році компанія Altium офіційно заявила про припинення розробки цього продукту. Для заміни цієї системи компанія Altium пропонує систему Altium Designer [34].

Altium Designer - це потужна система, що дозволяє реалізовувати проекти електронних засобів на рівні схеми або програмного коду з подальшою

передачею інформації до ПЛІС чи друкованої плати. Відмінною особливістю програми є проектна структура та наскрізна цілісність ведення розробки на різних рівнях проектування. Як пріоритетний напрямок розробників даної програми варто відзначити інтеграцію ECAD і MCAD систем. При цьому розробка друкованої плати можлива у тривимірному вигляді з двонаправленою передачею інформації до механічних САПР (Solid Works, Pro/ENGINEER та ін.). Цей пакет складається з двох продуктів, що базуються на єдиній інтегрованій платформі DXP, можливість роботи з тим чи іншим залежить від типу придбаної ліцензії: - Altium Designer extended feature set – проектування друкованих плат та ПЛІС; Altium Designer core feature set - проектування ПЛІС, схемотехнічне проектування та моделювання.

До складу програмного комплексу Altium Designer входить весь необхідний інструментарій для розробки, редагування та налагодження проектів на базі електричних схем та ПЛІС. готових компонентів, у багатьох з яких є моделі посадкових місць, Spice та IBIS-моделі, а також тривимірні моделі.

Робота над усіма частинами проекту ведеться в єдиній оболонці Design Explorer, що керує, яка дозволяє розробнику контролювати цілісність проекту на всіх етапах проектування. Таким чином, зміни, внесені на будь-якому етапі розробки автоматично передаються на всі пов'язані стадії проекту. На додаток до потужних засобів розробки, Altium Designer має широкі можливості імпорту та експорту сторонніх систем проектування та підтримує практично всі стандартні формати вихідних файлів (Gerber, ODB++, DXF тощо). Цілком підтримуються всі напрацювання у вигляді схем, плат та бібліотек, розроблені в останніх версіях P-CAD.

У 2002 р. компанія Altium випустила у світ пакет Protel DXP, що є продовженням власної оригінальної ліній продуктів Protel. Цей пакет забезпечує наскрізний цикл проектування змішаних аналого-цифрових друкованих плат з використанням програмованої логіки фірм Xilinx та Altera. Весь інструментарій реалізований на базі вбудованого середовища проектування Design Explorer. До наявних засобів посттопологічного аналізу цілісності сигналів

(Signal Integrity) додалася можливість виконувати передтопологічний аналіз. Але головним нововведенням системи Protel DXP є топологічний автотрасувальник Situs, покликаний реалізувати новий підхід до автоматичного розведення плат.

Пакет Expedition PCB компанії Mentor Graphics [35] представляє зараз потужне рішення у галузі проектування плат. Єдине середовище дозволяє за допомогою модуля ICX моделювати наведення у провідниках безпосередньо під час прокладання траси або шини та контролювати перевищення ними заданого рівня. Процес проектування передбачає:

- необмежену кількість шарів;
- застосування наскрізних та сліпих перехідних отворів;
- можливість створення складних аналогових схем;
- інтерактивне та автоматичне трасування з урахуванням технологічних обмежень, що накладаються використанням сучасної елементної бази;
- моделювання високочастотних цифрових ланцюгів на друкованій платі;
- моделювання наведення у провідниках безпосередньо під час прокладання траси чи шини та контроль перевищення ними заданого рівня;
- термічний аналіз плати.

У цього продукту можна відзначити лише один недолік – його високу вартість.

Інший продукт компанії Mentor, система PADS PowerPCB [35] пропонує більш дешеве рішення. Ця система відрізняється найкращим автотрасувальником BlaseRouter, який підтримує всі необхідні при трасуванні високочастотних плат функції. Пакет має модулі передтопологічного (HyperLinks LineSim) і посттопологічного (HyperLinks BoardSim) аналізу, що тісно взаємодіють із системою контролю обмежень. Зараз ці модулі значно покращені за рахунок впровадження в них оригінальних алгоритмів моделювання, які раніше застосовувалися у продукті XTK компанії Innoveda.

Продукт OrCAD [35] компанії Cadence рекомендується як більш легке та дешеве рішення для проектування друкованих плат. Останнім часом продукт майже не розвивається. Цей пакет розглядається фірмою Cadence як пріоритетна система введення проектів та моделювання: модулі Capture CIS та PSpice зараз поставляються у складі пакету PCB Design Studio. В останню версію системи OrCAD увійшли нові можливості синтезу та моделювання цифрових логічних схем NC Sim. Редактор друкованих плат OrCAD Layout має три різні конфігурації із різними функціональними можливостями. У проекті плати тут може бути до 30 шарів, 16 з яких можуть бути сигнальними. Є вбудовані засоби авторозміщення та автотрасування, а також інтерфейс із програмою SPECCTRA.

Пакет Visula [35] забезпечує наскрізний цикл проектування та пропонує потужні засоби моделювання та синтезу програмованої логіки з подальшою розробкою друкованої плати. Тут є стандартний набір інструментарію, а також власні засоби авторозміщення та автотрасування. Слід зазначити, що компанія Zuken також пропонує користувачам інтегровані засоби тривимірного твердотільного моделювання пристроїв, що розробляються.

DipTrace – САПР для проектування друкованих плат, до складу якої входять наступні компоненти [36]: Schematic - розробка схем; DipTrace - створення плат, ручне та автоматичне трасування; ComEdit – редактор корпусів; SchemEdit – редактор компонентів.

DipTrace містить мінімальну кількість керуючих елементів - що відображають основні функції, при цьому перехід у більшість режимів, таких як вибір, переміщення, створення зв'язків, редагування трас здійснюється автоматично при спробі користувача зробити необхідну операцію.

Розробка у САПР супроводжується підсвічуванням елементів, що редагуються і залежать від них, що дозволяють наочно оцінювати ситуацію. Логічна структура принципової схеми чи плати формується одночасно при побудові та зміна одного елемента відбивається на залежних від нього.

DipTrace підтримує експорт плат у Gerber та N/C Drill. Для Gerber є можливість розмітки отворів. При експорті тексту здійснюється векторизація із заданим кроком, таким чином можна використовувати будь-який шрифт, встановлений у системі. Також підтримується векторизація та експорт у Gerber растрових чорно-білих зображень.

Також є велика кількість бібліотек корпусів та компонентів. Стандартні бібліотеки містять понад 10 тис. компонентів найвідоміших фірм-виробників.

Система має 3D попередній перегляд, причому з програмою поставляються понад 2.5 тис. 3D-моделей корпусів. Крім цього, є багатомовний інтерфейс, довідка, підручник і шаблони.

Тому для розробки топології друкованої плати датчика озону з бездротовим каналом передавання даних було обрано САПР DipTrace.

4.2 Розробка топології міжелементних з’єднань друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів

Топологія друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів розроблялася з урахуванням наступних вимог: відповідність принциповій електричній схемі, задоволення всім конструктивним вимогам, що пред'являються; топологія складається так, щоб для виготовлення печатної плати потрібна найбільш проста і дешева технологія, забезпечувався заданий тепловий режим і можливість перевірки компонентів в процесі виготовлення; оцінюється вплив і індуктивних зв'язків, ємністей, на роботу схеми [29]. Основним завданням при розробці топології є мінімізація площі, мінімізація сумарної довжини розводки і кількості перетинів в ній. Розробка топології міжелементних з’єднань друкованої плати датчика озону виконувалось у середовищі DipTrace для чого було розроблено завдання, що наведено на рис. 4.1.

При розробці плати розміщення друкованих провідників, їх ширина і відстань між були виконані у межах заданих допусків.

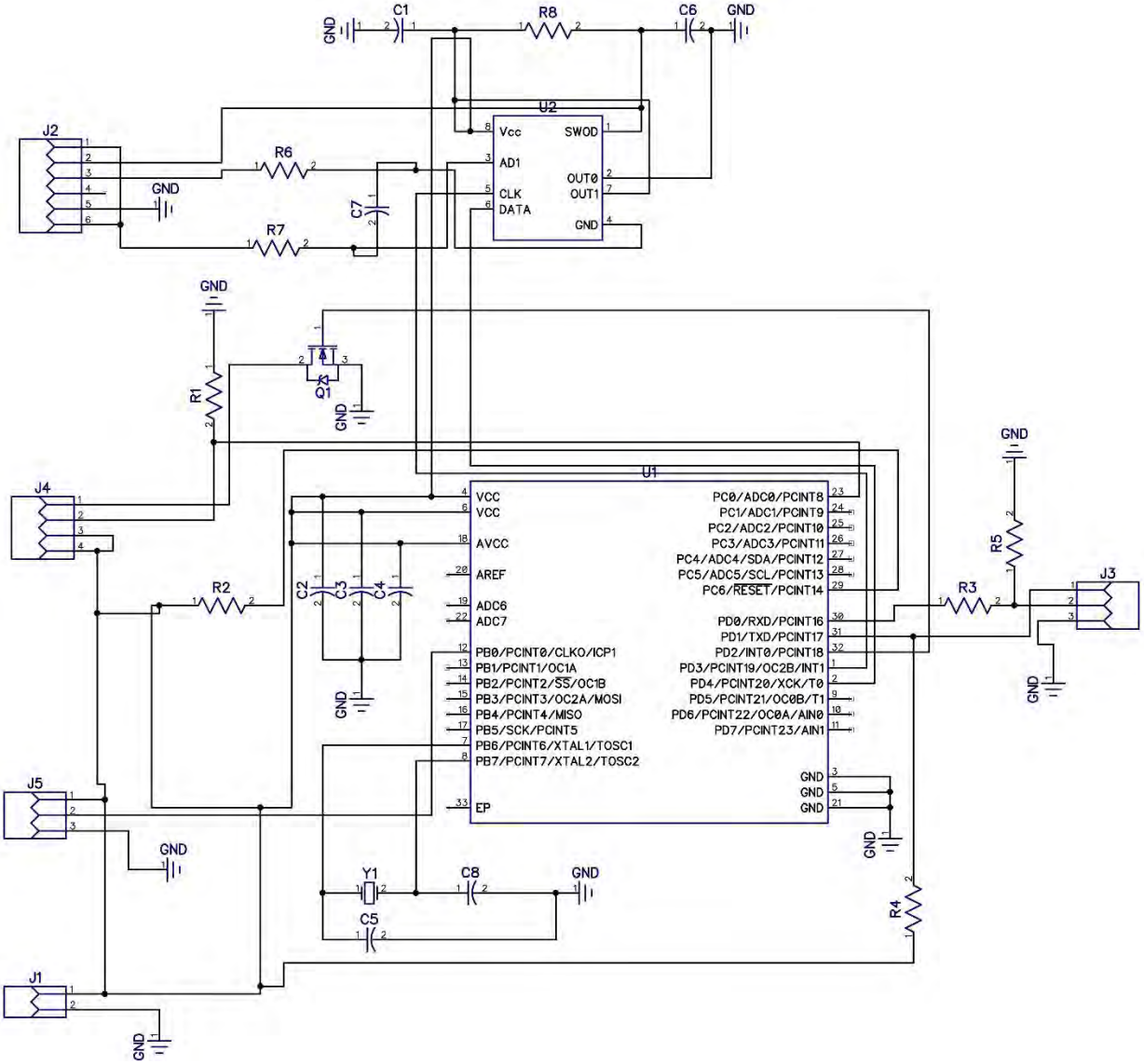


Рисунок 4.1 – Завдання для розробки топології друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів

Також провідники кіл живлення розміщувались у першу чергу, а потім провідники заземлення. Ці провідники мають максимальну ширину, так як по них проходять значні струми живлення, що викликають зворотні зв'язки.

При трасуванні застосовано два провідні шари, що розміщуються з боку встановлення елементів (додатковий шар) і з протилежного боку (основний (шар). Перехід з однієї сторони на іншу відбувається з допомогою перехідних

отворів. Це дозволяє отримати провідники мінімальної довжини. Екранування провідників відбувається з допомогою заземленого металевого шару. Ефективність екранування тим вища, чим ближче розміщений до провідника заземлений шар і чим вужчий сам провідник.

Провідники, що закінчуються металізованими отворами для кріплення елементів, мають навколо отворів розширення - контактну площадку круглою форми.

Контактні площадки для мікросхем виконано у вигляді провідників прямокутної форми.

На обох сторонах плати і на всіх шарах витримується відстань між краєм провідника, контактної площадки, екрана, у тому числі краєм неметалізованого отвору, не менші ніж 1,5 - 2 мм.

В цілях зменшення кількості технологічних операцій виготовлення печатної плати і усунення паразитної ємкості, в комутаційній схемі відсутні перетини провідників. Провідники розташовані рівномірно за всією площею плати. У схемі допускаються перетини провідників з резисторами, а також з балочними виведеннями мікросхем з ізоляцією шаром діелектрика. Така конструкційна особливість не робить вплив на працездатність схеми.

Топологія друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів, що розроблена на основі цих принципів, наведено на рис. 4.2.

Основний і додатковий комутаційні шари друкованої плати (рис. 4.3) формується методом травлення. Для запобігання браку в процесі формування струмопровідного шару мінімальна ширина струмопровідних доріжок вибрана рівною 0,31мм; мінімальна ширина зазору між доріжками 0,31мм. За щільністю печатної плата відноситься до 3 класу точності, що дозволяє використовувати трафарети для нанесення паяльної пасти з метою паяння компонентів в печі з інфрачервоним нагріванням.

Розроблена друкована плата 3 класу точності з мідним електрично осадженим покриттям товщиною 50 мкм розрахована на максимальну напругу 25В і максимальну силу струму 240мА.

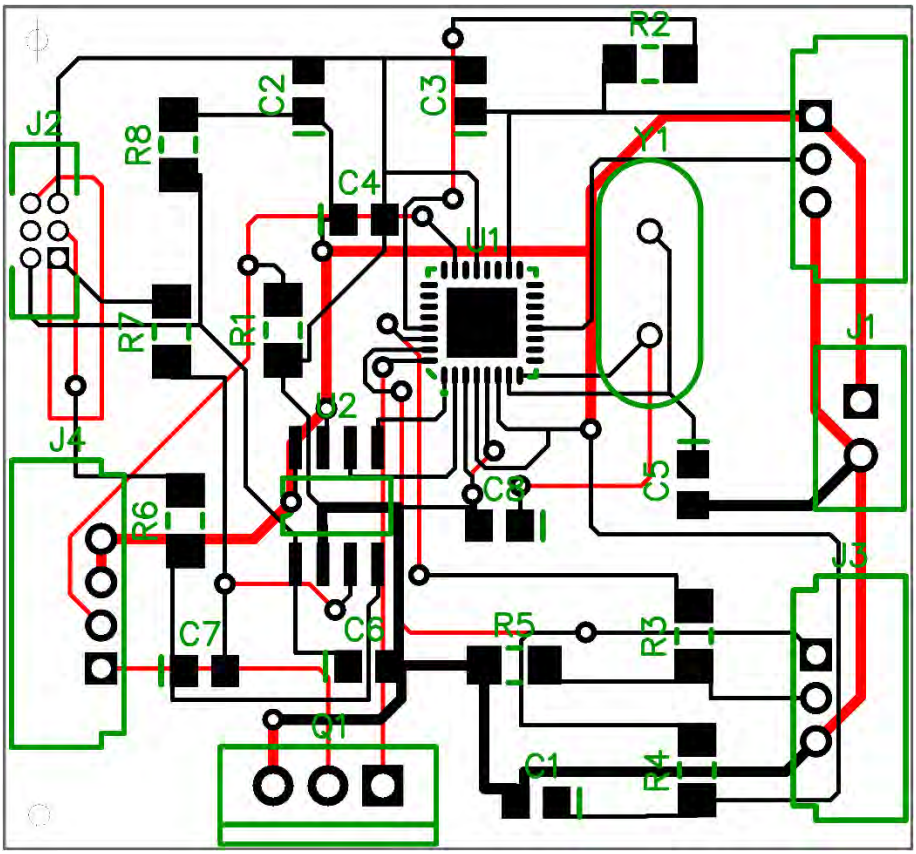
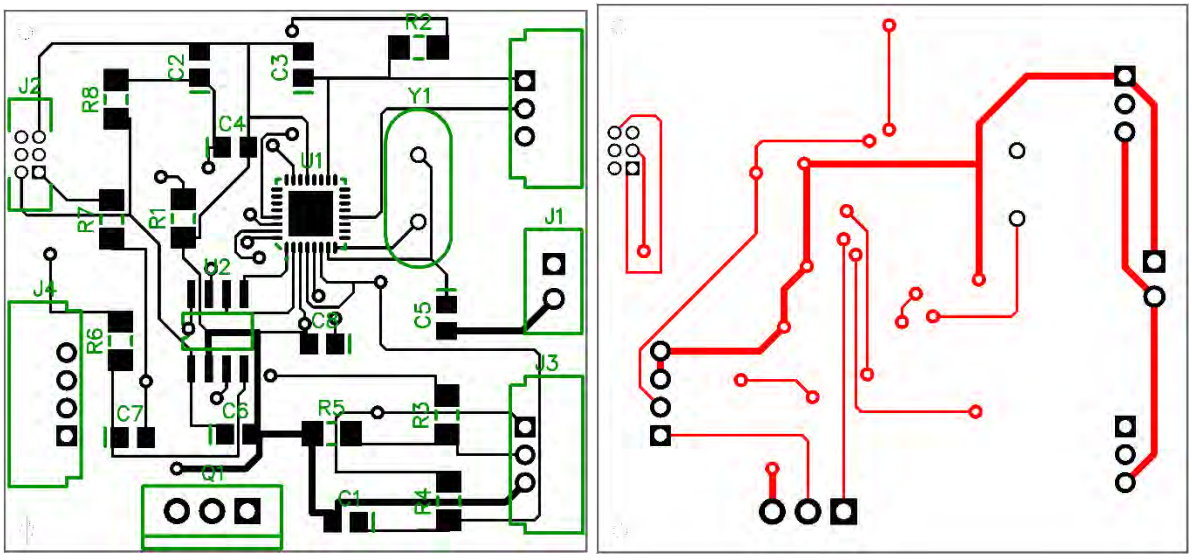


Рисунок 4.2 – Топологія друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів



а б

Рисунок 4.3 – Основний (а) і додатковий (б) комутаційні шари друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів

Таким чином, електричні параметри не накладають обмежень на структуру топології друкованої плати. Відстань від краю плати до струмопровідної доріжки – 0,5мм.

Також було проведено тривимірне моделювання розробленої плати, результати якого наведено на рис. 4.4.

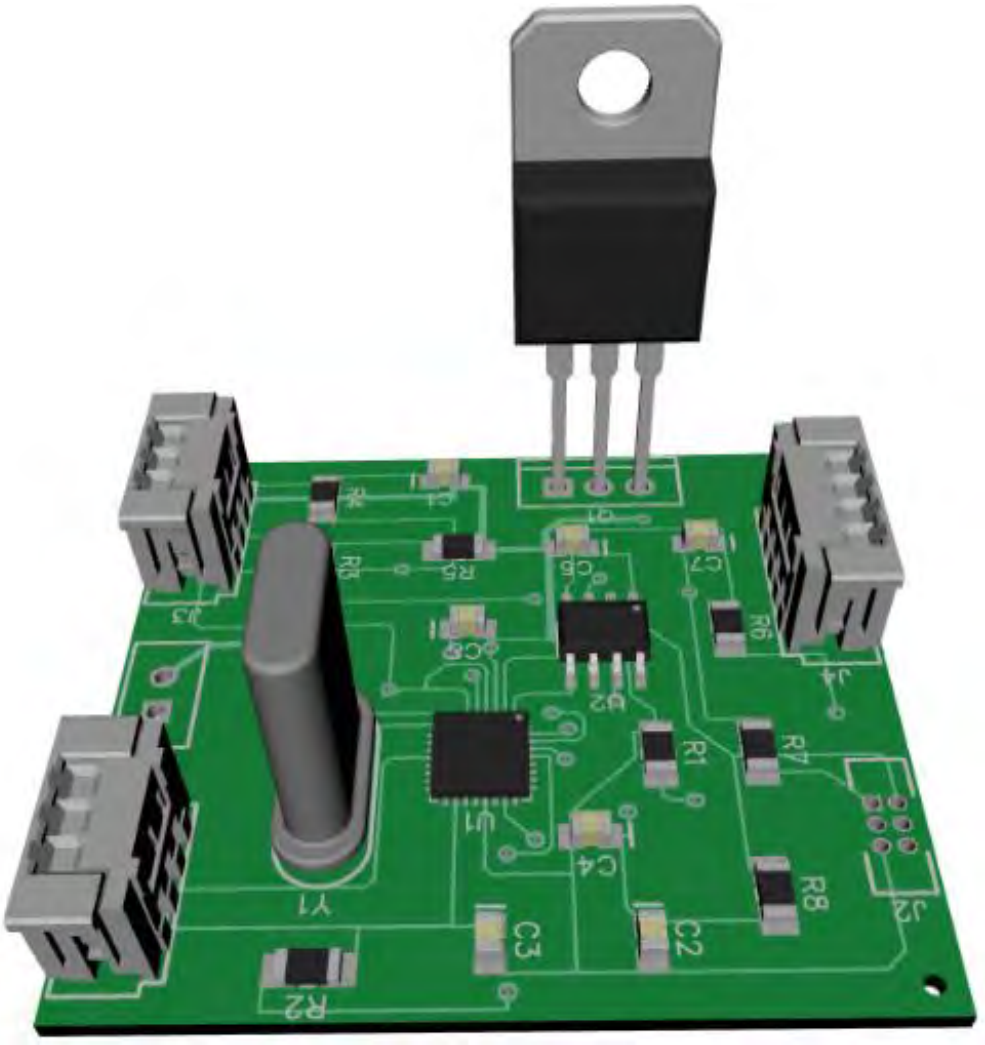


Рисунок 4.4 – Результати тривимірного моделювання друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів

Т. ч., розміри розробленої плати складають 42х39х25 мм, що показує її мініатюрність і зручність експлуатації.

4.3 Особливості технології виготовлення і складання друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів

Провідний шар друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів формується на підкладці фольгованого склотекстоліту марки СТФ-1-1 ТУ 16.503.161-77 [29].

Очищення і знежирення підкладок перед нанесенням лаку проводиться марлевим тампоном, змоченим в ацетоні.

Виготовлення друкованих плат третього класу точності передбачає можливість нанесення лаку простим способом – нанесенням ракелем [37]. Після нанесення шару лаку слідує операція сушки, яка здійснюється в конвекційній печі при температурі 100 ^{0}C тривалістю п'ять хвилин.

Хімічне травлення незахищених ділянок мідної фольги проводиться у водному розчині хлорного заліза. Контроль тривалості травлення – візуальний. Орієнтовні параметри операції наступні: під час травлення плати в розчині температурою 50 ^{0}C – 6 хвилин, час промивання проточною водою – 2 хвилини.

Видалення лаку проводиться марлевим тампоном, змоченим в ацетоні.

Потім плата промивається проточною водою і сушать при кімнатній температурі.

Для реалізації монтажу елементів на розроблену друковану плату датчика озону використовується змішано-рознесений варіант складання, коли традиційні компоненти розташовують на лицьовій стороні, а прості чип-компоненти – на зворотній. Особливості такого процесу полягають в тому, що корпуси компонентів для поверхневого монтажу не закріплюються на поверхні друкованої плати за допомогою виводів; корпуси компонентів для поверхневого монтажу приклеюються за допомогою клеїв або припійної пасти; паяння подвійною хвилею припою застосовується лише до простих чип-компонентів, які встановлюються на зворотному боці друкованої, і до термостійких компонентів; компоненти для поверхневого монтажу на лицьовій стороні

припаюються із застосуванням паяння розплавленням дозованого припою в парогазовій фазі або в ІЧ-печі або з використанням лазерного нагрівання.

При такому монтажі необхідним є перевертання плати з компонентами і, як мінімум, дві установки для паяння. Вибір варіанта реалізації монтажу при проектуванні виробу з застосуванням поверхневого монтажу здійснюється не тільки з точки зору технологічних особливостей його виготовлення, а й залежно від поєднання традиційних і SMD-компонентів. Для цього застосовується паяння оплавленням припійної пасти. Компоненти для поверхневого монтажу не потребують спеціальної підготовки перед установленням. Тому після розпакування та очищення плати, як правило, виконується наступна послідовність операцій.

Нанесення паяльної пасти здійснюється на контактні площадки за допомогою дозатора. При виконанні такої операції необхідно отримати відбитки, що містять певний об’єм пасти. Недостача пасти може призводити до відсутності з'єднання, надлишок – до перемичок та недостатньої міцності з’єднання. Об’єм пасти залежить від конструкції конкретного компонента і розміру контактної площадки. Використання дозатора при цьому є більш гнучким, але менш точним і продуктивним методом, зазвичай застосовується при дослідному виробництві. Пасти для дозування використовуються в стандартних шприцах, сумісних з більшою частиною обладнання. На шприц встановлюються голки різного діаметра, що забезпечують нанесення певної кількості пасти. Кількість пасти може регулюватися тиском і часом нанесення. Але при тривалому дозуванні паста нагрівається, що змінює її реологічні властивості і може призводити до погіршення якості друку. Рекомендується застосовувати паяльну пасту марки ПЛ-112 АУКО.029.009ТУ. В'язкість цієї пасти дозволяє кріпити виведення компонентів до контактних вікон підкладки способом короткочасного притиснення. Температура плавлення пасти – 200 ^{0}С.

Дозування може проводитися на автоматичному обладнанні. При цьому кількість нанесеної пасти визначається оператором або блоком управління.

Установлення компонентів здійснюється згідно з програмою на автоматі установки із стандартних упаковок, в яких компоненти постачаються заводом-виробником. Надалі при серійному виробництві може застосовуватися автоматизоване установлення на напівавтоматі (маніпуляторі з покажчиком місця установлення компонента за програмою). Повні автомати використовуються в стабільно працюючому виробництві при випуску великих партій модулів. Ціна повного автомата визначається конфігурацією і функціями: підтримувані види живильників, технічний зір, роздільна здатність установки, темп роботи, число головок та інші.

Процес оплавлення припою, що міститься в паяльній пасті, виконується в печах шляхом нагрівання друкованої плати з компонентами. При цьому нагрівання здійснюється інфрачервоним нагріванням. Після операції паяння плата піддається відмиванню і сушінню.

Полімеризація клею завершує процес фіксації компонентів. Це здійснюється в сушильних шафах при підвищеній температурі і необхідній вентиляції. Тривалість процесу полімеризації визначається типом застосовуваного клею.

Встановлення компонентів в отвори повністю аналогічна встановленню компонентів при застосуванні технології монтажу в отвори. Компоненти фіксуються для забезпечення правильності їх положення в процесі паяння.

Далі наноситься флюс на поверхню плати зі сторони паяння, тобто з тієї сторони, на яку встановлені поверхнево монтовані компоненти. Після цього застосовується паяння хвилею, що здійснюється аналогічно методу монтажу в отвори.

5 ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

5.1 Формуляр проекту

Таблиця 5.1 – Формуляр проекту

Завдання	№ проекту	1
	Дата замовлення	02.02.2020
	Назва проекту	Дослідження та розробка системи вимірювання концентрації озону
	Замовник ПІБ	
	Адреса	
	Контактна особа, ПІБ	
	Телефон і факс	
Договірна ціна	Усього	1
	План оплати	попередня оплата – 50%
	Додаткові умови	-
Строки	Початок	08.04.2024
	Проміжні строки	-
	Кінець	02.12.2024
Партнери	Кооперація	-
	Субпідрядники	-
	Завдання	-
Персонал	Керівник	
	Заступник	
	Співробітники	
Проект	Скорочена назва	-
	Цілі	Розробка системи

	Критичні строки	1. 01.09.24 (створення моделі системи вимірювання) 2. 15.11.24 (схеми електричної принципової блоку обробки сигналів сенсорів)
	Особливості та проблеми	Моделювання та розробка системи вимірювання, що містить сенсори озону, температури і тиску

5.2 Характеристика робіт за проектом

Таблиця 5.2 - Характеристика робіт за проектом

Характеристика робіт за проектом			
Код роботи	Назва (зміст) роботи	Безпосередньо попередня робота	Тривалість, діб
1.1.1	Аналіз методів вимірювання концентрації озону	-	5
1.1.2	Підготовка технічного звіту	1.1.1	4
1.2.1	Структура системи вимірювання концентрації озону	1.1.1	6
1.2.2	Візуально-блочна модель системи вимірювання концентрації озону	1.2.1	2
1.2.3	Розширена модель системи вимірювання концентрації озону	1.2.2	4

Характеристика робіт за проектом			
Код роботи	Назва (зміст) роботи	Безпосередньо попередня робота	Тривалість, діб
1.2.4	Дослідження моделі системи вимірювання концентрації озону	1.2.3	4
1.2.5	Підготовка технічного звіту	1.2.4	4
1.3.1	Структура системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції	1.2.4	3
1.3.2	Розробка схеми електричної принципової блоку обробки сигналів сенсорів	1.2.3, 1.3.1	6
1.3.3	Розробка програмного коду керування мікроконтролером	1.2.3	5
1.3.4	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону	1.3.2, 1.3.3	3
1.3.5	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури	1.3.2, 1.3.3	3
1.3.6	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору тиску	1.3.2, 1.3.3	3
1.4.1	Обґрунтування обрання інструментарію розробки друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів	1.3.2	2
1.4.2	Розробка топології міжелементних з’єднань друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів	1.3.2	6

Характеристика робіт за проектом			
Код роботи	Назва (зміст) роботи	Безпосередньо попередня робота	Тривалість, діб
1.4.3	Особливості технології виготовлення і складання друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів	1.4.2	3
1.4.4	Усунення недоліків роботи системи	1.4.3	7
1.4.5	Аналіз результатів	1.4.3	7
1.4.6	Підготовка технічного звіту	1.4.5	8

5.3 Робоча структура проекту - WBS

WBS (Work Breakdown Structure) будується в результаті декомпозиції робіт. Вона визначає об'єм робіт, виконання яких призводить до досягнення мети проекту [38]. Структура наведена на рис. 5.1.

5.4 Організаційна структура проекту - OBS

OBS (Organization Breakdown Structure) визначає виконавців проекту та встановлює систему підпорядкованості. OBS має вигляд ієрархічної системи. Структура OBS визначається структурою проектної організації [32]. Структура наведена на рис. 5.2.

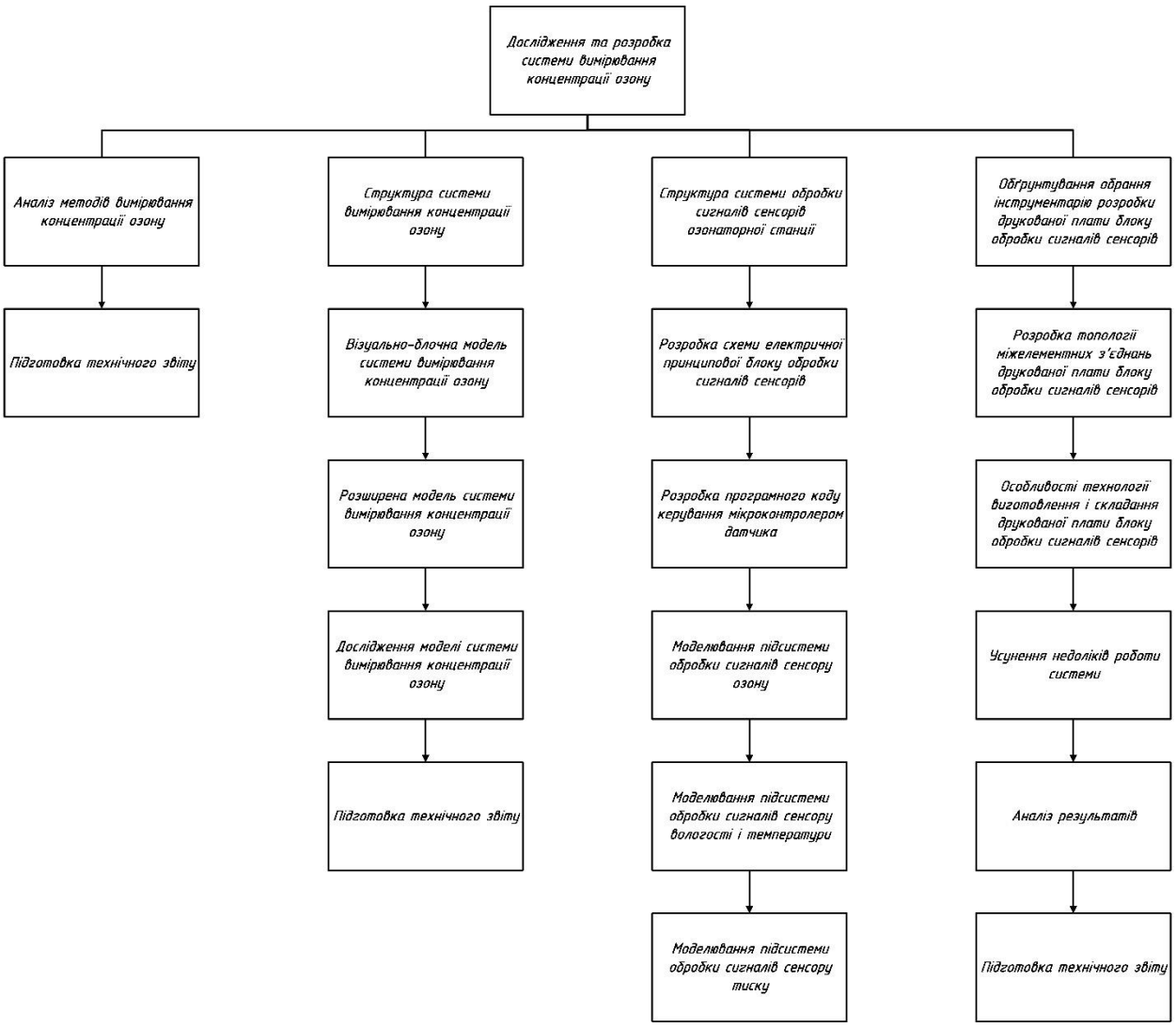


Рисунок 5.1 – Робоча структура проекту – WBS

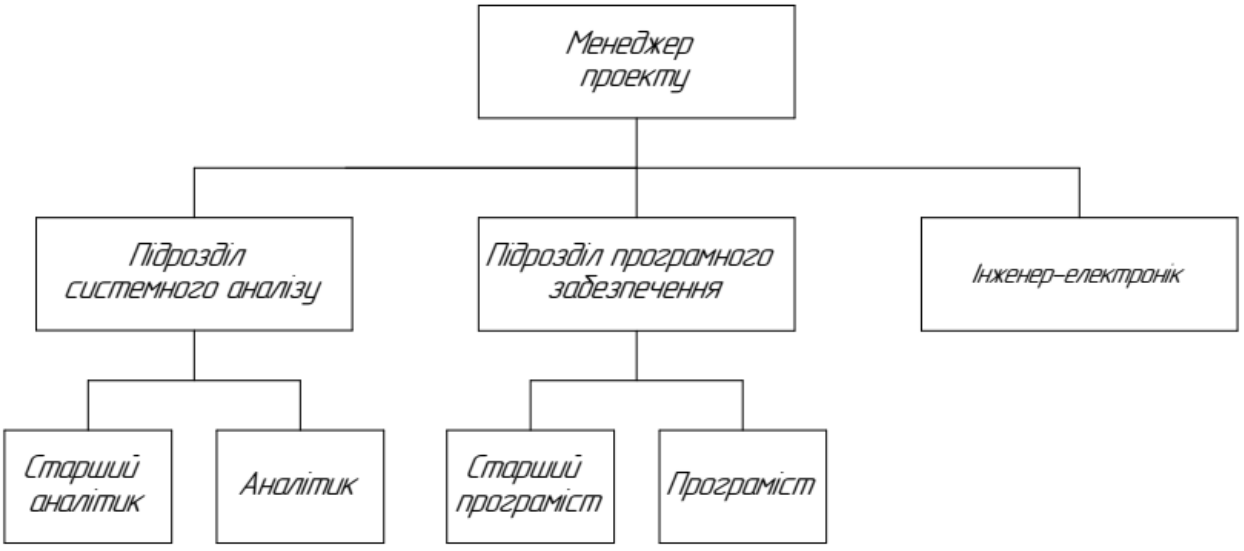


Рисунок 5.2 – Організаційна структура проекту - OBS

5.5 Структура затрат проекту - CBS

CBS (Cost Breakdown Structure) будується в результаті декомпозиції загальних витрат на проект. Структура CBS наведена на рис. 5.3.



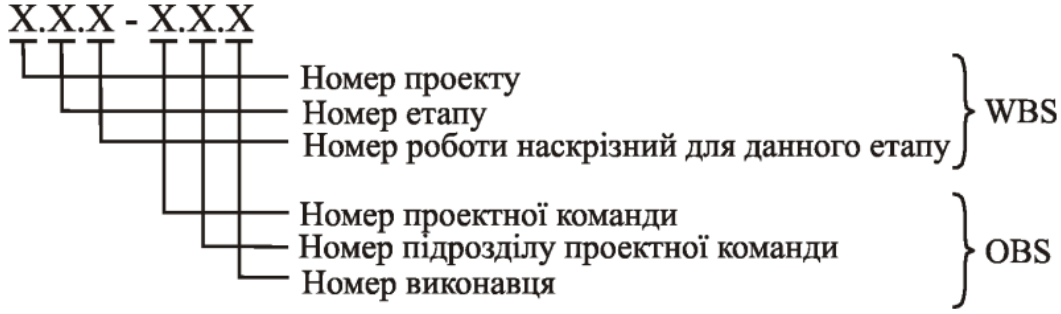
Рисунок 5.3 – Структура затрат проекту - CBS

5.6 Матриця відповідальності

Матриця відповідальності закріплює роботи за виконавцями та встановлює їх міру відповідальності. Вона пов'язує WBS та OBS і наведена у табл. 5.3.

5.7. Система кодування проекту

Система кодування дозволяє структурувати проект, встановити взаємовідносини WBS та OBS. У кодуванні використовуються багатозначні коди. Структуру коду введено за допомогою наступної форми [38]:



Таблиця 5.3 - Матриця відповідальності

Виконавці	Роботи												
	Аналіз методів вимірювання концентрації озону	Підготовка технічного звіту	Структура системи вимірювання	Візуально-блочна модель системи вимірювання	Розширена модель системи вимірювання	Дослідження моделі системи вимірювання у	Підготовка технічного звіту	Структура системи обробки сигналів сенсорів	Розробка схеми блоку обробки сигналів сенсорів	Розробка програмного коду керування	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору тиску
Менеджер проекту				p	p	p				p	p	p	p
Старший аналітик	p	p	p	s	s	s		p	p				
Аналітик	s	s	s	+	+	+	p	s	s		+	+	+
Старший програміст			+				+			s			
Програміст										+			
Інженер електронік	+	+	+				s	+	+		s	s	s

p - первинна відповідальність, s - вторинна відповідальність, + - виконавець

Продовження таблиці 5.3 - Матриця відповідальності

Виконавці	Роботи					
	Обґрунтування обрання інструментарію розробки друкованої плати	Розробка топології міжелементних з’єднань друкованої плати	Особливості технології виготовлення і складання друкованої плати	Усунення недоліків роботи системи	Аналіз результатів	Підготовка технічного звіту
Менеджер проекту					p	p
Старший аналітик	p	p	p	p	s	s
Аналітик	s	s	s	s		+
Старший програміст				+	+	
Програміст						
Інженер електронік	+	+	+			

p - первинна відповідальність, s - вторинна відповідальність, + - виконавець

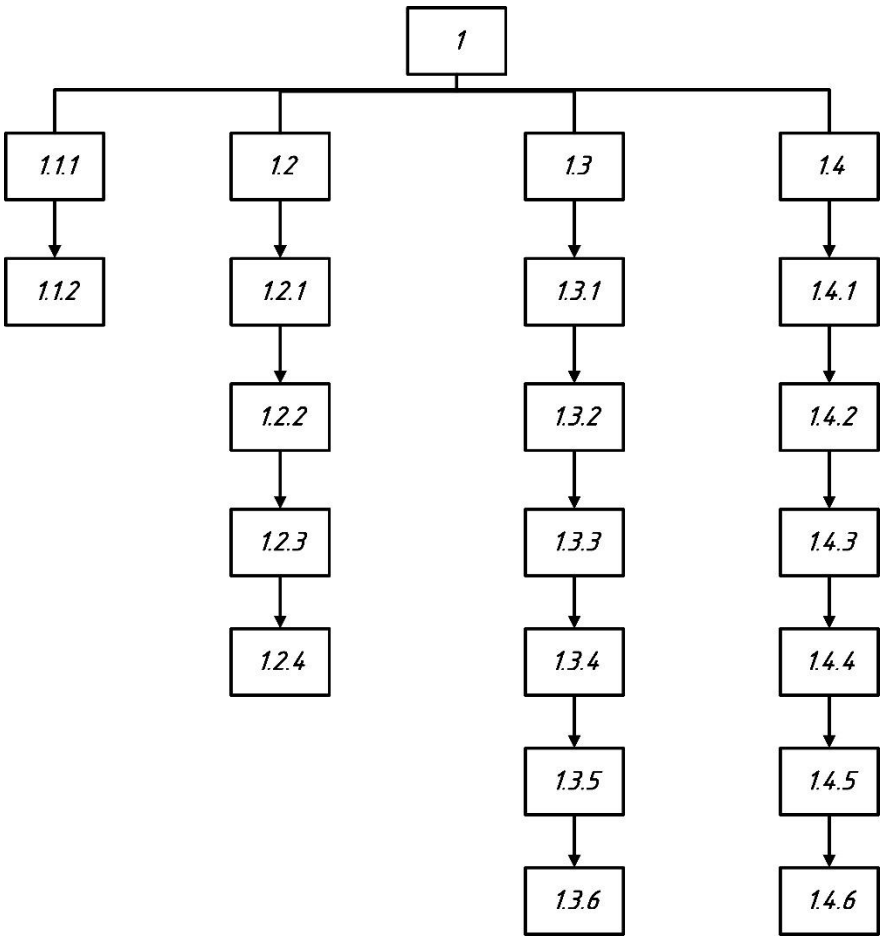


Рисунок 5.4 - Система кодування WBS

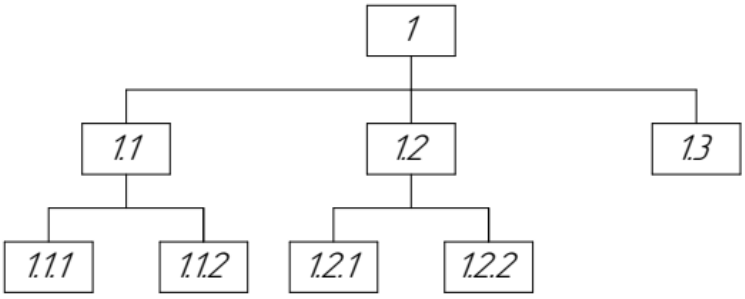


Рисунок 5.5 - Система кодування OBS

5.8 CTR - каталог

Після створення системи кодування було зроблено словник (табл. 5.4), який визначає елементи й облік затрат та гарантує розуміння усім залученим до проекту зміст і значення елементів WBS та OBS [38].

Таблиця 5.4 - CTR - каталог

№	Код роботи	Назва чи зміст роботи	Затрати, грн	Тривалість, дні	Необхідні ресурси
1	2	3	4	5	6
1	1.1.1-1.1	Аналіз методів вимірювання концентрації озону	19500	5	Аналітик 2 особи Електронік 1 особа
2	1.1.2-1.1	Підготовка технічного звіту	15600	4	Аналітик 2 особи Електронік 1 особа
3	1.2.1-1.1	Структура системи вимірювання концентрації озону	32400	6	Аналітик 2 особи Програміст 1 особа Електронік 1 особа
4	1.2.2-1.2.1	Візуально-блочна модель системи вимірювання концентрації озону	8800	2	Менеджер 1 особа Аналітик 2 особи
5	1.2.3-1.2.2	Розширена модель системи вимірювання концентрації озону	17600	4	Менеджер 1 особа Аналітик 2 особи
6	1.2.4-1.2.3	Дослідження моделі системи вимірювання концентрації озону	17600	4	Менеджер 1 особа Аналітик 2 особи
7	1.2.5-1.2.4	Підготовка технічного звіту	16800	4	Електронік 1 особа Програміст 1 особа Аналітик 1 особа
8	1.3.1-1.2.4	Структура системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції	11700	3	Аналітик 2 особа Електронік 1 особа
9	1.3.2.-1.3.1	Розробка схеми електричної принципової блоку обробки сигналів сенсорів	23400	6	Аналітик 2 особа Електронік 1 особа
10	1.3.3-1.2.3	Розробка програмного коду керування мікроконтролером	25000	5	Менеджер 1 особа Програміст 2 особи

Продовження таблиці 5.4

1	2	3	4	5	6
11	1.3.4-1.3.2	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору озону	14100	3	Електронік 1 особа Менеджер 1 особа Аналітик 1 особа
12	1.3.5-1.3.2	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору вологості і температури	14100	3	Електронік 1 особа Менеджер 1 особа Аналітик 1 особа
13	1.3.6-1.3.2	Моделювання підсистеми обробки сигналів сенсору тиску	14100	3	Електронік 1 особа Менеджер 1 особа Аналітик 1 особа
14	1.4.1-1.3	Обґрунтування обрання інструментарію розробки друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів	7800	2	Електронік 1 особа Аналітик 2 особа
15	1.4.2-1.3	Розробка топології міжелементних з’єднань друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів	23400	6	Електронік 1 особа Аналітик 2 особа
16	1.4.3-1.4.2	Особливості технології виготовлення і складання друкованої плати блоку обробки сигналів сенсорів	11700	3	Електронік 1 особа Аналітик 2 особа
17	1.4.4-1.3	Усунення недоліків роботи системи	27300	7	Програміст 1 особа Аналітик 2 особи
18	1.4.5-1.3	Аналіз результатів	25900	7	Менеджер 1 особа Програміст 1 особа Аналітик 1 особа
19	1.4.6-1.3	Підготовка технічного звіту	35200	8	Менеджер 1 особа Аналітик 2 особи

5.9 Стрілчастий графік

Стрілчастий графік являє собою граф, вузлам якого відповідають події, а стрілкам – роботи [38]. При побудові стрілчастого графіку використовуються позначення приведені на рис. 5.6. Стрілчастий графік представлено на рис. 5.7.

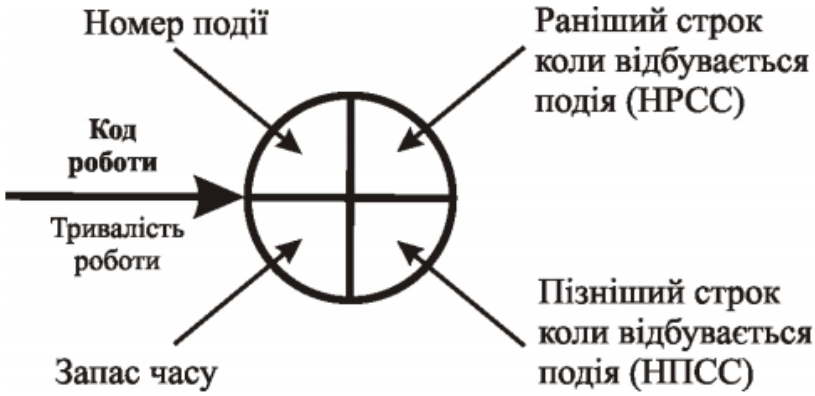


Рисунок 5.6 - Позначення для стрілчастого графіку

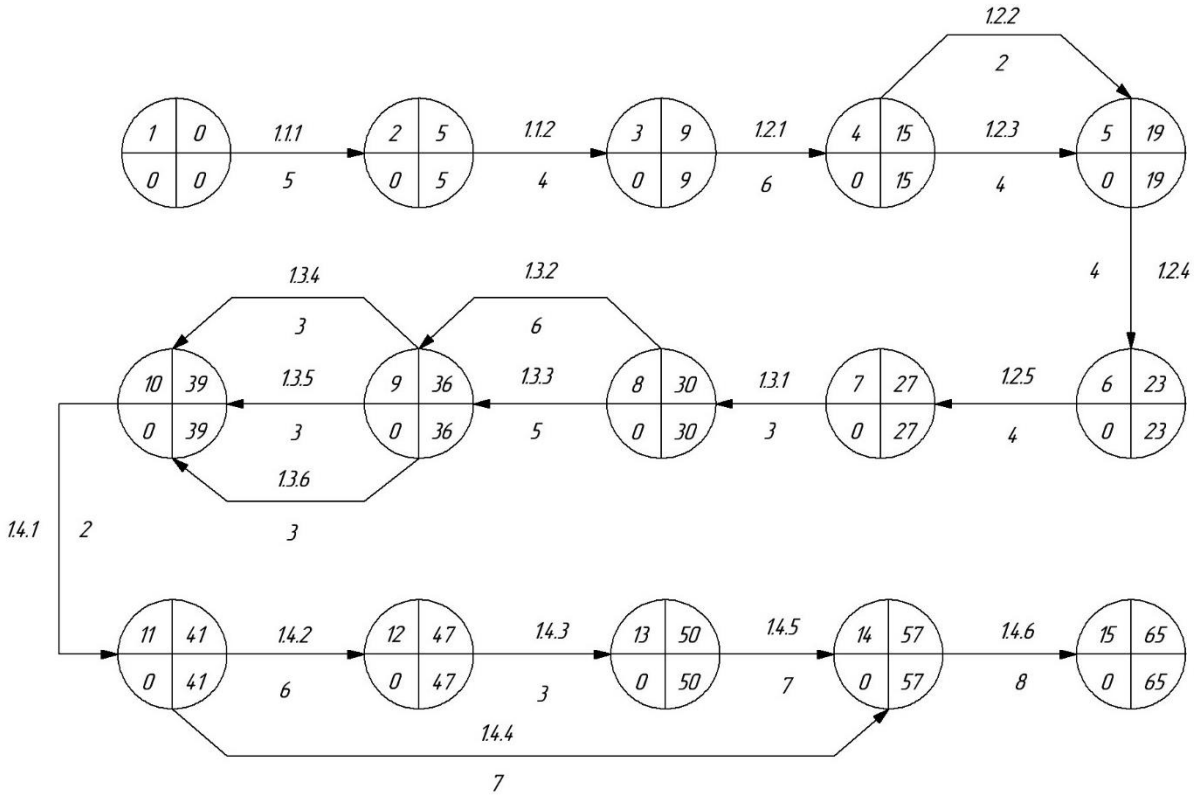


Рисунок 5.7 - Стрілчастий графік

5.10 Розрахунок тривалості проекту з урахуванням запасів часу

Більшість реальних проектів виконуються в умовах невизначеності стосовно строків виконання деяких робіт. Тому при визначенні загального терміну виконання проекту потрібно враховувати імовірнісний характер визначення термінів виконання робіт. Для визначається три оцінки для кожної і-ї роботи, що входять до критичного шляху, за допомогою експертної оцінки:

- a_i - оптимістичний прогноз тривалості і-ї роботи;
- b_i - песимістичний прогноз тривалості і-ї роботи ;
- m_i - найбільш ймовірний прогноз тривалості і-ї роботи.

Далі було проведено розрахунок дисперсної тривалості і-ї роботи за допомогою формули [38]:

$$\sigma^2{}_i = \left(\frac{b_i - a_i}{6}\right)^2 \tag{5.1}$$

Після цього було розраховано математичне очікування тривалості і-ї роботи за допомогою формули [38]:

$$t_i = \frac{a_i + 4 \cdot m_i + b_i}{6} \tag{5.2}$$

Математичне очікування проекту визначається за допомогою формули:

$$t = \sum_{i=1}^{n} t_i \,, \tag{5.3}$$

де n - кількість робіт, що належать до критичного шляху.

Стандартне відхилення терміну виконання проекту визначено через формулу [38]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma^2_i} \tag{5.4}$$

Результати занесено в табл. 5.5

Таблиця 5.5 - Тривалість проекту з урахуванням запасів часу

Код роботи	$\mathbf{a_i}$	$\mathbf{m_i}$	$\mathbf{b_i}$	$\boldsymbol{\sigma_i^2}$	$\mathbf{t_i}$
1.1.1	4	5	8	0,44	5,33
1.1.2	3	4	10	1,36	4,83
1.2.1	4	6	12	1,78	6,67
1.2.3	3	4	6	0,25	4,17
1.2.4	2	4	6	0,44	4,00
1.2.5	2	4	6	0,44	4,00
1.3.1	2	3	5	0,25	3,17
1.3.2	4	6	9	0,69	6,17
1.3.3	2	3	5	0,25	3,17
1.4.1	1	2	4	0,25	2,17
1.4.2	4	6	8	0,44	6,00
1.4.3	2	3	5	0,25	3,17
1.4.5	5	7	9	0,44	7,00
1.4.6	5	8	12	1,36	8,17
				$\boldsymbol{\sigma}$	t
				2,94	68

Ймовірність виконання проекту було прийнято в 0,9. Тоді величина φ визначається як:

$$\varphi = F\text{-}0.5 = 0.9\text{-}0.5 = 0.4 \quad (5.5)$$

По таблиці нормального розподілу φ(z) [38] було визначено z = 1,29. Далі було проведено розрахунок необхідного терміну виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90%:

$$Q = z \cdot \sigma + t = 1{,}29 \cdot 2{,}94 + 68 = 72 \quad (5.6)$$

Отже, термін виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90%, становить 72 робочих дні.

6 ВИМОГИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ У НАУКОВО-ДОСЛІДНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

6.1 Основи положення технічної безпеки в лабораторії

Науково-технічний прогрес вносить принципові нововведення в усі сфери матеріального виробництва, впливає на умови і безпеку праці [39]. Так, атомна енергія, автоматизація та електроніка, хімізація, кібернетика, комп'ютеризація докорінно змінюють засоби і предмети праці, технології, методи управління, а також умови праці.

Процес поступової заміни природних функцій людини засобами техніки досяг особливої важливості в період сучасної науково-технічної революції. Впровадження дистанційного керування принесло новий елемент у взаємини людини і техніки, який полягає в можливості винесення управління виробництвом за межі технологічного процесу і заміні безпосереднього спостереження за виробничим процесом контролем за станом сигнальних систем на пульті управління. А при застосуванні ЕОМ [40] взагалі відпадає необхідність у спостереженні за сигнальними пристроями, оскільки вона сама аналізує сигнали надходження і дає вказівки виконавчим органам. Такий поділ оператора і реального стану технологічного процесу, заміна його системою кодів привели до того, що оператор, на думку психологів, діє в реальному і одночасно віртуальному світі - світі знаків, кодів, моделей, символів. Він позбавлений можливості реально сприймати керовані об'єкти, оскільки вони віддалені від нього або небезпечні для безпосереднього нагляду. Оператор несе реальну відповідальність, у нього виникають реальні емоційні хвилювання, але джерелом цих хвилювань є не реальний світ, який впливає безпосередньо на нього, а деяка інформаційна модель даного світу.

6.2 Пожежна безпека при виробництві

Протипожежний захист - це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі [39].

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу в разі виникнення вогнища загоряння і вказує місця розташування пожежної техніки.

Небезпечний фактор пожежі (НФП) - фактор пожежі, вплив якого призводить до травми, отруєння або загибелі людини, а також до матеріальних збитків. Встановлено такі НФП:

- дим;
- відкрите полум'я і іскри;
- токсичні продукти горіння;
- знижена концентрація кисню;
- підвищена температура навколишнього середовища;
- небезпечні фактори, які проявляються в результаті вибуху (ударна хвиля, полум'я, обвалення і розліт осколків, утворення шкідливих речовин з концентрацією в повітрі вище ГДК);
- наслідки: руйнування і пошкодження об'єкта.

Пожежі представляють особливу небезпеку, тому що пов’язані з великими матеріальними втратами. Як відомо пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. Для оцінки пожежної небезпеки проведених робіт необхідно знати, які вогненебезпечні речовини або суміші, і в якій кількості використовуються. Тривалість пожежі і його температурний режим обумовлюються кількістю горючих матеріалів в

приміщенні, їх пожежо- та вибухонебезпечними властивостями. Особливо різноманітні кількісні та якісні показники небезпеки пожежі у виробничих будівлях і приміщеннях, які поділяються за вибухопожежній та пожежній небезпеці на категорії (А, Б, В, Г, Д). Згідно з цими категоріями виробниче приміщення, де виготовляється прилад, відноситься до категорії В. У таких приміщеннях горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін. При включенні різних приладів (в тому числі і ПЕОМ) в електричну мережу можлива пожежа з наступних причин:

- перевантаження електричної мережі внаслідок підключення до неї надмірно великої кількості споживачів енергії;

- коротке замикання проводів;

- велике перехідний опір в розетках електричного кола і в роз'ємах, службовців для підключення шнура електричного живлення до приладу. Шнури живлення електричних приладів повинні задовольняти вимогам щодо перетину шнурів і їх електричної міцності в залежності від потужності споживаної приладами.

У сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції і кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи є додаткову пожежну небезпеку.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих загорянь, відносяться пожежні стовбури, внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри, тощо.

У будівлях пожежні крани встановлюються в коридорах, на майданчиках сходових клітин та входів. Вода використовується для гасіння пожеж в приміщеннях програмістів, бібліотеках, допоміжних і службових

приміщеннях. Застосування води в машинних залах ЕОМ, сховищах носіїв інформації, приміщеннях контрольно-вимірювальних приладів, зважаючи на небезпеку пошкодження або повного виходу з ладу дорогого устаткування можливо у виняткових випадках, коли пожежа приймає загрозливо великі розміри. При цьому кількість води має бути мінімальним, а пристрої ЕОМ необхідно захистити від попадання води, накриваючи їх брезентом або полотном. Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. По виду використовуваного вогнегасної речовини вогнегасники поділяються на такі основні групи.

Пінні вогнегасники, застосовуються для гасіння палаючих рідин, різних матеріалів, конструктивних елементів та устаткування, крім електрообладнання, що знаходиться під напругою.

Газові вогнегасники застосовуються для гасіння рідких і твердих речовин, а також електроустановок, що знаходяться під напругою. У виробничих приміщеннях, де встановлені ЕОМ, застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

6.3 Санітарні норми для роботи в лабораторії

Кожна людина має працювати у належних умовах. Тому для її нормальної життєдіяльності в умовах лабораторії треба створити санітарні умови, які б дали змогу їй успішно працювати, не перевтомлюючись та зберігаючи своє здоров'я [41]. Для цього треба, щоб енергетичні витрати при праці компенсувалися відпочинком та умовами навколишнього середовища. Ці умови створюються забезпеченням працюючого:

- зручним робочим місцем;

- чистим повітрям, необхідним для нормальної життєдіяльності;

- захистом від дії шкідливих речовин та випромінювання, що можуть потрапити в робочу зону;

- нормованою освітленістю;

- захистом від шуму та вібрацій;

- засобами безпеки при роботі з травмонебезпечним обладнанням;

- робочим одягом та різними засобами індивідуального захисту (за необхідності);

- побутовими приміщеннями та спеціальними службами, що призначені створювати безпечні та нормальні санітарні умови праці;

- медичним обслуговуванням та санітарно-профілактичними заходами, що призначені для збереження здоров'я.

Параметри повітря у виробничих приміщеннях повинні відповідати санітарним нормам та ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Стан повітря робочої зони в виробничому приміщенні називають мікрокліматом або метеорологічними умовами [41]. Мікроклімат або метеорологічні умови виробничих приміщень визначаються за такими параметрами:

- температурою повітря в приміщенні, °С;

- відносною вологістю повітря, %;

- рухливістю повітря, м/с;

- тепловим випромінюванням, Вт/м^3.

Всі ці параметри поодинці, а також у комплексі впливають на фізіологічну функцію організму - його терморегуляцію і визначають самопочуття. Температура людського тіла повинна залишатися постійною, у межах 36-37 С, незалежно від умов прані.

Також робоче місце у лабораторії має відповідати нормам розташування, особливо коли людина має справу з комп’ютерами та електричними установами. Відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99 є неприпустимим розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах.

Також забороняється розташування вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б, та виробництвом з мокрими технологічними процесами поряд з приміщеннями, або під ними. Окрім того, виробничі приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати з приміщеннями, у яких рівень шуму і вібрації перевищує допустиме значення.

Планування розміщення комп'ютерних робочих місць у приміщені слід проводити із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м.
- прохід між рядами робочих місць повинен бути не менше 1 м.

Необхідно також врахувати розмір меблів на комп'ютерних робочих місцях, зокрема робочий стіл. Відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99 рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ становлять: висота – 725 мм; ширина – 600-1400 мм; глибина – 800-1000 мм.

Найкраще розмішувати комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стінок з вікнами. Це дасть змогу виключити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природнього світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору оператора, що погіршує умови їх зорової роботи.

6.4 Дослідження засобів ураження струмом і надання першої допомоги потерпілим

Для забезпечення захисту людей від ураження електричним струмом використовуються окремо або в поєднанні один з одним такі технічні способи та засоби як [42]: захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, захисне відімкнення, ізоляція провідників із струмом,

огороджувальні пристрої, попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки, засоби захисту та запобіжні пристрої.

В якості провідників для заземлення можуть бути використані металеві конструкції будівель, стальні труби, стальні оболонки кабелів, круглі провідники діаметром не менше 5 мм, голі мідні і алюмінієві провідники перерізом 4 і 6 мм^2, жили кабелів перерізом для міді - 1 мм^2, для алюмінію - 1,5 мм^2, кутова сталь та ін . Вертикальні заземлювачі (довжиною 2,5-3 м) з'єднують стальною шиною, яку приварюють до кожного заземлювача Захисне заземлення необхідно періодично переглядати і ремонтувати . В лабораторіях та кабінетах по периметру кімнати прокладають заземлювальну лінію (стальний прут діаметром 7 мм) і з'єднують її шляхом зварювання з нульовим провідником, природним чи штучним заземлювачем Від утвореного контуру зварюванням або жорстким болтовим з'єднанням виконують металеві відводи до каркасу електророзподільного щита, до корпусів електродвигунів.

Для захисту від дотику до частин, що знаходяться під напругою, використовується також подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої та додаткової ізоляції. Опір електроізоляції ручних електричних машин повинен бути більше 2,5 МОм, силової і освітлювальної електропроводки - вище 0,5 МОм . Перевірку ізоляції електроінструменту слід проводити мегаометром не рідше 1 разу в квартал, електропроводки - не рідше 1 разу в 3 роки.

За призначенням електрозахисті засоби поділяються на ізолюючі (діелектричні рукавиці, боти, калоші, килимки, ізольовані підставки, інструмент з ізолюючими ручками, ізолюючі штанги, кліщі тощо), огороджувальні (переносні огородження, заземлення тощо) та запобіжні (пояси, захисні окуляри, каски, спеціальні рукавиці) Засоби індивідуального електрозахисту є захисні костюми, взуття і рукавиці.

Якщо ж ураження струмом все ж такі відбулося, то потерпілому слід надати першу допомогу. Заходи першої допомоги залежать від стану, в якому

знаходиться потерпілий після звільнення його від електричного струму. Для визначення цього стану необхідно провести наступні заходи:

− покласти потерпілого на спину на тверду поверхню;

− перевірити наявність у потерпілого дихання (визначається з підйому грудної клітки або яким-небудь іншим способом);

− перевірити наявність у потерпілого пульсу на променевої артерії у зап'ястя або на сонній артерії на передньо-боковій поверхні шиї;

− з’ясувати стан (вузький або широкий).

У всіх випадках ураження електричним струмом виклик лікаря є обов'язковим незалежно від стану потерпілого.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження електричним струмом не виключає можливості подальшого погіршення стану, потерпілого. У разі відсутності можливості швидко викликати лікаря, необхідно терміново доставити потерпілого до лікувального закладу, забезпечивши для цього необхідні транспортні засоби або носилки.

Якщо потерпілий знаходиться в несвідомому стані, але з збережені стійким диханням і пульсом, його слід рівно і зручно укласти, розстебнути одяг, створити приплив свіжого повітря, давати нюхати нашатирний спирт, кропити його водою і забезпечувати повний спокій. Одночасно потрібно викликати терміново лікаря. Якщо потерпілий погано дихає - дуже рідко і судорожно (як вмираючий), йому слід негайно робити штучне дихання і масаж серця.

При відсутності у потерпілого ознак життя (дихання та пульсу) не можна вважати його мертвим, так як смерть часто буває лише здавалося б. У такому стані постраждалий, якщо йому не буде надана негайна перша допомога на увазі штучного дихання і зовнішнього (непрямого) масажу серця, дійсно помре.

Переносити потерпілого в інше місце слід тільки в тих випадках, коли йому або особа, послугами допомогу, продовжує загрожувати небезпека або коли надання допомоги на місці неможливо.

Ураженого електричним струмом можна визнати мертвим тільки в разі наявності видимих важких зовнішніх пошкоджень, наприклад у випадку роздроблення черепа, при падінні або при обгоранні всього тіла. В інших випадках констатувати смерть має право тільки лікар.

6.5 Розрахунок одиночного заземлення у будівлі

Для запобігання електричних травм, які можуть бути викликані при торканні металевих конструкцій або корпусів електроустаткування, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, а також для захисту апаратури влаштовуються захисні заземлення, що представляють собою навмисне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих частин електроустановок, що не перебувають під напругою [42]. Розрахунок заземлюючого пристрою здійснюють виходячи з його максимально припустимого опору, встановленого для відповідного обладнання [42].Схема заземлення з нейтраллю наведена на рис. 6.1.

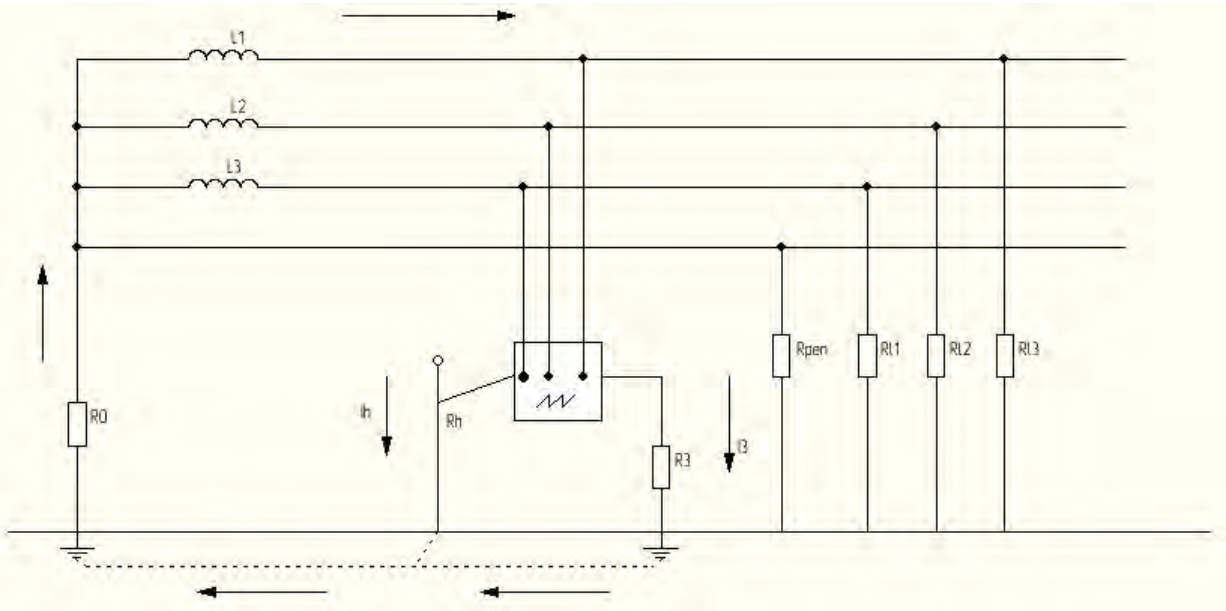


Рисунок 6.1 – Схема заземлення з нейтраллю

В електроустановках напругою вище 1000 В у мережі з заземленою нейтральний опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 0,5 Ом в будь-який час року, тобто $R_{\text{доп}} \leq 0{,}5$ Ом.

Визначимо розрахункове питомий опір $\rho_\gamma = \rho * \varphi$, де ρ - питомий опір ґрунту, Ом * м, φ - кліматичний коефіцієнт. Вибираємо тип ґрунту - суглинок з опором $\rho = 100$ Ом * м, а кліматичний коефіцієнт відповідно до зони $\varphi = 1{,}5$. Тоді розрахункова питомий опір буде визначено:

$$\rho_\gamma = \rho * \varphi = 100 * 1{,}5 = 150 \text{ Ом} * \text{м} \tag{6.1}$$

Виберемо тип заземлювача і його розміри. Штучний заземлювач відноситься до типу трубчастий або стрижневий довжиною $l = 3$ м і діаметром $d = 0.05$ м. Відстань від заземлювача до поверхні землі в розрахунках приймемо рівним $h = 0{,}8$ м. Розрахуємо опір розтікання одиночного трубчастого заземлювача:

$$R_0 = \frac{\rho_\gamma}{2\pi * l}\left(ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}ln\frac{4H+l}{4H-l}\right), \tag{6.2}$$

де $H = h + \frac{1}{2} = 0{,}8 + \frac{3}{2} = 2{,}3$ м – відстань від поверхні землі до середини заземлювача.

Використовуючи наведені дані, отримаємо:

$$R_0 = \frac{150}{2*3{,}14*3}\left(ln\frac{2*3}{0.05} + \frac{1}{2}ln\frac{4*2{,}3+3}{4*2{,}3-3}\right) = 40{,}795 \text{ Ом} \quad . \tag{6.3}$$

Кількість паралельно з’єднаних одиночних заземлювачів, необхідних для отримання допустимого значення опору заземлення, без урахування опору смуги з’єднання, становитиме:

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{доп}} * \text{ŋ}}, \tag{6.4}$$

де - ŋ коефіцієнт використання групового заземлювача. Згідно з довідковими даними, кількість паралельно з'єднаних одиночних заземлювачів повинно бути не менше двох. Так як ми розраховуємо одиночне заземлення, то з довідкових таблиць вибираємо ŋ=1. Тоді:

$$n = \frac{40.795}{0.5 * 1} = 81.59 \approx 82 \quad . \tag{6.5}$$

Довжина смуги з'єднання визначається як:

$$L = a(n - 1), \tag{6.6}$$

де a=3 м - відстань між вертикальними заземлювачами.

Відповідно $L = 3(82 - 1) = 243$ м. Розрахуємо опір R_n смуги з'єднання, використовуючи формулу:

$$R_n = \frac{\rho_\gamma}{2\pi * L} ln \frac{2L^2}{d * h}, \tag{6.7}$$

де d - еквівалентний діаметр сполучної смуги шириноюb. У розрахунках приймаємо, що d=0,95b прb=15 см. Тоді:

$$R_n = \frac{150}{2 * 3{,}14 * 243} ln \frac{2 * 243^2}{0{,}95 * 15 * 0{,}8} = 1{,}357 \text{ Ом} \quad . \tag{6.8}$$

Виходячи із знайдених значень, можна розрахувати опір всього заземлювального пристрою з урахуванням сполучної смуги:

$$R = \frac{R_0 R_n}{R_0 \text{ŋ}_n + R_n n \text{ŋ}}, \tag{6.9}$$

де η_n - коефіцієнт використання сполучної смуги, вибирається з довідника і відповідно до заданих умов має значення $\eta_n = 1$.

$$R = \frac{40{,}795*1{,}357}{40{,}795*1+1{,}357*82*1} = 0{,}364 \text{ Ом} \quad . \tag{6.10}$$

Таким чином, опір розтікання групового штучного заземлювача дещо менше заданого 0,5 Ом, що підвищує безпеку заземлення будівлі.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що сучасним напрямком розвитку сенсорів розчиненого озону є створення soft первинних перетворювачів.

2. Розроблено структура озонатору з сенсорами вимірювальної системи.

3. Розроблено візуально-блочну модель системи вимірювання концентрації озону, що реалізована в середовищі Simulink. Показано, що кількісно результати моделювання різняться на максимальну величину похибки, яка виникає внаслідок змін, що вносяться газотранспортною системою озонаторної станції

4. Розроблено візуально – блочну модель системи вимірювання концентрації озону з врахуванням геометрії труб і умов навколишнього середовища, що дозволяє шляхом реалізації на програмно-апаратної платформі системи вимірювання підвищити її функціональність і точність визначення концентрації озону у складі озонаторних станцій.

5. Розроблено структуру системи обробки сигналів сенсорів озонаторної станції і схеми електричні принципові блоків обробки сигналів вхідних і вихідних сенсорів.

6. Проведені дослідження підтвердили працездатність розроблених схем.

7. Розроблено двошарову друковану плату датчика з розмірами 42х39х25 мм.

8. Встановлено, що термін виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90%, становить 72 робочих дні.

9. Визначені потенційні небезпечні та шкідливі фактори у приміщенні лабораторії з дослідження системи визначення концентрації озону і розроблено заходи з поліпшення умов праці.

10. Результати роботи пройшли апробацію на трьох науково-технічних конференціях.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Tseng C., Li C. Inactivation of Surface Viruses by Gaseous Ozone. *Journal of Environment Health*. 2008. Vol. 70, №10. P. 56–62.

2. Penru Y., Andrea R. Guastalli, Esplugas S., Baig S. Disinfection of Seawater: Application of UV and Ozone. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association*. 2013. Vol. 35, №1. P. 63–70.

3. Rivas J., Gimeno O., Beltrán F. Wastewater Recycling: Application of Ozone Based Treatments to Secondary Effluent. *Chemosphere*. 2009. Vol. 74, №6. P. 854–859.

4. Naitou S., Takahara H. Recent Developments in Food and Agricultural uses of Ozone as an Antimicrobial Agent-Food Packaging Film Sterilizing Machine using Ozone. *Ozone: Science and Engineering*. 2008. Vol. 30, №1. P. 81–87.

5. Venta M. B. et al. Ozone Application for Postharvest Disinfection of Tomatoes. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association*. 2010. Vol. 32, №5. P. 361–371.

6. Alothman M., Kaur B., Fazilah A., Bhat R., Karim A. A. Ozone-induced Changes of Antioxidant Capacity of Fresh-cut Tropical Fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2010. Vol. 11, №4. P. 666–671.

7. Щербатюк Т. Г., Новикова Я. С., Андреєва О. А. Біологічні аспекти озонування та аргонування води. *Укладачі, дизайн та верстка*. 2023. С. 161.

8. Devkota J., Ohodnicki P., Greve D. SAW Sensors for Chemical Vapors and Gases. *Sensors*. 2017. No 17. P. 801.

9. Критська Т. В., Туришев К. О., Таранець А. В. Екологічні та технічні пер-спективи застосування кисню й озону. Металургія. 2016. № 2. С. 119–122.

10. Maria D. L., Bartalesi D. A Fiber-Optic Multi-sensor System for Predischarges Detection on Electrical Equipment. *IEEE Sensors Journal*. 2012. Vol. 12, № 1. P. 207–212.

11. Washenfelder R. A., Wagner N. L., Dube W. P., Brown S. S. Measurement of Atmospheric Ozone by Cavity Ring-down Spectroscopy. *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 45, No7. P. 2938–2944.

12. Puschell J. J. et al. Trace Tropospheric Species Sensing-Fabry-Perot-Interferometer (TTSS-FPI): Spaceborne Sensor Concept Studies for Measuring Tropospheric Ozone. *Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing Instruments and Applications II, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2005. Vol. 5655. C. 181–189.

13. Köhring M., Willer U., Böttger S., Pohlkötter A., Schade W. Fiber-Coupled Ozone Sensor Based on Tuning Fork-Enhanced Interferometric Photoacoustic Spectroscopy. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2012. Vol. 18, No5. P. 1566–1572.

14. Chien F. S. S. et al. Fast-response Ozone Sensor with ZnO Nanorods Grown by Chemical Vapor Deposition. *Sensors and Actuators B : Chemical*. 2010. Vol. 144, No 1. P. 120–125.

15. Park Y. et al. Development of an Ozone Gas Sensor using Single - walled Carbon Nanotubes. *Sensors and Actuators B : Chemical*. 2009. Vol. 140, No 2. P. 407–411.

16. Maruo Y. Y., Kunioka T., Akaoka K., Nakamura J. Development and Evaluation of Ozone Detection Paper. *Sensors and Actuators B : Chemical*. 2009. Vol. 135, No 2. P. 575–580.

17. Nakagawa H., Okazaki S., Asakura S., Shimizu H., Iwamoto I. A New Ozone Sensor for an Ozone Generator. *Sensors and Actuators B : Chemical*. 2001. Vol. 77, No 1-2. P. 543–547.

18. Zhang H., Liu Z., Xu D., Wang N. Soft-Sensor of Ozone Concentration in Ozone Generation System. *Ozone : Science & Engineering : The Journal of the International Ozone Association*. 2010. Vol. 32, No 1. P. 56–60.

19. Nazaroff William W., Charles J. Weschler. Indoor ozone: Concentrations and influencing factors. *Indoor air* 32.1. 2022. E. 12942.

20. Manap H., Muda R., O'Keeffe S., Lewis E. Ammonia Sensing and a Cross Sensitivity Evaluation with Atmosphere Gases using Optical Fiber Sensor. *Procedia Chemistry*. 2009. Vol. 1, No 1. P. 959–962.

21. Кісельов Є. М., Постернак О. С. Аналіз параметрів ультрафіолетових світлодіодів для абсорбційних оптичних датчиків озону. Геостратегічні трансформації та траєкторія національної безпеки в контексті відбудови і сталого розвитку України : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (25–26 травня 2023 року, м. Запоріжжя). Одеса : Олді+, 2023. С. 388-389.

22. Кісельов Є. М., Кісельов В. Є. Система безперервного вимірювання концентрації озону у рідині. Сучасні виклики та напрями вдосконалення в економічній та технічній наукових сферах : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (5-6 грудня 2023 р., м. Запоріжжя) Запоріжжя: ЗНУ, 2023. С. 302-304.

23. Кісельов Є. М., Кісельов В. Є. Дослідження каналу передавання даних бездротового датчику озону. Геостратегічні трансформації та траєкторія національної безпеки в контексті відбудови і сталого розвитку України : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (25–26 травня 2023 року, м. Запоріжжя). Одеса : Олді+, 2023. С. 384-387.

24. MPS20N0040D-D Sphygmomanometer Pressure Sensor : Хабр. URL: https://www.javanelec.com/stfiles/getappdocument/1/true/905f398e-a02e-4333-a633-031f5676e110.pdf. (дата звернення: 15.11.2024).

25. G1/2 inch Water Flow Sensor : Seeed Studio Wiki. URL: https://files.seeedstudio.com/wiki/G1_and_2_inch_Water_Flow_Sensor/res/Water_flow_sensor_datasheet.pdf. (дата звернення: 15.11.2024).

26. Behbahani-Nejad M., Bagheri A. The accuracy and efficiency of a MatLab-Simulink library for transient flow simulation of gas pipelines and networks. J. of Petroleum Sci. and Engin. 2010. №. 70(3). P. 256–265.

27. MQ131 High Concentration Ozone Gas Sensor—Winsen. URL: https://www.winsen-sensor.com/sensors/o3-gas-sensor/mq131-h.html?campaignid=10464433153&adgroupid=109285022048&feeditemid=&targetid=kwd-3556217

91831&device=c&creative=446277586479&keyword=mq131%20ozone%20sensor&gclid=CjwKCAjwov6hBhBsEiwAvrvN6Ca_Bvc-Z_ZpKPM7YgbpDPOyvAGiR71I2qBP3UToZM51YS5B1xe0jxoC5X8QAvD_BwE. (дата звернення: 15.11.2024).

28. ATmega328P URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf. (дата звернення: 15.11.2024).

29. Кісельов В. Є. Розробка датчика озону з бездротовим каналом передавання даних : кваліфікаційна робота бакалавра спеціальності 171 "Електроніка" / наук. керівник К. О. Туришев. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 89 с.

30. Components 101: DHT11–Temperature and Humidity Sensor. URL : https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor. (дата звернення: 15.11.2024).

31. ATMEGA328P-PU : Mini-Tech. URL : https://www.mini-tech.com.ua/atmega328p-pu. (дата звернення: 15.11.2024).

32. Microsoft Word - hx710ab. URL : https://www.micros.com.pl/mediaserver/info-uphx710b%20smd.pdf. (дата звернення: 15.11.2024).

33. Електроніка : Proteus Design Suite Version 8. URL : http://www.labcenter.com/index.cfm. (дата звернення: 15.11.2024).

34. Пархоменко А. В., Притула А. В., Крищук В. М. Автоматизоване проектування електронних засобів в середовищах Creo та AlTIUM DESIGNER : навч. посіб. Запоріжжя: Дике Поле. 2016. 250 с.

35. Програмне забезпечення для проектування електроніки : SOFT. URL : https://ictech.com.ua/software/. (дата звернення: 15.11.2024).

36. Опис – DipTrace. URL : https://www.diptrace.com/ua/diptrace-software/. (да-та звернення: 15.11.2024).

37. Крилик Л. В. Монтаж радіоелектронних приладів. Спеціальна технологія : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ. 2017. 75 с.

38. Алексієвський Д. Г., Кісельов Є. М., Критська Т. В., Туришев К. О., Шмалій С. Л. Методичні вказівки до написання кваліфікаційних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 171 «Електроніка» освітньої програми «Електроніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2024. 32 с.

39. Кошель В. І., Сав'юк Г. П., Дзундза Б. С. Основи охорони праці : навч.-метод. посіб. Івано-Франківськ : НАІР. 2020. 182 с.

40. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник / за заг. ред. В. В. Сокуренка. Харків : ХНУВС. 2021. 308 с.

41. Абракітов, В. Е. Охорона праці в галузі та цивільний захист : конспект ле-кцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2020. 105 с.

42. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. та ін Електробезпека : підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.

ДОДАТОК А

Зона	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
		Кварцові резонатори		
	ZQ1	TQB-2-16МГц	1	
		Конденсатори		
	C1,2,5	CC-0805-100нФ	3	
	C3,4	CC-0805-0,1мкФ	2	
	C6,8	CC-0805-22нФ	2	
	C7	CC-0805-1мкФ	1	
		Мікросхеми		
	DD1	HX710B	1	
	DD2	ATMega328P-AU	1	
		Резистори		
	R1	CR1206-100МОм±5%	1	
	R2,3,5	CR1206-200Ом±5%	3	
	R4,6,7	CR1206-10кОм±5%		
		Роз'еми		
	XS1	52147-0510	1	
	XS2	52147-0410	1	
	XS3,5	52147-0310	2	
	XS4	52147-0210	1	
		Транзистори		
	VT1	IRF80	1	

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.ПЕЗ		
Виконав		Кісельов В.Е.			БЛОК ОБРОБКИ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ перелік елементів	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перев.		Алексіевський Д.Г.				У	1	1
Реценз.						ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ гр. 8.1713		
Н. контр.		Туришев К.О.						
Затв.		Критська Т.В.						

```
#include "MQ131.h"
#include "DHTStable.h"
#include "HX710B.h"
#define DHT11_PIN 8
DHTStable DHT;
const int DOUT = 4;
const int SCLK  = 3;
HX710B pressure_sensor;

void setup() {
Serial.begin(9600);
dht.begin();
pressure_sensor.begin(DOUT, SCLK);
MQ131.begin(2,A0, HIGH_CONCENTRATION, 1000000);

Serial.println("Calibration in progress...");

MQ131.calibrate();

Serial.println("Calibration done!");
Serial.print("R0 = ");
Serial.print(MQ131.getR0());
Serial.println(" Ohms");
```

```
Serial.print("Time to heat = ");
Serial.print(MQ131.getTimeToRead());
Serial.println(" s");
}

void loop() {
Serial.println("Sampling...");
float h = DHT.getHumidity();
float t = DHT.getTemperature();
if (pressure_sensor.is_ready()) {
   Serial.print("Pascal: ");
   Serial.println(pressure_sensor.pascal());
   Serial.print("ATM: ");
   Serial.println(pressure_sensor.atm());
 } else {
   Serial.println("Pressure sensor not found.");
 }
MQ131.sample();
Serial.print("Concentration O3 : ");
Serial.print(MQ131.getO3(PPM));
Serial.println(" ppm");
Serial.print("Concentration O3 : ");
Serial.print(MQ131.getO3(PPB));
Serial.println(" ppb");
```

```
Serial.print("Concentration O3 : ");
Serial.print(MQ131.getO3(MG_M3));
Serial.println(" mg/m3");
Serial.print("Concentration O3 : ");
Serial.print(MQ131.getO3(UG_M3));
Serial.println(" ug/m3");

delay(60000);
}
```

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д1	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Структура озонатору з сенсорами		
				вимірювальної системи		
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д2	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Візуально-блочна модель системи		
				вимірювання концентрації озону		
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д3	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Розширена модель системи		
				вимірювання концентрації озону		
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Е3	БЛОК ОБРОБКИ СИГНАЛІВ		
				СЕНСОРІВ		
				схема електрична принципова		
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д4	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Структура системи обробки		
				сигналів сенсорів озонаторної		
				станції		
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д5	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Блок-схема алгоритму		
				керування мікроконтролером		
				блоку обробки		

ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Виконав		Кісельов В.Е.		6.12
Перев.		Алексієвський Д.Г.		6.12
Реценз.				
Н. контр.		Туришев К.О.		6.12
				6.12

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ

Стадія	Аркуш	Аркушів
У	1	2

ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ
гр. 8.1713

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д6	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Результати моделювання блоку		
				обробки сигналів сенсорів		
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д7	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Друкована плата блоку		
				обробки сигналів сенсорів		
A1			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.Д8	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				Стрілчастий графік проекту		
A4			ЕІСПЗ МР.23331.00.00.00.00.ПЕЗ	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА		
				СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ		
				КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ		
				БЛОК ОБРОБКИ СИГНАЛІВ		
				СЕНСОРІВ		
				Перелік елементів		