

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр ВОВНА
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ магістра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження електронної системи моніторингу
концентрації пилу в атмосфері об'єктів
теплоенергетики»

Виконав(ла) студент (ка) 2 курсу, групи ЕЛТм-20
(шифр групи)

спеціальності 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Постнов Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я та по-батькові студента) (підпис)

Керівник доц. каф. ЕТ к.т.н., доц. Олександр ШТЕПА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та прізвище) (підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
_____магістра_____

Тема: «Розробка та дослідження електронної системи моніторингу концентрації
пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент (ка)

гр. ЕЛТМ-20

_____ **Андрій ПОСТНОВ**
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

_____ **Олександр ШТЕПА**
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____ **Олександр ВОВНА**
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ **Олександр ШТЕПА**
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ **Іван ЛАКТИОНОВ**
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

_____ **Олександр ВОВНА**
(підпис, дата, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Покровськ – 2021

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« _____ » 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Постнов Андрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження електронної системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики

керівник проекту (роботи) Штепа Олександр Анатолійович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.09.2021 року № 570

2. Строк подання студентом проекту (роботи)_____

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)_____

аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронної системи; розробка принципової схеми електронної системи; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою;.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз забруднюючих факторів та методів і засобів їх вимірювання на об'єктах теплоенергетики.	11.10.2021	
2	Розробка функціональної та структурної схем системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики.	29.10.2021	
3	Математичне дослідження схеми системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики.	03.11.2021	
4	Розробка та дослідження макетного зразка системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики	01.12.2021	

Студент

_____ (підпис)

Андрій ПОСТНОВ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександр ШТЕПА

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, прізвище та ім'я	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Постнов, А.О. Розробка та дослідження електронної системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021.

Пояснювальна записка: 88 стор., 22 рис., 11 табл., 25 посилань.

У магістерській роботі розроблено:

1. математичну модель пристрою для моніторингу запиленості на об'єктах теплоенергетики.

2. структурна схема та розрахунок пристрою для моніторингу запиленості на об'єктах теплоенергетики.

У роботі було розглянуто вплив пилу на організм людини. Проаналізовано існуючі методи та способи пиловидалення. На основі проведеного аналізу сучасних технологій IoT, існуючих сенсорів пилу та мікроконтролерів розроблено та досліджено електронної системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики.

Ключові слова: пил, структурна схема, ESP32, математична модель, моніторинг параметрів, температура.

Список публікацій здобувача вищої освіти за темою випускної кваліфікаційної роботи:

1. Штепа О.А., Постнов А.О., Любименко О. М. Концепція системи моніторингу концентрації твердих домішок в атмосфері на базі технологій IoT «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 1-2 грудня 2021 р. / ДВНЗ «ДонНТУ»; – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2021.

ABSTRACT

Postnov, A.O. Development and research of an electronic system for monitoring the concentration of dust in the atmospheric objects of thermal power / Final qualification work for the degree of "master" in the specialty 171 Electronics. – SHEI "DonNTU", Pokrovsk, 2021.

Explanatory note: 88 p., 22 fig., 11 tabl., 25 references.

In the master's thesis developed:

1. mathematical model of a device for monitoring dust on objects heat energy.

2. scheme and calculation of the structure of the device for monitoring security at thermal power facilities.

The effect of dust on the human body was considered in the work. Analyzed existing methods and methods of dust removal. Based on the analysis of modern IoT technologies, existing sensor devices and microcontrollers have been developed and an electronic system for monitoring the concentration of dust in atmospheric thermal power facilities has been studied.

Key words: dust, block diagram, ESP32, mathematical model, monitoring parameters, temperature.

List of publications of the applicant for higher education on the topic of final qualification work:

1. Shtepa O.A., Postnov A.O., Lyubimenko O.M. The concept of monitoring the concentration of solid impurities in the atmosphere based on IoT technologies "YES": telecommunications, automation, computer-integrated technologies: Coll. reports All-Ukrainian scientific-practical conf. young scientists, December 1-2, 2021 / SHEI "DonNTU"; - Pokrovsk: SHEI "DonNTU", 2021.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ЗАБРУДНЮЮЧИХ ФАКТОРІВ ТА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.....	12
1.1 Об'єкти теплоенергетики.....	12
1.2 Забруднюючі фактори в теплоенергетиці.....	13
1.2.1 Основні забруднювачі навколишнього середовища.....	14
1.2.2 Тверді викиди ТЕС.....	17
1.3 Пил РМ2.5.....	19
1.4 Методи боротьби з пилом на ТЕС.....	21
1.4.1 Хімічні методи.....	23
1.4.2 Повітряний захист.....	25
1.5 Способи та методи вимірювання концентрацій твердих продуктів згоряння.....	26
1.6 Датчик пилу та диму GP2Y1010.....	30
1.7 Датчик температури та вологості GY-21.....	34
1.8 Технології обміну даними в електронних системах моніторингу.....	36
1.9 Серверні технології збирання, збереження, відтворення та аналізу даних.....	38
2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В АТМОСФЕРІ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.....	42
2.1 Структурна схема системи.....	42
2.2 Схема підключення датчика пилу SHARP GP2Y1010.....	44
2.3 Схема підключення датчика температури та вологості HTU-21.....	45
3 МАТЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В АТМОСФЕРІ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ....	47
3.1 Розрахунок підсилювача сигналу датчика пилу.....	47

3.2 Програма роботи системи.....	48
3.3 Програма для візуалізації результатів у Matlab.....	54
4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ В АТМОСФЕРІ ОБ’ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.....	56
4.1 Результати експериментів.....	56
4.2 Метрологічні характеристики датчиків.....	59
ВИСНОВОК.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві.....	76
А.1 Мікроклімат робочого місця.....	77
А.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності.....	72
Додаток Б – Код програми системи.....	83
Додаток В – Код візуалізації графіків у Matlab.....	88

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Лікарями доведено: вплив мікроклімату на організм людини (самопочуття та працеспроможність) дуже великий.

У різних галузях промисловості та сільському господарстві багато виробничих процесів пов'язані з утворенням пилу. Це гірничорудна, вугледобувна промисловість; металургійні, металообробні та машинобудівні підприємства; виробництва будівельних матеріалів; електрозварювальні роботи; працю на текстильних підприємствах; обробка сільськогосподарських продуктів, деревини та ін.

Виробнича пил за складом, фізичним властивостям і хімічної природі дуже різноманітна, розмаїтість цих властивостей багато чому визначає характер на людини.

У виробничих умовах пил проникає в організм людини через дихальні шляхи і накопичується в легенях, викликаючи різні ураження дихання. Пил може впливати на органи зору, викликати запальні процеси (кон'юнктивіти), професійні катаракти, надавати сильну сенсibiliзуючу дію на слизову оболонку та рогівку ока.

Забруднюючи шкірні покриви, пил різного складу викликає різні види дерматитів та екзем. Проникнення пилу в потові і сальні залози викликає порушення функції потовиділення шкіри і піодермії. Пил може проявляти суто механічну дію - гострими краями порушувати цілісність слизової оболонки верхніх дихальних шляхів, очей та ін.

Боротьба з виробничим пилом представляє одне з найважливіших завдань, тому що впливу пилу піддається велика кількість працюючих. Для досягнення гігієнічних умов праці без перевищення ГДК, що покладено основою профілактики шкідливого дії пилу, використовуються технологічні, санітарно-технічні, медико-профілактичні заходи.

Мета та завдання дослідження. Забезпечення своєчасного та доступного моніторингу рівня забруднення атмосфери твердими частинками в умовах

територій, що розташовані поряд з об'єктами теплоенергетики шляхом створення і дослідження електронної системи моніторингу на основі доступних сенсорів та технологій IoT.

Для досягнення сформульованої мети було поставленої та розв'язано наступні задачі:

1. проаналізовано вплив пилу на організм людини;
2. проаналізовано ресурси які можуть бути використані для реалізації пристрою;
3. сформовано та розраховано схему пристрою;
4. реалізовано пристрій, проведено дослідження його роботи, та метрологічних показників.

Наукова новизна дослідження.

1. Отримав подальшого розвитку підхід до проектування електронних систем багатоточкового моніторингу параметрів навколишнього середовища на основі застосування значної кількості дешевих сенсорів.
2. Удосконалено концепцію створення електронної системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики з використанням методів та засобів IoT.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Використання електронної системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики з великою кількістю сенсорів дозволить швидше та точніше знаходити осередки виникнення такого забруднення.
2. Швидше реагування на осередки виникнення пилу за рахунок віддаленого контролю датчиків.
3. Розраховані метрологічні характеристики датчика пилу GP2Y1010.

Особистий внесок. Основні положення, результати та висновки отримані автором самостійно. Автором самостійно: виконано аналіз негативного впливу пилу на організм людини; обрано компоненти для розробки системи; виконано розрахунок підсилювача сигналу датчика пилу GP2Y1010; розроблено схему підключення системи; написано програму для роботи системи та виведення

графіків результатів у ThingSpeak та Matlab; розраховано метрологічні показники системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики.

Апробація результатів роботи. Основні розділи роботи пройшли апробацію на наукових семінарах кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ 2020-2021 рр.)

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура роботи визначена загальною схемою наукового дослідження, метою дослідження та шляхами її досягнення. Робота складається зі вступу чотирьох основних розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків А, Б, В. Загальний обсяг роботи складає 87 сторінок тексту, 22 рисунків, 11 таблиць, та список використаних джерел з 25 найменувань.

1 АНАЛІЗ ЗАБРУДНЮЮЧИХ ФАКТОРІВ ТА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Об'єкти теплоенергетики

Електричною станцією називається енергетична установка, яка служить для перетворення природної енергії в електричну.

Найбільш поширені теплові електричні станції (ТЕС), що використовують теплову енергію, що виділяється при спалюванні органічного палива (твердого, рідкого, газоподібного). На теплових електростанціях електроенергія виробляється обертовим генератором, що має привід від теплового двигуна, найчастіше паровий, рідше газової турбіни. Менш поширені (в основному у віддалених районах) дизельні електростанції.

Теплові електричні станції (ТЕС). Коефіцієнт корисної дії сучасних ТЕС з паровими турбінами досягає 40%, з газовими турбінами - не перевищує 34%. На ТЕС з паротурбінним приводом можливе використання будь-якого виду палива; газотурбінні станції поки використовують тільки рідке і газоподібне. Однак парова турбіна не настільки маневрена, як газова. Справа в тому, що тиск пари, що подається в турбіну, високий - до 23,5 МПа і корпус турбіни для забезпечення міцності дуже масивний. Це не дозволяє швидко і рівномірно прогріти парову турбіну при пуску. Газові турбіни працюють при тисках робочого тіла не більше 1 МПа, їх корпус багато тонше, прогрів здійснюється швидше. Тому газотурбінні агрегати на ТЕС розглядаються в перспективі як пікові - для забезпечення вироблення електроенергії при короткочасному збільшенні в її потреби - для зняття піків електричного навантаження [1].

По виду енергії, що відпускається, паротурбінні ТЕС на органічному паливі поділяються на конденсаційні електричні станції (КЕС) і теплоелектроцентралі (ТЕЦ).

На КЕС встановлені турбоагрегати конденсаційного типу, вони виробляють тільки електроенергію. КЕС пов'язують зі споживачами тільки лінії

електропередачі, тому вона може перебувати далеко від споживача, наприклад, поблизу місця видобутку палива.

ТЕЦ відпускають зовнішнім споживачам електричну і теплову енергію з парою або гарячою водою. Оскільки ТЕЦ пов'язана з підприємством або житловим районом трубопроводами пари або гарячої води, а їх надмірне подовження викликає підвищені тепловтрати, станція цього типу зазвичай розташовується безпосередньо на підприємстві, в житловому масиві або поблизу них.

1.2 Забруднюючі фактори в теплоенергетиці

Орієнтовні підрахунки [2] показують, що щорічно в атмосферу Землі надходять десятки мільйонів тон шкідливих газів і пилу від димових газів ТЕС, котелень, промислових підприємств і автотранспорту.

Паливно-енергетичний комплекс, енергетика, транспорт і промисловість, де превалюють процеси, засновані на горінні, є головними джерелами антропогенного забруднення навколишнього середовища. За масштабного фактору його можна розділити [2] на локальне, регіональне і глобальне забруднення, які тісно пов'язані між собою. Крім того, внаслідок хімічної взаємодії забруднюючих речовин можуть синтезуватися нові шкідливі інгредієнти, значно небезпечніші для людини. При взаємодії канцерогенних вуглеводнів і оксидів азоту синтезуються сполуки, що діють на генний фонд людини.

В результаті негативного впливу всезростаючого енергоспоживання в багатьох районах світу вже сьогодні утворилася дуже небезпечна екологічна обстановка.

Басейни ряду річок, що протікають в густонаселених районах, вийшли з природного стану і перетворилися в забруднені каналізаційні системи. Повітряний басейн забруднений газовими і аерозольними викидами (CO_2 , поліциклічні ароматичні вуглеводні, CO , NO_x , SO_x , аерозолі та ін.). Все це

призводить до таких незворотних процесів, як руйнування озонового шару; виникнення парникового ефекту; утворення «льодовикового» ефекту [2].

Через низьку термодинамічну ефективність перетворення теплової енергії в інші види енергії відбуваються великі викиди теплової енергії в навколишнє середовище, що є причиною теплового забруднення. Крім того, мають місце забруднення ландшафту (знищення лісів, рослинності, диких тварин, плодоносного шару та ін.), оптичне забруднення атмосфери в певні періоди року, забруднення ґрунтових вод стічними скидами ТЕС та інших промислових об'єктів, акустичне (шум), електромагнітне і електростатичне забруднення навколишнього середовища.

1.2.1 Основні забруднювачі навколишнього середовища

Забруднюючі речовини - це речовини, які мають негативний вплив на навколишнє середовище або безпосередньо, або після хімічних змін в атмосфері, або в поєднанні з іншими речовинами і забруднюючими впливами [2].

Атмосферне повітря є основним середовищем існування біосфери, в тому числі людини. В результаті розвитку цивілізації склалося протягом еволюції Землі постійне співвідношення між основними компонентами повітря істотно не змінилося.

Основні гази атмосфери (азот, кисень, аргон) по суті прозорі для довгохвильової і короткохвильової радіації і розсіюють її. На екологію істотно впливають газові домішки, які за походженням можуть бути природними та антропогенними. До їх природних джерел належать вітрова ерозія, винос солей з поверхні морів і океанів, вулканічні і біологічні процеси, надходження з космосу.

Газові викиди також можуть бути токсичними (NO_2 , SO_2 , NO , CO та ін.) і нетоксичними (CO_2 і H_2O). Усі трьохатомні гази (H_2O , NO_2 , SO_2 і особливо CO_2) відносяться до «парникових газів», так як вони характеризуються селективною

поглинаючою здатністю в інфрачервоній області теплового випромінювання і сприяють створенню парникового ефекту [2].

Газові викиди, потрапляючи в атмосферу, роблять складне фізико-хімічний (на першій стадії) і біологічний (на наступних стадіях) вплив на живі організми (і перш за все на людину), рівень і характер якого залежать від їх концентрації в повітрі.

Зі збільшенням концентрації токсичних газів йде поступове зростання ступеня ризику (перші три фази) з подальшим різким його підвищенням на четвертій - останньої - фазі.

Концентрації, при яких відбувається трансформація ступеня ризику, залежать від виду токсичного викиду. Концентрація токсичного газу в кінці четвертої фази визначає критичну ступінь ризику - небезпечний для життя рівень при короткочасному впливі.

Вуглекислий газ (CO_2) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, штучного і синтетичного палива і біомаси (деревина). Це основна компонента, що веде до «парникового ефекту». В результаті неповного згоряння палива виділяється також монооксид вуглецю CO - токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини.

Діоксид сірки (сірчистий ангідрид) SO_2 - один з найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, що становить понад 90% викидів сірчистих сполук із димовими газами котлоагрегатів (решта - SO_3). Найбільша кількість сірки містять вугілля і важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки і, нарешті, бензин і природний газ практично не мають його в своєму складі.

Діоксид сірки впливає на окислення, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: в порівняно чистому повітрі - 15-20 діб, в присутності великої кількості аміаку та інших речовин - кілька годин. При наявності кисню SO_2 переходить в SO_3 і, взаємодіючи з водою, утворює сірчану кислоту [2].

Оксиди азоту (NO_x) утворюються при спалюванні будь-якого з викопних видів палива, що містять азотні сполуки, а також і не містять за рахунок окислення азоту повітря. Азот утворює з киснем ряд з'єднань (N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 і N_2O_5), властивості яких, активність і тривалість існування різні і слабо залежать від виду і складу палива. Сумарна кількість оксидів азоту призводять до NO_2 . Їх концентрація визначається режимом і організацією процесів горіння палива. [2]

Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, сприяють утворенню парникового ефекту і руйнування озонового шару. Крім того, оксиди азоту викликають «вимирання лісів», кислотні дощі і так далі.

Метан (CH_4) утворюється в результаті розкладання органічних речовин, наприклад в сільському господарстві, при вуглевидобутку, в процесі нафто і газовидобутку, газорозподілу і спалювання біомаси. Метан також значно сприяє виникненню парникового ефекту.

Сукупний вплив газових і аерозольних викидів енергетичних об'єктів може привести до появи різних шкідливих екологічних наслідків, в тому числі кризових ситуацій в біосфері. До останніх відносяться: погіршення видимості атмосфери (локальний і регіональний характер); утворення опадів і кислотних дощів (локальний і регіональний характер); парниковий ефект (регіональний і глобальний характер).

При наявності в атмосфері вуглеводнів (C_xH_y) відбувається їх окислення з утворенням альдегідів, нітратів і т.д. Оксид азоту перетворюється в діоксид, з'являється озон, а також пероксіяцетілнітрат (PAN). При з'єднанні O_3 , NO_2 і PAN утворюються фотохімічні оксиданти, які є однією з причин фотохімічного смогу [2].

Утворені сполуки надають токсичну дію на людину, приводячи до порушення серцево-судинної діяльності, отруєння дихальних шляхів і інші захворювання організму.

1.2.2 Тверді викиди ТЕС

Токсичними (шкідливими) називаються хімічні сполуки, що негативно впливають на здоров'я людини та тварин [14].

Вид палива впливає на склад шкідливих речовин, що утворюються при його спалюванні. На електростанціях використовується тверде, рідке та газоподібне паливо. Основними шкідливими речовинами, що містяться в димових газах котлів, є: оксиди (оксиди) сірки (SO_2 і SO_3), оксиди азоту (NO і NO_2), оксид вуглецю (CO), сполуки ванадію (в основному пентаксид ванадію V_2O_5). До шкідливих речовин відноситься також зола [14].

Тверде паливо. У теплоенергетиці використовують вугілля (бурі, кам'яні, антрацитовий штиб), горючі сланці та торф. Склад твердого палива схематично представлено на рис. 1.1 [14].

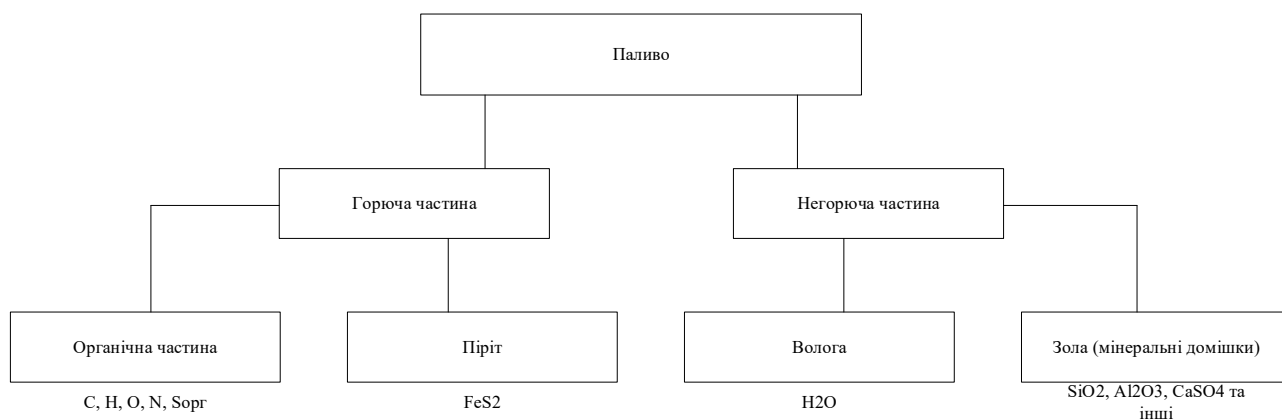


Рисунок 1.1 – Структура твердого палива

Як видно із рис. 1.1 органічна частина палива складається з вуглецю С, водню Н, кисню О, органічної сірки $\text{S}_{\text{орг}}$. До складу паливної частини палива ряду родовищ входить також неорганічна, піритна сірка FeS_2 [14].

Негорюча (мінеральна) частина палива складається з вологи H_2O та золи. Основна частина мінеральної складової палива переходить у процесі спалювання в летючу золу, що відносить димові гази. Інша частина залежить від

конструкції топки та фізичних особливостей мінеральної складової палива може перетворюватися на шлак [14].

Зольність вітчизняного вугілля коливається в широких межах (10-55%). Відповідно змінюється та запиленість димових газів, досягаючи до високозольного вугілля 60-70 г/м³ [14].

Однією з найважливіших особливостей золи є те, що її частинки мають різні розміри, що знаходяться у діапазоні від 1-2 до 60 мкм і більше. Ця особливість як параметр, що характеризує золу, називається дисперсністю [14].

Хімічний склад золи твердого палива достатньо різноманітний. Зазвичай зола складається з оксидів кремнію, алюмінію, титану, калію, натрію, заліза, кальцію, магнію. Кальцій у золі може бути у вигляді вільного оксиду, а також у складі силікатів, сульфатів та інших з'єднань [14].

Більш детальні аналізи [14] мінеральної частини твердих палив показують, що у золі в невеликих кількостях можуть бути інші елементи, наприклад, германій, бор, миш'як, ванадій, марганець, цинк, уран, срібло, ртуть, фтор, хлор. Мікродомішки перерахованих елементів розподіляються у різних за розмірами частинок фракціях летючої золи нерівномірно, і зазвичай їх зміст збільшується зі зменшенням розмірів цих частинок [14].

Тверде паливо може містити сірку в наступних формах: колчедану Fe_2S та піриту FeS_2 у складі молекул органічної частини палива та у вигляді сульфатів у мінеральній частині. З'єднання сірки в результаті горіння перетворюються в оксиди сірки, причому близько 99% становить сірчистий ангідрид SO_2 [14].

Сірчистість вугілля в залежності від родовища становить 0,3-6%. Сірчистість горючих сланців досягає 1,4 - 1,7%, торфу - 0,1% [14].

З'єднання ртуті, фтору та хлору знаходяться за котлом у газоподібному стані.

У складі золи твердих видів палива можуть бути присутніми радіоактивні ізотопи калію, урану та барію. Ці викиди практично не впливають на радіаційну обстановку в районі ТЕС, хоча їхня загальна кількість може перевищувати викиди радіоактивних аерозолів на АЕС тієї ж потужності (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння викидів твердого палива

Назва	Характеристика
Зола	Великі частинки розміром понад 76 мкм
Пил	Частинки розміром більше 1 мкм та менше 76 мкм
Дим	Тверді частки розмірами менше 1 мкм
Туман	Рідкі частинки зазвичай менше 10 мкм
Імла	Тумани якщо вони досить щільні та погіршують видимість
Кіптява	Летуча зола, продукти неповного згоряння
Сажа	Частки, що злиплися, незгорілого вугілля, що утворюються при його не повному згоранні
Аерозолі	Будь-які відносно стабільні суспензії у повітрі

1.3 Пил PM2.5

PM 2.5 — це найменші частинки, розміром від 0,001 до 2,5 мікрометра (мкм), що знаходяться у повітрі. Щоб було зрозуміло, такі розміри — це набагато тонше людського волосся (його товщина 40-120 мкм), менше кров'яного еритроциту (його діаметр — 7 мкм). Також фіксуються більш великі частинки в повітрі, розміром 0-10 мкм — вони називаються PM 10. PM — це скорочене англійське Particulate Matter — тверді частинки. Значення PM2.5 і PM10 визначається у вазі — кількість мікрограм на кубічний метр (мкг/м³) [19].

1 мкм = 0,001 мм = 0,0001 см = 0,000001 м. Один мікрометр — це мільйонна доля метра [19].

Походження частинок PM 2.5, які у зваженому стані постійно перебувають у повітрі, різне як природне, так і антропогенне.

Це, у тому числі, мікроскопічні частинки мінеральних солей, сажі, гуми, піску та асфальту, з'єднання важких металів, пилок рослин, продукти життєдіяльності мікроорганізмів (наприклад, пилових кліщів), бактерії, дрібні крапельки рідин (так звані аерозольні забруднення).

Цікаво, що сажа, якої особливо багато в повітрі великих міст, — по суті, похідне вугілля — це сорбент. Тому на частинках сажі часто осаджуються різні токсичні сполуки (наприклад, що отримуються через роботу двигунів внутрішнього згоряння). Тобто, ми маємо не просто сажу в повітрі, а сажу зі шкідливими домішками.

Якщо трохи заглибитись у тему походження РМ 2.5, можна виділити первинні та вторинні частки. Первинні за походженням частинки потрапляють у повітря вже готовими, а ось вторинні утворюються безпосередньо в повітрі завдяки різним хімічним реакціям і сполукам різних субстанцій.

Дрібнодисперсні частинки РМ 2.5 завжди є в повітрі. Не важливо, де ви знаходитесь і дихайте - у горах, на морському березі або в місті. Але в різних локаціях повітря наповнене частинками різного походження та в різній кількості. Природно, що повітря мегаполісів або поблизу великих промислових підприємств містить набагато більше забруднень.

Для безпечної життєдіяльності людини середньодобовий рівень РМ 2.5 у повітрі, відповідно до рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), не повинен перевищувати 25 мікрограмів (мкг) на кубічний метр повітря [19].

Через свої надмалі розміри всі ті частинки різного походження, які постійно знаходяться в повітрі, при вдиханні його потрапляють у легені і далі не затримуються природними біологічними бар'єрами, а проходять у кровотік. На жаль, такі забруднення – дрібнодисперсні частинки – можуть накопичуватися в організмі, що цілком може стати тригером різноманітних неприємних наслідків, пов'язаних зі здоров'ям.

Які це наслідки? Різні, це залежить від складу та обсягу забруднень, що потрапляють таким шляхом в організм. Наприклад, різні алергічні реакції системи дихання – бронхіт, нежить, кашель тощо. Це і інфаркти з інсультами, онкологія, проблеми з розвитком плода у вагітних та навіть можливість викидня. Справа в тому, що накопичувальний ефект часто не дозволяє пов'язувати неприємності зі здоров'ям саме з тим, що людина, наприклад, 15 років дихала

брудним повітрям. Реакція організму на накопичення у ньому шкідливі речовини часто помітна не відразу [19].

Однак те, що брудне повітря негативно впливає на здоров'я і стає причиною не лише захворювань, а й смерті підтверджується ВООЗ. За даними цієї організації, близько 4 мільйонів випадків смерті щороку є результатом негативного впливу забруднення атмосферного повітря [19].

1.4 Методи боротьби з пилом на ТЕС

Всі теплові електростанції, що працюють на вугіллі, повинні мати запас палива на своїх складах, принаймні, на 30 днів роботи. На більшості ТЕС запаси вугілля зберігаються просто неба. Пов'язано це з постійною необхідністю його переміщення з купи в купу, а також великою вартістю такої великої площі.

Вугільний пил, який піднімається і забирається повітрям з таких вугільних складів, може бути серйозною проблемою. Розміри частинок пилу в повітрі, що виносяться з вугільних складів, можуть бути від менше 2 мкм до 100 мкм.

У боротьбі з утворенням та розповсюдженням пилу найбільш ефективні технологічні заходи. До них відносяться:

- використання безперервної технології виробництва, за якої відсутні ручні операції;
- автоматизація та механізація процесів, що супроводжуються виділенням пилу;
- раціоналізація технологічного процесу, обробка пилу у вологому стані, наприклад, впровадження мокрого буріння в гірничорудній та вугільній промисловості (буріння з промиванням каналу водою);
- дистанційне управління;
- побудова місцевих вентиляційних відсмоктувачів, витяжної або припливно-витяжної вентиляції. Видалення пилу відбувається безпосередньо від місць пилоутворення. Перед викидом в атмосферу запилене повітря очищається за допомогою пиловловлювачів різної конструкції.

Наприклад, частими видами робіт, при яких спостерігається інтенсивне забруднення повітря пилом, є транспортування, навантаження, розвантаження та затарювання сухих матеріалів. Поліпшення умов праці за цих процесах досягається переходом на закриті способи транспортування та механізацію окремих операцій. пневмотранспорт, тобто. переміщення матеріалів по трубах за допомогою стисненого повітря, герметичність обладнання для вантажно-розвантажувальних операцій, сучасні машинні методи розфасовки та пакування готової продукції – все це широко застосовується у багатьох виробництвах та дає гарний гігієнічний ефект.

Засоби індивідуального захисту - респіратори, спеціальні шоломи та скафандри з подачею в них чистого повітря застосовують у тих випадках, коли не вдається знизити запиленість повітря в робочій зоні до допустимих меж більш радикальними технологічними заходами. До індивідуальних засобів захисту від пилу належать також захисні окуляри, спеціальний протипиловий одяг, захисні пасти та мазі.

Пил може забиратися з вугільних складів різними шляхами:

- повітряним потоком, коли вугілля зсипають у купу з верху, наприклад стрічковим транспортером;
- вітром із поверхні куп;
- під час пересування працівників та техніки з вугілля;
- під час підняття вугілля на верх технікою, наприклад, ковшем бульдозера.

Кількість пилу, що несуть повітря під час таких заходів залежить від фізичних характеристик вугілля та методів обробки палива.

В даний час існують різні методи боротьби з поширенням вугільним пилом на складах ТЕС. Розглянемо деякі їх нижче.

1.4.1 Хімічні методи

Деякі сорти вугілля є гідрофобними за своєю природою, таким чином вони слабо вбирають воду. У цьому випадку прості водяні струмені часто виявляються неефективними у боротьбі з пилом. Але тут на допомогу можуть прийти різні давно відомі поверхнево-активні речовини (ПАР), які можуть ефективно змочувати поверхню вугілля.

Поверхнево-активні речовини утворюють мікроскопічну рідку плівку як засіб підвищення адгезії частинок вугільного пилу на поверхні великих вугільних шматків. Ефективність придушення пилу методом змочування поверхні вугілля сильно залежить від можливості утримування вологого середовища, таким чином, щоб частинки вугільного пилу приліпали до поверхні шматків вугілля для запобігання поширенню пилу (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Зліва звичайне вугілля. Справа – вугілля оброблене ПАР

Деякі ПАР наносяться у вигляді піни на поверхню доставленого вугілля на вугільний склад ТЕС.

Ще однією перевагою використання ПАР є те, що при їх застосуванні скорочується витрата води, що розпорошується на поверхню вугілля, як правило, не менше, ніж на чверть.

Слід також сказати, що використання ПАР для запобігання розповсюдженню вугільного пилу не є ефективним для вугілля, яке зберігається

більше трьох тижнів. У такому випадку практично завжди дія ПАР припиняється, і вугільний пил знову може нести потоки повітря (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Пушка для розпилення ПАР

Для довгострокового запобігання розповсюдженню вугільного пилу з неактивних частин вугільної купи використовується інший клас хімічних добавок для придушення у воду, що розпилюється. Історично склалося так, смоли, бітуми, олії та подібні речовини використовуються для цих цілей.

Зараз набувають поширення сучасні емульсії на основі латексу та акрилу. Ці продукти можуть забезпечити шестимісячний захист від поширення вугільного пилу з поверхні куп, а також знизити вбирання води та зменшити окиснення вугілля.

1.4.2 Повітряний захист

Інший метод, який довів, що може зменшити пилення вугільних складів у деяких ситуаціях – зведення вітряного паркану (рис. 1.4). Дані конструкції зменшують запилення складів за рахунок зменшення швидкості вітру біля куп над відкритим небом, бункерів, вагоноперекидачів, стрічкових конвеєрів та інших механізмів, що працюють на вугільних складах.



Рисунок 1.4 – Повітряний паркан

Насамкінець зазначимо, що найефективніший спосіб боротьби з пилом - це спільні зусилля технологів та вентиляційників. Наприклад, зволоження пилу або використання кожухів підвищує ефективність боротьби з пилом у рази.

Система аспірації - це пилевідсмоктувальна вентиляція, що видаляє повітря з вмістом пилу більше 1 кг на 1 м³.

Аспірація зустрічається в дробильних, розмольних, ливарних, хімічних та металургійних цехах. Відмінною особливістю аспіраційної системи є сильнопохилі димарі.

У менш заповнених виробництвах використовується пиловивідна вентиляція (відрізняється відсутністю похилих повітроводів).

Приток у приміщення з виділенням пилу подається з дуже малими швидкостями, щоб уникнути пилу. Часто застосовуються перфоровані повітропроводи та панелі.

Витягування повітря здійснюється невеликими вирвами, які приєднуються до кожухів, укриттів тощо.

Слід враховувати такі дані щодо системи аспірації:

1. Усі повітропроводи повинні бути максимально короткими і повинні бути прокладені по найкоротшій відстані;
2. Системі не повинна мати горизонтальних ділянок – усі повітроводи вертикальні або під кутом 45-60 ° С до горизонту;
3. Одна аспіраційна система повинна обслуговувати від однієї до шести місцевих відсмоктувачів.

У пиловидаляючій вентиляції (на відміну від аспіраційної системи) допустимо прокладати горизонтальні ділянки.

Таким чином, боротьба з пилом - це складна система, що поєднує в собі технологічні та організаційні заходи та потребує професійних знань та умінь від працівників, зайнятих у даній сфері.

1.5 Способи та методи вимірювання концентрацій твердих продуктів згоряння

Методи вимірювання концентрації пилу ділять на дві групи: методи, засновані на попередньому осадженні, і методи без попереднього осадження пилу.

До методів, заснованих на попередньому осадженні частинок пилу, відноситься люмінесцентний метод. Для визначення концентрації пилу в атмосферному повітрі використовують осадження її на фільтрі, обробленому флуоресціюючими розчинами, і наступний вимір інтенсивності флуоресценції. При цьому вимірюють інтенсивність флуоресценції фільтра до і після осадження на ньому пилового осаду. Велика концентрація пилу викликає гасіння флуоресценції, причому спостерігається лінійна залежність між гасінням флуоресценції і поверхневою концентрацією пилу [3].

Ваговий метод визначення запиленості повітря має ряд недоліків, до числа яких в першу чергу відносяться трудомісткість і тривалість відбору проб пилу і їх аналізу, що вимагає лабораторних умов, громіздкість апаратури, яка використовується, а також неможливість безперервного автоматичного контролю запиленості повітря. Тому розробляються нові, більш зручні та швидкі методи визначення концентрації пилу. Основні переваги вагового методу - отримання масової концентрації пилу і відсутність впливу хімічного і дисперсного складу на результати вимірювань. Однак метод відрізняється великою трудомісткістю і тривалістю процесу вимірювання [3].

Оптичний метод заснований на явищі поглинання світла при проходженні його через пилогазову середу. Пилемери, побудовані на цьому принципі, практично безінерційні, не вимагають пробовідбірних пристроїв та дозволяють визначати миттєві значення концентрації пилу без внесення збурень в досліджувану середу. Недоліками методу є вплив змін хімічного і дисперсного складів пилу на результати вимірювань і порівняно вузький інтервал вимірюваних концентрацій [3].

В оптичних методах використовуються залежності фізичних властивостей (оптичної щільності, ступеня поглинання або розсіювання променів) пилового осаду або запиленого потоку газу від концентрації пилу. Вимірювання оптичної щільності до ступеня світлопоглинання або розсіювання світла називається фотометричним методом аналізу. Вимірювання ступеня розсіювання світла

зваженими частинками, що знаходяться в розчині, покладено в основу нефелометричного методу аналізу [3].

Особливий інтерес для вимірювання концентрації атмосферного пилу в великих просторах представляють оптичні дистанційні методи аналізу в видимій і ближній інфрачервоних областях спектра із застосуванням лазерних радарів. Метод лазерного зондування заснований на властивості частинок поглинати або розсіювати лазерне випромінювання [3].

Основною перевагою методів першої групи є можливість вимірювання масової концентрації пилу. До недоліків їх відносяться тривалість відбору проби, низька чутливість, трудомісткість аналізу. Переваги методів другої групи - можливість безпосередніх вимірювань в самому пилоповітряному середовищі, безперервність вимірювань, висока чутливість. Істотний недолік - вплив змін властивостей пилу, особливо дисперсного складу [3].

Широке поширення набув радіоізотопний метод, заснований на ослабленні Р-випромінювання частинками. Концентрація твердих частинок (пилу) обчислюється за результатами вимірів на фільтрі (стрічка з скловолокна) до і після нанесення проби. Стрічка транспортується в детекторний блок, де розташовано радіоізотопне джерело, і проводиться вимір [3].

У разі необхідності визначення кількості обложеного пилу не гравіметричним, а яким-небудь іншим способом можна використовувати світлотехнічні методи вимірювання ступеня почорніння пилового осаду на фільтрі. Перевага цього способу полягає в тому, що вимір можна проводити майже безперервно, всмоктуючи пробу повітря через повітрозабірний патрубок фільтрувальної стрічки. Однак цей метод не дозволяє отримувати безпосередні дані про масу пилу, а дає тільки величину, яку за допомогою еталонної кривої, отриманої паралельно виконуваних гравіметричним способом, можна перевести в масове значення кількості пилу. Інтенсивність забарвлення змінюється в залежності від розміру часток, що може привести до помилок в результатах перерахунку. Однак ці обставини не є занадто великим недоліком, коли необхідно визначити не стільки кількість пилу, скільки її забруднюючий вплив,

що саме і важливо для атмосферного повітря. Безперервне реєстрування концентрації пилу в атмосферному повітрі на відкритих ділянках в поєднанні з визначенням напрямку вітру дає можливість визначити місцезнаходження джерел димових і пилових імисій [3].

Найбільш точним і надійним способом визначення кількості пилу є гравіметричний метод: при всмоктуванні повітря пил збирається на зваженому фільтрі або іншому сепаруючому пристрої і зважується. Після цього він може бути піддана хімічному аналізу або іншим дослідженням (гранулометрії). Якщо після такого аналізу потрібно визначити горючі складові частини, можна скористатися зважуютьчими фільтрами з обпаленого азбесту. При необхідності проаналізувати невеликі кількості пилу, можна застосовувати легкі вологостійкі мембранні фільтри з м'якою, що нагадує оксамит поверхнею, з різним розміром пір і товщиною шару, виготовлені з ефірноцелюлозних волокон. Ці фільтри затримують практично всі пилоподібні частки розміром менше 0,1 мкм і відрізняються в той же час невеликим опором потоку повітря. Для гравіметричних досліджень може використовуватися спеціальний фільтр діаметром 5 см, розрахований на затримання 6-200 мг пилу і поміщається у відповідний патрон. В результаті змочування іммерсійним маслом фільтри стають прозорими і можуть використовуватися також і для мікроскопічних досліджень (визначення числа частинок, гравіметричного розподілу і оптичних властивостей) [3].

Вимірювачі щільності диму можуть дати тільки кількісне визначення концентрації пилу в відпрацьованому газі. З цієї причини калібрування проводиться не по значенням контрольних замірів методом ручного контрольованого вимірювання, а замість цього прилади регулюється на основі емпіричних показників, згідно меж прозорості хмари диму. У деяких випадках регулювання може проводитися відповідно з діаграмою Рінгельмана (рис. 1.5) [3].

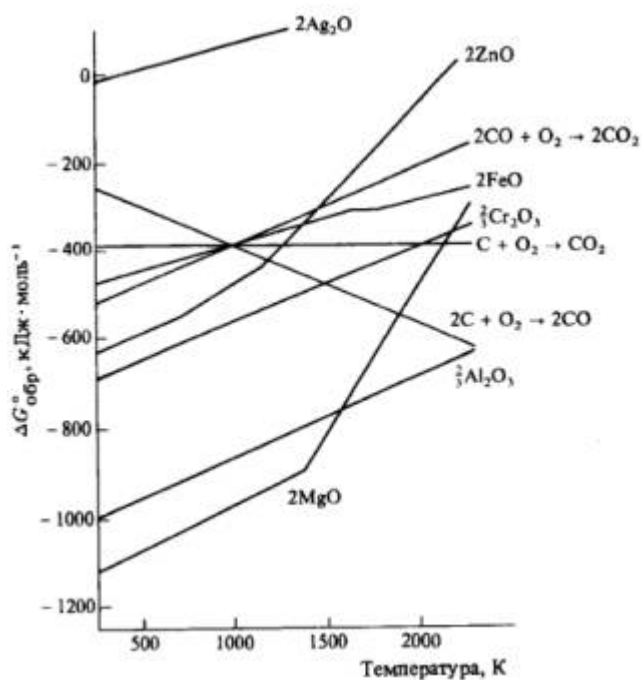


Рисунок 1.5 – Діаграма Рінгельмана

Для контролю запиленості повітря робочої зони можуть бути використані різні методи (фільтраційні, седиментаційні, електричні) і ін. Дуже перспективні нові методи вимірювання концентрації пилу в повітрі робочої зони з використанням лазерної техніки. У нашій країні найбільш поширений прямий ваговий (гравіметричний) метод вимірювання концентрації пилу в повітрі робочої зони. Він полягає у відборі всього, що знаходиться в зоні дихання, пилу на спеціальні аерозольні фільтри типу АФА ВП. Відбір проб здійснюється за допомогою різних аспіратор [3].

1.6 Датчик пилу та диму GP2Y1010

Цей датчик пилу «GP2Y1010» є пристроєм для виявлення домашнього пилу, сигаретного диму тощо та розроблений як датчик для автоматичного запуску таких програм, як очищувач повітря та кондиціонер очищення повітря [17].

Світло від випромінювача (Light Emitting Diode) помічається за допомогою лінзи у круглій щілині, як показано на діаграмі-А (рис. 1.6) [17].

Також перед детектором світла (фотодіодом) розміщено об'єктив і щілину для відсікання світла, яке перешкоджає, і для ефективного виявлення відбиття світла (при виявленні пилу). Область, де перетинаються ці дві оптичні осі - зона виявлення пристрою [17].

Діаграма-В показує, що відбувається всередині пристрою, коли немає пилу, а діаграма-С показує, що відбувається коли пил є [17].

Пристрій видає напругу, навіть якщо пил не виявляється. Це вихідна напруга при відсутності пилу, вона вказується як V_{oc} у специфікації. Це тому, що світло, що випромінюється світлодіодами, відбивається у пристрої та деяка його частина потрапляє до детектора [17].

Діаграма С показує, як працює пристрій, коли всередині нього є пил та/або сигаретний дим. В цьому випадку, детектор виявляє світло, відбите від пилу та/або частинки сигаретного диму. Число пилу пропорційно кількості виявленого світла виходить із детектора, і пристрій передає на аналоговий вихід напруги (Pulse output) після того, як схема підсилювача посилює струм від детектора [17].

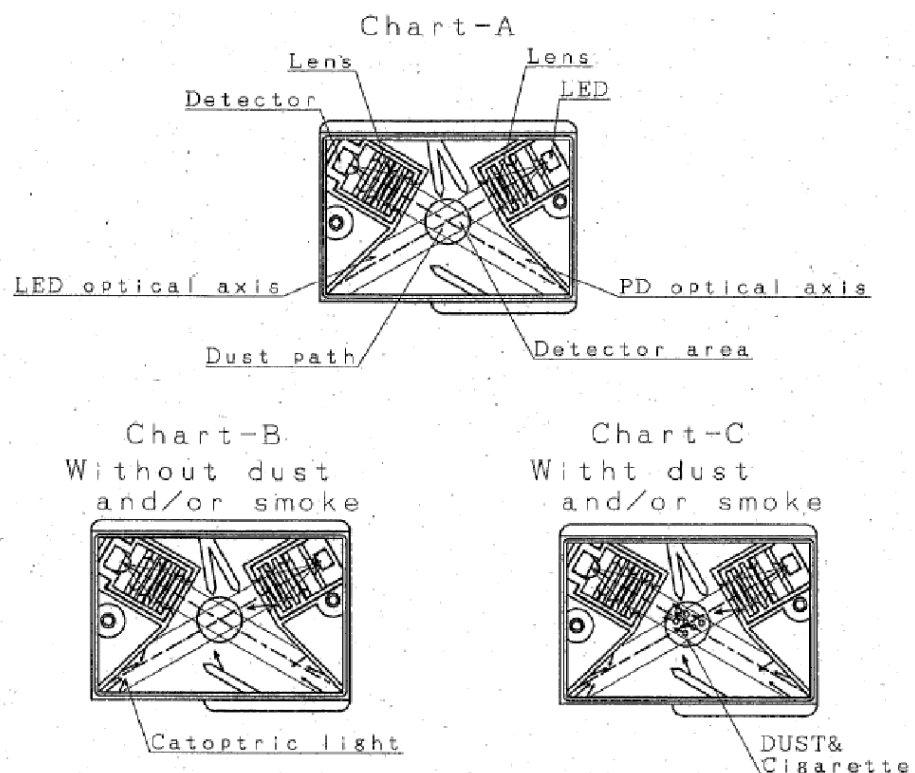


Рисунок 1.6 – Функціональна схема датчику GP2Y1010

Світлодіод випромінює імпульсне світло. Виявлений сигнал посилюється схемою підсилювача і згасає, синхронізований з імпульсним випромінюванням світлодіода (рис. 1.7) [17].

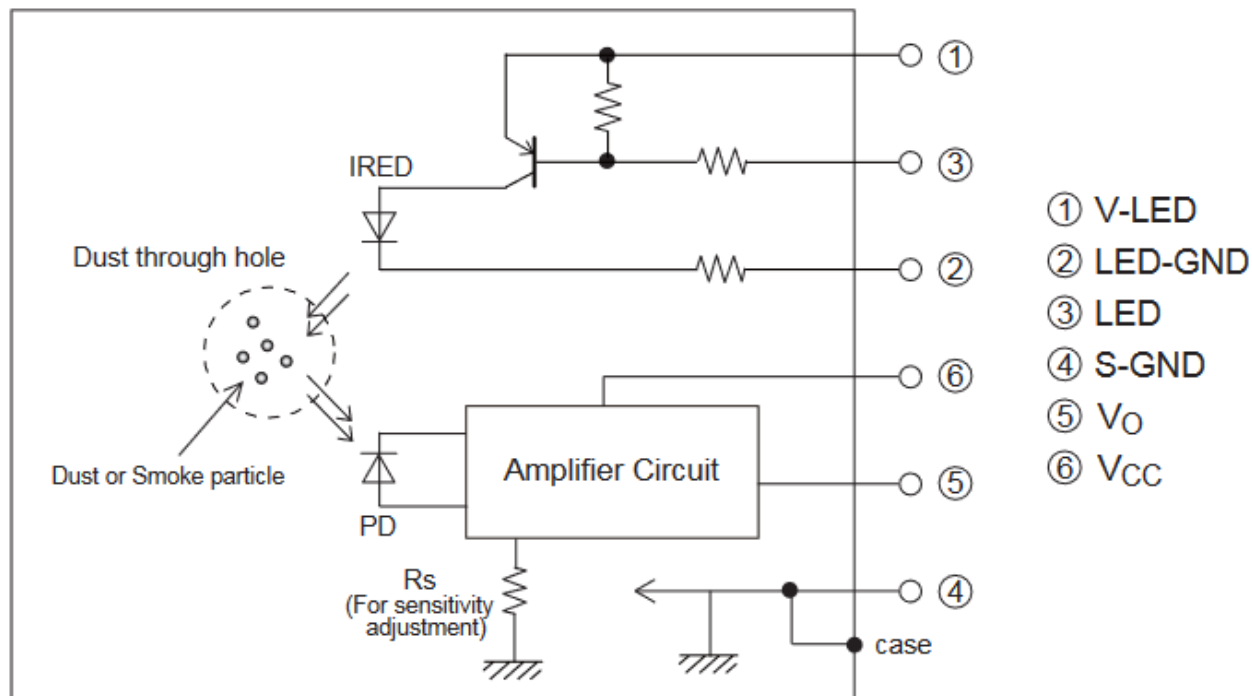


Рисунок 1.7 – Внутрішня схема датчику

Резистор, $R1=150\Omega$ і конденсатор, $C1=220\mu F$, з рисунку 1.4, необхідні для імпульсного приводу світлодіоду GP2Y1010 (рис. 1.8) [17].

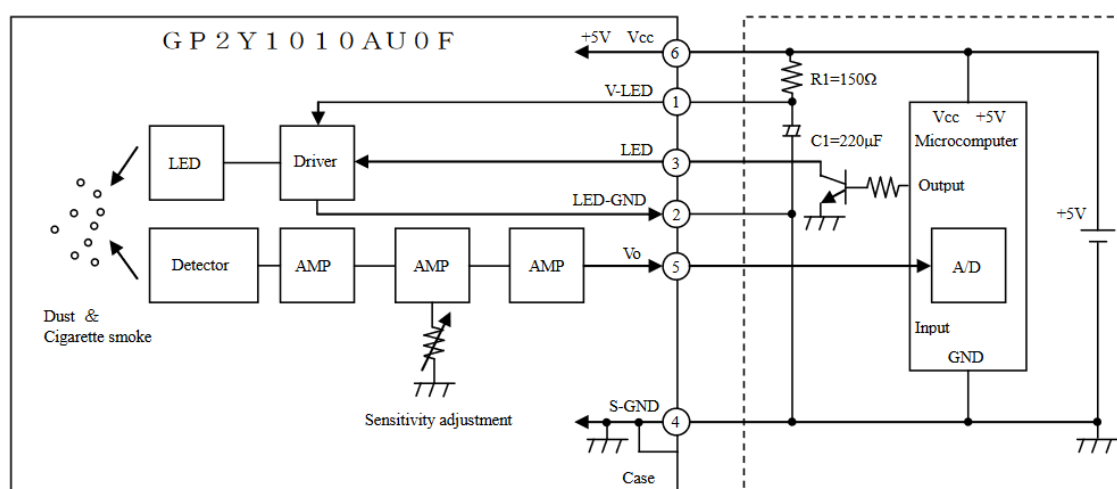


Рисунок 1.8 – Приклад підключення датчику

Зазначене вихідне значення – це те, яке вимірюється через 0,28 мс після ввімкнення світлодіода (табл. 1.2). Тому мікрокомп'ютеру рекомендується зчитувати вихідні дані через 0,28 мс після увімкнення світлодіода (рис. 1.9) [17].

Таблиця 1.2 – Параметри імпульсу світлодіода

Параметр	Символ	Вказана умова	Рекомендована умова	Одиниці виміру
Цикл імпульсу	T	10	10 ± 1	Мс
Довжина імпульсу	Pw	0.32	0.32 ± 0.02	мс
Робоча напруга живлення	Vcc	5	5 ± 0.5	В

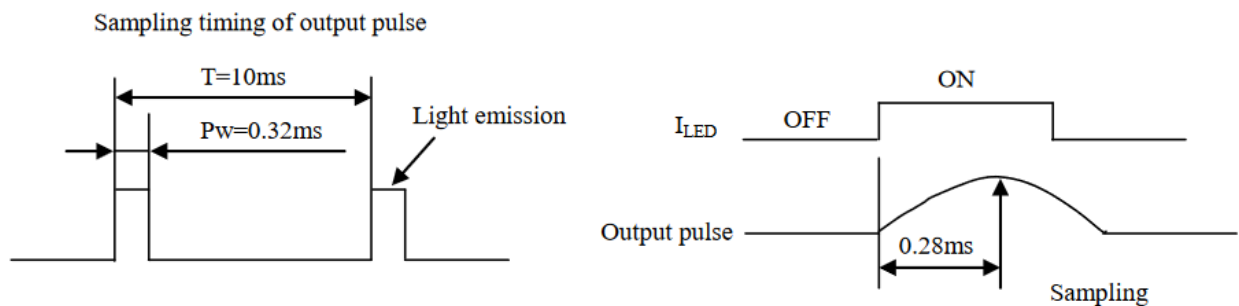


Рисунок 1.9 – Час дискретизації вихідного імпульсу

Час, необхідний для того, щоб пристрій був готовий виявити пил після ввімкнення системи менше 1 с [17].

На виході датчику пилу GP2Y1010 формується вихідний сигнал напруги. Залежність кількості пилу від вихідного сигналу напруги показана на рис. 1.10.

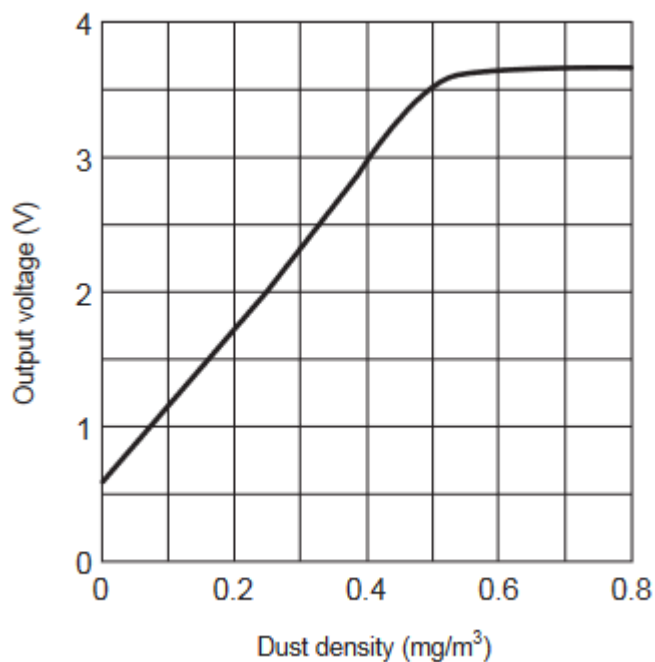


Рисунок 1.10 – Залежність вихідної напруги від щільності пилу

1.7 Датчик температури та вологості GY-21

Модуль датчика вологості та температури GY21 (рисунок 1.11) на основі датчика SHT21 є високоточним модулем для вимірювання температури та вологості. Має дуже низьку похибку у своєму класі: при вимірюванні температури вона становить - 0.4%, а вологості - 2% (рисунок 1.12). Завдяки такій низькій похибці та універсальному інтерфейсу I2C даний модуль підходить для вимірювання температури та вологості в промислових приміщеннях [18].

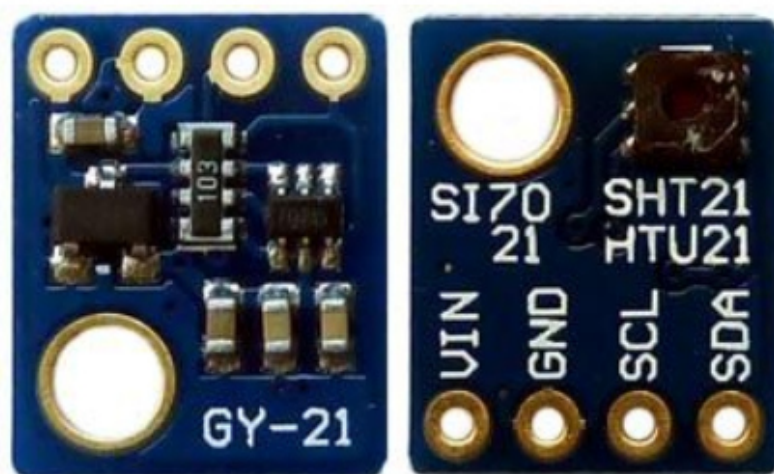


Рисунок 1.11 – Модуль датчика GY-21

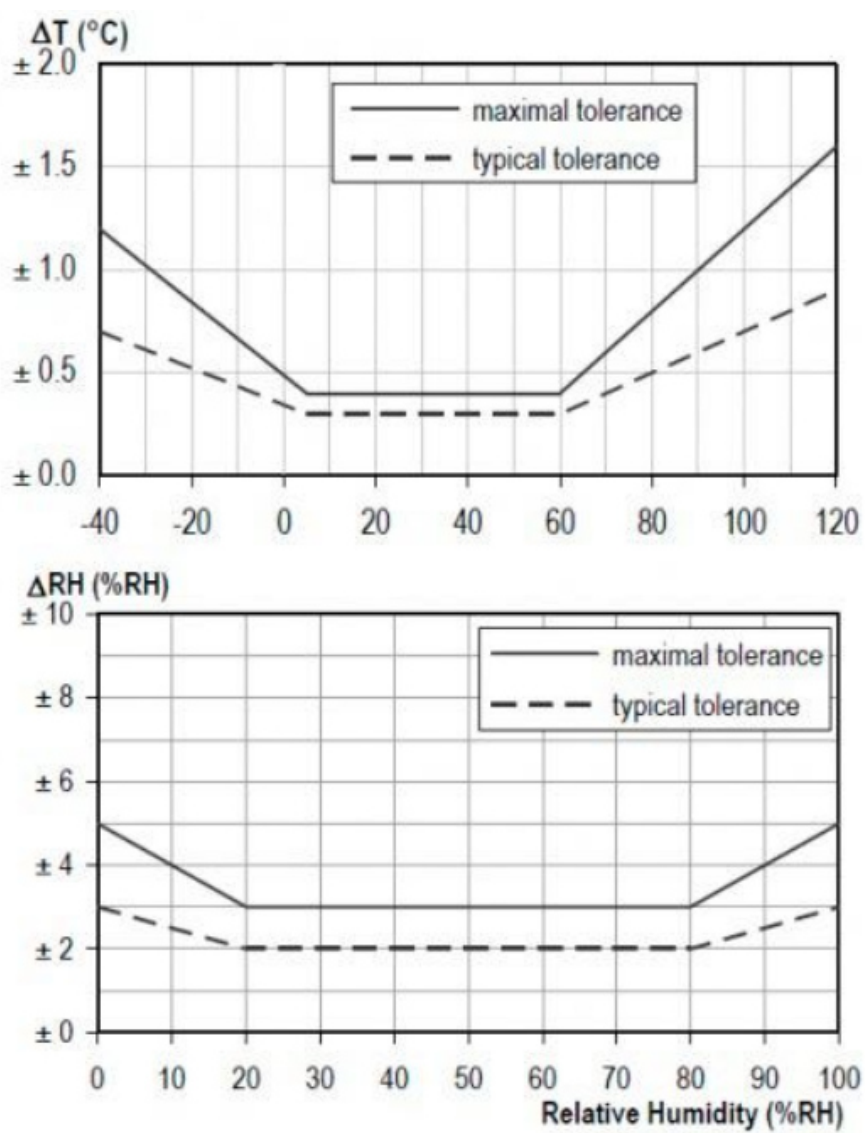


Рисунок 1.12 – Похибки вимірювання температури та вологості

1.8 Технології обміну даними в електронних системах моніторингу

Для виходу в інтернет існує кілька способів його підключення, які відрізняються один від одного, власне, самою технологією підключення, тарифами за користування, а також технічними характеристиками, які визначають швидкість передачі інформації, і стабільність самого підключення, і час відгуку, і інші тонкощі. Як бачимо, якість Інтернету залежить не тільки від апаратних потужностей комп'ютерного або мобільного пристрою, як деякі вважають. За якість інтернет-підключення відповідають постачальники цієї послуги – спеціальні організації, так звані провайдери.

Супутниковий інтернет. Радіус покриття цього виду підключення найширший із усіх можливих, завдяки чому скористатися Інтернетом можна у будь-якій точці земної кулі. Однак супутниковий Інтернет так і залишився не дуже затребуваним з кількох причин. По-перше, цей вид підключення забезпечує односторонній доступ, тобто передача інформації можлива тільки з мережі до користувача, зворотної передачі немає. По-друге, цей вид підключення має порівняно низьку надійність та залежить від метеорологічних умов. Якщо супутник потрапить до «тіньових зон», зв'язок різко погіршується або зникає зовсім. Є й інші недоліки - наприклад, дуже дороге обладнання для підключення, висока вартість, невисока швидкість відгуку. Тому такий вид підключення можна вибирати лише в тому випадку, якщо ви живете далеко від цивілізації та іншого способу просто нема.

Мобільний інтернет. Сама назва каже за себе. Це інтернет, яким ви можете скористатися де б ви не знаходилися в зоні покриття провайдера (мобільного оператора). Тут є два варіанти підключення: через мобільний телефон чи спеціальний модем. Останній можна підключити до смартфона, планшета або ноутбука через порти USB (miniUSB) як окремий невеликий пристрій. Таким модемом часто виробники апаратно комплектують деякі моделі комп'ютерної та мобільної техніки. Майже всі сучасні мобільні телефони мають вихід в Інтернет. Деякі застарілі моделі підключаються за допомогою повільної і водночас

дорогої технології GPRS. А для більш сучасних мобільних пристроїв – смартфонів та планшетів – мобільні оператори пропонують високошвидкісні технології підключення, які здатні забезпечити доступ до інтернету скрізь, де є покриття цього оператора. Це такі технології, як: CDMA, WiMAX, LTE, UMTS. Якщо гаджет не оснащений вбудованим модемом, здатним підтримувати ці технології, практично всі мобільні оператори можуть запропонувати свій брендовий модем, що під'єднується. Швидкість передачі даних у цих технологіях може відрізнятися в різних місцях знаходження користувача. Однак зараз випускаються спеціальні підсилювачі інтернет-сигналу, які здатні збільшити цю швидкість.

Телефонне з'єднання (діалап). Використовується в тому випадку, якщо квартиру проведено стаціонарний телефон. Підключивши комп'ютер або ноутбук через проводовий модем до телефонної лінії, ви отримуєте доступ до Інтернету. Телефон у цей час, природно, буде зайнятий, і не можна буде скористатися до закінчення сеансу роботи в Мережі. І це не єдиний недолік телефонного з'єднання – так, цей спосіб інтернет-з'єднання один із найдорожчих, при цьому, мабуть, найповільніший.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – це один із сучасних видів бездротового зв'язку. Практично на всіх смартфонах, планшетах та ноутбуках вбудований спеціальний модуль, який дозволяє виходити в інтернет, перебуваючи в зоні дії Wi-Fi точок доступу (зазвичай радіус дії близько 100 м). Модуль Wi-Fi також можна придбати окремо і підключити до ПК як окремою платою, що вбудовується, так і у вигляді зовнішнього пристрою, що підключається по USB. Сама по собі технологія Wi-Fi досить швидкісна, але через те, що точки доступу зазвичай бувають перевантажені, кінцева швидкість іноді бажає кращого.

ADSL. ADSL є особливим видом підключення до інтернету по телефонній лінії, при цьому вихід в Інтернет ніяк не заважає роботі телефону. Якість такого з'єднання набагато вище, ніж при звичайному телефонному з'єднанні. Воно має високу швидкість передачі інформації та відмінну стійкість.

Пряме підключення. Це найкращий на сьогоднішній день спосіб підключення до Інтернету. Комп'ютер користувача з'єднаний з звичайним провайдером мережним кабелем. Переваги цього підключення у його високій швидкості, стабільності, надійності, низькій вартості. Але доступний цей спосіб, на жаль, лише у великих населених пунктах – там, де проходять лінії кабелів місцевих провайдерів.

Для нашої системи обираємо Wi-Fi-з'єднання. Через стабільну швидкість та бездротове підключення та доступність.

1.9 Серверні технології збирання, збереження, відтворення та аналізу даних

ThingSpeak – це хмарна платформа інтернету речей (IoT), яка дозволяє збирати, відображати та аналізувати потокові дані. Є можливість надсилати дані до ThingSpeak з різних пристроїв, налаштовувати їх відображення в реальному часі та надсилати повідомлення через Twitter і Twilio.

Ключові особливості:

- Налаштування пристроїв та надсилання даних у ThingSpeak через REST API або MQTT
- Збір даних за запитом із пристроїв та інших джерел
- Відображення реального часу поточних та історичних даних
- Запуск аналітики автоматично за таймером або настанням події
- Взаємодія з сервісом надсилання повідомлень Twilio та соцмережею Twitter.

Датчики, або "речі", зазвичай працюють локально. ThingSpeak дозволяє їм, а також іншим пристроям і навіть веб-сайтам зберігати дані у хмарі - у закритих чи публічних каналах. За замовчуванням канали ThingSpeak закриті від інших користувачів, але за бажанням ви можете зробити їх доступними для всіх. Як тільки дані потрапили до каналу ThingSpeak, ви можете їх візуалізувати,

аналізувати та перетворювати. Крім того, з ThingSpeak ви можете взаємодіяти з соцмережами, веб-сервісами та різними пристроями [13].

Azure IoT Edge. Azure IoT Edge – це повністю керована служба на базі Центру Інтернету речей. Розгортайте хмарні робочі навантаження – штучний інтелект, служби Azure та сторонніх постачальників або вашу власну бізнес-логіку – та запускайте їх на прикордонних пристроях Інтернету речей за допомогою стандартних контейнерів. Завдяки переміщенню певних робочих навантажень на периферію мережі, ваші пристрої будуть витрачати менше часу на підключення до хмари, швидше реагувати на локальні зміни та надійно працювати навіть при тривалому відключенні від мережі.

AWS. AWS пропонує сервіси та рішення Інтернету речей (IoT), які допомагають підключатися до мільярдів пристроїв та керувати ними. Збирайте, зберігайте та аналізуйте дані IoT для робочих навантажень у промисловості, сфері споживчих товарів, комерційній та автомобільній галузях. Масштабуйтеся, швидко переміщайтеся та заощаджуйте гроші з AWS IoT. Від безпечного підключення пристроїв до управління, зберігання та аналітики AWS IoT надає широкий спектр сервісів для створення комплексних рішень. Сервіси AWS IoT працюють з кожним рівнем вашої програми та системи безпеки пристрою. Захистіть дані пристрою за допомогою превентивних механізмів, таких як шифрування та контроль доступу, а також постійно перевіряйте та моніторте налаштування з AWS IoT Device Defender.

Google Cloud IoT. Google Cloud Platform є ще одним глобальним хмарним постачальником, який підтримує рішення IoT. Його пакет Google Cloud IoT дозволяє створювати та керувати системами IoT будь-якого розміру та складності. Рішення Google Cloud IoT включає ряд служб, за допомогою яких можна створювати мережі IoT:

- Cloud IoT Core - повністю керований сервіс для простого та безпечного підключення, а також керування та прийому даних з різних пристроїв.
- Cloud Pub/Sub – сервіс, який обробляє дані про події та надає аналітику потоків у реальному часі.

- Cloud Machine Learning Engine, що дозволяє створювати моделі ML та використовувати дані, отримані з пристроїв IoT.

Рішення IoT, розроблене Google, включає ряд інших послуг, які можуть бути корисні при побудові комплексних підключених мереж [16].

SAP. Цей німецький розробник корпоративних програмних рішень не міг залишитися осторонь ринку інструментів і додатків IoT, що швидко зростає. Хмарна платформа SAP для Інтернету речей має все необхідне для створення та управління IoT-додатками [16].

Платформа SAP - це зручне середовище для віддаленого керування та моніторингу всіх підключених пристроїв, що належать вашій системі IoT. Видалені пристрої можуть бути підключені безпосередньо або через хмарний сервіс. Потужні аналітичні можливості дозволяють обробляти, систематизувати та вивчати дані, отримані від датчиків, лічильників та інших пристроїв IoT.

Звичайно, відповідно до останніх технологічних тенденцій, SAP надає можливість використовувати дані IoT для створення програм штучного інтелекту та машинного навчання [16].

Salesforce IoT. Платформа IoT, американського виробника програмного забезпечення для хмарних обчислень та корпоративних рішень. Salesforce зосереджує свої зусилля на розробці IoT на створенні інтегрованої системи, що з'єднує пристрої IoT зі своїми клієнтами прямо в структурі Salesforce [16].

За допомогою Salesforce IoT ви можете створювати власні програми IoT, що підключають будь-який пристрій та інтерпретують його дані для подальшого використання [16].

Oracle Internet of Things. Платформа Oracle Internet of Things пов'язує програмне забезпечення підприємства з «реальним світом» пристроїв та їх метрик. Oracle надає виняткові можливості для бізнесу завдяки гнучкому середовищу для створення комерційних програм. Будучи визнаним лідером у секторі управління базами даних, Oracle підтримує обробку надзвичайно великого обсягу даних, що дозволяє створювати великомасштабні мережі IoT [16].

Cisco IoT Cloud Connect. Cisco фокусується на створенні зручної платформи для мобільних рішень IoT на основі хмарних технологій. Сервіс Cisco підтримує передачу голосу та даних, широке налаштування програм IoT та різні можливості монетизації [16].

Отримуємо повний пакет функцій управління та моніторингу пристроїв та розширених заходів безпеки - все з акцентом на мобільний додаток та взаємодію з користувачем. Ряд додаткових послуг дозволяє реалізувати інші функції - наприклад, IoT Services for Utility Networks можна використовувати для створення систем, спеціально призначених для використання комунальними компаніями, а IoT Advisory надає доступ до експертних консультацій з основних бізнес-завдань в IoT-секторі [16].

Для нашої системи обираємо ThingSpeak, через його доступність, безкоштовність та просте користування.

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В АТМОСФЕРІ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.

2.1 Структурна схема системи

В останні роки в області моніторингу параметрів мікроклімату помітне зростання інтересу до технологій Інтернету речей (IoT), хмарних та периферійних обчислень, що підтверджується значною кількістю проектів подібних систем [21 – 23, 25]. Дійсно застосування цих технологій робить зручним та доступним проектування систем моніторингу навколишнього середовища на основі сучасних мережевих технологій, засобів провідного та бездротового зв'язку, хмарних обчислень тощо. У той самий час слід зазначити існування певних проблем, із якими стикаються розробники. Технології IoT (інтерфейси, протоколи зв'язку, сервіси зберігання, відображення та обробки даних тощо) дозволяють будувати системи з великою кількістю сенсорів, що в свою чергу визначає можливість забезпечення максимально повноцінної інформації про стан контрольованих параметрів навіть із приміщень складної геометрії, де існує значна неоднорідність цих параметрів. Але з іншого боку зрозуміло, що збільшення кількості застосовуваних сенсорів призводить до значного зростання кошторису проекту. Сенсори з високими технічними та метрологічними параметрами можуть становити більшу частину ціни системи навіть у разі невеликої кількості таких компонентів. Намір використати набагато більше дорогих компонентів системи зробить розробку проекту економічно не вигідним. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок використання більш доступних сенсорів. Моніторинг концентрації твердих домішок та аерозолів у повітрі може здійснюватися за допомогою низки ефективних методів (гравіметричний метод, метод вимірювання на основі бета-променів, метод вимірювання резонансної частоти тощо), але найбільш доступні сенсори будуються на принципі розсіювання світла для вимірювання частинок [22, 23,

25]. Цей метод не тільки дозволяє створити дешевші сенсори, а й значно технологічніше, скажімо, гравіметричний (який вважається найточнішим) і може використовуватися в автоматичному режимі без частого втручання обслуговуючого персоналу. У той же час, найбільш доступні оптичні сенсори концентрації твердих домішок у повітрі (Sharp GP2Y1010AU0F, Nova SDS011, PMS3003) мають значно гірші за метрологічні характеристики. Переваги використання таких сенсорів викликали останнім часом інтерес до вивчення особливостей та розробки методів покращення метрологічних характеристик подібних пристроїв та провели ряд досліджень, в яких проаналізовано фактори похибки та запропоновано методи визначення компенсаційних коефіцієнтів для доступних оптичних датчиків концентрації пилу в повітрі, методи їх калібрування та компенсації. . впливу на результати вимірювань факторів, що обурюють: температури та вологості [23,25]. Необхідність застосування процедури калібрування та компенсації та загальна тенденція до використання периферійних обчислень разом з хмарними [24,25] вимагає використання у складі системи мікроконтролерів з достатньою обчислювальною потужністю (наприклад, подібних до ESP8266 або ESP32), що дозволить використовувати досить складні процедури автоматичного калібрування аналізу результатів вимірювань із великої кількості сенсорів у системі в реальному часі та застосування складної обробки даних. Актуальним можна вважати підхід до проектування систем моніторингу параметрів середовища в умовах закритих приміщень, що ґрунтується на використанні існуючої там інфраструктури зв'язку (наприклад WiFi). Підтвердженням цієї ідеї може бути періодичний випуск різними розробниками мікроконтролерів з підтримкою одночасно кількох загальноприйнятих технологій бездротового обміну даними та підвищеними обчислювальними потужностями [25].

При розробці будь-якої системи необхідно для початку розробити структурну схему (рис. 2.1).

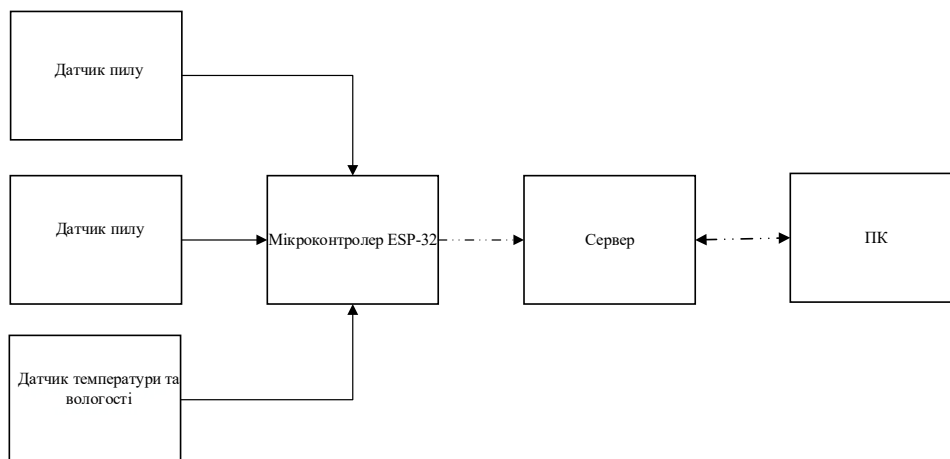


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об’єктів теплоенергетики

Повітря потрапляє до датчиків пилу. Датчики перетворює отримані данні в електричний сигнал та відправляє його до мікроконтролеру. Мікроконтролер отримує дані та, за допомогою Wi-Fi-модуля відправляє їх на сервер. Ці дані можна побачити на ПК приєднавшись до мережі Wi-Fi.

Для нашої схеми ми обрали: датчик пилу SHARP GP2Y1010, датчик температури та вологості HTU-21, модуль мікроконтролеру ESP-32, у якості серверу – ThingSpeak.

2.2 Схема підключення датчика пилу SHARP GP2Y1010

Датчик SHARP GP2Y1010 призначений для вимірювання ступеня запилення або задимленості повітря. Дуже зручний датчик для автоматизації управління системою вентиляції та кондиціонування повітря. Принцип роботи датчика заснований на вимірюванні фотодатчиком ступеня розсіювання інфрачервоного випромінювання світлодіода у середовищі, що вимірюється. Вимірювання проводиться в імпульсному режимі, що різко знижує струм, що споживається від джерела живлення. Підключення датчика показано на рис. 2.2.

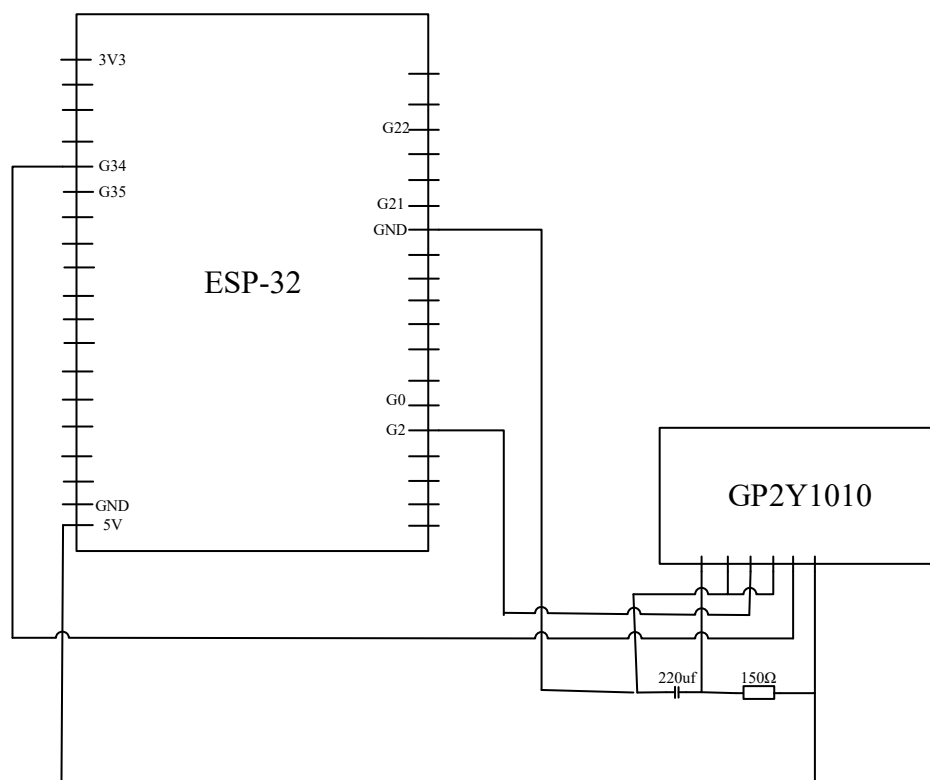


Рисунок 2.2 – Схема підключення датчика пилю SHARP GP2Y1010

Ніжка 1 – V-LED живлення світлодіода – підключаємо до 5 В через резистор 150 Ом, ніжка 2 – LED-GND виведення заземлення світлодіода – підключаємо до GND, ніжка 3 – LED використовується для увімкнення/вимкнення світлодіода – підключаємо до будь-якого цифрового виводу, ніжка 4 – S-GND контакт заземлення датчика – підключаємо до GND, ніжка 5 – VOUT виведення аналогового виходу датчика - підключаємо до будь-якого аналогового виводу, 6 – VCC живлення - підключаємо до 5V.

2.3 Схема підключення датчика температури та вологості HTU-21

Згідно з рисунком 2.3 підключаємо ніжку Vin до виводу живлення 3.3V мікроконтролера, ніжку GND підключаємо до ніжки GND мікроконтролера, ніжку SCL підключаємо до ніжки G22 (SCL), ніжку SDA до ніжки G21 (SDA) (рис. 2.3).

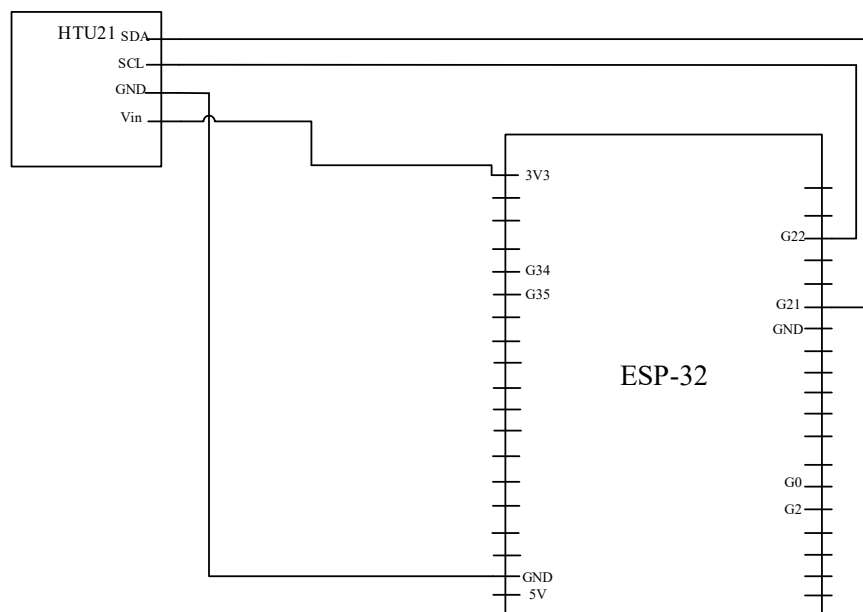


Рисунок 2.3 - Схема підключення датчика температури та вологості HTU-21

Повна схема з'єднання таким чином матиме наступний вигляд (рис. 2.4).

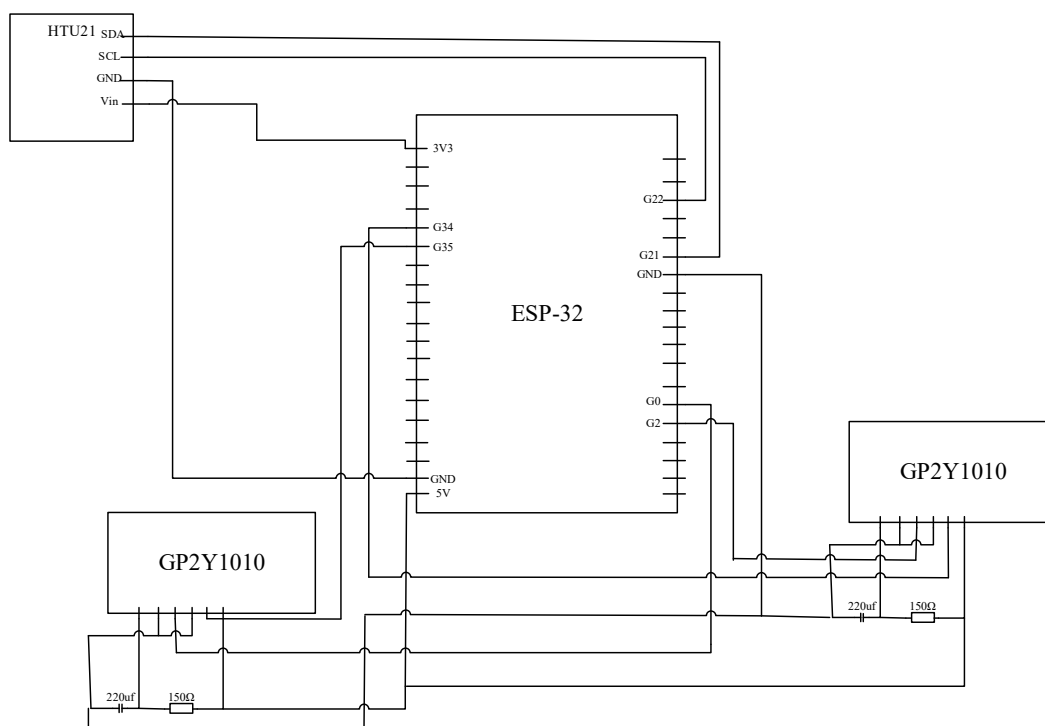


Рисунок 2.4 – Схема підключення компонентів системи

Відповідно до попередніх пунктів підключаємо усі компоненти системи. Другий датчик пилу підключаємо аналогічно першому.

3 МАТЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В АТМОСФЕРІ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

3.1 Розрахунок підсилювача сигналу датчика пилу

З рисунку 1.4 ми бачимо, що у схемі датчику GP2Y1010 є підсилювач сигналу (Amplifier circuit). У цьому розділі ми розрахуємо його для цього датчику.

Низькі фотоструми вимагають розробки малощумного підсилювача з високим коефіцієнтом посилення ланцюга, щоб отримати розумну вихідну напругу (рис. 3.1).

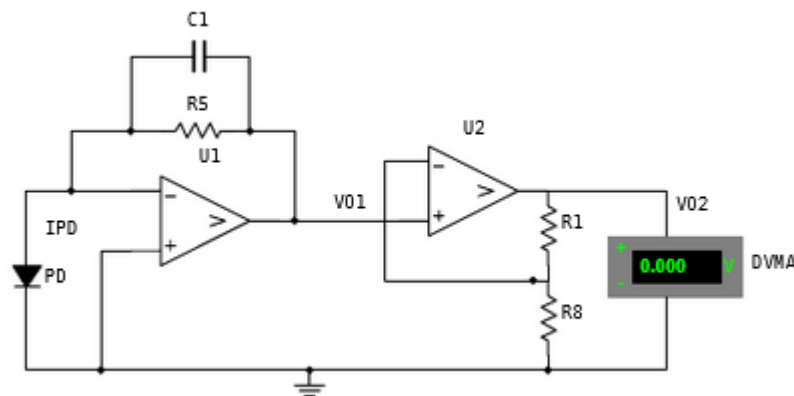


Рисунок 3.1 – Принципова схема двокаскадного підсилювача
схема для фотодіода PD

На рисунку 3.1 показана схема, призначена для вимірювання фотострумів. Вхідний операційний підсилювач U1 є високопрецизійний DiFET (OPA602) і використовується в трансконфігурації ланцюга імпедансу. Напруга на виході V_{O1} першого етапу регулюється високочастотним зворотним зв'язком резистор R_5 пов'язаний з фотогенератором. Діодний струм I_{PD} розраховуємо за формулою:

$$I_{PD} = V_{O1} \cdot R_5. \quad (3.1)$$

Опір зворотного зв'язку встановлюється резистором R5 до значення 470 МОм і струм встановлюється на рівні 2 пА, таким чином фотострум повинен давати вихідну потужність один мілівольт.

При необхідності можна подати вихід з першого каскаду схеми RC фільтра високих частот. Це може використовуватися при переході світлодіода з періодичним або імпульсним сигналами ($f > RC$) для виконання перехідних вимірювань.

Другий каскад – це звичайна неінвертуюча напруга, за допомогою операційного підсилювача з низьким входом ОРА602 (U2) з можливістю вибору підсилення з п'яти прецизійних резисторів (показаний лише резистор R1). Коефіцієнт посилення напруги другого каскаду задається як:

$$G = \frac{V_{O2}}{V_{O1}} = \left[1 + \frac{R_{1,2,4-7}}{R_8} \right]. \quad (3.2)$$

R8 встановлюється на значення 470 Ом і таким чином посилюється другий каскад можна вибрати від 10 до 100 000. Отже, 2 фотострум повинен давати вихід 100 мВ напруги VO2. Вихідна напруга пов'язана з фотострумом (який, у свою чергу, може бути пов'язаний із люмінесцентним світловим сигналом) і визначається за формулою:

$$V_{O2} = \left[1 + \frac{R_{1,2,4-7}}{R_8} \right] \cdot R_5 \cdot I_{PD}. \quad (3.3)$$

3.2 Програма роботи системи

Для роботи системи та для виведення та передачі даних необхідно запрограмувати мікроконтролер.

Перш за все підключаємо бібліотеки датчиків, бібліотеку для роботи мікроконтролера з мережею Wi-Fi, бібліотеку для передачі даних на сервер ThingSpeak та бібліотеку Wire:

```
#include <GP2YDustSensor.h>           //підключаємо бібліотеку GP2YDustSensor
#include <SparkFunHTU21D.h>           // підключаємо бібліотеку
SparkFunHTU21D
#include <WiFi.h>                     // підключаємо бібліотеку WiFi
#include <ThingSpeak.h>               // підключаємо бібліотеку ThingSpeak
#include <Wire.h>                     // підключаємо бібліотеку Wire
```

Далі встановлюємо логін та пароль мережі для підключення до мережі інтернет, ID каналу на ThingSpeak та ключ для записування даних. Далі переводимо ці дані у вигляд змінних:

```
#define Ssid "*****"                // вводимо назву мережі
#define PASS "*****"                // вводимо пароль мережі
#define CH_ID 1562346                // вводимо ID каналу ThingSpeak
#define WRITE_APIKEY "5ZV3L0MWWGBXUU5R" //ключ зчитування
```

```
unsigned long myChannelNumber = CH_ID;
const char * myWriteAPIKey = WRITE_APIKEY;
const char * ssid = Ssid;
const char * pass = PASS;
```

Наступний крок визначення ніжок для підключення датчику температури та вологості та визначення зміггих для вимірювання даних:

```
// HTU21
#define HTUPIN 22                    // встановлюємо пін датчику HTU21
```

```
#define HTU2TYPE HTU21           // встановлюємо тип датчику
```

```
float temperature = 0;
```

```
float humidity = 0;
```

```
float dust = 0;
```

```
float dust1 = 0;
```

```
float dust2 = 0;
```

Наступним кроком встановлюємо ніжки для підключення датчиків пилу SHARP GP2Y1010 та встановлення змінних для розрахунку кількості пилу:

```
int measurePin1 = 34;           //Connect dust sensor to ESP32 34 pin
```

```
int ledPower1 = 0;              //Connect led driver pins of dust sensor to ESP32 pin 0
```

```
float voMeasured1 = 0;
```

```
float calcVoltage1 = 0;
```

```
float dustDensity1 = 0;
```

```
int measurePin2 = 35;           //Connect dust sensor to ESP32 34 pin
```

```
int ledPower2 = 2;              //Connect led driver pins of dust sensor to ESP32 pin 2
```

```
float voMeasured2 = 0;
```

```
float calcVoltage2 = 0;
```

```
float dustDensity2 = 0;
```

Далі встановлюємо паузи:

```
int samplingTime = 280;
```

```
int deltaTime = 40;
```

```
int sleepTime = 9680;
```

У void setup запускаємо бібліотеки, встановлюємо входи та виходи з датчиків та швидкість зчитування даних. Встановлюємо режим вмикання/вимикання світлодіоду датчиків пилю SHARP GP2Y1010:

```
void setup() {  
    delay(1000);  
    Serial.begin(9600);  
    WiFi.mode(WIFI_STA);  
    myHumidity.begin();  
    pinMode(ledPower1, OUTPUT);  
    pinMode(ledPower2, OUTPUT);  
    pinMode(measurePin1, INPUT);  
    pinMode(measurePin2, INPUT);  
    ThingSpeak.begin(client);  
  
    digitalWrite(ledPower1, LOW);  
    delayMicroseconds(samplingTime);  
    digitalWrite(ledPower1, HIGH);  
    delayMicroseconds(sleepTime);  
  
    digitalWrite(ledPower2, LOW);  
    delayMicroseconds(samplingTime);  
    digitalWrite(ledPower2, HIGH);  
    delayMicroseconds(sleepTime);  
}
```

Зчитуємо дані з датчиків:

```
void loop() {  
    humidity = myHumidity.readHumidity();
```

```

temperature = myHumidity.readTemperature();

digitalWrite(ledPower1, LOW); // power on the LED
digitalWrite(ledPower2, LOW); // power on the LED2

delayMicroseconds(samplingTime);

voMeasured1 = analogRead(measurePin1); // read the dust value
voMeasured2 = analogRead(measurePin2); // read the dust value 2

delayMicroseconds(deltaTime);

digitalWrite(ledPower1, HIGH); // turn the LED off
digitalWrite(ledPower2, HIGH); // turn the LED2 off

delayMicroseconds(sleepTime);

```

Перераховуємо отримані дані у мкг/м^2 . Так як ESP32 має 12 розрядів, а це дорівнює 4096 рівнів АЦП – тому у формулі перерахунку використовуємо 4096:

```

// 0 - 5V mapped to 0 - 4095 integer values
// recover voltage
calcVoltage1 = voMeasured1 * (5 / 4096.0);
calcVoltage2 = voMeasured2 * (5 / 4096.0);
// linear equation taken from http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/
// Chris Nafis (c) 2012
dustDensity1 = 170 * calcVoltage1 - 0.1;
dustDensity2 = 170 * calcVoltage2 - 0.1;

```

Записуємо дані до монітору послідовного порта та відправляємо данні на сервер ThingSpeak:

```
Serial.print(dustDensity1); // unit: ug/m3
Serial.print('\t'); // unit: ug/m3
Serial.print(dustDensity2); // unit: ug/m3
Serial.print('\t');
Serial.print("T=");
Serial.println(temperature);
```

```
// set the fields with the values
ThingSpeak.setField(1, temperature);
ThingSpeak.setField(2, dustDensity1);
ThingSpeak.setField(3, dustDensity2);
```

Підпрограма для виведення даних на ThingSpeak одночасно. Виконуємо передачу даних кожні 2 с:

```
// write to the ThingSpeak channel
int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
if (x == 200) {
    Serial.println();
}
else {
    Serial.println();
}
delay(2000);    // Wait 2 seconds to update the channel again
}
```

Повний варіант програми у Додатку Б.

3.3 Програма для візуалізації результатів у Matlab

У сервісі ThingSpeak є можливість об'єднати результати декількох вимірювань в одному графіку через Matlab. Для цього необхідно скласти програму.

Встановлюємо входні дані для зчитування даних з каналу ThingSpeak, а саме номер каналу, поля для зчитування та ключ зчитування:

% Template MATLAB code for visualizing data using the YYAXIS and PLOT functions.

% Prior to running this MATLAB code template, assign the channel variables.

% Set 'readChannelID' to the channel ID of the channel to read from.

% Also, assign the read field IDs to the variables 'fieldID1', and 'fieldID2'.

% TODO - Replace the [] with channel ID to read data from:

readChannelID = [1562346];

% TODO - Replace the [] with the Field ID to read data from:

fieldID1 = [1];

% TODO - Replace the [] with the Field ID to read data from:

fieldID2 = [2];

fieldID3 = [3];

% Channel Read API Key

% If your channel is private, then enter the read API

% Key between the " below:

readAPIKey = 'IZPEF3LNIMQWERY3';

Зчитуємо дані з ThingSpeak:

```
%% Read Data %%
```

```
% Read first data variable
```

```
[data1, time1] = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', fieldID1, 'NumPoints', 1300,  
'ReadKey', readAPIKey);
```

```
% Read second data variable
```

```
[data2, time2] = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', fieldID2, 'NumPoints', 1300,  
'ReadKey', readAPIKey);
```

```
[data3, time3] = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', fieldID3, 'NumPoints', 1300,  
'ReadKey', readAPIKey);
```

Візуалізація даних у вигляді графіку Matlab. Червоною лінією вказуємо температуру, синьою лінією вказуємо показники першого датчику пилу, зеленою – другий датчик пилу:

```
yyaxis right;
```

```
plot(time1, data1, 'r');
```

```
yyaxis left;
```

```
plot(time2, data2, 'b');
```

```
hold on;
```

```
plot(time3, data3, '-g', 'LineWidth',1);
```

```
hold on;
```

Програму повністю можна побачити у додатку В.

4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ В АТМОСФЕРІ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

4.1 Результати експериментів

За даною системою було проведено ряд експериментів. Результати цих експериментів наведено нижче. Для демонстрації результатів вимірювання було використано ThingSpeak та Matlab (рис. 4.1 – 4.4).

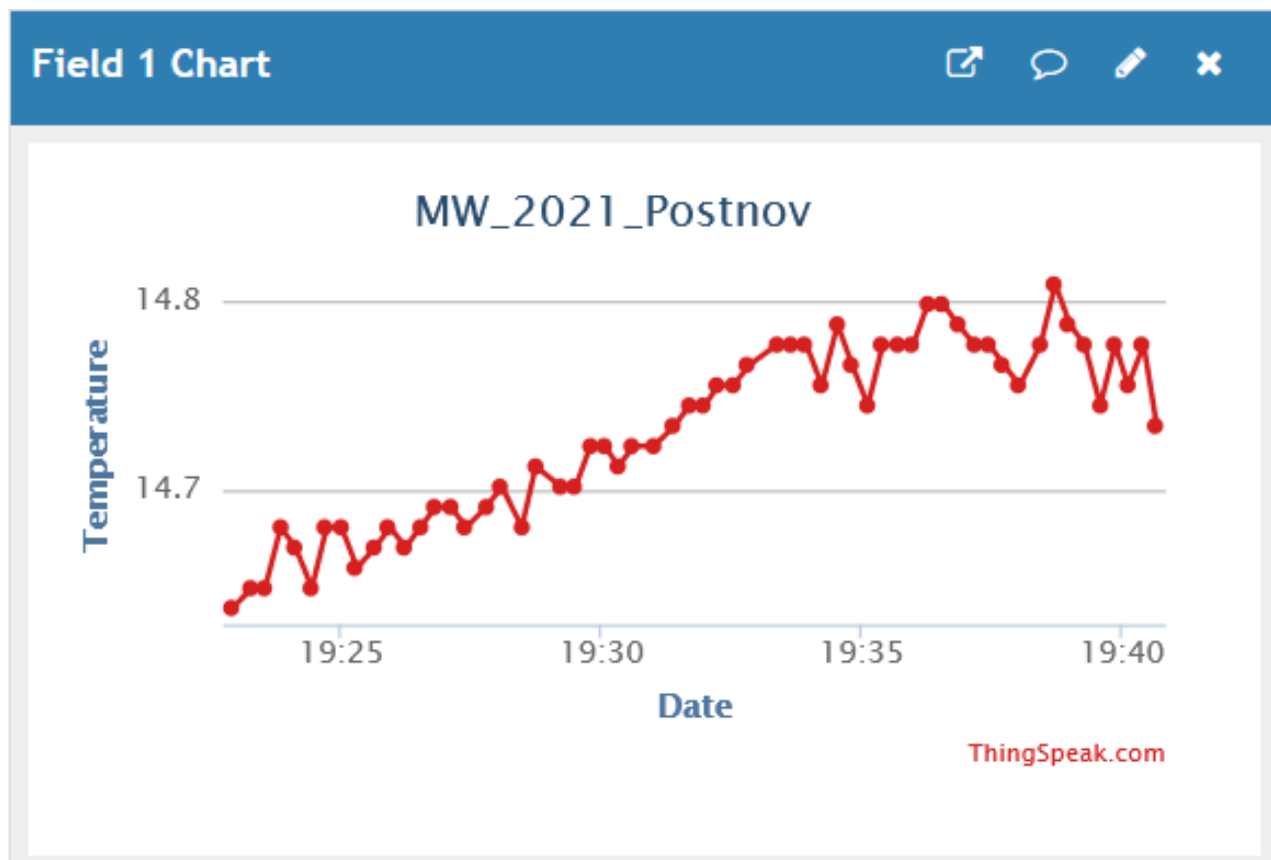


Рисунок 4.1 – Графік зміни температури

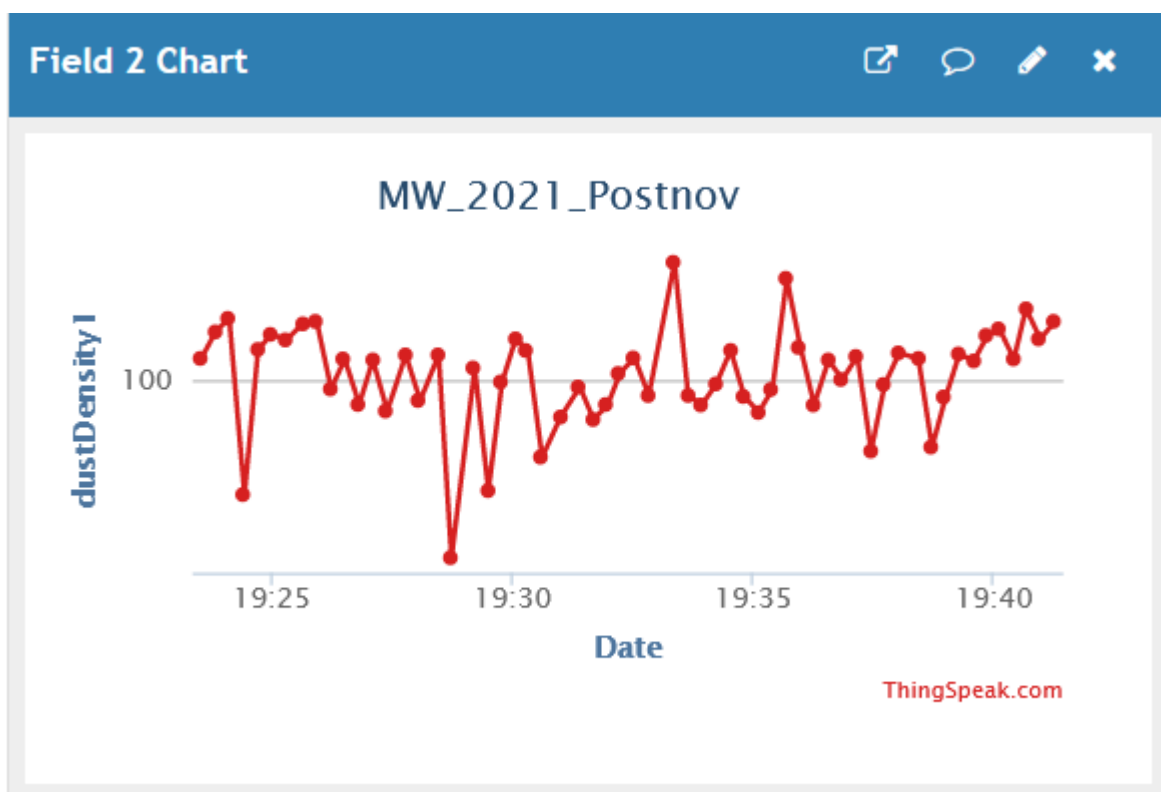


Рисунок 4.2 – Графік зміни концентрації пилу з першого датчику пилу GP2Y1010

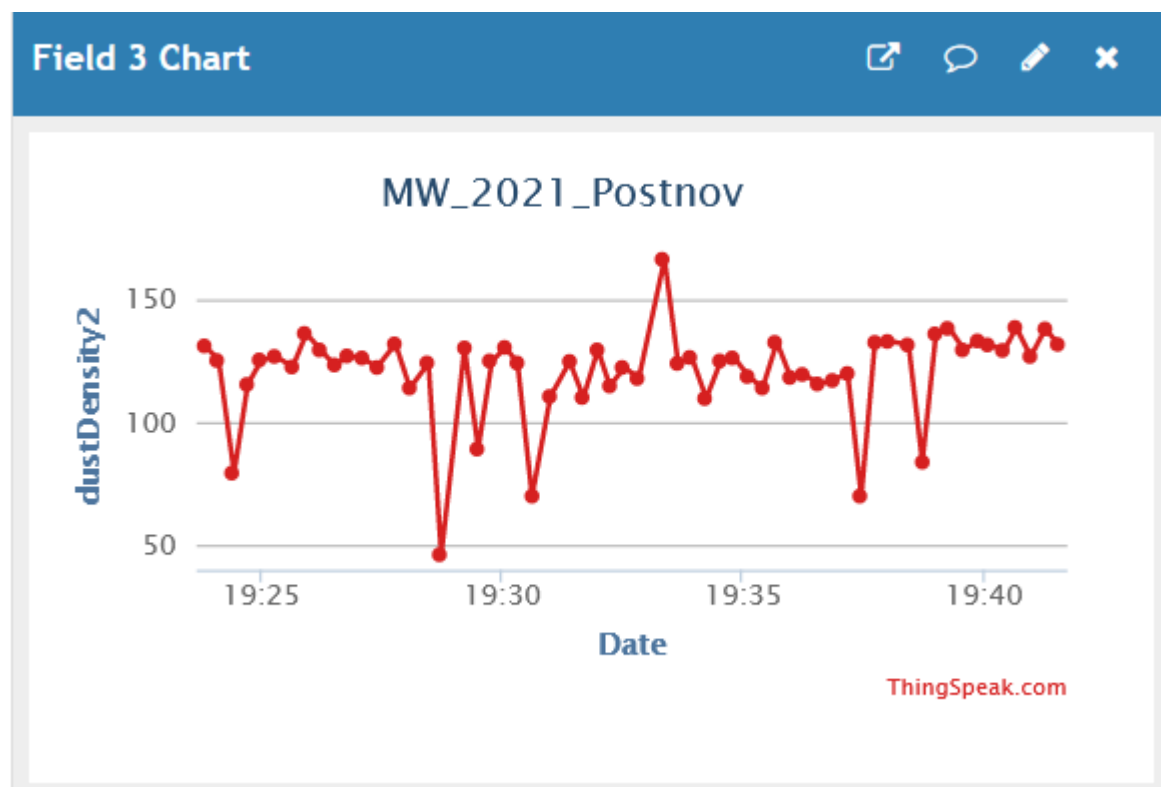


Рисунок 4.3 – Графік зміни концентрації пилу з другого датчику пилу GP2Y1010

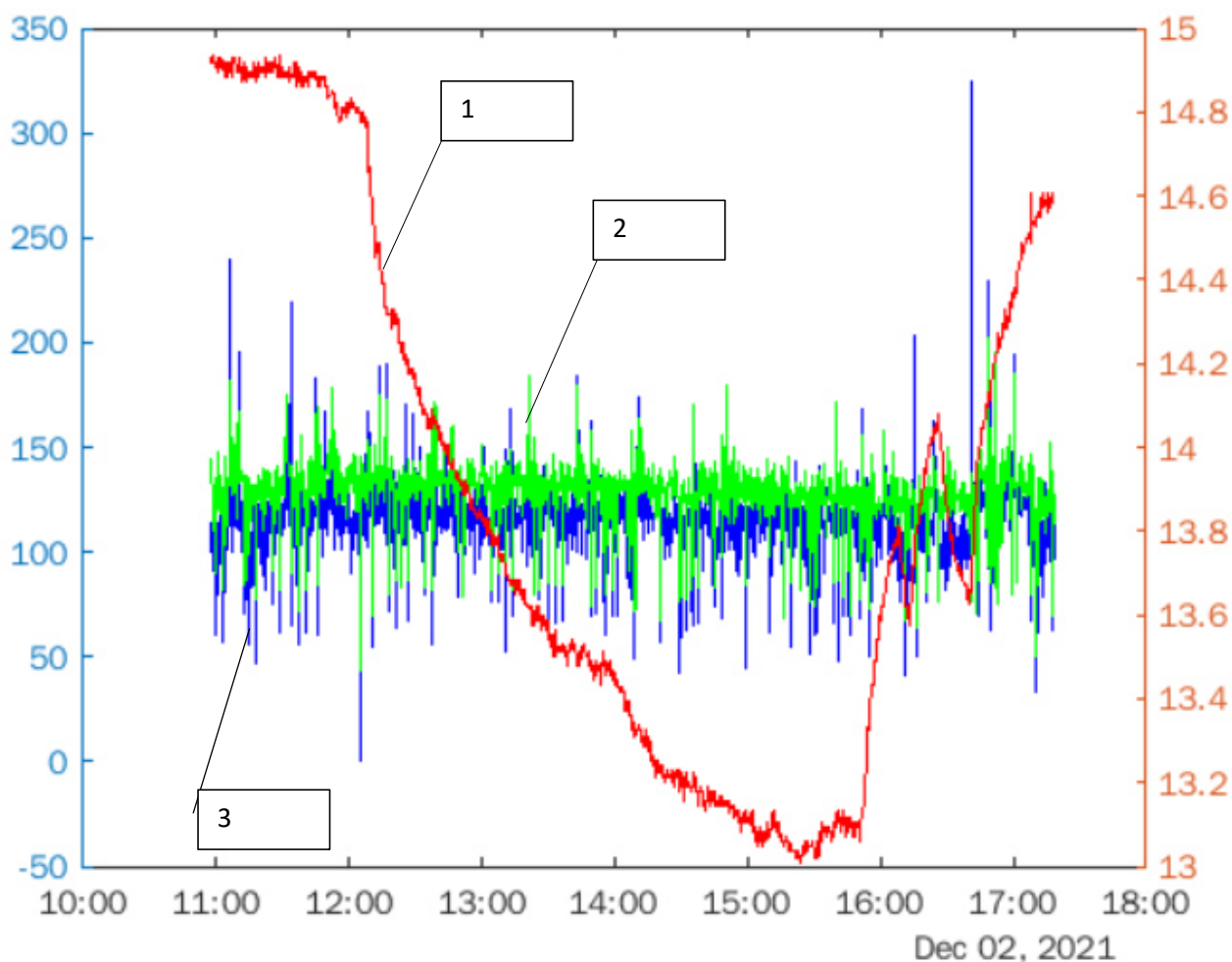


Рисунок 4.4 – Об'єднаний графік проведення експериментів на 1300 точок вимірювання: де – 1 – температура; 2 – концентрація пилу з першого датчику GP2Y1010; 3 – концентрація пилу з першого датчику GP2Y1010.

Як бачимо з рисунку 4.4 датчики відкалібровано, вони показують приблизно однакові показники пилу. Зміна температури не впливає на показники датчиків пилу GP2Y1010, як це зазначено у datashit цього датчику (рис. 4.5).

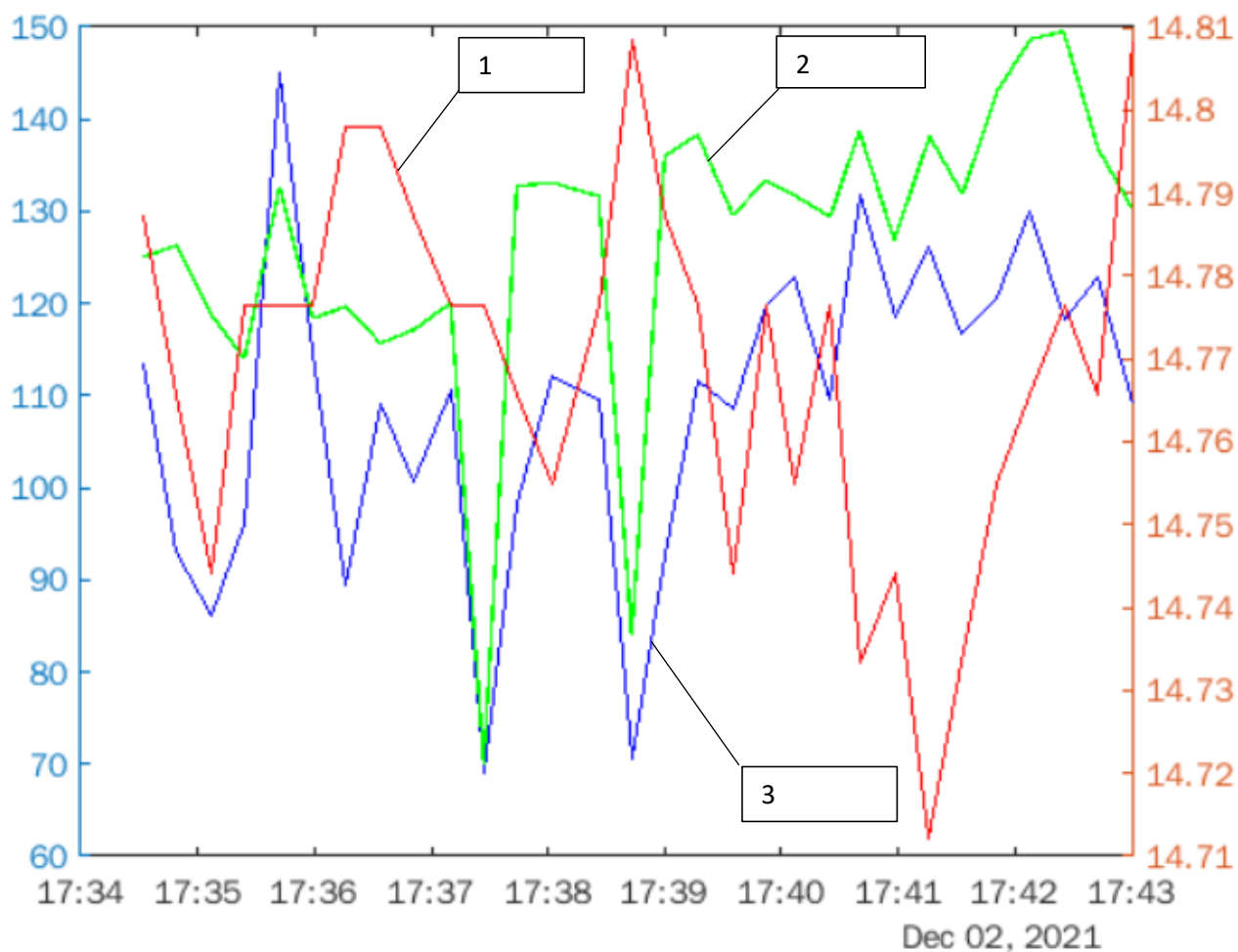


Рисунок 4.5 – Об'єднаний графік проведення експериментів на 30 точок вимірювання: де – 1 – температура; 2 – концентрація пилу з першого датчику GP2Y1010; 3 – концентрація пилу з першого датчику GP2Y1010.

4.2 Метрологічні характеристики датчиків

Розрахунок проведений за навчальною методикою [20].

Під час багаторазового вимірювання концентрації пилу отримано 3 серії з 15 результатів спостережень (див. таблицю нижче). Систематичні похибки в результатах спостережень виключені; всі результати рівної точності. Необхідно перевірити наявність грубих похибок в результатах спостережень ($P=0,95$); при виявленні результатів, що містять грубі похибки, виключити їх з серії (табл 4.1 – 4.3).

Таблиця 4.1 – Перша серія вимірювань першого датчика

X ₁ , мкг/м ²	X ₂ , мкг/м ²	X ₃ , мкг/м ²	X ₄ , мкг/м ²	X ₅ , мкг/м ²	X ₆ , мкг/м ²	X ₇ , мкг/м ²	X ₈ , мкг/м ²	X ₉ , мкг/м ²	X ₁₀ , мкг/м ²	X ₁₁ , мкг/м ²	X ₁₂ , мкг/м ²	X ₁₃ , мкг/м ²	X ₁₄ , мкг/м ²	X ₁₅ , мкг/м ²
105.7	105.1	105.17	105.77	105.81	105.71	105.58	105.19	105.23	105.59	105.92	105.06	106.07	105.41	105.26

Таблиця 4.2 – Друга серія вимірювань першого датчика

X ₁ , мкг/м ²	X ₂ , мкг/м ²	X ₃ , мкг/м ²	X ₄ , мкг/м ²	X ₅ , мкг/м ²	X ₆ , мкг/м ²	X ₇ , мкг/м ²	X ₈ , мкг/м ²	X ₉ , мкг/м ²	X ₁₀ , мкг/м ²	X ₁₁ , мкг/м ²	X ₁₂ , мкг/м ²	X ₁₃ , мкг/м ²	X ₁₄ , мкг/м ²	X ₁₅ , мкг/м ²
105.47	105.11	105.11	105.75	105.5	105.64	105.85	105.39	105.98	105.62	104.28	105.49	106.06	105.27	105.15

Таблиця 4.3 – Третя серія вимірювань першого датчика

X ₁ , мкг/м ²	X ₂ , мкг/м ²	X ₃ , мкг/м ²	X ₄ , мкг/м ²	X ₅ , мкг/м ²	X ₆ , мкг/м ²	X ₇ , мкг/м ²	X ₈ , мкг/м ²	X ₉ , мкг/м ²	X ₁₀ , мкг/м ²	X ₁₁ , мкг/м ²	X ₁₂ , мкг/м ²	X ₁₃ , мкг/м ²	X ₁₄ , мкг/м ²	X ₁₅ , мкг/м ²
106.36	104.94	105.83	105.37	104.91	105.37	105.9	105.39	105.94	105.84	106.11	106.09	106.17	105.67	105.99

1) визначаємо середнє значення результатів спостережень:

$$\overline{X}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = 105.505, \text{ мкг/м}^2$$

$$\overline{X}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = 105.378, \text{ мкг/м}^2$$

$$\overline{X}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = 105.725, \text{ мкг/м}^2$$

2) визначаємо дисперсію результатів спостережень:

$$D_{x.1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{X}_1)^2 = \frac{1}{15-1} \sum_{i=1}^{15} (x_i - 105.505)^2 = 0.105, \text{ мкг/м}^2$$

$$D_{x.2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{X}_2)^2 = \frac{1}{15-1} \sum_{i=1}^{15} (x_i - 105.378)^2 = 0.171, \text{ мкг/м}^2$$

$$D_{x.3} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_3)^2 = \frac{1}{15-1} \sum_{i=1}^{15} (x_i - 105.592)^2 = 0.193, \text{ мкг/м}^2$$

3) вибираємо в серії результатів:

$$x_{1.\max}=x_{13}=106.07 \text{ мкг/м}^2 \text{ і } x_{1.\min}=x_{12}=105.06 \text{ мкг/м}^2;$$

$$x_{2.\max}=x_9=105.98 \text{ мкг/м}^2 \text{ і } x_{2.\min}=x_{11}=104.28 \text{ мкг/м}^2;$$

$$x_{3.\max}=x_1=106.36 \text{ мкг/м}^2 \text{ і } x_{3.\min}=x_5=104.91 \text{ мкг/м}^2;$$

визначаємо допоміжні відношення:

$$g_{1.1} = \frac{x_{1.\max} - \bar{X}_1}{\sqrt{D_{x.1}}} = \frac{106.07 - 105.505}{0.105} = 1.747$$

$$g_{1.2} = \frac{\bar{X}_1 - x_{1.\min}}{\sqrt{D_{x.1}}} = \frac{105.505 - 105.06}{0.105} = 1.374$$

$$g_{2.1} = \frac{x_{2.\max} - \bar{X}_2}{\sqrt{D_{x.2}}} = \frac{105.98 - 105.378}{0.172} = 1.454$$

$$g_{2.2} = \frac{\bar{X}_2 - x_{2.\min}}{\sqrt{D_{x.2}}} = \frac{105.358 - 104.28}{0.171} = 2.651$$

$$g_{3.1} = \frac{x_{3.\max} - \bar{X}_3}{\sqrt{D_{x.3}}} = \frac{106.36 - 105.725}{0.193} = 1.445$$

$$g_{3.2} = \frac{\bar{X}_3 - x_{3.\min}}{\sqrt{D_{x.3}}} = \frac{105.725 - 104.91}{0.193} = 1.856$$

4) У довідковій таблиці [20] відповідно до $n=15$ та $P=0,95$ знаходимо значення $v_p=2,49$. Оскільки $v_{2.2}=2.651 > v_p=2,49$, то робимо висновок, що результат спостереження $x_{2.\min}=x_{11}=104.28 \text{ мкг/м}^2$ містить грубу похибку. Виключаємо $x_{11}=104.28 \text{ мкг/м}^2$ із ряду результатів спостережень; отримуємо «новий» ряд, що

містить 14 результатів спостережень, та перевіряємо його на наявність грубих похибок.

Виключивши мінімальний результат вимірів отримали такий другий ряд (табл 4.4):

Таблиця 4.4 – «нова» друга серія вимірювань

X ₁ , мкг/м ²	X ₂ , мкг/м ²	X ₃ , мкг/м ²	X ₄ , мкг/м ²	X ₅ , мкг/м ²	X ₆ , мкг/м ²	X ₇ , мкг/м ²	X ₈ , мкг/м ²	X ₉ , мкг/м ²	X ₁₀ , мкг/м ²	X ₁₁ , мкг/м ²	X ₁₂ , мкг/м ²	X ₁₃ , мкг/м ²	X ₁₄ , мкг/м ²
105.47	105.11	105.11	105.75	105.5	105.64	105.85	105.39	105.98	105.62	105.49	105.06	105.27	105.15

5) визначаємо середнє значення результатів спостережень «нового» ряду:

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} x_i = 105.456, \text{ мкг/м}^2$$

6) визначаємо дисперсію результатів спостережень «нового» ряду:

$$D_{x.2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_2)^2 = \frac{1}{14-1} \sum_{i=1}^{14} (x_i - 105.456)^2 = 0.085 \text{ мкг/м}^2$$

7) вибираємо в серії результатів «нового» ряду $x_{1.12.\max} = x_9 = 105.98 \text{ мкг/м}^2$ та $x_{1.12.\min} = x_{12} = 105.06 \text{ мкг/м}^2$ визначаємо допоміжні відношення:

$$g_{2.1} = \frac{x_{2.\max} - \bar{X}_2}{\sqrt{D_{x.2}}} = \frac{105.98 - 105.456}{\sqrt{0.085}} = 1.792$$

$$g_{2.2} = \frac{\bar{X}_2 - x_{2.\min}}{\sqrt{D_{x.2}}} = \frac{105.456 - 105.06}{\sqrt{0.085}} = 1.357$$

У довідковій таблиці відповідно до $n=14$ та $P=0,95$ знаходимо значення $v_p=2,46$.

Висновок: результати спостережень «нових» рядів з імовірністю $P=0,95$ не містять грубих похибок (табл 4.5), оскільки $v_{2.1}=1.792 < v_p=2,46$ і $v_{2.2}=1.357 < v_p=2,46$.

Таблиця 4.5 – Зведена таблиця результатів

$\overline{X}_i$, мкг/м ²	n _i	σ_i^2 , мкг/м ²
$\overline{X}_1 = 105.505$	n ₁ =15	$\sigma_1^2 = 0.105$
$\overline{X}_2 = 105.456$	n ₂ =14	$\sigma_2^2 = 0.085$
$\overline{X}_3 = 105.725$	n ₂ =15	$\sigma_3^2 = 0.193$

1) розраховуємо середнє зважене (результат нерівно точного вимірювання):

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 \cdot P_1 + \overline{X}_2 \cdot P_2 + \overline{X}_3 \cdot P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (4.1)$$

Ваги серій P_1 , P_2 і P_3 визначаємо із застосуванням дисперсій результатів спостережень в серіях, наданих в таблиці 4.5:

$$P_1 = \frac{1}{\sigma_1^2} = \frac{1}{0.105} = 9.551 \text{ мкг/м}^2$$

$$P_2 = \frac{1}{\sigma_2^2} = \frac{1}{0.085} = 11.721 \text{ мкг/м}^2$$

$$P_3 = \frac{1}{\sigma_3^2} = \frac{1}{0.193} = 5.182 \text{ мкг/м}^2$$

Отже:

$$\overline{\overline{X}} = \frac{105.505 \cdot 9.551 + 105.456 \cdot 11.721 + 105.725 \cdot 5.182}{9.551 + 11.721 + 5.182} = 105.527 \text{ мкг/м}^2$$

2) визначаємо с.к.в. середнього зваженого (с.к.в. випадкової похибки результату нерівноточного вимірювання):

$$\sigma(\overline{\overline{X}}) = \frac{1}{\left[\frac{1}{\sigma^2(\overline{X}_1)} + \frac{1}{\sigma^2(\overline{X}_2)} + \frac{1}{\sigma^2(\overline{X}_3)} \right]^{0.5}} \quad (4.2)$$

Дисперсію середнього арифметичного та с.к.в. середнього арифметичного кожної серії визначаємо наступним чином:

$$\sigma(\overline{X}) = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.105}{15}} = 6.98 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2$$

$$\sigma(\overline{X}) = \sqrt{\frac{\sigma_2^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.085}{14}} = 6.094 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2$$

$$\sigma(\overline{X}) = \sqrt{\frac{\sigma_3^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.193}{15}} = 0.013 \text{ мкг/м}^2$$

Отже:

$$\sigma(\overline{\overline{X}}) = \frac{1}{\left[\frac{1}{(6.98 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{(6.094 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{0.013^2} \right]^{0.5}} = 4.324 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2$$

Висновок: результат нерівноточного вимірювання (середнє зважене $\overline{\overline{X}}$) точніше результату будь-якої серії (середнього арифметичного $\overline{X}_1$, $\overline{X}_2$ або $\overline{X}_3$),

оскільки с.к.в. середнього зваженого менше, ніж с.к.в. середнього арифметичного будь-якої серії ($\sigma(\bar{X}) < \sigma(\bar{X}_1)$, $\sigma(\bar{X}) < \sigma(\bar{X}_2)$ та $\sigma(\bar{X}) < \sigma(\bar{X}_3)$).

3) записуємо результат нерівноточного вимірювання у вигляді точкової оцінки, застосовуючи правила округлення похибки та результату вимірювання:

$$Q = \bar{X} = 105.527 \text{ мкг/м}^2 \quad \sigma(\bar{X}) = \pm 4.324 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2 \quad n=44$$

4) у довідковій таблиці відповідно до $n=44$ та $P=0,95$ знаходимо значення коефіцієнта Ст'юдента $t=2,01$; визначаємо довірчу межу випадкової похибки результату нерівноточного вимірювання

$\varepsilon_p = t \cdot \sigma(\bar{X}) = 2.01 \cdot (\pm 4.324 \cdot 10^{-3}) = \pm 8.691 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2$ і записуємо результат нерівноточного вимірювання у вигляді інтервальної оцінки, застосовуючи правила округлення:

$$105.527 \pm 0,0087 \text{ мкг/м}^2, \quad P = 0,95, \quad n = 44.$$

Для другого датчику пилу робимо аналогічні розрахунки (табл 4.6 – 4.8).

Таблиця 4.6 – Перша серія вимірювань другого датчика

X_1 , мкг/м ²	X_2 , мкг/м ²	X_3 , мкг/м ²	X_4 , мкг/м ²	X_5 , мкг/м ²	X_6 , мкг/м ²	X_7 , мкг/м ²	X_8 , мкг/м ²	X_9 , мкг/м ²	X_{10} , мкг/м ²	X_{11} , мкг/м ²	X_{12} , мкг/м ²	X_{13} , мкг/м ²	X_{14} , мкг/м ²	X_{15} , мкг/м ²
125.2	124.36	125.4	125.44	125.54	125.83	125.94	125.85	125.63	125.49	125.5	125.24	125.09	125.92	126.11

Таблиця 4.7 – Друга серія вимірювань другого датчика

X_1 , мкг/м ²	X_2 , мкг/м ²	X_3 , мкг/м ²	X_4 , мкг/м ²	X_5 , мкг/м ²	X_6 , мкг/м ²	X_7 , мкг/м ²	X_8 , мкг/м ²	X_9 , мкг/м ²	X_{10} , мкг/м ²	X_{11} , мкг/м ²	X_{12} , мкг/м ²	X_{13} , мкг/м ²	X_{14} , мкг/м ²	X_{15} , мкг/м ²
125.5	125.67	125.31	125.71	125.84	125.75	125.75	125.18	125.22	125.39	126.03	125.52	125.71	125.99	125.92

Таблиця 4.8 – Третя серія вимірювань другого датчика

X_1 , мкг/м ²	X_2 , мкг/м ²	X_3 , мкг/м ²	X_4 , мкг/м ²	X_5 , мкг/м ²	X_6 , мкг/м ²	X_7 , мкг/м ²	X_8 , мкг/м ²	X_9 , мкг/м ²	X_{10} , мкг/м ²	X_{11} , мкг/м ²	X_{12} , мкг/м ²	X_{13} , мкг/м ²	X_{14} , мкг/м ²	X_{15} , мкг/м ²
126.49	124.86	125.39	125.49	124.3	125.52	125.62	125.26	125.83	125.11	126.81	126.4	126.67	125.27	125.92

1) визначаємо середнє значення результатів спостережень:

$$\overline{X}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = 125.436 \text{ мкг/м}^2$$

$$\overline{X}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = 125.693 \text{ мкг/м}^2$$

$$\overline{X}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = 125.663 \text{ мкг/м}^2$$

2) визначаємо дисперсію результатів спостережень:

$$D_{x.1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{X}_1)^2 = \frac{1}{15-1} \sum_{i=1}^{15} (x_i - 125.436)^2 = 0.208 \text{ мкг/м}^2$$

$$D_{x.2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{X}_2)^2 = \frac{1}{15-1} \sum_{i=1}^{15} (x_i - 125.693)^2 = 0.065 \text{ мкг/м}^2$$

$$D_{x.3} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{X}_3)^2 = \frac{1}{15-1} \sum_{i=1}^{15} (x_i - 125.663)^2 = 0.493 \text{ мкг/м}^2$$

3) вибираємо в серії результатів:

$$x_{1.\max} = x_{15} = 126.11 \text{ мкг/м}^2 \text{ і } x_{1.\min} = x_{12} = 124.36 \text{ мкг/м}^2;$$

$$x_{2.\max} = x_{11} = 126.03 \text{ мкг/м}^2 \text{ і } x_{2.\min} = x_{10} = 125.22 \text{ мкг/м}^2;$$

$$x_{3.\max} = x_{11} = 126.81 \text{ мкг/м}^2 \text{ і } x_{3.\min} = x_5 = 124.3 \text{ мкг/м}^2;$$

визначаємо допоміжні відношення:

$$g_{1.1} = \frac{x_{1.\max} - \overline{X}_1}{\sqrt{D_{x.1}}} = \frac{126.07 - 125.426}{0.208} = 1.478$$

$$g_{1.2} = \frac{\overline{X}_1 - x_{1.\min}}{\sqrt{D_{x.1}}} = \frac{125.426 - 124.36}{0.208} = 2.36$$

$$g_{2.1} = \frac{x_{2.\max} - \overline{X}_2}{\sqrt{D_{x.2}}} = \frac{126.03 - 125.693}{0.065} = 1.323$$

$$g_{2.2} = \frac{\overline{X}_2 - x_{2.\min}}{\sqrt{D_{x.2}}} = \frac{125.693 - 125.22}{0.065} = 1.854$$

$$g_{3.1} = \frac{x_{3.\max} - \overline{X}_3}{\sqrt{D_{x.3}}} = \frac{126.81 - 125.663}{0.493} = 1.634$$

$$g_{3.2} = \frac{\overline{X}_3 - x_{3.\min}}{\sqrt{D_{x.3}}} = \frac{125.663 - 124.3}{0.493} = 1.941$$

Висновок: результати спостережень рядів з імовірністю $P=0,95$ не містять грубих похибок (табл 4.9).

Таблиця 4.9 – Зведена таблиця результатів

$\overline{X}_i$, мкг/м ²	n _i	σ_i^2 , мкг/м ²
$\overline{X}_1 = 125.436$	n ₁ =15	$\sigma_1^2 = 0.208$
$\overline{X}_1 = 125.693$	n ₂ =15	$\sigma_2^2 = 0.065$
$\overline{X}_1 = 125.663$	n ₂ =15	$\sigma_3^2 = 0.493$

1) розраховуємо середнє зважене (результат нерівно точного вимірювання):

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 \cdot P_1 + \overline{X}_2 \cdot P_2 + \overline{X}_3 \cdot P_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

Ваги серій $P1$, $P2$ і $P3$ визначаємо із застосуванням дисперсій результатів спостережень в серіях, наданих в таблиці 4.5:

$$P_1 = \frac{1}{\sigma_1^2} = \frac{1}{0.208} = 4.812 \text{ мкг/м}^2$$

$$P_2 = \frac{1}{\sigma_2^2} = \frac{1}{0.065} = 15.39 \text{ мкг/м}^2$$

$$P_3 = \frac{1}{\sigma_3^2} = \frac{1}{0.493} = 2.028 \text{ мкг/м}^2$$

Отже:

$$\overline{\overline{X}} = \frac{125.436 \cdot 4.812 + 125.693 \cdot 15.39 + 125.663 \cdot 2.028}{4.812 + 15.39 + 2.028} = 125.634 \text{ мкг/м}^2$$

2) визначаємо с.к.в. середнього зваженого (с.к.в. випадкової похибки результату нерівноточного вимірювання):

$$\sigma(\overline{\overline{X}}) = \frac{1}{\left[\frac{1}{\sigma^2(\overline{X}_1)} + \frac{1}{\sigma^2(\overline{X}_2)} + \frac{1}{\sigma^2(\overline{X}_3)} \right]^{0.5}}$$

Дисперсію середнього арифметичного та с.к.в. середнього арифметичного кожної серії визначаємо наступним чином:

$$\sigma(\overline{X}) = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.208}{15}} = 0.014 \text{ мкг/м}^2$$

$$\sigma(\bar{X}) = \sqrt{\frac{\sigma_2^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.065}{15}} = 4.332 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2$$

$$\sigma(\bar{X}) = \sqrt{\frac{\sigma_3^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.493}{15}} = 0.033 \text{ мкг/м}^2$$

Отже:

$$\sigma(\bar{\bar{X}}) = \frac{1}{\left[\frac{1}{0.014^2} + \frac{1}{(4.332 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{0.033^2} \right]^{0.5}} = 4.102 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2$$

Висновок: результат нерівноточного вимірювання (середнє зважене $\bar{\bar{X}}$) точніше результату будь-якої серії (середнього арифметичного $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ або $\bar{X}_3$), оскільки с.к.в. середнього зваженого менше, ніж с.к.в. середнього арифметичного будь-якої серії ($\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_1)$, $\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_2)$ та $\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_3)$).

3) записуємо результат нерівноточного вимірювання у вигляді точкової оцінки, застосовуючи правила округлення похибки та результату вимірювання:

$$Q = \bar{\bar{X}} = 125.634 \text{ мкг/м}^2 \quad \sigma(\bar{\bar{X}}) = \pm 4.102 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2 \quad n=45$$

4) у довідковій таблиці відповідно до $n=44$ та $P=0,95$ знаходимо значення коефіцієнта Ст'юдента $t=2,01$; визначаємо довірчу межу випадкової похибки результату нерівноточного вимірювання $\varepsilon_p = t \cdot \sigma(\bar{\bar{X}}) = 2.01 \cdot (\pm 4.102 \cdot 10^{-3}) = \pm 8.245 \cdot 10^{-3} \text{ мкг/м}^2$ і записуємо результат нерівноточного вимірювання у вигляді інтервальної оцінки, застосовуючи правила округлення:

$$125.636 \pm 0,0082 \text{ мкг/м}^2, \quad P = 0,95, \quad n = 45.$$

Висновки метрологічних розрахунків:

1. Перший датчик пилу GP2Y1010 – результат нерівноточного вимірювання (середнє зважене $\overline{\overline{X}}$) точніше результату будь-якої серії (середнього арифметичного $\overline{X}_1$, $\overline{X}_2$ або $\overline{X}_3$), оскільки с.к.в. середнього зваженого менше, ніж с.к.в. середнього арифметичного будь-якої серії ($\sigma(\overline{\overline{X}}) < \sigma(\overline{X}_1)$, $\sigma(\overline{\overline{X}}) < \sigma(\overline{X}_2)$ та $\sigma(\overline{\overline{X}}) < \sigma(\overline{X}_3)$). $105.527 \pm 0,0087 \text{ мкг/м}^2$, $P = 0,95$, $n = 44$.

2. Другий датчик пилу GP2Y1010 – результат нерівноточного вимірювання (середнє зважене $\overline{\overline{X}}$) точніше результату будь-якої серії (середнього арифметичного $\overline{X}_1$, $\overline{X}_2$ або $\overline{X}_3$), оскільки с.к.в. середнього зваженого менше, ніж с.к.в. середнього арифметичного будь-якої серії ($\sigma(\overline{\overline{X}}) < \sigma(\overline{X}_1)$, $\sigma(\overline{\overline{X}}) < \sigma(\overline{X}_2)$ та $\sigma(\overline{\overline{X}}) < \sigma(\overline{X}_3)$). $125.636 \pm 0,0082 \text{ мкг/м}^2$, $P = 0,95$, $n = 45$.

ВИСНОВОК

У данній магістерській роботі було розроблено систему вимірювання концентрації пилу на об'єктах теплоенергетики. Було виконано мету та завдання дослідження: забезпечення своєчасного та доступного моніторингу рівня забруднення атмосфери твердими частинками в умовах територій, що розташовані поряд з об'єктами теплоенергетики шляхом створення і дослідження електронної системи моніторингу на основі доступних сенсорів та технологій IoT.

Було розглянуто вплив пилу на організм людини, способи захисту від негативного впливу пилу на організм людини, види пилу, способи та методи вимірювання концентрацій твердих продуктів згоряння, методи боротьби з пилом на ТЕС (хімічні методи та повітряний захист).

Система розроблена за допомогою датчику пилу та диму GP2Y1010, датчику температури та вологості GY-21 та серверної технології IoT (ThingSpeak). Систему розроблено на базі мікроконтролера ATmega328, який виконано у вигляді плати ESP32. Плата ESP32 має вбудований модуль Wi-Fi – тому додаткових модулів не потрібно, отримані дані з датчиків передаємо за допомогою самої плати.

Розроблено та розглянуто структурну схему системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики та розроблено та реалізовано схему з'єднання компонентів системи.

Розраховано підсилювач сигналу датчику пилу GP2Y1010. Розроблено та реалізовано програму для роботи системи моніторингу концентрації пилу в атмосфері об'єктів теплоенергетики, також додатково розроблено та реалізовано програму для виведення результатів вимірів у Matlab.

Отримано результати експериментів проаналізовано графіки та метрологічні характеристики системи.

Висновки метрологічних розрахунків:

1. Перший датчик пилу GP2Y1010 – результат нерівноточного вимірювання (середнє зважене $\bar{\bar{X}}$) точніше результату будь-якої серії (середнього арифметичного $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ або $\bar{X}_3$), оскільки с.к.в. середнього зваженого менше, ніж с.к.в. середнього арифметичного будь-якої серії ($\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_1)$, $\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_2)$ та $\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_3)$). $105.527 \pm 0,0087 \text{ мкг/м}^2$, $P = 0,95$, $n = 44$.

2. Другий датчик пилу GP2Y1010 – результат нерівноточного вимірювання (середнє зважене $\bar{\bar{X}}$) точніше результату будь-якої серії (середнього арифметичного $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ або $\bar{X}_3$), оскільки с.к.в. середнього зваженого менше, ніж с.к.в. середнього арифметичного будь-якої серії ($\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_1)$, $\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_2)$ та $\sigma(\bar{\bar{X}}) < \sigma(\bar{X}_3)$). $125.636 \pm 0,0082 \text{ мкг/м}^2$, $P = 0,95$, $n = 45$.

Отже, за результатами дослідження було створено систему вимірювання концентрації пилу на об'єктах теплоенергетики. Система виявляє надмірну кількість пилу та через мережу інтернет, за допомогою Wi-Fi, відправляє отримані дані до сервера IoT (у данній магістерській роботі це сервіс ThingSpeak).

За допомогою розробленої системи можливе швидке визначення осередку запылення та попередження виникнення виникнення осередків з надмірною кількістю пилу, що збереже здоров'я людей та зменшить негативний вплив на людину та довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лекция 19 Тепловые, гидравлические, атомные электростанции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gigabaza.ru/doc/72965.html> – Назва з титул. екрана.
2. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-2/2-1> – Назва з титул. екрана.
3. Экология. Справочник. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru-ecology.info/term/46387/> – Назва з титул. екрана.
4. Булгаков, Ю.Ф. Пылевая опасность угольного производства: навч. посіб. / Ю.Ф. Булгаков, В.Л. Овчаренко. – Донецьк: ООО «Цифровая типография», 2017. – 234 с.
5. Ващенко, В.И. Пыль угольных шахт [Электронный ресурс]: электронный підручник / В.И. Ващенко. – Донецьк, 2011.
6. Канин, В.А. Комплексное решение экологических проблем в крупных промышленных районах. / В.А. Канин. – Уголь Украины, 2004. – 401 с.
7. Руденко, К.Г. Обезвоживание и пылеулавливание при переработке полезных ископаемых. / К.Г. Руденко. – Москва: Недра, 1988. – 351 с.
8. Булгаков, Ю.Ф. Охрана труда в угольной промышленности: навч. посіб. / Ю.Ф.Булгаков. – Донецьк: РИА ДонНИИ, 2012. – 480 с.
9. Поздняков Г.А. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности. / Г.А. Поздняков. – Москва: Недра, 1982. – 240 с.
10. Медников, К.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозоля / К.П. Медников. – Москва: Наука, 1987. – 174 с.
11. Магазин електроніки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: arduino.ua – Назва з титул. екрана.
12. Интернет-ресурс про користування Arduino. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Leonardo> – Назва з титул. екрана.

13. Інтернет-ресурс Центру Інженерних Технологій та Моделювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://exponenta.ru/thingspeak> – Назва з титул. екрана.

14. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС: навч. посіб. / В.В. Жабо. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240с.

15. Інтернет-магазин Freedelivery. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://freedelivery.com.ua/ua-arduino-100/ua-datchiki-130/ua-http-www-panelook-com.html> – Назва з титул. екрана.

16. Онлайн ресурс компанії Edsson. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.edsson.com/ru/blog/article?id=iot-platforms> – Назва з титул. екрана.

17. Datashit GP2Y1010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_appl_e.pdf – Назва з титул. екрана.

18. Datashit GY21. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1087268/TE/HTU21D/1> – Назва з титул. екрана.

19. Breeeth esocreation expert. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://breeeth.com/blog/ochistitelivozdukha/что_такое_чистота_воздуха_25/ – Назва з титул. екрана.

20. Лактіонов І.С. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт з дисциплін: «Вимірювання електричних величин та метрологічне забезпечення електронних систем»: навч. посіб. / І.С. Лактіонов, О.В. Вовна. – Покровськ: ДонНТУ, 2017. – 41 с.

21. Tastan M. Real-time monitoring of indoor air quality with internet of things-based E-nose. / M. Tastan, H. Gokozan. – Turkey. 2019. – 13 p.

22. Alfano, B. Review of Low-Cost Particulate Matter Sensors from the Developers' Perspectives. Sensors 2020. / B. Alfano, L. Barretta, A. Del Giudice, S. De Vito, G. Di Francia, E. Esposito, F. Formisano, E. Massera, M.L. Miglietta, T. Polichetti. – Italy. – 54 p.

23. Cho H Practical Particulate Matter Sensing and Accurate Calibration System Using Low-Cost Commercial Sensors. Sensors. / H. Cho, Y. Baek. – 2021. Korea.– 21 p.

24. Microsoft, Amazon & Huawei Lead the Overall IoT Platform Landscape in Completeness; ClearBlade & FogHorn Emerge as Leading Edge-Focused IoT Platform. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.counterpointresearch.com/microsoft-amazon-clearblade-foghorn-emerge-leading-edge-focused-iot-platforms>. – Назва з титул. екрана.

25. Штепа О. А. Концепція системи моніторингу концентрації твердих домішок в атмосфері на базі технологій IoT. / О.А Штепа, А.О. Постнов, О.М.Любименко. – Покровськ ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. – 183 с.

ДОДАТОК А

Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений

підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³);

t_B – температура витяжного повітря (30°C);

t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками;

$Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{ocл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{ocл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{CP}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5–4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

Додаток Б

Код програми системи

```

#include <GP2YDustSensor.h>           //підключаємо бібліотеку GP2YDustSensor
#include <SparkFunHTU21D.h>           // підключаємо бібліотеку
SparkFunHTU21D
#include <WiFi.h>                     // підключаємо бібліотеку WiFi
#include <ThingSpeak.h>               // підключаємо бібліотеку ThingSpeak
#include <Wire.h>                     // підключаємо бібліотеку Wire

#define Ssid "*****"                // вводим назву мережі
#define PASS "*****"                // вводим пароль мережі
#define CH_ID 1562346                // вводим ID каналу ThingSpeak
#define WRITE_APIKEY "5ZV3L0MWWGBXUU5R" //ключ зчитування

unsigned long myChannelNumber = CH_ID;
const char * myWriteAPIKey = WRITE_APIKEY;
const char * ssid = Ssid;
const char * pass = PASS;

WiFiClient client;
HTU21D myHumidity;

// HTU21
#define HTUPIN 22                    // встановлюємо пін датчику HTU21
#define HTUTYPE HTU21                // встановлюємо тип датчику

float temperature = 0;
float humidity = 0;
float dust = 0;

```

```

float dust1 = 0;
float dust2 = 0;

int measurePin1 = 34;           //Connect dust sensor to ESP32 34 pin
int ledPower1 = 0;              //Connect led driver pins of dust sensor to ESP32 pin 0
float voMeasured1 = 0;
float calcVoltage1 = 0;
float dustDensity1 = 0;

int measurePin2 = 35;           //Connect dust sensor to ESP32 34 pin
int ledPower2 = 2;              //Connect led driver pins of dust sensor to ESP32 pin 2
float voMeasured2 = 0;
float calcVoltage2 = 0;
float dustDensity2 = 0;

int samplingTime = 280;
int deltaTime = 40;
int sleepTime = 9680;

int n = 0;

void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(9600);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  myHumidity.begin();
  pinMode(ledPower1, OUTPUT);
  pinMode(ledPower2, OUTPUT);
  pinMode(measurePin1, INPUT);
  pinMode(measurePin2, INPUT);

```

```
ThingSpeak.begin(client);
```

```
digitalWrite(ledPower1, LOW);
```

```
delayMicroseconds(samplingTime);
```

```
digitalWrite(ledPower1, HIGH);
```

```
delayMicroseconds(sleepTime);
```

```
digitalWrite(ledPower2, LOW);
```

```
delayMicroseconds(samplingTime);
```

```
digitalWrite(ledPower2, HIGH);
```

```
delayMicroseconds(sleepTime);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  humidity = myHumidity.readHumidity();
```

```
  temperature = myHumidity.readTemperature();
```

```
  digitalWrite(ledPower1, LOW); // power on the LED
```

```
  digitalWrite(ledPower2, LOW); // power on the LED2
```

```
  delayMicroseconds(samplingTime);
```

```
  voMeasured1 = analogRead(measurePin1); // read the dust value
```

```
  voMeasured2 = analogRead(measurePin2); // read the dust value 2
```

```
  delayMicroseconds(deltaTime);
```

```
  digitalWrite(ledPower1, HIGH); // turn the LED off
```

```
  digitalWrite(ledPower2, HIGH); // turn the LED2 off
```

```

delayMicroseconds(sleepTime);

// 0 - 5V mapped to 0 - 1023 integer values
// recover voltage
calcVoltage1 = voMeasured1 * (5 / 4096.0);
calcVoltage2 = voMeasured2 * (5 / 4096.0);
// linear equation taken from http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/
// Chris Nafis (c) 2012
dustDensity1 = 170 * calcVoltage1 - 0.1;
dustDensity2 = 170 * calcVoltage2 - 0.1;

Serial.print(dustDensity1); // unit: ug/m3
Serial.print('\t'); // unit: ug/m3
Serial.print(dustDensity2); // unit: ug/m3
Serial.print('\t');
Serial.print("T=");
Serial.println(temperature);

// set the fields with the values
ThingSpeak.setField(1, temperature);
ThingSpeak.setField(2, dustDensity1);
ThingSpeak.setField(3, dustDensity2);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    WiFi.begin(ssid, pass);
    delay(1000);
    n++;
    if (n >= 10) break;
}
n = 0;

```

```
// write to the ThingSpeak channel
int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
if (x == 200) {
    Serial.println();
}
else {
    Serial.println();
}
delay(2000);    // Wait 20 seconds to update the channel again
}
```

Додаток В

Код візуалізації графіків у Matlab

```

% Template MATLAB code for visualizing data using the YYAXIS and PLOT functions.

% Prior to running this MATLAB code template, assign the channel variables.
% Set 'readChannelID' to the channel ID of the channel to read from.
% Also, assign the read field IDs to the variables 'fieldID1', and 'fieldID2'.

% TODO - Replace the [] with channel ID to read data from:
readChannelID = [1562346];
% TODO - Replace the [] with the Field ID to read data from:
fieldID1 = [1];
% TODO - Replace the [] with the Field ID to read data from:
fieldID2 = [2];
fieldID3 = [3];

% Channel Read API Key
% If your channel is private, then enter the read API
% Key between the '' below:
readAPIKey = 'IZPEF3LNIMQWERY3';

%% Read Data %%

% Read first data variable
[data1, time1] = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', fieldID1, 'NumPoints', 1300,
'ReadKey', readAPIKey);

% Read second data variable
[data2, time2] = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', fieldID2, 'NumPoints', 1300,
'ReadKey', readAPIKey);
[data3, time3] = thingSpeakRead(readChannelID, 'Field', fieldID3, 'NumPoints', 1300,
'ReadKey', readAPIKey);
%% Visualize Data %%

yyaxis right;
plot(time1, data1, 'r');

yyaxis left;
plot(time2, data2, 'b');
hold on;
plot(time3, data3, '-g', 'LineWidth',1);
hold on;

```