

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри,
д-р техн. наук, проф.

_____ І. М. Журавська

«__» _____ 202__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
СЕНСОРНА ІОТ-МЕРЕЖІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ
ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

Спеціальність «Комп'ютерна інженерія»
123 – КМР.1 – 605.21710525

Студент

_____ М. О. Серeda
підпис

«__» _____ 202__ р.

Керівник канд. фіз-мат. наук, доцент

_____ С. В. Пузирьов
підпис

«__» _____ 202__ р.

Миколаїв – 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 МОНІТОРИНГ ТА ІНДЕКСАЦІЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ. ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ	5
1.1 Індексція якості повітря. Визначення і використання	5
1.2 Існуючі системи моніторингу якості повітря в Україні	5
1.3 Методи та принципи вимірювання забруднень повітря та їх вплив на стан здоров'я людини	5
Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ	29
2.1 IoT технології	29
2.2 Вибір апаратного забезпечення та датчиків	39
Висновки до розділу 2	51
РОЗДІЛ 3 ОПИС ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ	52
3.1 Програмування та налаштування Arduino	52
3.2 Використання вбудованих функцій	54
3.3 Мікроконтролери Arduino та ESP8266	54
3.4 Огляд середовища для роботи з Arduino Fretzing	56
Висновки до розділу 3	57
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТ МОНІТОРИНГУ ІНДЕКСУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ	59
4.1 Огляд та налаштування хмарної платформи ThingSpeak	59

4.1 Огляд проекту та перелік матеріалів для використання	61
4.3 Принципової схеми проекту та випробування	61
Висновки до розділу 4	64
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	67
ДОДАТОК А Код програми	71

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ГДК – гранично допустима концентрація компоненти в повітрі

ЛОС – леткі органічні сполуки

CO – окис вуглецю (чадний газ)

CO₂ – діокис вуглецю

NO₂ – Діоксид азоту

SO₂ – Діоксид сірки

VOC – Volatile Organic Compound

O₃ – Озон

PSI – Стандартний загальний показник забруднення повітря (Pollutant Standards Index)

PubMed - електронна база даних медичних і біологічних публікацій

ВСТУП

Щорічно 9 мільйонів людей помирають від забруднення повітря. Україна має найвищий рівень смертності від забруднення повітря у світі – 120 смертей на 100 000 жителів. А за даними ВООЗ, забруднене повітря є причиною третини інсультів, раку легенів і хвороб серця.

Для здорового життя потрібні три речі. Це повітря, вода і їжа. Але останнім часом повітря стало більш забрудненим, ніж вода та їжа. Забруднення повітря спричиняє передчасну смерть людей і є важливим фактором ризику багатьох захворювань, пов'язаних із забрудненням, включаючи хвороби серця, респіраторні інфекції, інсульт і рак легенів. Проблеми зі здоров'ям, викликані забрудненням повітря, включають кашель, утруднене дихання, хрипи, астму та загострення наявних респіраторних та серцевих захворювань. Це може призвести до збільшення споживання ліків, збільшення госпіталізацій і передчасної смерті.

Проблема моніторингу та аналізу якості повітря в Україні в найближчі роки стає все більш актуальною. Застаріла система аналізу вмісту окремих компонентів забруднення часто недооцінює критичні забруднювачі. Це часто призводить до того, що їх зміст не відповідає європейським стандартам. Наразі в Україні не вистачає достатньої кількості станцій моніторингу, які використовують сенсорні мережі у великих містах чи промислово розвинених регіонах.

Це дослідження зосереджено на обладнанні для мікроелектронного аналізу, оскільки воно збігається з багатьма проблемами в усьому світі. Ці проблеми також перетинають національні кордони. Україна та Європа мають однакові правила щодо індексації повітря. Тому необхідно визначити відмінності між організацією кожного регіону та процедурами визначення якості повітря. Наступним кроком є аналіз того, як кожне робоче місце, домашня або бізнес-система індексує повітря. Ця інформація допоможе визначити переваги чи недоліки кожної системи.

Актуальність - моніторинг якості повітря дозволяє виявляти джерела забруднення та є невід'ємною складовою систем попередження техногенних катастроф. Точність та швидкість отримання такого роду даних дозволяють попередити техногенні аварії та/або зменшити їх наслідки.

Мета - проєктування сенсорної мережі з оцінки якості повітря в заданому районі із підвищеною швидкістю реакції на перевищення гранично допустимих показників.

Предмет дослідження - методи та засоби оцінки якості повітря за допомогою сенсорних мереж.

Об'єкт - сенсорна моніторингова мережа на базі IoT для оцінки якості повітря.

Системи моніторингу промислового забруднення повітря було впроваджено для підвищення безпеки та здоров'я, розуміння про стан газів та їх впливу. Бездротові сенсорні мережеві системи для моніторингу забруднення в мегаполісах можуть бути запроваджені для визначення якості повітря. Тому потрібна розумна сенсорна система моніторингу навколишнього середовища з підтримкою IoT.

Апробація результатів магістерської роботи відбулася під час Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів “Інформаційні технології та інженерія” (Миколаїв, 07-10 лютого, 2023 р.) [31].

РОЗДІЛ 1

МОНІТОРИНГ ТА ІНДЕКСАЦІЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ. ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

1.1 Індексція якості повітря. Визначення і використання

Індекси якості повітря, також звані AQI, використовуються багатьма урядовими установами, щоб показати рівень забруднення повітря в повітрі. Вони відрізняються залежно від країни та визначаються стандартом кожної країни. Якщо AQI збільшиться, велика частина населення страждатиме від серйозних проблем зі здоров'ям.

Розрахунок індексу якості повітря вимагає середніх значень концентрацій забруднюючих речовин за певний період, які отримані з моніторингу навколишнього середовища або моделей розсіювання в атмосфері. Комбінація концентрації та часу є дозою забруднювача в повітрі. Епідеміологічні дослідження виявили можливі наслідки для здоров'я на основі впливу дози. Індекс якості повітря зазвичай групується за діапазоном. Кожному асортименту присвоюється ідентифікатор, колірний код і рекомендації щодо здоров'я.

AQI може підвищуватися через збільшення викидів в атмосферу (наприклад, в години пік). Застій повітря здебільшого викликаний антициклонами, температурними інверсіями або низькою швидкістю вітру, а забруднене повітря залишається в місцевості, що призводить до високої концентрації забруднюючих речовин.

У день, коли очікується підвищення AQI через забруднення твердими частинками, медичний заклад або громадська організація повинна:

- Попередьте вразливих людей, таких як люди похилого віку, діти та люди з респіраторними або серцево-судинними захворюваннями, щоб уникати зовнішніх навантажень.
- Оголосити «день дій» для впровадження добровільних заходів зі

скорочення викидів.

– Рекомендувати використовувати маску, щоб уникнути проникнення дрібних частинок у легені.

Більшість шкідливих речовин у повітрі не пов'язані з AQI. Багато країн здійснюють моніторинг шести основних забруднювачів повітря: діоксид сірки (SO₂), тверді частки (PM₁₀), дрібні тверді частинки (PM_{2,5}), діоксид азоту (NO₂), чадний газ (CO) і озон (O₃) і обчислюють масу цих показників забруднення.

Ризик Низький (1–3) Середній (4–6) Високий (7–10) Дуже високий (10+)

Ризик здоров'я	Індекс здоров'я за якістю повітря	Повідомлення
Низький 1–3	Для людей з категорії ризику Можна виконувати щоденні справи.	Для загального населення Якість повітря сприяє активному відпочинку.
Середній 4–6	Треба скоротити або перепланувати напружену діяльність на відкритому повітрі, якщо ви відчуваєте симптоми.	Якщо у вас немає таких симптомів, як кашель і біль у горлі, вам не потрібно вносити жодних змін у ваші звичні заходи на свіжому повітрі.
Високий 7–10	Напружені заходи на свіжому повітрі слід скоротити або перенести.	Якщо з'являються такі симптоми, як кашель і біль у горлі, необхідно скоротити або перенести активні заходи на свіжому повітрі.
Дуже високий 10+	Уникайте інтенсивної діяльності на свіжому повітрі. Дітям і літнім людям слід уникати	Скорочення або перенесення напружених занять на свіжому повітрі, особливо якщо ви їх маєте.

заняць спортом на Такі симптоми, як кашель і
 свіжому повітрі. біль у горлі.

Значення індексів і відповідні концентрації зазначених забруднюючих речовин, а також їх наслідки для впливу на здоров'я є такими:

Таблиця 1.1 – Категорії індексу якості повітря

Категорії індексу якості повітря								
Категорія AQI (Діапазон)	PM ₁₀ (24год)	PM _{2.5} (24год)	NO ₂ (24год)	O ₃ (8год)	CO (8год)	SO ₂ (24год)	NH ₃ (24год)	Pb (24год)
Хороший (0-50)	0-50	0-30	0-40	0-50	0-1.0	0-40	0-200	0-0.5
Задовільний (51-100)	51-100	31-60	41-80	51-100	1.1-2.0	41-80	201-400	0.5-1.0
Помірно забруднений (101-200)	101-250	61-90	81-180	101-168	2.1-10	81-380	401-800	1.1-2.0
Високий (201-300)	251-350	91-120	181-280	169-208	10-17	381-800	801-1200	2.1-3.0
Дуже високий (301-400)	351-430	121-250	281-400	209-748	17-34	801-1600	1200-1800	3.1-3.5
Небезпечний (401-500)	430+	250+	400+	748+	34+	1600+	1800+	3.5+

При низькому та помірному рівнях населення може продовжувати нормальну діяльність. При високому рівні категоріям ризику (дітям, людям похилого віку, із захворюваннями серця та органів дихання) рекомендується зменшити фізичну активність на свіжому повітрі. При дуже високих або небезпечних рівнях рекомендується зменшити або уникати фізичних вправ на свіжому повітрі.

Якість повітря в приміщеннях та офісах

Експерти Всесвітньої організації охорони здоров'я під час дослідження прийшли до невтішних висновків. Доведено, що повітря в приміщенні у 8-10

разів токсичніше, ніж повітря на вулиці. З огляду на те, що ми проводимо більшу частину часу в приміщенні (вдома чи на роботі), ці цифри змушують нас задуматися про те, як ми можемо перевірити якість повітря в наших офісах і покращити його.

Однією з причин поганої якості повітря, особливо в робочій зоні і в приміщенні в цілому, можуть бути неякісні меблі та оздоблювальні матеріали. Це одна з найпоширеніших причин. Можливо, керівництво вашого підприємства вирішило заощадити на ремонті – адже концентрація формальдегіду та інших шкідливих речовин переважала негативний вплив на якість повітря в офісі. Дешеві меблі з ДСП, а також будівельні та оздоблювальні матеріали (стеніві панелі, ламінат, паркет тощо) є джерелами шкідливих хімічних речовин, головним чином формальдегіду.

Існує таке поняття як гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у повітрі. Ці показники передбачені національними санітарними правилами. Аналіз якості повітря на робочих місцях і в житлових приміщеннях визначає різні критерії ГДК. Це логічно, оскільки загальний час людини на робочому місці не перевищує 40 годин на тиждень.

Є термін «синдром палати». Його використовували близько 40 років тому. Він використовується для опису проблем зі здоров'ям, спричинених забрудненим повітрям у приміщенні. При цьому симптоми не пов'язані з якимось конкретним захворюванням, а самопочуття людини безпосередньо залежить від часу перебування в такому будинку.

Працівники щодня дихають забрудненим повітрям, що неминуче позначається на їхньому здоров'ї. Перші ознаки, які змушують перевірити якість повітря в офісі, це алергічні реакції, біль у горлі, свербіж в очах тощо.

Під час дихання організм виробляє вуглекислий газ, який може викликати проблеми в погано провітрюваних приміщеннях. Щоб забезпечити хорошу якість повітря, нормальний фоновий рівень CO₂ має становити

близько 400 ppm (часток на мільйон за об'ємом). У густонаселених районах рівень CO₂ у приміщеннях може швидко перевищити цей рівень, якщо вентиляція недостатня. Коли рівень CO₂ у приміщенні перевищує 1000 частин на мільйон, люди, які там працюють, починають відчувати сонливість, головний біль або проблеми з концентрацією. Хоча й не відразу, небажані низькоякісні рівні CO₂ у повітрі від 1000 до 5000 частин на мільйон можуть призвести до серйозної інвалідності, дискомфорту та навіть захворювання. Освітні установи мають обмеження CO₂ 1000 ppm. [4]

Особливості організації мікроклімату приміщення

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони встановлюються для речовин, які при вдиханні можуть чинити шкідливу дію на організм працівника. За ГДК у повітрі робочої зони шкідливі речовини класифікуються за чотирма ступенями небезпеки:

- 1-й - речовини надзвичайно небезпечні, ГДК менше 0,1 мг/м³ (свинець, ртуть, озон та ін.);
- 2-й - речовини високонебезпечні, ГДК 0,1-1,0 мг/м³ (кислоти сірчана та соляна, хлор, фенол, їдкі луги та ін.);
- 3-й - речовини помірно небезпечні, ГДК 1,1-10,0 мг/м³ (вінілацетат, толуол, ксилол, спирт метиловий та ін.);
- 4-й - речовини малонебезпечні, ГДК понад 10,0 мг/м³ (аміак, бензин, ацетон, гас та ін.).

Для контролю концентрації шкідливих речовин у повітрі промислових підприємств і робочих місць застосовують такі методи:

- Експрес-метод, заснований на колориметричному феномені (зміна кольору індикаторного порошку внаслідок дії відповідної шкідливої речовини), що дозволяє швидко і точно визначити концентрацію шкідливих речовин безпосередньо в робочій зоні. Для цього використовують газоаналізатори (УГ-2, ГХ-4, СТЧ-17, ФОН-1 та ін.);

– Лабораторні методи, включаючи взяття проб повітря з робочої зони та проведення фізико-хімічного аналізу (хроматографія, фотохромометрія тощо) в лабораторних умовах. Цей метод дасть точні результати, але займе багато часу. [4]

– Метод безперервної автоматичної реєстрації вмісту шкідливих хімічних речовин в повітрі за допомогою газоаналізаторів і газодетекторів (ФКГ-3М для хлору, «Сирена-2» для аміаку, «Фотон» для сірководню, широкоспектральна фіксація: ШИТ -2, SPA-1, СТХ-18).

Запиленість повітря можна вимірювати методом зважування, електроіндукційним, фотометричним та іншими методами. У більшості випадків все ж використовується гравіметричний метод. Для цього спеціальні фільтри зважують до і після пропускання певного об'єму запиленого повітря, і вага пилу обчислюється в міліграмах на кубічний метр повітря. Останнім часом на ринку з'явилися механічні аналізатори концентрації частинок від 0,3 мкм до 10 мкм.

Цикл моніторингу умов атмосферного середовища визначається відповідно до таких факторів, як рівень небезпеки та кількість небезпечних речовин, а також ступінь небезпеки для операторів. Контроль (вимірювання) може здійснюватися постійно або періодично протягом зміни, щоденно, щомісяця тощо. При можливому потрапленні в повітря виробничих приміщень небезпечних речовин з висконаправленим механізмом дії необхідно забезпечити постійний контроль за допомогою сигналізації (перевищення гранично допустимих значень).

1.1.1 Європейський індекс якості повітря

Європейські установи використовують індекс якості повітря як дослідницький та комунікаційний. Водночас європейські інституції використовують загальний індекс якості повітря (Common Air Quality Index, CAQI), що дозволяє відображаючи якість повітря та розділений на три різні індекси проміжок часу (рис. 1.1):

- Погодинний індекс описує якість повітря на основі погодинних значень і оновлюється щогодини;

- Щоденний індекс відповідає за загальну якість повітря за попередній день на основі щоденного значення та оновлюється один раз на день;

- Річний індекс показує індекс якості повітря протягом року та порівнює його з європейськими стандартами якості повітря.

Субіндекси індикатора розраховуються на основі концентрацій кожного забруднювача в атмосфері. PSI визначається найвищою концентрацією забруднювача.

PSI визначається як число від 0 до 500. Показники індексу дозволяють громадськості бачити рівень забруднення повітря в певному місці. Таблиці PSI побудовані на основі показників значень індикаторів забруднення та їх описів на основі даних Національного агентства з навколишнього середовища (NEA).

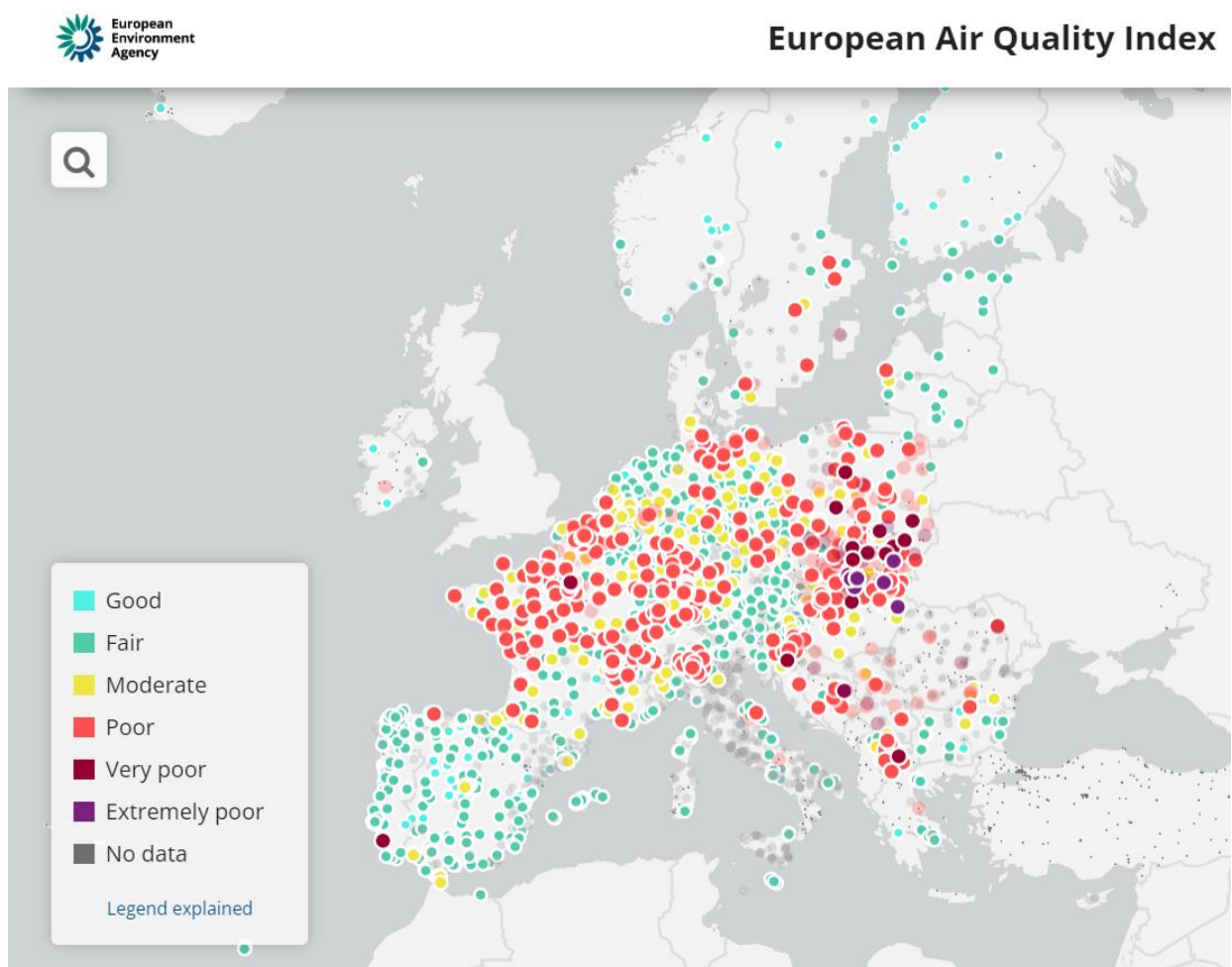


Рисунок 1.1 – Мапа стану забруднення повітря у Європі

Індекс стандартів забруднення (PSI) складається з восьми основних забруднювачів. Концентрації цих забруднюючих речовин у повітрі вимірюються за допомогою мережі станцій моніторингу повітря, розташованих по всій Європі. [4]

1.1.2 Моніторинг якості повітря в Україні

Щорічно 9 мільйонів людей помирають від забруднення повітря. Україна має найвищий рівень смертності від забруднення повітря у світі – 120 смертей на 100 000 жителів*. А за даними ВООЗ, забруднене повітря є причиною третини інсультів, раку легенів і хвороб серця.

Моніторинг рівня забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міст України є компетенцією Українського гідрометеорологічного центру, підрозділу ДСНС МВС України. Моніторинг здійснюється згідно з постановою Кабміну № 343 від 9 березня 1999 року та Керівництвом з контролю забруднення атмосферного повітря РД 52.04.186-89, затвердженим майже два десятиліття тому [5].

Основним методом визначення концентрації забруднюючих речовин є відбір проб повітря на стаціонарних постах спостереження. Кількість місць визначається розмірами міста та особливостями його промислової структури. Це може варіюватися від 1 позиції для міст з менш ніж 50 000 мешканців до 20 позицій для міст-мільйонників.

У 2016 році в Японії було 129 закладів у 39 містах. Найчисельніші – Київ – 16, Харків – 10, Одеса – 8, Дніпро – 6. У великих промислових центрах – Запоріжжі, Кривому Рогу та Маріуполі – по 5 обсерваторій, у більшості обласних центрів — не більше з чотирьох обсерваторій.

Відбір проб проводився через певні проміжки часу (умови) за одним із чотирьох графіків спостережень (повний, неповний, скорочений або щоденний) [5].

Повна програма включає чотири вимірювання протягом дня. Часткова - 07:00, 13:00, 19:00; Короткий – 07:00, 13:00; Розпорядок дня передбачає постійне спостереження (рис. 1.2).

В ЄС, на відміну від України, де дані про забруднення повітря доступні лише на станціях моніторингу, підхід ЄС передбачає безперервність спостережень. Для цього території держав-членів поділяються на регіони та агломерації. Агломерації населення – це міські, приміські або інші законодавчо відповідні території з населенням понад 250 тис. осіб.

Обов'язковим є контроль концентрацій пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду азоту, свинцю та його неорганічних сполук, бенз(а)пірену, формальдегіду та радіоактивних речовин. Інші речовини можуть бути включені до програми моніторингу на основі рішень місцевих органів влади, відповідно до деталей екологічної ситуації.

Отримана інформації щодо концентрації забруднюючих речовин через відбір проб дуже мала. Для визначення якості повітря порівнюють фактичну концентрацію забруднюючих речовин з гранично допустимою концентрацією (ГДК). Гранично допустима концентрація означає, що під її впливом протягом життя людини не виникне прямого чи опосередкованого негативного впливу на нинішнє та майбутні покоління, не знизиться працездатність, не погіршаться умови ГДК, фізичні та психічні. здоров'я та гігієна життя. ГДК базується на тривалому навчанні в професійному секторі.

Результатом порівняння фактичної концентрації з гранично допустимою є величина, що перевищує кратну ГДК. Воно оцінює, наскільки окремі речовини впливають на здоров'я людини. Однак таке порівняння показників є некоректним, оскільки різні речовини мають різну небезпеку. Розрахунок індексу забруднення повітря (ІЗА), допомагає впоратися з цим обмеженням. Крім порівняння фактичних концентрацій з граничними значеннями, він також враховує рівень небезпеки. Композитний індекс забруднення повітря дозволяє оцінити, наскільки забруднене місце різними речовинами.

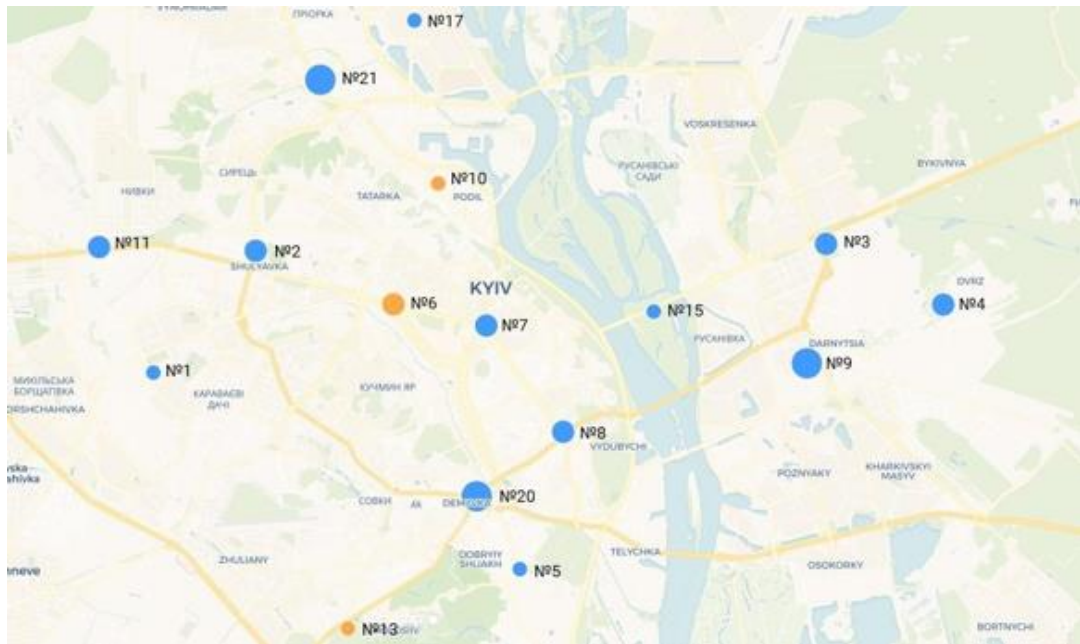


Рисунок 1.2 – Мережа моніторингу якості повітря Центральної геофізичної обсерваторії (синій чотири рази на день, жовтий двічі на день)

Станції моніторингу якості атмосферного повітря являють собою павільйони або автомобілі, обладнані відповідним обладнанням і встановлені на чистій території. Будь-який пост – це повна лабораторія моніторингу стану атмосфери. Ці посади розташовані в містах і селищах, які обслуговуються центральними хімічними лабораторіями. В Україні є 162 стаціонарні станції, дві маршрутні станції спостережень і дві транскордонні пересадочні станції, що належать Держгідрометслужбі. Моніторинг забруднення атмосферного повітря проведено у 53 містах України.

Стаціонарна станція моніторингу безперервно фіксує та реєструє забруднюючі речовини, щоб виявити довгострокові зміни рівнів найпоширеніших із них – пилу, вуглецю, діоксиду сірки, оксидів азоту, формальдегіду, бензопірену та свинцю. Крім того, така лабораторія може періодично брати проби повітря для подальшого аналізу. Маршрутний та пересувний використовуються, коли недоцільно встановлювати стаціонарні пости або коли потрібно більш детальне дослідження забруднення атмосфери на окремих територіях.

Кількість стаціонарних постів визначається комплексно з урахуванням чисельності населення міста, території населеного пункту, рельєфу і кількості підприємств і встановлюється в парках і скверах у різних місцях.

Положення посту залежить від мети його встановлення. Щоб зрозуміти характерні рівні забруднення повітря в певному районі міста, був встановлений пост на відстані від будь-яких підприємств. Для виявлення можливих концентрацій домішок в окремих точках під впливом викидів окремих промислових підприємств або великих магістралей встановлюють колонку в районі розташування джерела викидів. Однак існують і обов'язкові умови для посадки. Це має бути відкритий майданчик з незапиленою поверхнею (на асфальті, твердому ґрунті, газоні) [4; 5].

Державні станції моніторингу повітря встановлювали ще у 1980-х роках, але обладнання, необхідне для вимірювання кількості забруднюючих речовин, постійно оновлювалося. У цей період в Україні значно збільшився транспортний потік, що вплинуло на якість повітря. Наразі деякі пости по усій Україні мають поганий вид, або зовсім не працюють (рис. 1.3) – зображено станцію моніторингу повітря.



Рисунок 1.3 – Зображення станцію моніторингу повітря

Нинішні недоліки української системи такі:

Організація та методи моніторингу якості атмосферного повітря в Україні не відповідають стандартам ЄС.

- Вимоги щодо кількості постів спостереження в густонаселених районах України перевищують аналогічні стандарти ЄС. В Україні міста з населенням близько 3 мільйонів повинні мати від 10 до 20 робочих місць, тоді як в Європейському Союзі міста такого ж розміру мають лише 4 робочих місця.

- В Україні програми спостереження можуть відрізнятися для різних посад, а в ЄС діє принцип вимірювання «все для всіх посад».

На мій погляд, одна з найбільших вад української системи спостережень – визначені часові коридори вимірювань. Однак піки забруднення можуть взагалі не перебувати в межах цих діапазонів, що, у свою чергу, впливає на середній результат визначення забруднення. В ЄС вимірювання проводяться постійно, а в деяких випадках проводяться додаткові вимірювання.

Ще одна проблема – в Україні відсутня законодавча база для інформування громадян про якість повітря. Дані моніторингу не є публічними даними. Доступ до них регулюється загальним законодавством про доступ до публічної інформації. Наприклад, у Києві деякі відомості про концентрації забруднюючих речовин публікує Центральна геофізична обсерваторія. Однак вони не є повними і зберігаються на веб-сайті лише кілька днів. У багатьох інших містах такої інформації навіть немає.

1.2 Існуючі системи моніторингу якості повітря в Україні

1.2.1 Станція моніторингу SaveEcoSensor 3.0

Станція моніторингу якості повітря SaveEcoSensor 3.0 дозволяє вимірювати рівень пилу розміром 2,5 і 10 мікрон (PM_{2,5} і PM₁₀) у повітрі. Інтегровані датчики температури, вологості та тиску дозволяють автоматично

коригувати отриману інформацію відповідно до погодних умов, а модуль обігріву мінімізує вплив туману, опадів і періодів негативних температур. Вбудований перетворювач живлення і апаратний сторож значно підвищують надійність пристрою (рис. 1.4) [11]



Рисунок 1.4 – Станція моніторингу якості повітря SaveEcoSensor 3.0

Дрібний пил PM_{2,5} і PM₁₀, який утворюється під час горіння, є одним із найшкідливіших видів забруднення повітря. Він може проникати глибоко в легені, кров і мозок, викликаючи проблеми зі здоров'ям, включаючи серцеві напади, респіраторні захворювання та передчасну смерть.

У той же час концентрацію дрібного пилу можна виміряти дуже точно навіть за допомогою компактного бюджетного обладнання, яке може собі дозволити більшість людей. Тому необхідно скористатися цією можливістю, щоб оточити Україну сотнями, тисячами, а то й десятками тисяч таких пристроїв.

Показники, які вимірює станція:

1. Пил Фракцій PM2.5 та PM10, мкг/м³
2. Температура
3. Відносна вологість
4. Атмосферний тиск
5. HECA- показник по камері підігріву: температура та відносна вологість

Технічні деталі

SaveEcoSensor можна зібрати самому. Для цього ми публікуємо його складові частини у відкритий доступ:

1. Пиломір SDS011
2. Контролер Wemos D1 mini V2 Pro
3. Сенсор температури, вологості та тиску BME280
4. Пластиковий корпус
5. Блок живлення
6. Вбудована автоматизована камера підігріву повітря
7. Вбудовані перетворювач живлення (5->3.3V) та апаратний сторожовий таймер (watchdog)
8. Можливість розширення додатковим високоякісним сенсором двоокису вуглецю (CO2) Senseair S8
9. При виробництві використовується приют, який не містить важких металів та відповідає RoHS

10. Маркування на корпус наноситься шляхом ультрафіолетового друку, що мінімізує використання полімерних матеріалів та дозволяє відмовитись від шкідливої для довкілля ПВХ-стрічки.

Прилад, підключений до мережі, проводить вимірювання кожні 145 секунд та відправляє дані напряму до наступних онлайн-ресурсів:

1. Система SaveEcoBot складається з інтерактивної карти та чат-бота. Додайте ботів у Telegram, Facebook або Viber.
2. aqicn.org – глобальна карта забруднення повітря, що охоплює весь світ.
3. Сервер Luftdaten.info – це карта від творців першого публічного моніторингового пристрою.
4. Сервер Madavi.de – це розроблений німцями сервер зберігання даних для отримання даних у форматі CSV і перегляду графіків із даними датчиків пристрою.
5. Онлайн карта від розробників Івано-Франківська eco-city.org.ua.
6. air-pollution.ml – карта забруднення повітря в Україні. [11]

1.2.2 Станція моніторингу AirFresh

AirFresh – це прилад для вимірювання якості повітря для громадського моніторингу EcoCity.

Є три основні відмінності між AirFresh та іншими пристроями моніторингу:

1. Станція є найбільш доступною для громадян України і вимірює як забруднення повітря, так і основні показники метеорологічних даних – температуру, вологість і тиск.

2. Платформа оснащена трирівневими пиломірами для дрібного пилу PM1, PM2,5 і PM10, а також модулем автоматичної термокомпенсації для туманних днів.

3. Сайт забезпечує легку установку для користувачів, де б він не був доступний.

Найдоступніша станція AirFresh вимірює не лише двокомпонентний пил PM2,5, PM10, але й найменший PM1,5. Оснащений модулем автоматичної термокомпенсації, повітря перед пальовипробувачем нагрівається до відносної вологості вище 70%, що частково виключає похибку індексу в туманну погоду. Чому він частковий, тому що ніхто не може його вирівняти ідеально, тому що для його вирівнювання потрібне нагрівання та осушення повітря через температурний зонд належної довжини, а всі загальнодоступні вимірювальні прилади не підходять для цього температурного зонда (рис. 1.5) [14].



Рисунок 1.5 – Станція моніторингу якості повітря AirFresh

Датчики температури, вологості та тиску розміщені поза станцією, ізольовані від нагріву пиломіра. Це в

свою чергу усуває неточності показників температури та вологості всередині станції при нагріванні детектора ворсу. Індикатор PM 2,5 відображає концентрацію твердих частинок діаметром до 2,5 мкм. Індикатор PM 10 відображає концентрацію твердих частинок діаметром до 10 мікрон. Нормальними вважаються рівні концентрації ≤ 50 мкг/м³. Тверді частинки діаметром 2,5 мікрона настільки малі, що їх можна побачити лише за допомогою мікроскопа. Вони безперешкодно проникають у дихальні шляхи, минаючи захисну систему організму. Наш організм просто не може зупинити PM 2,5. Вони легші за PM10, поглинаються організмом далі і завдають більшої шкоди нашому здоров'ю. Вони довше затримуються в повітрі і разносяться вітром далі, ніж PM10. Більша частина його утворюється при спалюванні різних видів палива.

Тверді частинки розміром 1 мікрон (PM1) мають властивості, подібні до PM2,5, але менші, що ускладнює їх фільтрацію та вимірювання. Стандарт PM2,5 призначений для таких часток. Тверді частинки діаметром 10 мікрон не такі малі, як PM2,5, але в 30 разів менші за людську волосину і можуть легко потрапити в дихальні шляхи. PM10 може дратувати астматиків і людей похилого віку. Вони можуть дратувати слизову оболонку очей і викликати сухість у горлі. Однак експерти в галузі охорони здоров'я менше стурбовані впливом PM10 на організм людини, оскільки захисні функції організму досить ефективні. Маленькі волоски на дихальних шляхах блокують частину PM10. Людина викидає ці частинки разом зі слизом під час кашлю та чхання. Крім того, частинки PM 10 можуть зберігатися від хвилин до годин, тоді як частинки PM 2,5 можуть зберігатися протягом днів або навіть тижнів, залежно

від погоди. Отже, хоча рівні PM 2,5 і PM 10 постійно спостерігаються, експерти вважають, що PM 2,5 є більш шкідливим [14].

Характеристики:

- Діапазон вимірювання PM10 & PM2.5: 0–999 мкг/м³.
- Точність вимірювання PM10 & PM2.5: $\pm 1 \%$.
- Діапазон вимірювання температури: $-40 \dots +85 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Точність вимірювання температури: $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (при $25 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Діапазон вимірювання відносної вологості: 0–100 %.
- Точність вимірювання відносної вологості: 2 %.
- Діапазон вимірювання атм. тиску: 300–1100 ГПа.
- Точність вимірювання атмосферного тиску Тиск: 0,03 ГПа.

Монтаж станції відбувається на будь-яку рівну або нерівну поверхню, незалежно від її типу. За допомогою промислової клейкої стрічки, що входить до комплекту, яка витримує розривні та ковзаючі навантаження від 30 до 60 кг, робочу станцію можна просто приклеїти до гладких поверхонь із шорсткістю до 0,5 мм. Це може бути скло, дерево, пластик, гіпсокартон, гладкі стіни, металочерепиця. У набір також входять монтажні дюбелі діаметром 6 мм для кріплення до цегляних, дерев'яних або бетонних поверхонь за потреби.

Станція поставляється з кабелем довжиною 7 метрів для легкого встановлення. Станція містить блок живлення та опис станції підключення та відображає її на карті моніторингу якості повітря.

1.3 Методи та принципи вимірювання забруднень повітря та їх вплив на стан здоров'я людини

У більшості країн спостерігається шість основних забруднювачів повітря: діоксид сірки (SO₂), тверді частинки (PM₁₀), дрібні тверді частинки (PM_{2,5}), діоксид азоту (NO₂), чадний газ (CO) та озон (O₃). Формальдегід – ще один забруднювач, який не входить до основного списку, але пов'язаний з ним.

Судячи з останніх подій в Україні, можна стверджувати, що одним із найбільших забруднювачів повітря є вуглекислий газ, який виділяється при спалюванні органічних речовин. Також великою проблемою є випаровування формальдегіду, який використовується в різних матеріалах. Отже, давайте ближче розглянемо ці гази.

1.3.1 Оксид вуглецю (CO)

Оксид вуглецю (CO) – безбарвний газ, який не викликає подразнень, запаху та смаку. Він утворюється в результаті неповного згоряння вуглецевого палива, такого як деревина, бензин, вугілля, природний газ і гас. Його молекулярна маса становить 28,01 г/моль, температура плавлення –205,1 °С, температура кипіння (760 мм рт. ст.) –191,5 °С (–312,7 °F), щільність 1,250 кг/м³ при 0 °С і тиску 1 атм, 1,145 кг/м³ при 25 °С і 1 атм, відносна щільність (повітря=1) 0,967 (1, 2). Його розчинність у воді при 1 атмосфері становить 3,54 мл/100 мл при 0 °С, 2,14 мл/100 мл при 25 °С і 1,83 мл/100 мл при 37 °С.

Молекулярна маса чадного газу подібна до молекулярної маси повітря (28,01 проти приблизно 29). Він може вільно змішуватися з повітрям у будь-якій пропорції. Він легкозаймистий і може використовуватися як джерело палива. Він може утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші. Бурхливо реагує з киснем, ацетиленом, хлором, фтором і закисом азоту. Людина не може виявити чадний газ на вигляд, смак або запах. Малорозчинний у воді, сироватці та плазмі; у людини він реагує з гемоглобіном з утворенням карбоксигемоглобіну (COHb). Зв'язок між впливом оксиду вуглецю на концентрацію COHb в крові можна змодельовати як Рівняння Коберна-

Форстера-Кейна, яке забезпечує хорошу апроксимацію рівнів СО₂ при постійному рівні вдихуваного екзогенного монооксиду вуглецю.

Вплив на здоров'я людини

Для більш точного визначення впливу на здоров'я було проведено пошук літератури в електронних базах даних медичних і біологічних публікацій PubMed і Web of Science за ключовими словами «вуглекислий газ» і «здоров'я».

Конкретні пошуки за допомогою PubMed для поведінкових і неврологічних ефектів (розладів) використовують такі ключові фрази: ("окис вуглецю" або CO) і ("поведінка людини" або "нервова система" або центральна нервова система або сенсорна система або "людські прояви" або зорові або слухові або слухові) ті, хто не курить і не є пасивними курцями. Подібні терміни пошуку використовуються для статей з фізіології та механіки. У результаті цих пошуків було знайдено 952 статті, з яких 52 були визнані відповідними до теми дослідження та використані для огляду.

Подібна стратегія була використана для вивчення впливу хронічного впливу на здоров'я. З цих статей сто одна була визнана актуальною та використаною.

Методи визначення

Колориметричний метод

Колориметрія – це метод визначення кількості речовини в розчині. Аналіз базується на законі Бугера-Ламберта-Бера: коли промінь світла потрапляє на щільний поглинаючий шар речовини, його інтенсивність зменшується.

Колориметричним методом визначення концентрації речовини може бути візуальне порівняння або порівняння інтенсивності забарвлення, виміряної спеціальним приладом. Порівняння проводяться прямим і компенсаційним способом.

1. *Прямий.* Цей метод забезпечує порівняння рівня забарвлення досліджуваного розчину з розчином порівняння при певній щільності і температурі рідини. Використовуючи фотометр і спектрофотометр, як розчин порівняння візьміть дистильовану воду. Ці прилади вимірюють силу електричного струму, яка залежить від інтенсивності світла.

2. *Зрівняльний.* Метод заснований на приведенні кольору досліджуваного зразка в еталонний колір. Такий результат досягається додаванням розчинника або збільшенням висоти середнього шару фарби.

Використання спектрофотометрів, монохроматорів та іншої складної апаратури ще більше спрощує і без того прості методи дослідження та підвищує точність результатів.

Фотоколориметричний метод

Оскільки точність методу частково залежить від лаборанта та його здатності правильно порівнювати інтенсивність кольору, останнім часом стала використовуватися світлова колориметрія. Він відрізняється від наведеного тим, що світло проходить через трубку зі зразком і його інтенсивність реєструється за допомогою фотоелемента. За величиною фотоструму судять про концентрацію досліджуваної речовини. Цей метод, звичайно, більш точний і швидкий, але він має і недоліки. Наприклад, за дуже низьких концентрацій і, отже, слабкого забарвлення, фотоелементи погано реагують на зміни кольору.

Визначення оксиду вуглецю в газоаналізаторах

Вміст оксиду вуглецю в лабораторних умовах визначається за допомогою виходу газоаналізатора. Прилад TG-5 широко використовується для аналізу газу з низьким вмістом CO.

Цей газоаналізатор складається з двох частин: очищення та аналізу. У секції очищення з газу видаляють сторонні тіла. У аналітичній частині окис вуглецю спалюється в нагрітій платиновій спіралі в спеціальній колонці.

Потім хімічно вимірюється кількість вуглекислого газу, який утворюється під час спалювання CO, і з цієї кількості розраховується вміст монооксиду вуглецю у вихідній пробі. Газоаналізатор має чутливість від 0,0014 мг до 0,0028 мг. Експлуатація пристрою вимагає певного досвіду та кваліфікації технічної лабораторії. Пристрій моделі ОПІ-2 пропонується при високій концентрації оксиду вуглецю в газовій суміші (в об'ємних відсотках). Аналіз за допомогою цього приладу показує загальну концентрацію кисню, азоту, змішаних газів метану, вуглекислого газу, діоксиду сірки, сірководню та інших кислих газів, крім окису вуглецю, і необмежених сумішей вуглеводнів. концентрація ді, водню в граничній кількості вуглеводнів. Принцип дії приладу заснований на вибіркового поглинанні окремих компонентів газу рідкими речовинами. Через абсорбер рідини прокачується постійна кількість газу.

1.3.2 Формальдегід

Формальдегід (молекулярна формула (1.1); номер CAS 50-00-0) – безбарвний газ, який є легкозаймистим і реакційноздатним при кімнатній температурі. Формальдегід також комерційно доступний у вигляді 30-50%-ного водного розчину формаліну.



В атмосфері формальдегід швидко фотоокислюється до вуглекислого газу. Він також дуже швидко реагує з гідроксильними радикалами з утворенням мурашиної кислоти.

Орієнтовний період напіввиведення для цієї реакції становить приблизно 1 годину, залежно від умов навколишнього середовища. Основні хіміко-фізичні властивості (чиста речовина): Молекулярна маса 30,03 г/моль. Відносна щільність пари від 1,03 до 1,07 (повітря = 1). Температура плавлення -92°C ; Температура кипіння $-19,1^{\circ}\text{C}$. Формальдегід розчинний у воді (приблизно 400 г/л при 20°C), етанолі, хлороформі та змішується з ацетоном, бензолом і діетиловим ефіром. Коефіцієнт розподілу октанол/вода ($\log K_{ow}$)

становить 0,35, тиск пари становить $5,19 \times 10^5$ Па при 25 °С, а постійна закону Генрі становить $3,41 \times 10^{-2}$ Па·м³/моль при 25 °С.

Формальдегід всюдисущий у навколишньому середовищі, головним чином тому, що він виробляється з багатьох природних джерел і антропогенної діяльності. Він потрапляє в навколишнє середовище в результаті спалювання біомаси (лісові та лісові пожежі) та розкладання, а також через вулкани, наприклад. Антропогенні джерела включають прямі, такі як промислові викиди на місці та спалювання транспортного палива. Джерелами викидів формальдегіду в атмосферу є й інші процеси горіння (виробництво електроенергії, спалювання тощо). Однак формальдегід також промислово виробляється по всьому світу для використання у виробництві смол, як дезінфікуючий засіб і стабілізатор або як консервант у споживчих товарах.

Усі ці техногенні продукти та використання є основними джерелами непрямого формальдегіду, особливо всередині приміщень. Нарешті, окислення летких органічних сполук (ЛОС) призводить до утворення вторинного формальдегіду в повітрі, широко описаної реакції між озоном (особливо на відкритому повітрі) та алкенами (особливо терпенами).

Загальні методи вимірювання концентрації формальдегіду включають інтегровані активні та пасивні методи. Формальдегід, як правило, потрапляє на адсорбенти, просочені 2,4-динітрофенілгідразином (2,4-ДНФГ). Аналіз проводили в лабораторії за допомогою вискоєфективної рідинної хроматографії та УФ-детектування при 350 нм. Можна досягти меж виявлення та кількісного визначення близько 1 мкг/м³. Щоб уникнути перешкод під час аналізу, ми рекомендуємо використовувати озоновий скруббер для видалення озонового скруббера з потоку зразка. Недавнє порівняння методів вимірювання формальдегіду показує, що методи, засновані на 2,4-DNPH, можуть занижувати концентрацію при низькій відносній вологості.

Коефіцієнт перетворення:

При 760 мм рт.ст. і 20 °С, $1 \text{ ppm} = 1,224 \text{ мг/м}^3$ і $1 \text{ мг/м}^3 = 0,801 \text{ ppm}$; 25

У градусах Цельсія $1 \text{ ppm} = 1,222 \text{ мг/м}^3$ і $1 \text{ мг/м}^3 = 0,814 \text{ ppm}$.

Вплив на здоров'я людини

Формальдегід є найпоширенішим забруднювачем повітря в приміщенні. Формальдегід — безбарвний, різкий газ із характерним різким запахом. Водний розчин формальдегіду і невеликої кількості метилового спирту відомий як формалін. У медицині використовується як антисептик, антисептик і дубильний засіб.

Формальдегід широко використовується в промисловості, зокрема у виробництві таких виробів, як полімерні матеріали, багатоатомні спирти та ізопрен. Формальдегід використовується у виробництві фанери, пресованої деревини, ізоляції, формувальних матеріалів і клеїв. Зазвичай він виділяється фанерними шафами, килимами та меблями. Основним джерелом формальдегіду в будинках є будівельні матеріали. Формальдегід зазвичай потрапляє в повітря будинку через пластикові харчові пакети, а також його можна знайти в деяких серветках і паперових рушниках. Формальдегід також виділяється при копченні і при роботі паливоспалювального обладнання. У гаражах і будинках з гаражами формальдегід потрапляє в повітря через вихлопну трубу автомобіля.

При попаданні на людину формальдегід викликає три ефекти: подразнення, сенсibiliзацію та канцерогенність. Формальдегід є сильним подразником очей і слизових оболонок дихальних шляхів. Хронічне отруєння формальдегідом може проявлятися анорексією, втратою ваги, слабкістю, постійними головними болями, серцебиттям і безсонням. Відповідно до чинних в Україні нормативних документів середньодобова гранично допустима концентрація (ГДК) формальдегіду в закритому приміщенні становить $0,003 \text{ мг/м}^3$. Запах формальдегіду починає відчуватися при значеннях від $0,05$ до 1 мг/м^3 .

У 2017 році фахівцями Харківського ОЛЦ МОЗ України досліджено 2843 проби повітря на вміст формальдегіду, з них 172 проби (6%) з перевищенням ГДК. Швидкість міграції формальдегіду з декоративних будівельних матеріалів та меблів у повітря житлових приміщень перевищує ГДК від 2,3 до понад 6,6 разів.

Методи визначення:

- Реакція з хромотроповою кислотою (метод Егрива). У присутності сильної сірчаної кислоти при нагріванні розведеного розчину формальдегіду з хромотропною кислотою (1,8-дигідроксинафталін-3,6-дисульфокислотою) розчин забарвлюється у фіолетовий колір, і його глибина визначає вміст формальдегіду.
- **Метод Деніже.** Метод заснований на кольоровій реакції між формальдегідом і пурпуровим бісульфитним реактивом Шиффа. Згодом в рецептуру приготування реактиву були внесені зміни, від чого він і отримав свою назву «Покращений реактив Шиффа».
- **Полярографічний метод.** Це один з найбільш надійних і точних методів визначення малих кількостей формальдегіду у воді і водно-органічних середовищах. Воно полягає в здатності деяких видів відновлюватися на падаючому ртутному електроді, причому відновлення відбувається при строго окремому напрузі, званому потенціалом напівхвилі. У середині 1930-х років була виявлена полярографічна активність формальдегіду з потенціалом півхвилі (при використанні каломельного електрода порівняння) -1,63 В. Висота хвиль на полярограмі визначає вміст формальдегіду в розчині. Етанол і вищі альдегіди відновлюються при вищих потенціалах, а метанол, етанол та інші спирти не заважають визначенню.

За фон використовували розчин нейтральної солі KCl або лужних металів LiOH, KOH, NaOH. Оскільки підстави викликають хімічне перетворення

формальдегіду навіть при помірних температурах, рекомендується робити полярограми відразу після змішування зразка з фоном.

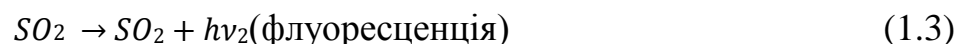
1.3.3 Діоксид сірки (SO₂)

Діоксид сірки — неорганічна бінарна сполука складу SO₂. За нормальних умов це безбарвний газ із сильним задушливим запахом. Має дуже сильні регенеруючі властивості. Використовується при синтезі сірчаної кислоти, відбілюванні та обробці будівель від паразитів. За звичайних умов діоксид сірки є безбарвним газом із сильним задушливим запахом. Він більш ніж удвічі важчий за повітря. Діоксид сірки конденсується в прозору безбарвну рідину при охолодженні до –10°C і конденсується при кімнатній температурі під тиском 2,5 атмосфери. Тому його можна зберігати та транспортувати в сталевих циліндрах у розплавленому стані. Випаровування рідкого SO₂ супроводжується значним охолодженням (до –50 °C). Діоксид сірки добре розчинний у воді. В 1 об'ємі води розчиняється до 40 об'ємів SO₂. Розчинність у воді: 22,97 г/100 мл (0 °C), 11,58 г/100 мл (20 °C), 9,4 г/100 мл (25 °C). [3]

Методи визначення SO₂

Флуоресцентний метод визначення

Метод заснований на поглинанні ультрафіолетового (УФ) випромінювання молекулою SO₂ і збудженні молекули на одній частоті ν_1 з подальшим випромінюванням флуоресценції на другій частоті ν_2 :



Ультрафіолетове випромінювання направляється в реакційну камеру, яка містить повітря з SCb (рис. 1.7).

Діоксид сірки має сильне поглинання в ультрафіолетовій (200–240 нм) області спектра, тоді як спектр випромінювання флуоресценції SO₂

знаходиться в області 300-400 нм. Молекули SO₂ збуджуються УФ-випромінюванням і швидко переходять в основний стан, випромінюючи фотони в інфрачервоному діапазоні. Фотопомножувачі перетворюють світловий сигнал в електричний сигнал, величина якого пропорційна концентрації SO₂ [3].

Прилад, що вимірює спектр флуоресценції, називається флуоресцентним спектрофотометром. Він складається з джерела збудження флуоресценції (розрядної лампи), УФ-фільтра (214 нм), реакційної камери та системи реєстрації. Флуоресцентне випромінювання (350 нм) надходить у фотоелектронний помножувач, вихідний сигнал якого пропорційний концентрації SO₂. Еталонний детектор використовується для корекції коливань інтенсивності лампи.

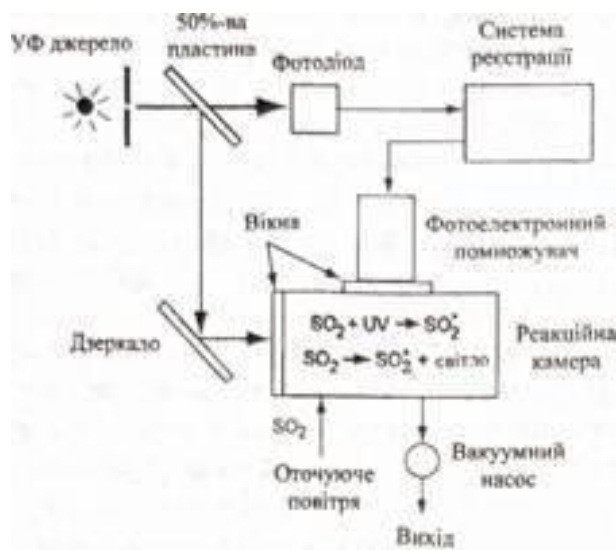


Рисунок 1.7 – Флуоресцентний метод визначення SO₂

Флуоресценція є активним процесом і спектрофлуорометри характеризуються високою чутливістю.

Дифенційна оптична спектроскопія поглинання

Основна ідея методу полягає в тому, щоб порівняти концентрацію забруднюючої речовини з поглинанням світлового випромінювання цією речовиною за законом Бера-Ламберта. Однак слід зазначити, що застосування

цього закону зумовлене можливим впливом розсіювання атмосферними молекулами та аерозолями. Тому всі ці компоненти сприяють повному поглинанню атмосфери. Цю складність можна подолати завдяки диференціальній оптичній абсорбційній спектроскопії (DOAS).

Типовий спектрометр диференційного поглинання складається з джерела світла (ксенонова лампа), випромінювання якого проходить через телескоп, який виконує функцію коліматора, ретрорефлектора, який відбиває оптичне випромінювання у зворотному напрямку, і кремнеземного волокна для пропускання від телескоп до випромінювання від монохроматора, спектрограф, що складається з монохроматора, дифракційної решітки та системи реєстрації (рис. 1.8). Оптичне випромінювання аналізується через атмосферу (оптичний шлях до 0,5–1,5 км).

Диференціальні абсорбційні спектрометри вимірюють поглинання на двох довжинах хвилі - одна (λ_0) довжина хвилі, випромінювання якої збігається зі смугою поглинання об'єкта (газу або забруднювача), і друга (λ_{ω}) довжина хвилі, випромінювання якої збігається з базовою лінією смуги поглинання. поглинання порівнюється з поглинанням відомих концентрацій забруднюючих речовин. Ці дані є в базі даних спектрометра [3].

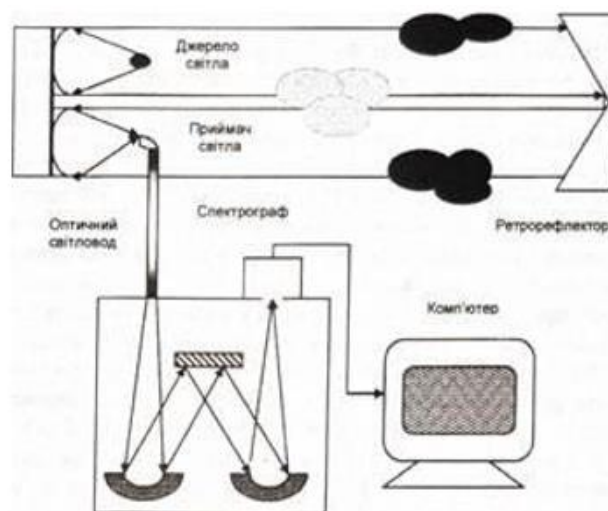


Рисунок 1.8 – Схема типового диференційного спектрометра поглинання

За допомогою диференційно-абсорбційного спектрометра можна вимірювати компоненти смогу (NaOx , SOx , O_3 , формальдегід та ін.) у міському повітрі, забруднюючі речовини в повітрі промислових зон, аеропортів та автомагістралей, контролювати концентрацію в трубопроводах промислових підприємств. викиди, моніторинг якості повітря в тропосфері та стратосферному шарі.

Ця методика може бути використана для отримання томографічних зображень просторового розподілу забруднюючих речовин в атмосфері. Для цього використовуються дві вежі з диференціальними спектрометрами поглинання і кілька (4–20) ретрорефлекторів. Такі системи можуть будувати дво- та тривимірні зображення (томограми) слідових концентрацій забруднюючих речовин у просторі.

Диференційно-абсорбційний спектрометр може одночасно вимірювати слідові кількості різних газів, характеризується високою чутливістю та низьким (1 мкг/м^3) порогом виявлення. До недоліків можна віднести залежність результатів вимірювання від погодних умов і високу вартість обладнання.

1.3.4 Тверді частки PM10 та дрібні тверді частки PM2.5

Термін Particulate matter (PM)— це дрібні тверді частинки. Насправді все в повітрі не є газом, а складається з різноманітних сполук і матеріалів, деякі з яких можуть бути отруйними. Оскільки багато частинок, що утворюють PM, мають малі розміри, деякі з цих токсинів можна вдихнути в крові транспортувати по всьому тілу, де вони осідають у серці, мозку та інших органах.

Тому вплив ТЧ може призвести до серйозних наслідків для здоров'я, особливо для вразливих груп населення, таких як молодь, люди похилого віку та люди з респіраторними захворюваннями.

Тверді частинки класифікуються за розміром. На сьогоднішній день у Європейському Союзі та Сполучених Штатах, де уряди стурбовані здоров'ям громадян, виміряно концентрації РМ для частинок діаметром менше 10 мікрон (PM10) і менше 2,5 мікрон (PM2,5). Законодавство також визначає максимально допустимі рівні цих частинок у повітрі.

За концентрацією ТЧ у повітрі (мкг/м^3) визначте показник якості повітря.

Частинки РМ можуть подорожувати на великі відстані в атмосфері – вони разносяться вітром на сотні кілометрів. Невеликий відсоток РМ походить з природних джерел, таких як пилок і океанські хвилі. Ще один приватний із сусідньої країни. Однак основна частина концентрацій ТЧ в Україні походить від місцевих антропогенних джерел, таких як спалювання палива (промислові підприємства, лісові пожежі, автотранспорт), знос шин і гальм (гальмівних колодок і дисків) транспортних засобів [8].

У містах, залежно від напрямку та швидкості вітру, підвищені концентрації твердих частинок зазвичай спостерігаються біля доріг із інтенсивним транспортним рухом і поблизу забруднюючих підприємств. Сильно забруднене повітря буває саме в ті дні, коли вітру зовсім немає (штиль) або вітер дуже слабкий. Потім на рівні поверхні швидко накопичувалися частинки забруднення, які не виносилися у верхні шари атмосфери та за межі населених пунктів. У повітрі може бути запах горілого, видимість може бути знижена, може спостерігатися дим або туман. Повітря в містах у період імли або смогу також можна вважати забрудненим. Крихітні крапельки води, що літають у повітрі в туманний час, уже не є чистою водою. Вони можуть складатися з розчинів шкідливих хімічних речовин, які потрапляють краплями в повітря, забруднене автомобілями. Адже зазвичай туман з'являється при слабкому вітрі, а найчастіше в безвітряній обстановці.

Оскільки дороги є потенційними місцями підвищеного забруднення повітря, слід намагатися уникати прогулянок і фізичної активності на них.

Автомобіль, яким користуєтеся, повинен мати салонний фільтр, а вікна повинні бути постійно закритими. Для уловлювання дрібних частинок і нейтралізації газу необхідний вугільний фільтр. Необхідно регулярно контролювати рівень забруднення повітря в містах. Виходячи з даних про якість повітря, вирішіть, чи займатися спортом, чи піти на прогулянку. Рекомендується придбати власний датчик забруднення та встановити його біля будинку. Йти за вітром. Вітряна погода – чисте повітря в місті. Нехай Calm нагадає вам, що ви перевірятимете рівень забруднення, вимірний датчиком. Якщо поблизу є підприємства-забруднювачі, враховуйте напрям вітру. Дізнайтеся, де у вашому районі є такі підприємства (заводи, котельні тепломережі тощо). [8]

Для позначення окремих видів ЗЧ, залежно від розмірів, форми і характерних особливостей, використовують такі терміни, як пил, аерозоль, сажа, дим. Частки PM10 та PM2.5 менше ніж волос людини (рис. 1.9).

Грубі частинки пилу (PM10) діаметром від 2,5 до 10 мікрон. Джерела: цвіль, спори, пилок, дим, бруд і пил з заводів і сільського господарства.

Дрібні тверді частинки (PM2,5) мають діаметр 2,5 мікрона або менше, і їх можна побачити лише за допомогою електронного мікроскопа. Джерело: процес згоряння, вироблений транспортними засобами, електростанціями. Джерелами таких часток також є спалювання деревини (побутові котельні тощо), лісові пожежі, спалювання сільськогосподарських відходів і деякі промислові процеси, що виробляють токсичні органічні сполуки та важкі метали.

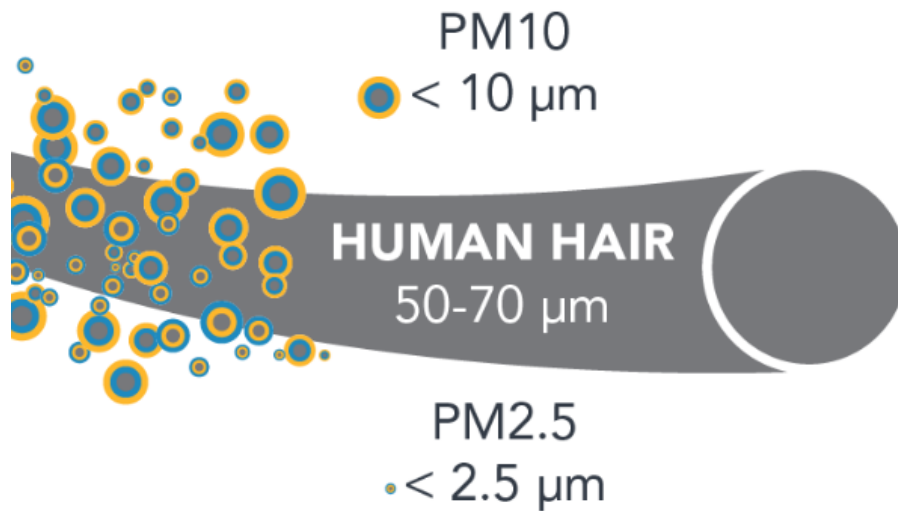


Рисунок 1.9 – Розміри PM10 та PM2.5, порівняння з волоссям людини

Зменшення впливу на здоров'я

Оскільки дороги є потенційними місцями підвищеного забруднення повітря, слід намагатися уникати прогулянок і фізичної активності на них. Автомобіль, яким користуєтеся, повинен мати салонний фільтр, а вікна повинні бути постійно закритими. Для уловлювання дрібних частинок і нейтралізації газу необхідний вугільний фільтр. Необхідно регулярно контролювати рівень забруднення повітря в містах. Виходячи з даних про якість повітря, вирішіть, чи займатися спортом, чи піти на прогулянку. Рекомендується придбати власний датчик забруднення та встановити його біля будинку. Йти за вітром. Вітряна погода – чисте повітря в місті. Нехай Calm нагадає вам, що ви перевірятимете рівень забруднення, вимірний датчиком. Якщо поблизу є підприємства-забруднювачі, враховуйте напрям вітру. Дізнайтеся, де у вашому районі є такі підприємства (заводи, котельні тепломережі тощо).

1.3.5 Діоксид азоту (NO₂)

В атмосфері можна виявити сім оксидів азоту. Оксид азоту (N₂O) є парниковим газом зі значним антропогенним походженням у глобальній сумі (~0,3 ppm). Однак оксиди азоту (NO) і діоксид азоту (NO₂) є двома основними

типами оксидів азоту, пов'язаних із джерелами горіння. Концентрації цих двох газів у навколишньому середовищі значно відрізняються між місцевими джерелами та поглиначами, але можуть перевищувати загальні концентрації ($\text{NO} + \text{NO}_2$) 500 мкг/м³ у густонаселених міських районах. Азотна кислота (HONO).

Загальні забруднювачі зовнішніх і внутрішніх умов, що утворюються під час реакції діоксиду азоту з водою.

Оксид азоту окислюється на повітрі з утворенням діоксиду азоту. У рідкому вигляді діоксид азоту від безбарвного до коричневого. У той же час діоксид азоту має температуру кипіння 21,15 °С, а його низький парціальний тиск в атмосфері (908 мм рт. ст. при 25 °С) за нормальних умов навколишнього середовища перешкоджає конденсації і, таким чином, існує в повітрі в газоподібному вигляді. У цій формі діоксид азоту летючий, червонувато-коричневого кольору, важчий за повітря та має характерний різкий запах у концентрації 188 мікрограмів на кубічний метр (0,1 проміле). Це сильний окислювач, агресивний і погано розчинний у воді. Він має молекулярну масу 46,01 г/моль, температуру плавлення –11,2 °С, температуру кипіння 21,15 °С і густину 1,59 (повітря = 1). Реагують з водою, розчиняються в сульфатній та азотній кислотах.

Коефіцієнти перетворення

При 760 мм рт. ст. і 20 °С, 1 ppm. = 1,914 мг/м³ і 1 мг/м³ = 0,523 ppm; при 25°С 1 ppm = 1,892 мг/м³ і 1 мг/м³ = 0,531 ppm.

Вплив на здоров'я

Атмосферний оксид азоту, NO, і діоксид азоту, N₂O, зустрічаються разом, і тому найчастіше оцінюють їхній комбінований вплив на організм людини. Високі концентрації NO спостерігалися лише поблизу джерела викидів. При згорянні палива в автомобілях і на теплових електростанціях утворюється приблизно в 90 разів більше азоту, ніж оксиду азоту. Решта 10

перетворюються на діоксид азоту. Однак під час хімічної реакції значна частина NO перетворюється на N_2O — набагато небезпечнішу сполуку. Оксид азоту NO — безбарвний газ.

Він не подразнює дихальні шляхи, тому людина може його не відчувати. При вдиханні NO, як і CO, зв'язується з гемоглобіном. При цьому утворюється нестійка нітрозосполука, яка швидко перетворюється на метгемоглобін, а Fe_2 перетворюється на Fe_3 . Іони Fe_3 не можуть оборотно зв'язувати O_2 , тим самим виходячи з процесу перенесення кисню. Концентрація метгемоглобіну в крові 60–70 вважається смертельною. Але таке граничне значення може з'явитися тільки в закритому приміщенні, а на відкритому повітрі – неможливо.

У міру видалення з джерела все більше і більше NO перетворюється на NO_2 – коричневий газ із характерним неприємним запахом. Діоксид азоту сильно подразнює слизові оболонки дихальних шляхів. Вдихання токсичних парів діоксиду азоту може викликати важке отруєння. Діоксид азоту може викликати сенсорні, функціональні та патологічні ефекти. Розглянемо деякі з них. Сенсорні ефекти включають нюхові та зорові реакції організму на дію NO_2 .

Люди відчують присутність цього газу навіть при низькій концентрації всього 0,23 мг/м³. Ця концентрація є порогом виявлення діоксиду азоту. Однак після 10 хвилин інгаляції здатність людського організму виявляти NO_2 зникне, але при цьому в горлі з'явиться відчуття сухості та першіння. Хоча ці ознаки зникають при тривалому впливі концентрацій, що в 15 разів перевищують поріг виявлення. Таким чином, NO_2 погіршує нюх.

Але діоксид азоту не тільки впливає на нюх, він також погіршує нічний зір – здатність ока адаптуватися до темряви. Цей ефект спостерігався при концентрації 0,14 мг/м³, тобто нижче порогу виявлення.

Функціональна дія діоксиду азоту полягає в підвищенні резистентності дихальних шляхів. Іншими словами, NO_2 викликає збільшення дихального

зусилля. Ця реакція спостерігалася у здорових людей з концентраціями NO_2 до $0,056 \text{ мг/м}^3$ (у чотири рази нижчі за поріг виявлення). Люди з хронічними захворюваннями легень відчувають утруднене дихання при концентраціях $0,038 \text{ мг/м}^3$.

Патологічний ефект полягає в тому, що NO_2 робить людей більш сприйнятливими до патогенів, що може призвести до респіраторних захворювань. Мукозит верхніх дихальних шляхів, бронхіт, круп і запалення легень частіше спостерігалися у людей, які зазнали впливу високих концентрацій діоксиду азоту. Крім того, сам діоксид азоту може викликати захворювання дихальних шляхів. Діоксид азоту, потрапляючи в організм людини, утворює азотну кислоту, а при контакті з водою азотна кислота роз'їдає стінки альвеол.

У той же час стінки альвеол і стінки капілярів є високопроникними, і сироватка потрапляє в порожнину легень. Вдихуване повітря розчиняється в цій рідині, утворюючи піну, яка перешкоджає подальшому газообміну. Виникає набряк легень, який часто призводить до смерті. Тривалий вплив оксидів азоту призводить до розширення клітин у коренях бронхів (тонких відгалужень альвеолярних дихальних шляхів), зниження стійкості легень до бактерій і розширення альвеол.

Методи визначення:

Хемілюмінесцентний метод

Метод заснований на реакції між закисом азоту NO і озоном O_3 , в результаті якої утворюється збуджена форма діоксиду азоту NO_2 . Збуджений діоксид азоту переходить в основний стан з випромінюванням світла. В основному спектр випромінювання хемілюмінесценції займає область близько 1200 нм . У хемілюмінесцентному аналізаторі повітря, що подається в аналізатор, розділяється на два потоки (рис. 1.10). У потоці газу NO_2 перетворюється на NO завдяки нагріванню молібденового (Mo) каталізатора

до 325 °С. Далі NO_2 реагує з озоном (штучно створеним генератором озону) у камері низького тиску з утворенням молекул NO_2^* .

Деякі з цих молекул перебувають у збудженому стані (NO_2^*) і беруть участь у випромінюванні світла при переході молекули в основний стан. Це світло реєструється та перетворюється на електричний сигнал, пропорційний інтенсивності світла.

У другому потоці газу NO минає каталізатор і реагує з озоном, випромінюючи світло. Фактичні концентрації NO_2 розраховували як різницю між даними про трансформований і нетрансформований NO_2 .

Чутливість вимірювання NO_2 хемілюмінесцентним аналізатором (аналізатор типу 42) становить $5 \cdot 10^{-10} \text{ NO}_2$.

Перевагами цього методу є висока чутливість при низькому (5–25 мбар) тиску в реакційній камері, низькі межі виявлення (приблизно 1 мкг/м), що дозволяє проводити вимірювання в реальному часі.

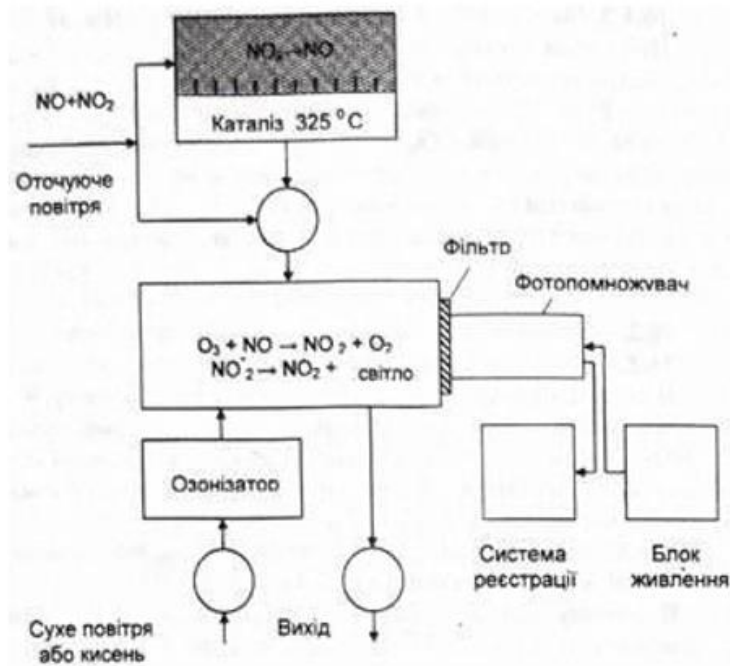


Рисунок 1.10 – Хемілюмінесцентний метод визначення NO_2 .

До недоліків можна віднести можливий вплив інших азотовмісних сполук, високу вартість і ненадійність генератора озону. Крім того, хемілюмінесценція може переоцінювати NO_2 , оскільки концентрації NO та NO_2 змінюються швидше, ніж тривалість процесу вимірювання.

1.3.6 Озон

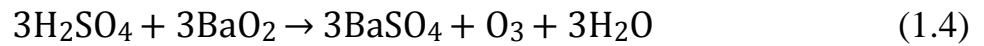
Озон складається з трьохатомних молекул O_3 , алотропного варіанту кисню. У нормальних умовах це отруйний газ синього кольору. Запах різкий і специфічний. Після розрідження він стає рідиною індиго. У твердому стані це темно-сині, сірі, майже чорні кристали.

Озон утворюється в багатьох процесах, що супроводжують виділення атомарного кисню, наприклад, при розкладанні перекису, окисленні фосфору та ін.

У промисловості його отримують з повітря або кисню в генераторі озону електричним розрядом. O_3 більш розріджений, ніж O_2 , і тому легко відділяється. Озон, який використовується в медицині для озонотерапії, можна отримати лише з чистого кисню. Озон утворюється при опроміненні повітря інтенсивним ультрафіолетовим випромінюванням. Такий же процес

відбувається у верхніх шарах атмосфери, де озоновий шар утворюється і підтримується під впливом сонячної радіації.

У лабораторії озон можна отримати взаємодією охолодженої концентрованої сірчаної кислоти з пероксидом барію:



Токсичність озону

Висока окислювальна здатність озону та утворення вільних кисневих радикалів у багатьох реакціях, у яких він бере участь, визначають його високу токсичність. Вплив озону на організм людини є, як правило, токсичним, подразнювальним, канцерогенним і мутагенним, а також може призвести до передчасної смерті.

Найнебезпечніша дія високих концентрацій озону в повітрі полягає в прямому подразненні органів дихання. У деяких країнах озон відноситься до першого і вищого класу шкідливих речовин. Правила щодо озону:

- Гранично-разова гранично допустима концентрація (ГДК) в атмосфері густонаселених місць становить 0,16 мг/м³;
- Гранично допустима добова концентрація (ГДК) в атмосфері густонаселених місць становить 0,03 мг/м³;
- Гранично допустима концентрація (ГДК) у повітрі робочої зони 0,1 мг/м³.
- Мінімальна летальна концентрація (LC50) – 4,8 ppm. У той же час нюховий поріг людини приблизно дорівнює 0,01 мг/м³.

Озон ефективно знищує цвіль і бактерії [2].

Озон в атмосфері

Атмосферний (стратосферний) озон є продуктом впливу сонячної радіації на атмосферний (O_2) кисень. Проте тропосферний озон є забруднювачем, який загрожує здоров'ю людей і тварин і може пошкодити рослини. Блискавка Кататумбо вважається найбільшим генератором тропосферного озону на Землі.

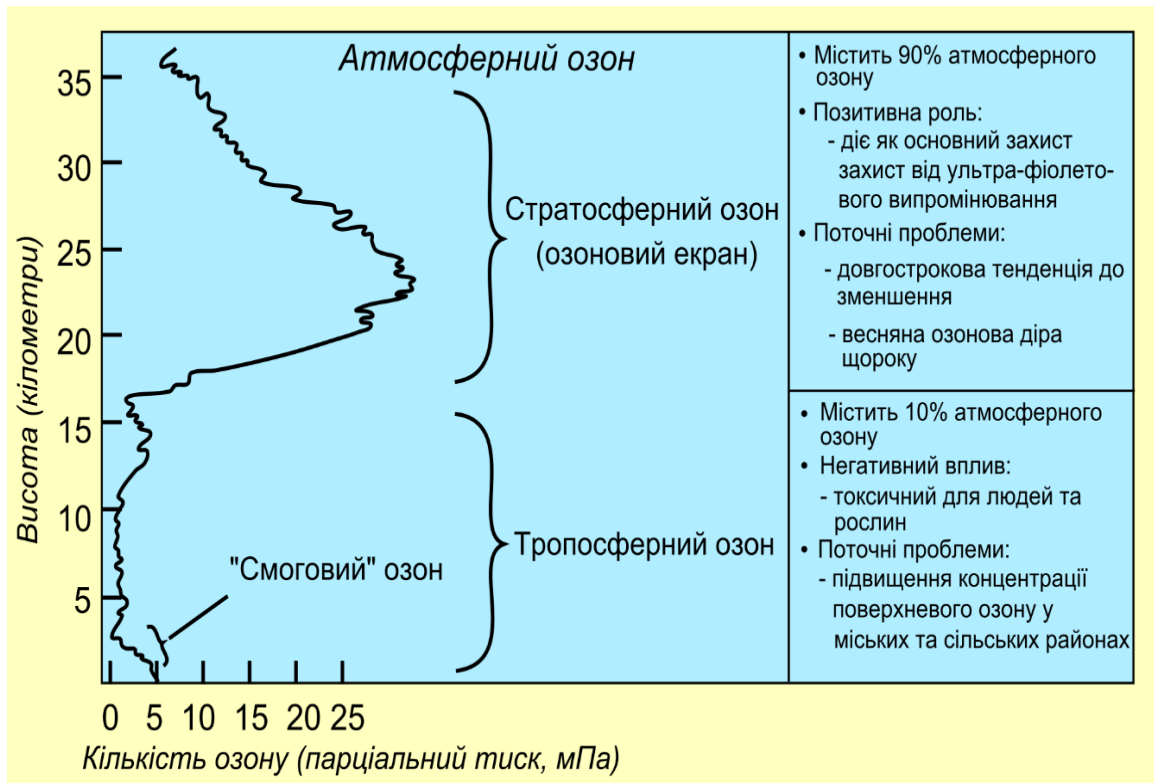


Рисунок 1.11 – Розподіл озону по висоті

Методи виявлення

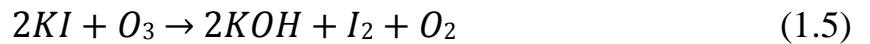
Основні методи вимірювання озону в атмосфері включають детектори озону, спектрофотометри Добсона та Брюера, лідари та супутники, а також пасивні системи моніторингу озону [2].

Озоновий зонд

Детектор озону - це прилад, встановлений на повітряній кулі, що піднімається на висоту 35 км. Він містить датчик озону, блок живлення, повітряний насос і радіопередавач. Під час польоту повітряної кулі повітря, насичене озоном, пропускається через розчин за допомогою насоса, а

окислення озону призводить до появи електричного струму, який реєструється. Це поточне значення прямо пропорційне потоку озону i , отже, концентрації озону.

Озоновий детектор Brewer-Mast працює шляхом взаємодії озону з йодидом калію KI, який утворює вільний йод:



Утворення йоду порушує стан електричної рівноваги в розчині, в результаті чого виникає потік електронів. Зв'язок між кількістю озону P_m (парціальний тиск озону в нанобарах) і струмом I такий:

$$P_m = KIT_m \quad (1.6)$$

де K – константа, нбар/мкА К; T_m – температура помпи, К; I – величина електричного струму, мкА.

До основних типів озонозондів також можна віднести озонозонди ЕКК і йодуглецеві зонди, засновані на використанні електрохімічних концентраційних камер, відмінність яких полягає в тому, що в якості катода використовується платинова сітка, а в якості катодного анода - активоване вугілля.

Спектрофотометр Добсона і Брюера

Для вимірювання «товщини» озонового шару використовуються одиниці Добсона. Якби ми уявили, що всі молекули озону, присутні в стратосфері, можуть зібратися на поверхні (при нормальному тиску та температурі), тоді товщина шару буде 3 мм. Ця кількість озону еквівалентна 300 DU (одиницям Добсона) [2].

Спектрофотометри Добсона використовуються для оцінки озонового шару на основі диференціальної спектрофотометрії. Як джерело світла використовується ультрафіолетове випромінювання Сонця або Місяця. Диференціальна спектрофотометрія передбачає порівняння рівнів поглинання на двох довжинах хвилі - 305 нм (поглинання озону) і 325 нм (еталонна

довжина хвилі). Аналіз поглинання ультрафіолетового випромінювання на аналітичній довжині хвилі дозволяє оцінити концентрацію озону в атмосфері та його просторовий розподіл. Принцип роботи спектрофотометра Добсона показаний на (рис. 1.12). Як показано на рис. 1.12., клиновий фільтр поступово змінює інтенсивність еталонного променя, доки два оптичні сигнали не стануть рівними. Барабан, що переміщує клин, оснащений шкалою одиниць концентрації озону.

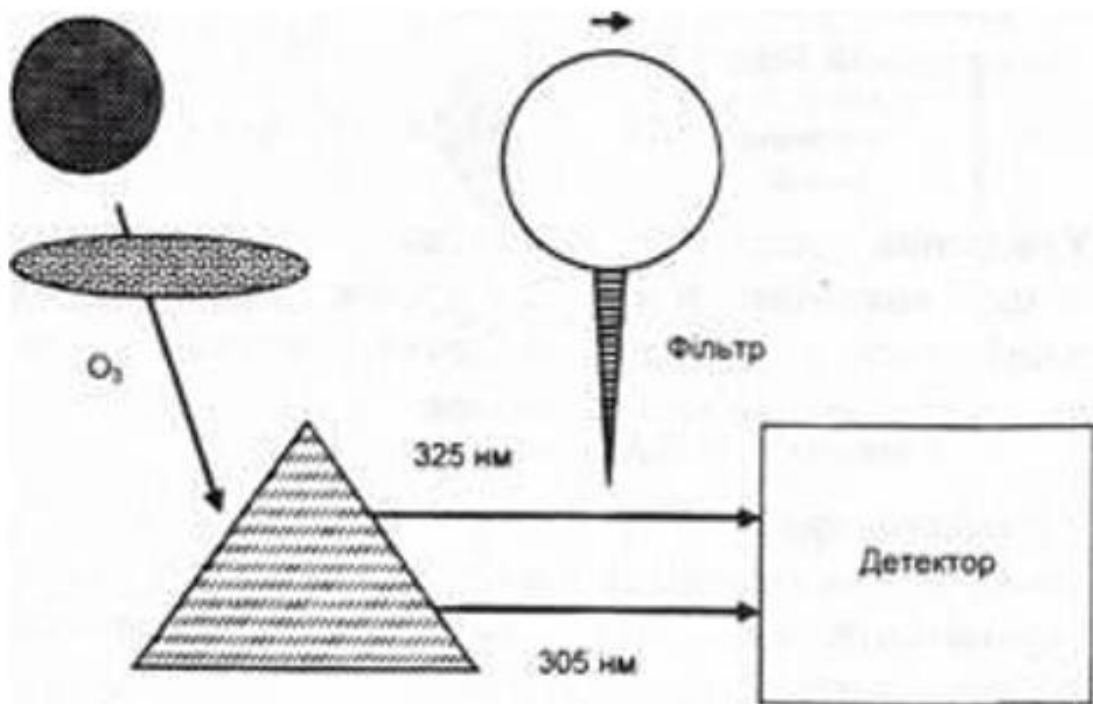


Рисунок 1.12 – Принцип дії спектрофотометра Добсона

Спектрофотометр Брюера вимірює поглинання природного випромінювання на довжинах хвиль 306,3; 310,1; 313,5; 316,8 і 320,1 нм, що дозволяє позбутися впливу поглинання аерозолів і забруднюючих речовин на результати вимірювань, що є особливостями спектрофотометра Добсона.

Лідари

Дистанційне зондування озону можна виконувати шляхом вимірювання поглинання озоновим шаром лазерного випромінювання з довжинами хвиль 308 нм і 351 нм. Порівняння поглинання на цих довжинах хвиль дозволяє оцінити розподіл озону в діапазоні висот від 10 до 50 км.

Супутники

Сучасні методи моніторингу озону включають програму GOME (Global Ozone Monitoring Experiment), яка використала супутник ESA ERS-2, який був запущений на полярну орбіту в 1995 році. Метою програми є дослідження стратосферного озону, зміни клімату та забруднення атмосфери. Завдяки застосуванню програми GOME можна оцінити вертикальний розподіл концентрації озону в атмосфері та вивчити динаміку утворення озонової діри.

Пасивні системи моніторингу озону

Інший метод передбачає пасивний моніторинг озону за допомогою поліетиленового пакета з тefлоновим вікном, через яке він дифундує з навколишнього середовища. Упаковка містить барвник індигокармін, який під дією озону змінює колір від світло-жовтого до темно-жовтого.

Концентрації озону, які можна оцінити за допомогою пасивних методів, коливаються від $<0,045$ ppm до $>0,105$ ppm. У 1999 році волонтери зі 122 країн виміряли озон у 542 місцях за допомогою пасивних контейнерів [2].

Висновки до розділу 1

У цьому розділі розглянуто індексацію повітря в Україні та ЄС, принципи її вимірювання. Була розкрита тема проблематики вимірювання та моніторингу якості повітря в Україні. Також розглянуті два існуючих датчика в Україні SaveEcoSensor та AirFresh. Проведено огляд основних забруднювачів повітря, які контролюються країнами, а саме діоксид сірки (SO₂), тверді частинки (PM₁₀), дрібні тверді частинки (PM_{2,5}), діоксид азоту (NO₂), чадний газ (CO), озон (O₃) та формальдегід - ще один забруднювач, який не входить в основний список, але актуальний. У цьому розділі пояснюється походження кожного компонента повітря, розглядається структура деяких газів, надається інформація про вплив кожного компонента забруднення на організм людини та методи їх виявлення в повітрі.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ

2.1 IoT технології

«Інтернет речей» – це концепція підключення будь-якого пристрою (якщо він має вимикач/вимикач) до Інтернету та інших підключених пристроїв. Інтернет речей — це величезна база даних, у якій розумні пристрої обмінюються інформацією за допомогою датчиків, електроніки, системних мереж і апаратного забезпечення.

Зв'язок між пристроями може відбуватися між різними фізичними об'єктами, наприклад, в офісі/дому. Деякими прикладами пристроїв з інтеграцією IoT є освітлення, димова сигналізація тощо, загалом усе, що користувач може підключити до будь-якого іншого пристрою або безпосередньо до Інтернету.

Історія IoT

Одним із перших підключених пристроїв був торговий автомат Coca-Cola, встановлений в університеті Карнегі-Меллона в 1982 році. Таким чином, пристрій здатний передавати дані про кількість пляшок, що містяться в ньому, і його загальний стан.

1990-ті роки були часом активного обговорення мереж, які могли б забезпечити взаємодію між машинами. Наприклад, Марк Вайзер, керівник досліджень Хегох PARC (дослідницький центр корпорації Хегох), запропонував концепцію повсюдних обчислень, яка передбачає масове впровадження комп'ютерів і організацію зв'язку між ними, завдяки тому, що ці машини може самостійно вирішувати щоденні завдання користувача.

У свою чергу вчений Білл Джой у своїй промові на Міжнародному економічному форумі в Давосі в 1999 році запропонував «Шість мереж» – шість типів Інтернету майбутнього. У ньому він досить точно передбачає появу бездротових мереж мобільного Інтернету, інтелектуальних голосових

помічників і зв'язку між пристроями (у його типології цей зв'язок називається пристрій-пристрій). Тоді ж були спроби створення перших IoT-проектів – наприклад, у 1993 році Microsoft запустила платформу at Work, яка включала спеціальну операційну систему та протоколи передачі даних, метою яких було поєднання офісного обладнання (факсів), копіювальні апарати тощо) Загальний протокол і транспортна функція для керування й керування комп'ютерами під керуванням Windows. Однак At Work не мав успіху і через деякий час заклався. У 1994 році Novell запропонувала подібний проект – її платформа NEST (Novell Embedded Systems Technology) дозволяла різним пристроям підключатися до служб мережевої операційної системи NetWare і взаємодіяти за допомогою її протоколу IPX. NEST повторив долю свого попередника At Work і припинив своє існування.

Як працює IoT

Пристрої та об'єкти з вбудованими датчиками підключаються до платформ IoT, які інтегрують дані з різних пристроїв і застосовують аналітику для обміну найціннішою інформацією з додатками, створеними для задоволення конкретних потреб.

Надійна платформа IoT може точно визначити, яка інформація корисна, а яку можна безпечно ігнорувати. Отриману інформацію можна використовувати для виявлення закономірностей, надання рекомендацій і виявлення потенційних проблем до їх виникнення.

2.1.1 Архітектура IoT

Архітектура пристрою IoT складається з чотирьох рівнів: Рівень датчик, мережевий рівень, рівень обробки даних і прикладний рівень (рис. 2.1). Основне призначення сенсорного рівня – ідентифікація різних явищ середовища за допомогою периферійних пристроїв та отримання даних з реального світу.

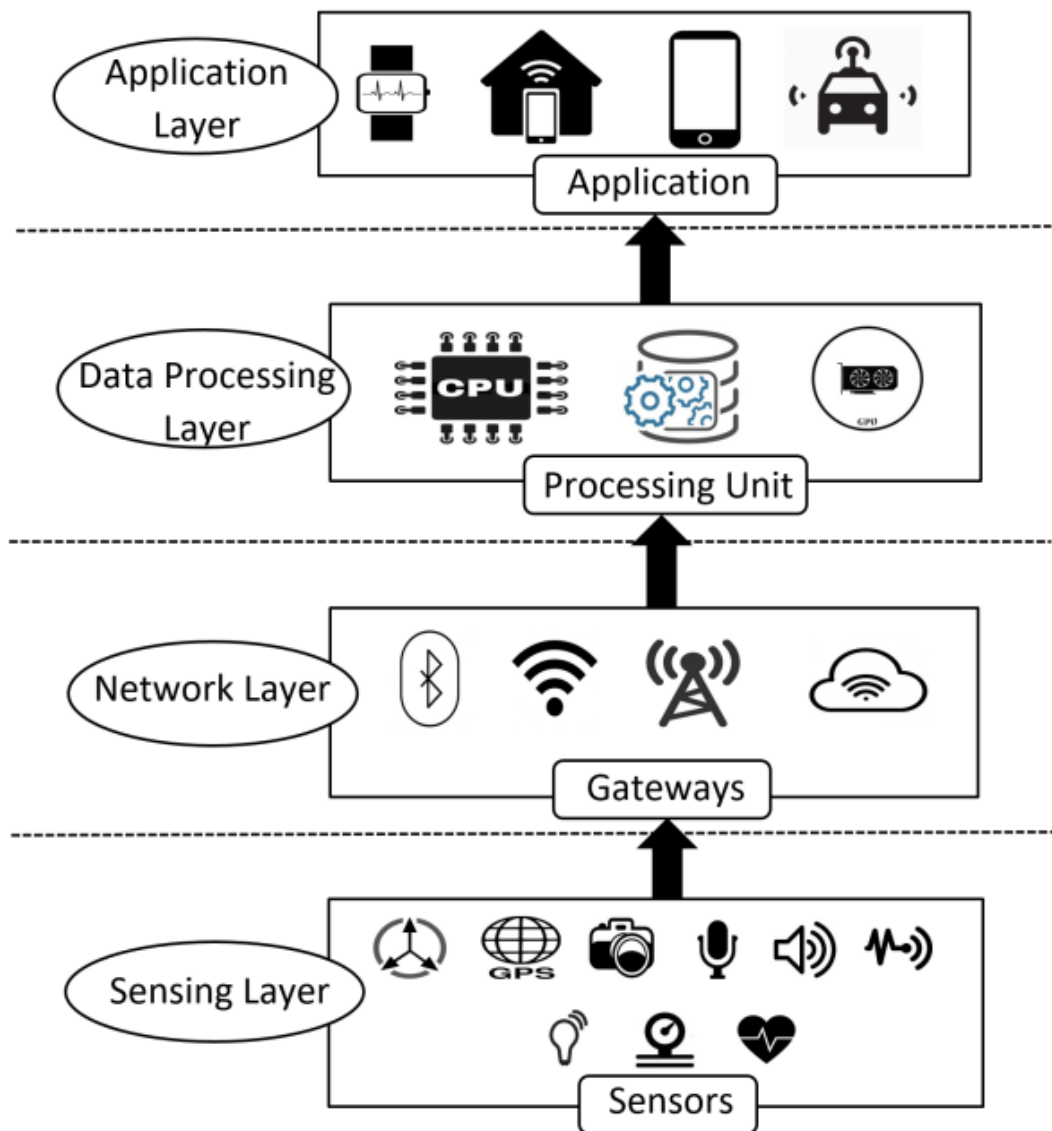


Рисунок 2.1 – Архітектура мережі IoT

Цей рівень складається з декількох типів датчиків. Використання великої кількості датчиків є однією з найважливіших функцій пристрою IoT. Датчики в пристроях IoT часто інтегруються за допомогою сенсорних концентраторів. Сенсорний концентратор є основною точкою з'єднання кількох датчиків. Він накопичує та передає дані від датчиків до блоку обробки даних у пристрої. Концентратори датчиків використовують різні транспортні механізми, такі як (інтегральна схема (I2C) або послідовний периферійний інтерфейс (SPI)), щоб передавати дані між датчиком і програмою. Ці транспортні механізми покладаються на пристрої IoT. Вони створюють канал зв'язку між датчиком і програмою збору даних датчика.

Датчики в Інтернет Речей мають 3 класифіковані категорії:

– датчик руху, який вимірює зміни в русі, а також орієнтацію пристрою. За допомогою датчиків цього пристрою можна спостерігати два типи руху: лінійний і кутовий. Лінійний рух відноситься до прямолінійного руху пристрою IoT, тоді як кутовий рух відноситься до обертального руху пристрою;

– датчики навколишнього середовища включають датчики світла, датчики тиску та інші пристрої, які вбудовані в пристрої IoT і реагують на зміни параметрів навколишнього середовища за допомогою периферійних пристроїв. Основна мета використання цих датчиків у пристроях IoT – допомогти пристроям приймати автономні рішення на основі змін у периферійних пристроях. Наприклад, більшість додатків використовують датчики навколишнього середовища, щоб спростити життя користувача (розумні замки, системи домашньої автоматизації, розумне освітлення тощо);

– датчик розташування пристрою IoT взаємодіє з фізичним розташуванням і положенням самого пристрою. Найбільш часто використовуваними датчиками місцезнаходження в IoT є магнітні датчики та датчики глобальної системи позиціонування (GPS). Магнітні датчики використовуються як цифровий компас, щоб допомогти визначити орієнтацію дисплея пристрою. Датчики GPS використовуються для цілей навігації в пристроях IoT.

Мережевий рівень

Мережевий рівень служить каналом зв'язку для передачі даних, зібраних на рівні датчика, на інші підключені пристрої. У пристроях IoT мережевий рівень реалізовано за допомогою різних комунікаційних технологій (наприклад, Z-Wave, LoRa, Wi-Fi, Bluetooth тощо), що дозволяє передавати дані між різними пристроями в самій мережі.

Рівень обробки даних

Рівень обробки даних складається з основних блоків обробки даних пристроїв IoT. Рівень обробки даних отримує зібрані дані на рівні датчика та аналізує їх. Потім він приймає рішення на основі аналізу. У деяких пристроях IoT (наприклад, смарт-годинниках, концентраторах розумного будинку тощо) цей рівень також зберігає результати попереднього аналізу даних для подальшого використання цих даних. Крім того, цей рівень може передавати результати обробки даних від одного підключеного пристрою до іншого через мережевий рівень.

Рівень додатків

Прикладний рівень представляє результати рівня обробки даних за допомогою різних додатків пристроїв IoT. Прикладний рівень – це рівень, спрямований на користувача, який виконує різні завдання для користувача. Існують різні додатки IoT, включаючи розумний дім, розумний транспорт тощо.

2.1.2 IoT і хмарні технології

Існує взаємодоповнюючий зв'язок між хмарними обчисленнями та IoT, обидва з яких спрямовані на підвищення ефективності повсякденних завдань. З одного боку, IoT генерує величезні обсяги даних, а з іншого боку, хмарні обчислення відкривають шлях для цих даних. Багато хмарних провайдерів використовують його, щоб запропонувати модель оплати за використання, коли клієнти платять за конкретні ресурси, які вони використовують. Крім того, хмарний хостинг як послуга додає цінність стартапам IoT, забезпечуючи економію за рахунок масштабу для зменшення загальної структури витрат [13].

На додаток до цього, хмарні обчислення також можуть забезпечити розробникам кращу співпрацю, яка поширена в області IoT. Дозволяючи розробникам віддалено зберігати та отримувати доступ до даних, хмара

дозволяє розробникам реалізовувати проекти без затримок. Крім того, зберігаючи дані в хмарі, компанії IoT можуть отримати доступ до величезних обсягів великих даних. Отже, щоб встановити зв'язок між IoT і хмарою див. (рис. 2.2).

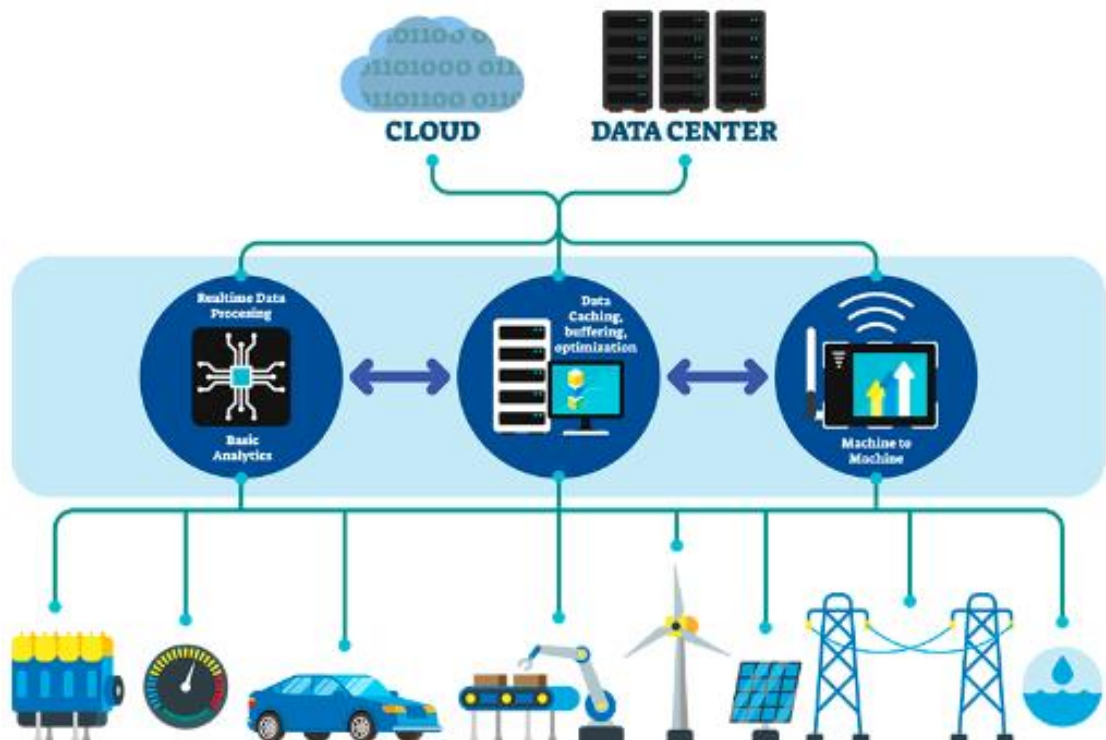


Рисунок 2.2 – IoT та хмарні технології

IoT взаємодія з хмарними технологіями

Хмарні обчислення базуються на принципах швидкості та масштабування, а програми IoT, у свою чергу, побудовані на принципах мобільності та розгалужених мереж. Таким чином, хмара та IoT формують хмарні додатки IoT, і дуже важливо прагнути якнайповніше використовувати їх поєднання. Ось кілька причин, чому хмара важлива для успіху IoT. Хмара, як технологія, може дозволити Інтернету речей вийти за рамки традиційних пристроїв, таких як кондиціонери та холодильники. Це пояснюється тим, що хмара має такий великий простір для зберігання, що усуває потребу в локальній інфраструктурі. У міру розвитку мініатюризації та переходу 4G на вищу швидкість Інтернету хмара дозволить розробникам розвантажити швидкі обчислювальні процеси [13].

Роль IoT у використанні мобільності величезна. Однак його функціональність була б неповною без безпеки. Хмара робить IoT більш безпечним за допомогою засобів запобігання, виявлення та виправлення. Він забезпечує користувачам суворі заходи безпеки, надаючи ефективні протоколи автентифікації та шифрування. Крім того, продукти IoT також можуть керувати та захищати особистість користувачів за допомогою біометрії. Все це можливо завдяки хмарній безпеці.

Значна частина інновацій Інтернету речей сьогодні зосереджена на керованих послугах plug-and-play. Ось чому хмара ідеально підходить для IoT. Постачальники керованих послуг не повинні покладатися на велику кількість апаратного забезпечення або навіть на будь-яке інше обладнання, яке не підтримує гнучкість пристроїв IoT. Хмара дозволила більшості постачальників керованих послуг запропонувати своїм клієнтам готову модель, усуваючи їхні бар'єри входу.

Коли справа доходить до IoT, хмара діє як посередник для спілкування. Багато потужних інтерфейсів API, таких як Cloudflare, CloudCache, Dropstr тощо, підтримують хмарний зв'язок і можуть бути легко підключені до смартфонів. Це дозволяє їм спілкуватися один з одним, а не тільки з нами, що, по суті, є суть хмари IoT. Хмара може прискорити розвиток IoT. Однак розгортання хмарних технологій також має певні проблеми та недоліки. Не тому, що хмара є технічною помилкою, але поєднання хмари та IoT створює деякі бар'єри для користувачів [13].

2.1.3 Сфери використання Інтернет Речей

Розумний будинок

Сфери використання IoT для розумного будинку безмежні, але одні з найосновних є: розумні термостати, кондиціонери, колонки, годівниці для домашніх тварин та інші повсякденні пристрої, які виконують звичайні

побутові функції. Це один з найпопулярніших і перспективних напрямків використання IoT.

IoT у сфері охорони здоров'я

У списку найкращих сфер застосування технології IoT сфера охорони здоров'я займає одну з найважливіших ланок. Інтернет речей безпосередньо впливає на життя людей, демонструючи важливість медицини як сфери діяльності в сучасному суспільстві.

Завдяки IoT лікарі можуть допомагати людям через Інтернет. За останні роки технології пішли вперед і медичні дрони завжди готові доставити вам необхідні ліки. Генетика все відкрила завдяки Інтернету речей. IoT може знайти вихід для кожного пацієнта окремо, проаналізувати його здоров'я та розрахувати індивідуальне лікування. У цей час розробка Інтернет-додатків все ще має деякі труднощі, особливо з огляду на Інтернет речей і традиційну медицину. IoT в охороні здоров'я розвивається дуже швидко.

Розумні авто

Люди вже використовують машини зі штучним інтелектом, які оснащені купою сенсорних кнопок і автоматично підключаються до Інтернету. Приклади використання IoT в автомобільній промисловості включають дистанційне керування входними дверима або температурою в гаражі. Безпілотні автомобілі готові замінити традиційні автомобілі. Найголовніше, що такі машини ретельно розраховують маршрут і забезпечать комфорт і безпеку.

Розумне місто

Міські технології IoT включають розумне паркування, карти шуму, розумне освітлення та дороги. Ці пристрої зараз знаходяться на стадії планування та розробки, вони мають значні перспективи. За допомогою технології IoT можна підвищити безпеку міських доріг, також краще

контролювати потік міського транспорту та забруднення у великих промислових зонах.

З кожним роком стрімко зростає попит на фахівців у сфері IoT. Вони можуть працювати не лише в IT-компаніях, а й у різних галузях (промисловість, охорона здоров'я, енергетика тощо), які потребують поєднання інформаційних систем та керованих об'єктів для отримання операційних результатів.

2.1.4 Переваги IoT

Переваги Інтернет речей:

Взаємодія приладів. IoT заохочує зв'язок між пристроями, також відомий як зв'язок між машинами (M2M). Завдяки цьому фізичні пристрої можуть залишатися підключеними, що забезпечує більшу загальну прозорість.

Управління та автоматизація. У робототехніці існує велика автоматизація та контроль завдяки цифровому та централізованому підключенню та контролю фізичних об'єктів через бездротову інфраструктуру. Машини можуть спілкуватися одна з одною без втручання людини, забезпечуючи швидший і своєчасний обмін інформацією.

Інформаційний потік. Інформації може допомогти прийняти кращі рішення. Незалежно від того, чи потрібно знати, що купити в продуктовому магазині, чи ваш бізнес має достатньо запасів, знання – це сила, а більше знань – краще.

Моніторинг гілузі. Ще однією найбільш очевидною перевагою IoT є спостереження. Знання точних рівнів запасів або якості повітря у вашому домі може надати додаткову інформацію, яку раніше було важко зібрати. Наприклад, знання про те, що у вас мало молока або чорнила в принтері, може врятувати вас від повторного походу в магазин найближчим часом. Крім того, контроль термінів придатності продуктів може підвищити безпеку.

Економія фінансів. Оптимального використання енергії та ресурсів можна досягти, використовуючи цю технологію та тримаючи обладнання під контролем. Нас сповіщають про можливі проблемні місця, несправності та пошкодження системи. Тож ми можемо заощадити гроші за допомогою цієї технології.

Найбільшою перевагою IoT є економія коштів. Якщо ціна підключених і контрольованих пристроїв буде нижчою за зекономлені гроші, IoT буде широко поширений. Інтернет речей виявився дуже корисним для повсякденної роботи людей, роблячи зв'язок між пристроями більш ефективним, заощаджуючи енергію та гроші. Дозволяє передавати дані та обмінюватися даними між пристроями, а потім переводити їх у потрібний режим.

Автоматизація. IoT дозволяє автоматизувати та контролювати завдання, які виконуються щодня, без втручання людини. Межмашинний зв'язок M2M допомагає підтримувати прозорість процесів. Це також призводить до єдності завдань. Це підключення також може підтримувати QoS. Також є можливість вжити необхідних заходів у разі надзвичайної ситуації.

2.1.5 Недоліки IoT

Недоліки Інтернет речей:

Сумісність пристроїв. Оскільки пристрої від різних виробників будуть під'єднані один до одного, виникнуть проблеми взаємодії з точки зору підключення та моніторингу. Хоча цей недолік можна зменшити, якщо всі виробники погодяться на загальний стандарт, навіть тоді технічні проблеми залишаться. Сьогодні у нас є пристрої з підтримкою Bluetooth, і навіть із цією технологією є проблеми сумісності. Проблеми сумісності можуть змусити людей купувати прилади певного виробника, що призведе до монополії на ринку.

Мережева складність. Інтернет речей – це різноманітна та складна мережа. Будь-які помилки програмного або апаратного забезпечення можуть мати серйозні наслідки. Навіть відключення електроенергії може доставити масу незручностей. З IoT помилки можуть поширюватися.

Конфіденційність. Оскільки всі дані надходять в IoT, ризик втрати конфіденційності зростає. Такі речі, як невдача з роботою, ваші сусіди можуть бачити ваші фінанси, які ліки ви купили в магазині тощо.

Безпека техніки. Оскільки вся побутова техніка, промислове обладнання, послуги державного сектору, такі як водопостачання та транспорт, і багато інших пристроїв підключені до Інтернету, величезна кількість інформації зберігається онлайн. Ця інформація вразлива для хакерів. Було б надзвичайно катастрофічно, якби несанкціоноване вторгнення могло отримати доступ до приватної та конфіденційної інформації.

2.2 Вибір апаратного забезпечення та датчиків

2.2.1 Датчик вологості та атмосферного тиску BME280

BME280 – це комбінований цифровий датчик вологості, тиску та температури, заснований на перевіреному принципі чутливості компанії Robert Bosch. Сенсорний модуль міститься в надзвичайно компактному корпусі LGA з металевією кришкою розміром лише $2,5 \times 2,5$ мм² і висотою 0,93 мм. Його невеликий розмір і низьке енергоспоживання дозволяють використовувати його на пристроях, що працюють від акумулятора, таких як мобільні телефони, модулі GPS або годинники. BME280 - це реєстри та продуктивність (рис. 2.3) [1].



Рисунок 2.3 – Вигляд датчику BME280

Датчики вологості забезпечують надзвичайно швидкий час відгуку для екологічно чутливих додатків і високу загальну точність у широкому діапазоні температур [1].

Датчик тиску – це датчик абсолютного тиску повітря з дуже високою точністю та роздільною здатністю та значно нижчим шумом, ніж датчик попередньої моделі Bosch Sensortec BMP180.

Вбудований датчик температури оптимізовано для найменшого рівня шуму та найвищої роздільної здатності. Його вихід використовується для компенсації температури датчиків тиску та вологості, а також може використовуватися для оцінки температури навколишнього середовища. [1]

Сенсорний модуль забезпечує інтерфейси SPI та I²C і може використовувати напругу живлення VDD у діапазоні від 1,71 В до 3,6 В для основного перетворювача VDD та живлення від 1,2 В до 3,6 В для живлення інтерфейсу VDDIO. Вимірювання можна ініціювати оператором або проводити періодично. При відключенні основного перетворювача споживаний струм модуля падає до 0,1 мкА.

BME280 працює в трьох режимах:

- Режим сну;

- Стабільний режим;
- Режим примусу.

Можна вибрати різні режими передискретизації, режими фільтрації та швидкості передачі даних, щоб адаптувати швидкість передачі даних, шум, час відгуку та поточне споживання відповідно до потреб користувача.

Таблиця 2.1 – Параметри сенсорного модуля BME 280

Параметри	Символ	Стан	Мін.	Сер.	Макс	Одиниці
Напруга живлення Внутрішні домени	V_{DD}	пульсація макс. 50 мВпп	1.7 1	1.8	3.6	V
Діапазон роботи	R_H	Для температур <0 °C та> 60 °C	-40	25	85	°C
			0		100	%RH
Робоча температура сенсора тиску	T_A	Оперативна	-40	25	+85	°C
		повна точність	0		+65	
Діапазон роботи сенсора температур	T	Оперативна	-40	25	+85	°C
		повна точність	0		+65	

Модуль BME280 дозволяє вимірювати тиск і температуру, крім того, він може зчитувати індикацію вологості, яка за замовчуванням вимкнена. При необхідності ви можете зробити необхідні програмні налаштування датчика і

почати зчитування даних про вологість. Діапазон вимірювань від 0 до 100%. Сенсорний модуль Бібліотека, необхідна для використання сенсорного модуля, називається Adafruit_VME280.

2.2.2 Датчик широкого спектру газів MQ-135

Датчик MQ-135 є напівпровідниковим приладом. Принцип роботи датчика заснований на зміні електричного опору тонкого шару діоксиду олова, коли він контактує з молекулами газу, що підлягає вимірюванню. Чутливий елемент датчика складається з керамічної трубки, покритої Al_2O_3 , і нанесеного на неї чутливого шару діоксиду олова. Через внутрішню частину трубки проходить нагрівальний елемент, нагріваючи чутливий шар до температури, при якій він починає реагувати з газом. Чутливість до різних газів досягається зміною складу домішок у чутливому шарі (рис. 2.4) [10].



Рисунок 2.4 – Вигляд датчику MQ-135

Вибір режиму живлення нагрівача

Датчик має два режими роботи, які перемикаються перемичкою.

- Сенсорний нагрівач завжди включений. Таким чином, трипровідна петля може бути опущена.
- Програмоване управління обігрівачем.

Контакти для підключення трипровідних схем

1 група:

- Сигнал (S) – вихідний сигнал детектора. Підключаємо до аналогового входу мікроконтролера.
- Джерело живлення (V) – джерело живлення датчика. Підключити до робочої напруги мікроконтролера.
- Заземлення (G) – підключіть до контакту GND мікроконтролера.

2 група:

- Сигнал (E) – Регулювання потужності нагрівача. Підключіть до цифрового контакту мікроконтролера.
- Потужність (H) – Потужність обігрівача. Підключіть до контакту 5V
- Заземлення (G) – підключіть до контакту GND мікроконтролера.

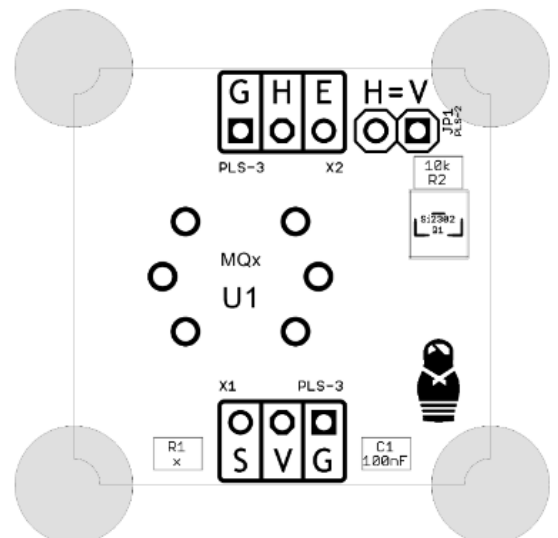
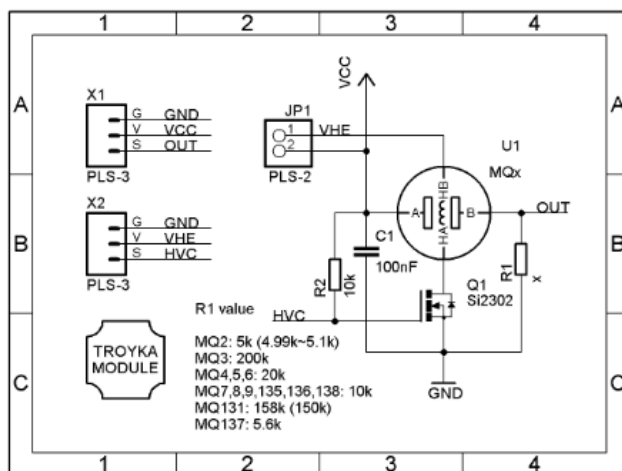


Рисунок 2.5 – Принципова та монтажна схема датчику MQ-135

Діапазон вимірювання:

- Аміак: 10–300 ppm
- Бензин: 10–1000 ppm
- Алкоголь: 10–300 ppm

Характеристики:

- Напруга живлення нагрівача: 5 В
- Напруга живлення датчика: 3,3–5 В
- Споживаний струм: 150 мА
- Розміри: 25,4 мм × 25,4 мм. [10]

2.2.3 Датчик HDC1080

HDC1080 — це цифровий датчик вологості з вбудованим датчиком температури, який забезпечує чудову точність вимірювання при дуже низькому енергоспоживанні. HDC1080 працює від різних джерел живлення і є недорогою альтернативою конкуруючим рішенням із низьким енергоспоживанням у різноманітних додатках загального призначення (рис. 2.6)



Рисунок 2.6 – Зображення датчику HDC1080

HDC1080 – це цифровий датчик вологості з вбудованим перетворювачем температури, який забезпечує чудову точність вимірювань і дуже низьке енергоспоживання. Сенсорний елемент HDC1080 розташований у верхній частині пристрою. Вимірювання можна зчитувати через I2C-сумісний інтерфейс. Роздільна здатність пов'язана з часом виконання одного вимірювання, який може становити 8, 11 або 14 біт для вологості; 11 або 14 біт для температури (рис. 2.7).

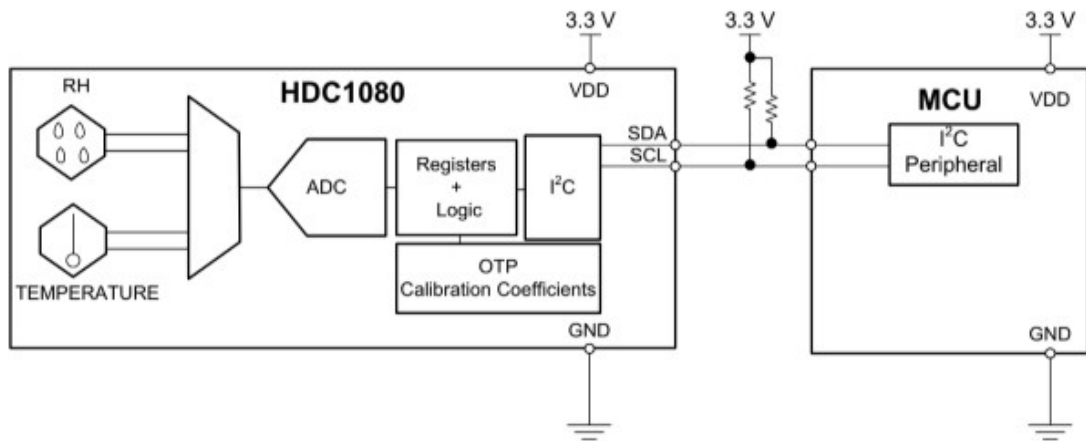


Рисунок 2.7 – Принципова схема датчика HDC1080

Енергозатрати HDC1080

Однією з ключових особливостей HDC1080 є його низьке енергоспоживання, що робить пристрій придатним для застосунків із тривалим часом автономної роботи. У цих програмах HDC1080 проводить більшу частину часу в режимі сну: типове споживання струму в режимі сну становить 100 нА з мінімальним середнім споживанням струму. Його низьке енергоспоживання в режимі вимірювання зводить до мінімуму самонагрівання.

Моніторинг струму HDC1080

HDC1080 контролює рівень напруги живлення та повідомляє, коли напруга живлення HDC1080 опускається нижче 2,8 В. Ця інформація корисна в системах з живленням від батарейок, щоб сповістити користувача про необхідність заміни батареї. Про це повідомляється в полі BTST (адреса реєстру 0x02: біти), яке оновлюється після POR і після кожного запиту вимірювання [15].

Нагрівальний елемент HDC1080

Нагрівач – це вбудований резистивний елемент, який можна використовувати для перевірки працездатності датчика або для видалення конденсату з його корпусу. Нагрівач можна активувати за допомогою біта 13

HEAT в реєстрі конфігурації. Нагрівач допомагає зменшити накопичення напруги зсуву на первинному перетворювачі після тривалої роботи в умовах високої вологості. У включеному стані обігрівач працює тільки в режимі вимірювання. Щоб прискорити підвищення температури, рекомендується збільшити швидкість вимірювання.

Функції та режими HDC1080

HDC1080 має два режими роботи: сплячий режим і режим вимірювання. Після ввімкнення живлення HDC1080 перебуває в режимі сну. У цьому режимі HDC1080 очікує на входи I2C, включаючи команди для встановлення часу перетворення, зчитування стану батареї, початку вимірювань і зчитування вимірювань. Після отримання команди на початок вимірювання HDC1080 переходить у режим вимірювання з режиму сну. Після завершення вимірювання HDC1080 повертається в сплячий режим [15].

2.2.4 Огляд плати WeMos D1 на ESP8266

Контролер Wemos D1 був розроблений корпорацією WEMOS і призначений для використання в якості екрану Arduino в структурах, підключених до мережі Wi-Fi. Повна підтримка плати в середовищі розробки Arduino IDE дозволить швидко і комфортно почати використовувати новий контролер. Він відрізняється від контролера Arduino UNO способом розміщення сигналів інтерфейсу та кількістю аналогових входів, що необхідно враховувати при розробці та використанні готових Shields (рис. 2.8).

Характеристики плати:

- Мікроконтролер: ESP-8266EX
- Напруга живлення: від 6 В до 16 В
- Робоча напруга чіпа: 3.3 В
- Тактова частота: 80 MHz / 160 MHz
- Цифрових входів / виходів: 11
- Аналогових входів: 1 (до 3.3 В)

– Ревізія: 2 (R2).

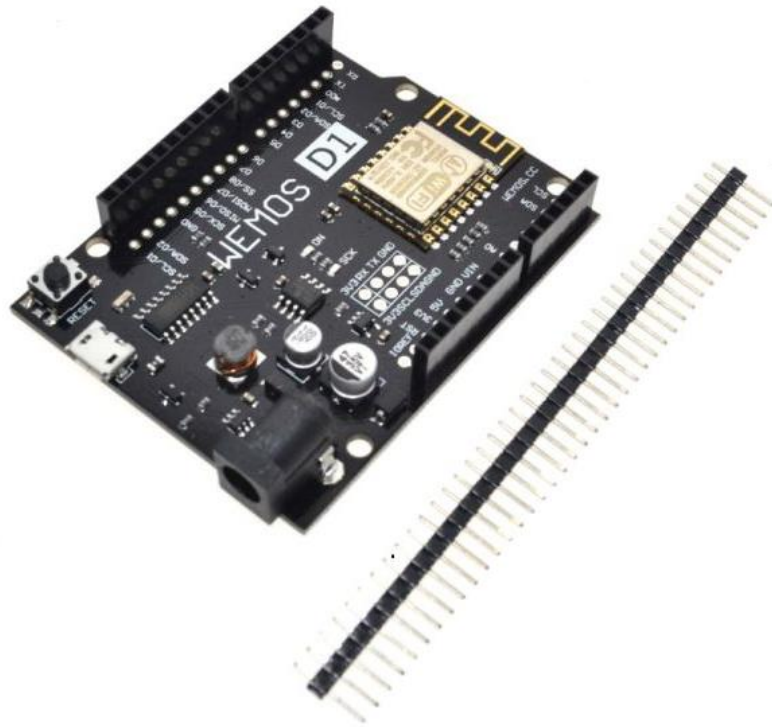


Рисунок 2.8 – WeMos D1 на ESP8266

Виводи:

Pin	Function	ESP-8266 Pin
TX	TXD	TXD
RX	RXD	RXD
A0	Analog input, max 3.3V input	A0
D0	IO	GPIO16
D1	IO, SCL	GPIO5
D2	IO, SDA	GPIO4
D3	IO, 10k Pull-up	GPIO0
D4	IO, 10k Pull-up, BUILTIN_LED	GPIO2
D5	IO, SCK	GPIO14
D6	IO, MISO	GPIO12
D7	IO, MOSI	GPIO13
D8	IO, 10k Pull-down, SS	GPIO15
G	Ground	GND
5V	5V	-
3V3	3.3V	3.3V
RST	Reset	RST

2.2.5 Огляд плати WeMos D1 mini

Міні-мікроконтроллер WeMos D1 є мінімізованою та вдосконаленою версією відомої плати ESP8266. Плата ESP8266 характеризується дуже дешевою ціною, і всі продукти на її основі також дуже доступні. Крім того, популярність цієї плати полягає в тому, що на платі немає або дуже мало незалежної FLASH пам'яті. Він отримує дані ззовні за допомогою microUSB або Wi-Fi (рис. 2.9) [7].

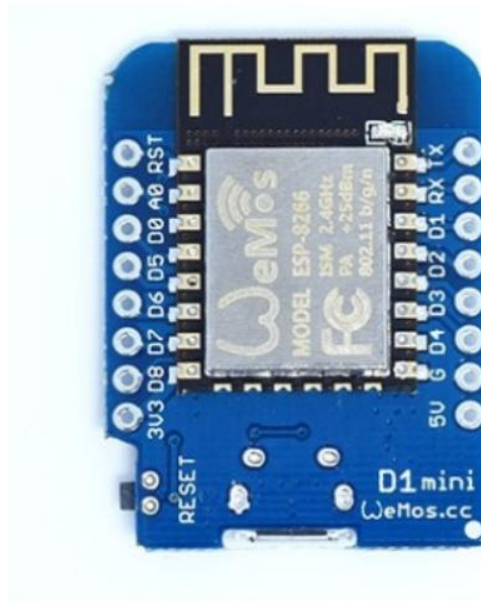


Рисунок 2.9 – WeMos D1 мінімодуль

Компанія Wemos створила варіант плати на основі ESP8266 і цей варіант – D1 mini, крім того, що він дуже маленький, ще й повністю сумісний із середовищем розробки Arduino (IDE), що відкриває найширші можливості для його програмування.

Плата постачається з дуже низькою ціною, надійними екранами, документацією, що вселяє впевненість, і документацією, яка обіцяє допомоги.

Плата ідеально програмується через Arduino та Lua, а також підтримує послідовне та OTA програмування. Це дозволяє навіть початківцям почати

користуватися ним і вивчити контролер ESP8266 за короткий проміжок часу.

З одного боку плати WeMos D1 mini зручно розташувалася інтерфейс CH340 на основі чіпа USB, а також є кнопка перезавантаження. Роз'єми на платі створені таким чином, що ви можете безпечно та зручно підключати декілька периферійних пристроїв одночасно, навіть якщо вони невеликі. А легко і правильно налаштувати ту ж периферію допоможе середовище розробки Arduino, інформації про яку зараз багато в мережі [7].

Характеристики:

- Заснований на мікроконтролері ESP-8266EX;
- Повністю сумісний з Arduino, ви можете використовувати програмне забезпечення Arduino IDE для програмування;
- 11 каналів цифрового входу та виходу, будь-який вихід каналу підтримує ШІМ, переривання, I2C, однопровідний (крім D0);
- 1-канальний аналоговий вхід, максимальна вхідна напруга може досягати 3,2 В;
- Частоти мікроконтролера: 80 МГц і 160 МГц;
- Флеш-пам'ять: 4 Мбайт;
- Можливість програмування за допомогою послідовного або ОТА (завантаження програмного коду не по дроту, а по Wi-Fi);
- роз'єм Micro-USB;
- Розміри (мм): 34.2 x 25.6;
- Вага дошки: 10 г

2.2.6 Огляд OLED дисплея 0,96 дюймів

0,96-дюймовий OLED-дисплей 128x64 – це екран преміум-класу для різноманітних плат Arduino та багатьох інших, що робить його чудовим доповненням до вашої робототехнічної установки. Як драйвер у цьому дисплеї використовується SSD1327, який дозволяє передавати дані через I2C, SPI та 8-бітний паралельний протокол. Такий компактний екран є хорошим вибором для відображення рядків у різних проектах (рис. 2.10).

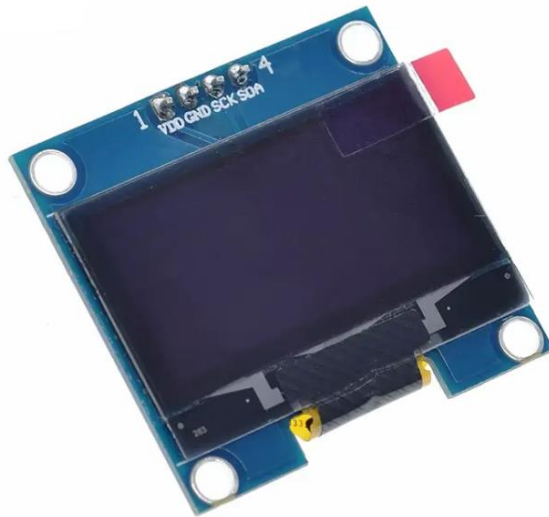


Рисунок 2.10 – Вигляд OLED дисплея

OLED-екрани складаються з одного органічного OLED-світлодіода 128 x 64. Кожен світлодіод вмикається або вимикається за допомогою мікросхеми управління, оскільки сам дисплей є джерелом світла, додаткове освітлення не потрібно. Це забезпечує високу контрастність дисплея, а також значно знижує енергоспоживання, необхідне для джерела живлення. В результаті монітор знижує енергоспоживання, але пропонує яскраве та яскраве зображення, що робить цю модель ідеальним рішенням [18].

Характеристики:

- Матриця: OLED
- Інтерфейс: SPI/I2C
- Колір дисплея: білий
- Сіра шкала: 16
- Роздільна здатність: 128 x 64
- Кут огляду: >160°
- Робоча напруга: 3,3–5 В
- Розміри: 33,5 мм x 33 мм.

Висновки до розділу 2

В другому розділі було розглянуто технологію Інтернет речей (IoT), було досліджено архітектуру технології, розглянуті усі основні елементи та моделі IoT. Також була вивчена взаємодія Інтернет речей та хмарних технологій. Наведені переваги технології та її недоліки. Після аналізу технології IoT, було зроблено висновок, що за допомогою Інтернет речей можна розробити проект для моніторингу якості повітря.

Також був переглянутий список датчиків та плати для програмування, переглянуті особливості їх функцій та характеристики. Кожні з них мають переваги та недоліки, в результаті огляду для подальшого використання вибраний датчик газу MQ-135.

РОЗДІЛ 3

ОПИС ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ

3.1 Програмування та налаштування Arduino

Робота з платформою Arduino:

1. Плату Arduino Uno можна запрограмувати за допомогою програмного забезпечення Arduino.
2. Інтегроване середовище розробки Arduino (IDE) – це кросплатформна програма, написана на Java, і походить від IDE для мови програмування Processing та проектів Wiring.
3. ATmega328 на Arduino Uno оснащений завантажувачем, який дозволяє завантажувати в нього новий код без використання зовнішнього апаратного програміста. Він спілкується за допомогою оригінального протоколу STK500.
4. Виберіть "Arduino Uno" у меню Tools відповідно до мікроконтролера на вашій платі, як показано на рисунках нижче [9].

1.1 Відчинити: **File > Examples > 01.Basics > Blink.**

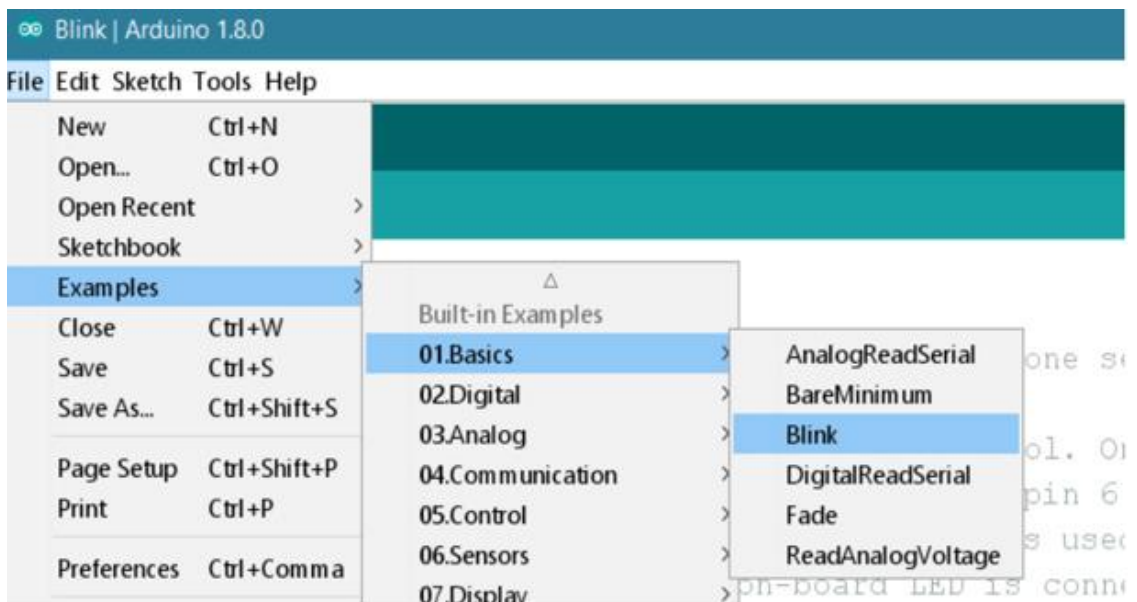


Рисунок 3.1 – Налаштування файлу

1.2 Потрібно вибрати запис у меню **Tools > Board** згідно з платою **Arduino.**

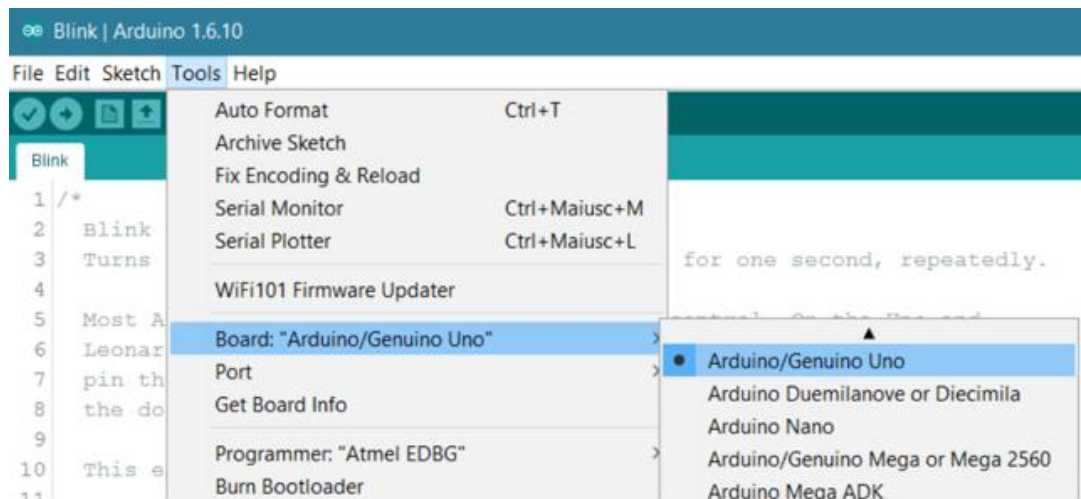


Рисунок 3.2 – Налаштування програми

1.3 Виберіть серійний пристрій плати з інструментів. Це може бути COM3 або вище (COM1 і COM2 зазвичай зарезервовані для апаратних послідовних портів). Щоб дізнатися це, ви можете вимкнути дошку та знову відкрити меню; зникаючий запис повинен бути дошкою Arduino. Повторно підключіть плату і виберіть цей послідовний порт.

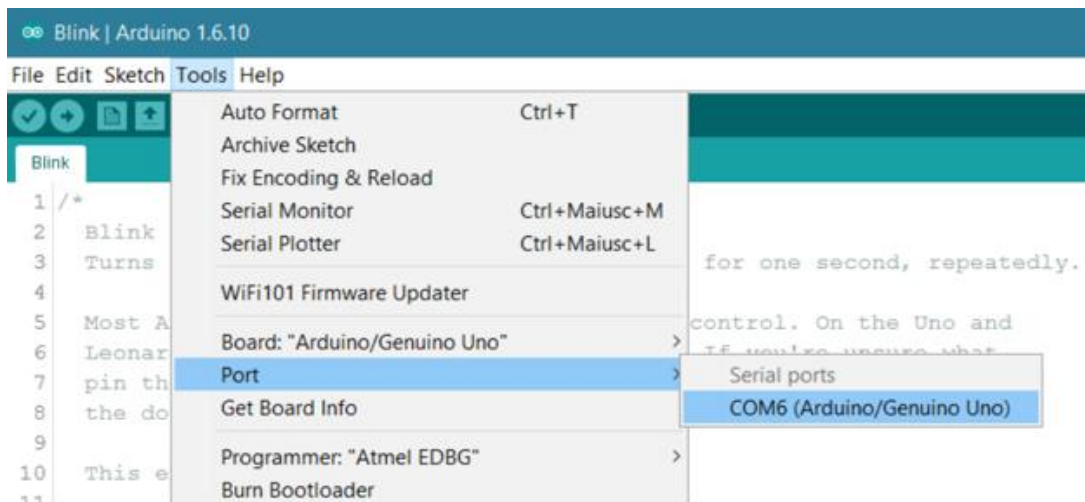


Рисунок 3.3 – Налаштування порту

1.4 Тепер просто натисніть на кнопку «Завантажити» в оточенні. Почекайте кілька секунд – ви побачите, як на панелі блимають світлодіодні RX і TX. Якщо завантаження пройшло успішно, з'явиться повідомлення "Завантаження виконано" [9].

3.2 Використання вбудованих функцій

Мікроконтролер налаштований так, що при запуску системи управління отримує програма-завантажувач. Перше, що робить завантажувач – перевіряє протягом 1-2 секунд, чи не почнеться від користувача відправка нової програми. Якщо процес перепрограмування розпочато, то скетч завантажується в пам'ять і управління віддається йому. Якщо нових програм немає, то завантажувач виконує раніше збережену програму.

Функція **main ()** – це справжня точка входу в програму, саме вона викликається першою. Як ми бачимо, в ній викликаються методи ініціалізації параметрів і середовища оточення, а потім і наші **void setup ()** і, вже в циклі - **void loop ()**;

Void setup – функція **setup()** викликається, коли стартує скетч.

Використовується для ініціалізації змінних, визначення режимів роботи виводів, запуску використовуваних бібліотек і т. д. Функція **setup** запускає тільки один раз, після кожної подачі живлення або перезапуску плати Arduino.

Serial begin - вкрай важлива інструкція Arduino, вона дозволяє встановити контролера з'єднання з зовнішніми пристроями. Найчастіше таким «зовнішнім пристроєм» виявляється комп'ютер, до якого ми підключаємо Arduino. Тому **Serial begin** інтенсивніше використовується в скетчах, виводять якусь інформацію на екран монітора порту, наприклад, для налагодження програми. За допомогою послідовного порту плата Ардуіно з'єднується з Bluetooth, GSM, GPS. Стандартне значення швидкості в аргументі функції **begin ()** – 9600. Ця цифра означає, що плата Ардуіно буде посилати по послідовному порту дані зі швидкістю 9600 біт в секунду. Крім стандартного значення можна встановлювати і інші: 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200. Чим вище цифра, тим вище швидкість обміну, але потрібно стежити, щоб цю швидкість підтримував і зовнішній пристрій.

pinMode() – функція конфігурує режим роботи зазначеного виводу: як вхід або вихід.

Параметри:

- pin: номер входу/виходу, який треба встановити;
- mode: режим одне з двох значень – INPUT або OUTPUT, встановлює на вхід або вихід відповідно.

digitalWrite() - Подає HIGH или LOW значення на цифровий вхід/вихід (pin). Якщо вхід/вихід (pin) був встановлений в режим вихід (OUTPUT) функцією pinMode(), то для значення HIGH напруга на відповідному вході/виході (pin) буде 5В (3.3В для 3.3V плат), і 0В(земля) для LOW. Якщо вхід/вихід (pin) був встановлений в режим вхід (INPUT), то функція digitalWrite з значенням HIGH буде активувати внутрішній 20К навантажувальний резистор. Подача LOW в свою чергу відключає цей резистор. Навантажувальний резистор достатньо великий щоб світлодіод, підключений до входу, світився тьмяно. Якщо раптово світлодіод працює, але дуже тьмяно, можливо необхідно встановити режим вихід (OUTPUT) функцією pinMode().

3.3 Мікроконтролери Arduino та ESP8266

Будь-який розробник мікропроцесорних керуваних систем використовує мікроконтролери Arduino (UNO, Micro, Nano, Mini, Mega), ESP8266 (WeMos D1, WeMos D1 mini NodeMCU), AirBoard, ChipKIT (UNO32, DP32, uC32, Max32) [9, 10]. Для зв'язку між контролером і мобільними пристроями можна використовувати Bluetooth HC-05, HC-06, WiFi ESP8266, Ethernet Shield W5100. Надає кілька способів створення пристроїв дистанційного керування. Безкоштовна система для розробки та використання мобільних графічних інтерфейсів для управління контролером зі смартфона або планшета.

Основним елементом управління є модуль з мікроконтролером, який приймає та обробляє команди та керує пристроями виконання через канал Wi-Fi [6].

Блок управління може бути реалізований наступними способами. Перший спосіб встановлення з'єднання між Arduino Uno та Wi-Fi shield на основі HDG04. Апаратне з'єднання цих модулів досягається шляхом накладення екрану Wi-Fi на Arduino Uno у вигляді «сендвіча».

Wi-Fi Shield побудовано на модулі HDG104, кристалічній системі, яка забезпечує підключення Arduino до Інтернету через інтерфейс бездротової локальної мережі 802.11b/g (Wi-Fi). Мікроконтролер ATmega 32UC3 підтримує стек Інтернет-протоколу (IP) і дозволяє використовувати протоколи TCP і UDP. Ця збірка має серйозний недолік, а саме: збірка Arduino Uno + Wi-Fi shield коштує дорого.

Другий спосіб спілкування з Arduino Pro Mini nf ESP-01(ESP-12E). У цьому відношенні Arduino Pro Mini діє як мікроконтролер, а ESP-01 (ESP8266) – як пристрій передачі через Інтернет. Оскільки вихідний рівень мікроконтролера становить 5 В, пристрій перетворення рівня не потрібен.

Третій спосіб полягає у використанні модуля Node MCU V3, який діє як пристрій передачі даних в Інтернеті та керує мікроконтролером.

Вузол MCU V3. Це модуль, де знаходиться чіп ESP 8266, який містить чіп Wi-Fi і мікроконтролер. Таким чином, можна створювати мікропроцесорні системи IoT, з'єднані між собою через з'єднання Wi-Fi. Модуль характеризується частотою мікроконтролера 160 МГц, великою кількістю портів введення/виведення, низьким енергоспоживанням і невеликими розмірами. Цей модуль можна використовувати для написання програм з використанням мов програмування Processing і JavaScript [6].

Модуль Wi-Fi розроблений компанією Aisin на базі ядра процесора ESP8266, і його примітною особливістю є те, що він має радіоінтерфейс Wi-Fi. Ядро ESP8266 інтегровано в Tensilica L106, 32-розрядний мікроконтролер із наднизьким енергоспоживанням. Підтримка тактової частоти 80 МГц і 160 МГц, підтримка RTOS, вбудований Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA. Флеш-пам'ять, інтегрована в модуль, є флеш-пам'яттю SPI ємністю 4 Мбайт і оболонкою SOP-210mil. Модуль використовує вбудовану мікросмушкову антену з посиленням 3 дБ. Однокристална система Wi-Fi ESP8266EX має вбудований контролер пам'яті, включаючи SRAM і ROM. MCU може отримати доступ до пам'яті через інтерфейси iBus, dBus і AHB. Розмір

оперативної пам'яті < 36 Кбайт, тобто ESP8266EX працює в режимі клієнтської станції, при підключенні до маршрутизатора програмований простір, доступний користувачеві разом з частиною даних, становить близько 36 кбайт. У мікроконтролерних системах немає програмованої пам'яті ROM; програми користувача повинні зберігатися у зовнішній флеш-пам'яті SPI.

Модуль містить 11 портів загального призначення. Деякі порти мають додаткові функції: D9, D10 - UART, D1, D2 - I²C/TWI, D5..D8 – SPI, D1..D10 - вихід з ШІМ (PWM), A0 – Аналоговий вихід з АЦП.

3.4 Огляд середовища для роботи з Arduino Fretzing

Найпопулярнішими робочими середовищами для Arduino є Arduino IDE (базове середовище на основі мови обробки), FLProg (графічне середовище, орієнтоване на мови FBD і LAD), Fritzing (програма для розробки прототипів), Minibloq (графічне середовище, орієнтоване на навчання. програмування) і Tinkercad (онлайн-ресурс для моделювання робочих процесів створення прототипів).

Програмний пакет Fritzing можна використовувати на етапі розробки, наприклад, для складання прототипів схем на макетній платі та автоматичного створення схем і друкованих плат. Цільова аудиторія програми – творчі люди, дослідники, дизайнери, радіоаматори, які працюють з інтерактивними електронними пристроями.

Fritzing був створений для Arduino. Він був розроблений в Потсдамському університеті прикладних наук у 2009 році за кошти державної субсидії, виділеної на дослідження в науковому проекті під назвою «Від прототипу до продукту». Інтерфейс програми не складний, але вимагає деякого вивчення на початковому етапі. Під час запуску програми відкривається вікно привітання. Це блог, щоденна підказка, яку ви можете ввімкнути та ознайомитися з останніми ескізами та пропонованими послугами для створення професійних друкованих плат. Основним вікном середовища є

робочий стіл з можливістю оформлення дошки. Початок нового проекту у Fritzing починається з вибору готового компонента, повний список компонентів розташований у верхньому куті робочого вікна праворуч. Є цілий набір радіодеталей: конденсатори, транзистори, резистори, світлодіоди, батарейки, кнопки та ін. При наведенні курсора на пристрій з'являється спливаюча підказка з функціями, а під вікном зі списком компонентів – інспектор, який показує зовнішній вигляд, назву та властивості на схемі.

Програмне забезпечення Fritzing підтримує кілька платформ Arduino: Uno, Galileo, Yun, BT, Mega 2560 (rev 3), Due, Nano (rev 3) тощо. При виборі потрібної дошки вікно Інспектора надає опис основних функцій платформи.

Крім того, існує велика кількість обладнання, яке використовується в роботах: двигуни, далекоміри, динаміки, зумери, сервоприводи, крокові двигуни, рідкокристалічні та цифрові індикатори тощо. Ви також можете створювати власні елементи та оновлювати існуючі бази даних. Схеми доступні для малювання (як у вікні панелі макета, так і у вікні схеми), просто перетягнувши потрібні компоненти в робочу область. Є функція автоматичного відстеження. Пакет Fritzing містить власне середовище розробки коду, яке дозволяє писати та редагувати ескізи та надсилати їх на мікроконтролер відповідної платформи, попередньо визначивши, до якого послідовного порту він підключений до ПК.

Fritzing також дозволяє успішно реалізовувати довгострокові проекти, які здійснюють старшокласники в навчальних закладах. Крім того, програмне забезпечення дає можливість побачити, які компоненти більше підходять для використання під час виконання проекту. Це дозволяє здійснювати необхідні покупки з мінімальними фінансовими витратами, що дуже актуально в наш час.

На офіційному сайті розробників програми Fritzing у вкладці «Навчання» є багато посилань на ресурси та матеріали, за якими можна ознайомитися з особливостями середовища.

Висновки до розділу 3

При розробці програмної частини було розглянуто програмування та налаштування плати Arduino Uno. Були розглянуті основні вбудовані функції та їх список використань.

Для зв'язку між контролером і мобільними пристроями був розглянутий модуль WiFi ESP8266. Він надає кілька способів створення пристроїв дистанційного керування. Безкоштовна система для розробки та використання мобільних графічних інтерфейсів для управління контролером зі смартфона або планшета.

Перегляньте середовище для роботи з Arduino Fretzing. Програмний пакет Fritzing можна використовувати на етапі розробки, наприклад, для складання прототипів схем на макетній платі та автоматичного створення схем і друкованих плат. Цільова аудиторія програми – творчі люди, дослідники, дизайнери, радіоаматори, які працюють з інтерактивними електронними пристроями.

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТ МОНІТОРИНГУ ІНДЕКСУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

4.1 Огляд та налаштування хмарної платформи ThingSpeak

ThingSpeak – це хмарна платформа Інтернету речей (IoT), яка дозволяє збирати, відображати та аналізувати потокові дані. Також можна використовувати різноманітні пристрої для надсилання даних до ThingSpeak, тобто вони представлені в просторі-часі та споживаються Twitter і Twilio.

MATLAB Analytics у ThingSpeak дозволяє писати та запускати код MATLAB для виконання попередньої обробки даних, тонкого налаштування та аналізу. ThingSpeak дозволяє інженерам і вченим створювати прототипи та створювати системи IoT без налаштування серверів і розробки вебзастосунків.

Ключові особливості:

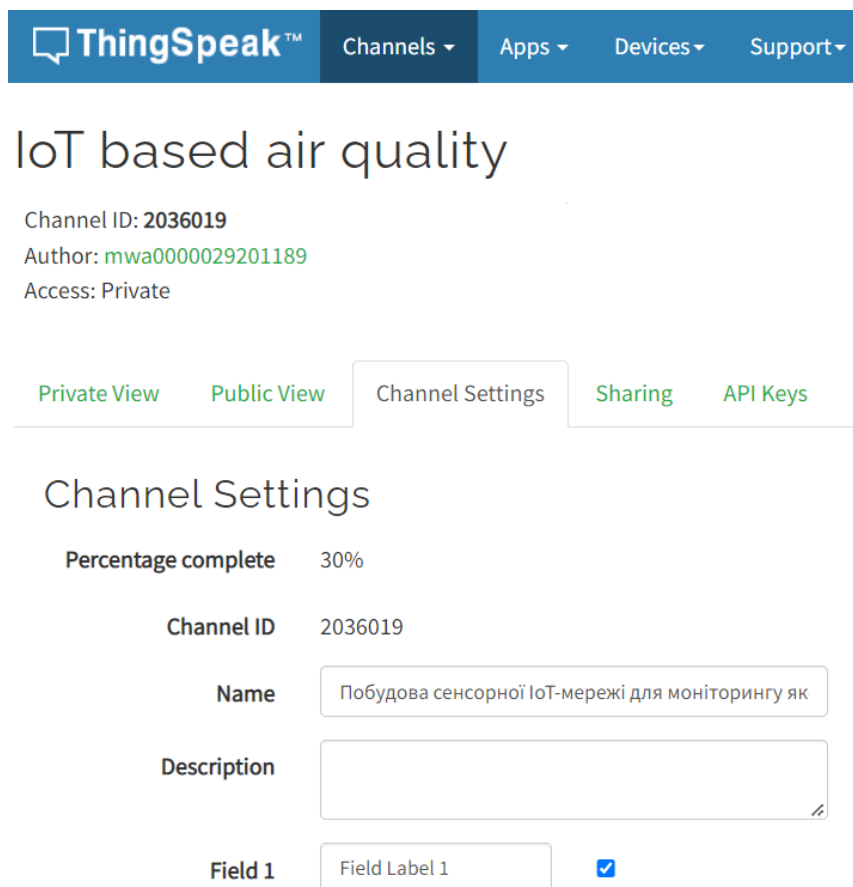
- Налаштування пристрою та відправка даних у ThingSpeak через REST API або MQTT;
- Збір даних за запитом із пристроїв та інших джерел;
- Відображення поточних і історичних даних у реальному часі;
- Попередня обробка та аналіз зібраних даних за допомогою вбудованих функцій MATLAB;
- Аналіз аналітики автоматично на основі початку таймера або події;
- Взаємодія з сервісом обміну повідомленнями Twilio та соціальною мережею Twitter.

Датчики або «речі» зазвичай працюють локально. ThingSpeak дозволяє їм, а також іншим пристроям і навіть веб-сайтам, зберігати дані в хмарі – у закритих або публічних каналах. За замовчуванням канали ThingSpeak закриті для інших користувачів, але за бажанням ви можете зробити їх доступними для всіх. Коли дані потраплять у канал ThingSpeak, їх можна візуалізувати, аналізувати та трансформувати. Крім того, ви можете взаємодіяти з соціальними мережами, веб-сервісами та різними пристроями через ThingSpeak.

Налаштування платформи

ThingSpeak – це IoT-застосунок із відкритим кодом і API для зберігання та отримання даних із речей за допомогою HTTP та MQTT через Інтернет або локальну мережу. Thingspeak дозволяє збирати, зберігати, аналізувати, візуалізувати та обробляти дані з датчиків.

Щоб налаштувати сервер Thingspeak, відвідайте однойменний сайт. Створіть обліковий запис або увійдіть безпосередньо, якщо ви створили його раніше. Потім створіть новий канал (рис. 4.1).



ThingSpeak™ Channels ▾ Apps ▾ Devices ▾ Support ▾

IoT based air quality

Channel ID: 2036019
Author: mwa0000029201189
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys I

Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 2036019

Name

Description

Field 1

Рисунок 4.1 – Зображення створення нового каналу

4.1 Огляд проекту та перелік матеріалів для використання

У цьому проекті створено систему моніторингу індексу якості повітря на основі Інтернету речей, буде використовуватись Інтернет для моніторингу індексу якості повітря через сервер Thingspeak. Буде використовуваний датчик якості повітря MQ135, який може визначати рівні різних забруднювачів повітря.

AQI – це індекс, який повідомляє нам, наскільки чистим чи забрудненим є повітря, а також про пов'язані з цим наслідки для здоров'я, які можуть вас турбувати.

Через багато факторів, таких як зростання населення, збільшення використання транспортних засобів, індустріалізація та урбанізація, рівень забруднення з часом зростає, спричиняючи шкідливий вплив на людей і

безпосередньо впливаючи на здоров'я населення, яке піддається впливу. Тому ми повинні контролювати індекс якості повітря.

4.2 Перелік використаних матеріалів:

1. NodeMCU ESP8266
2. MQ-135 Датчик якості повітря
3. 0,96" I2C OLED-дисплей
4. З'єднувальні дроти
5. Макетна дошка

4.3 Принципової схеми проекту та випробування

Було розроблене апаратне забезпечення та написаний програмний код, який буде наведено у Додатку А для проекту IoT моніторингу якості повітря. Поєднано датчик якості повітря MQ-135 з платою NodeMCU ESP8266 і 0,96-дюймовим дисплеєм I2C OLED. Принципова схема наведена на рис. 4.2.

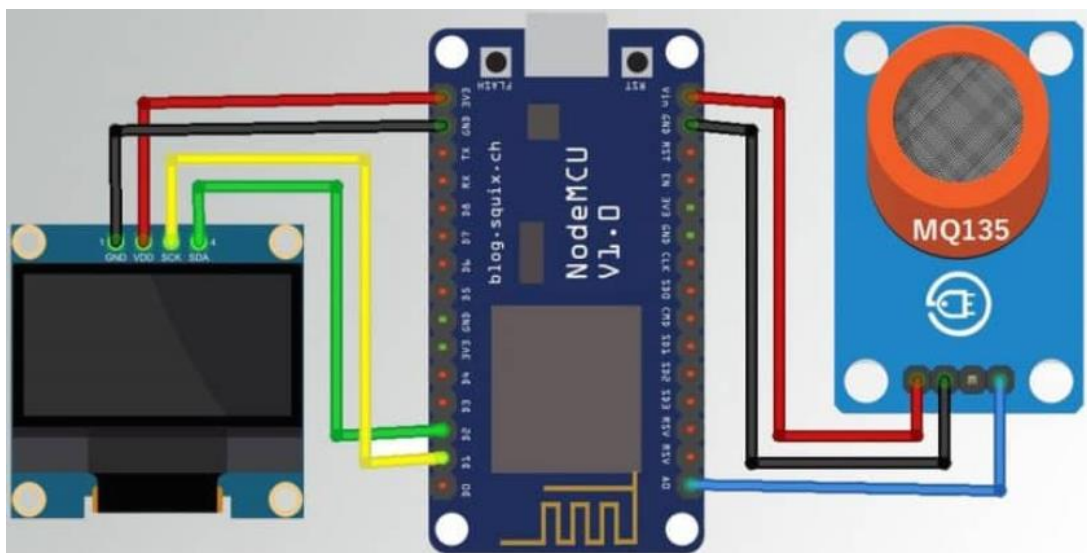


Рисунок 4.2 – Принципова схема проекту

Ця схема може бути зібрана на макетній платі. Спочатку треба підключити аналоговий вхід MQ135 до A0 NodeMCU. Потім підключіть його VCC і GND до NodeMCU Vin і GND відповідно. Так само 0,96-дюймовий

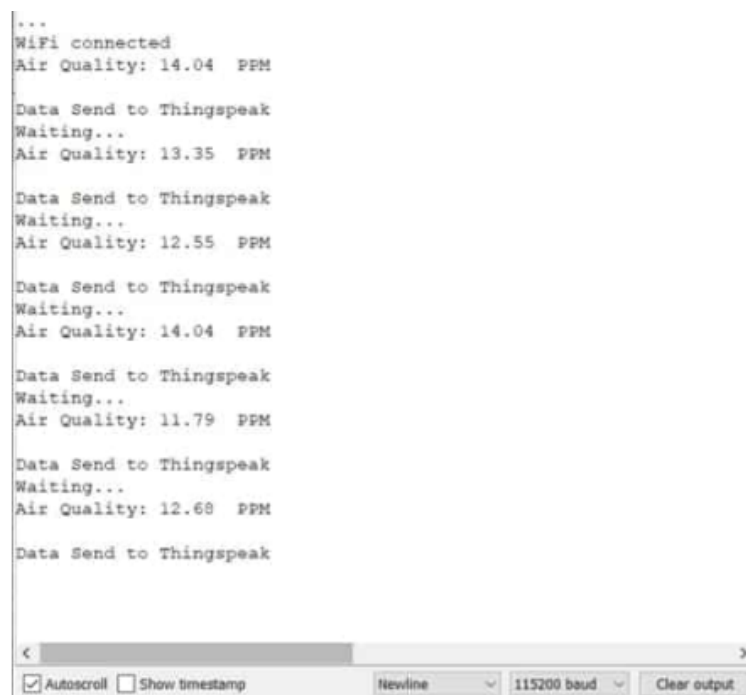
OLED-дисплей є модулем I2C. Тож підключаючи його контакти SDA та SCL до контактів Nodemcu D2 та D1. Та підключити VCC до 3,3 В GND до GND.

Випробування

Після завантаження коду можна відкрити серійний монітор. Nodemcu спочатку почне підключатися до мережі Wi-Fi. За всіма подіями можна спостерігати на Serial Monitor.

Після підключення до мережі Wi-Fi датчик зчитує значення, яке відобразитиметься на екрані OLED.

Так само можна переглянути онлайн-дані Air Quality Index на сервері Thingspeak. Протрібно перейти до приватного перегляду Thingspeak і перевірити дані, які завантажуються кожні 15 секунд. Діапазон завантажування даних можна налаштовувати індивідуально. Зображення результатів наведено на рис. 4.3 та 4.4.



```
...  
WiFi connected  
Air Quality: 14.04 PPM  
  
Data Send to Thingspeak  
Waiting...  
Air Quality: 13.35 PPM  
  
Data Send to Thingspeak  
Waiting...  
Air Quality: 12.55 PPM  
  
Data Send to Thingspeak  
Waiting...  
Air Quality: 14.04 PPM  
  
Data Send to Thingspeak  
Waiting...  
Air Quality: 11.79 PPM  
  
Data Send to Thingspeak  
Waiting...  
Air Quality: 12.60 PPM  
  
Data Send to Thingspeak
```

Рисунок 4.3 – Зображення результатів аналізу якості повітря

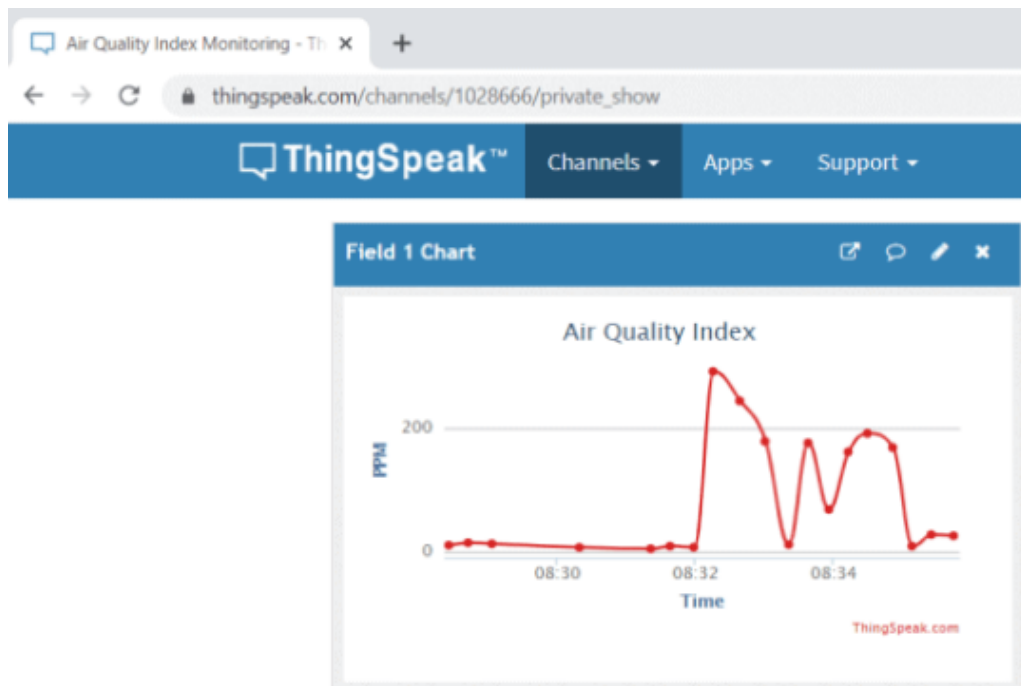


Рисунок 4.4 – Зображення результату аналізу якості повітря на платформі ThingSpeak

Вихідний код для створення моніторингу індексу якості повітря на основі Інтернету речей за допомогою ESP8266 і MQ135 наведено у додатку А. Для компіляції коду також потрібно встановити бібліотеку MQ-135.

Висновки до розділу 4

При розробці проекту моніторингу якості та індексації повітря за допомогою IoT, використовувалась хмарна безкоштовна платформа ThingSpeak, яка дозволяє збирати, відображати та аналізувати потокові дані. Після розглянуте налаштування цієї хмарної платформи.

Було наведено список використаних компонентів та датчик якості повітря MQ135, який може визначати рівні різних забруднювачів повітря.

Було розроблено апаратне забезпечення та написаний програмний код, який буде наведено у Додатку А для проекту IoT моніторингу якості повітря. Поєднано датчик якості повітря MQ-135 з платою NodeMCU ESP8266 і 0,96-

дюймовим дисплеєм I2C OLED. Та проведено ряд випробувань, які свідчать про те, що проект відповідає заданій задачі.

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи моніторингу та індексації якості повітря на базі Інтернет речей були розглянуті принципи вимірювання забруднень та їх аналіз за стандартами в Україні та країнах ЄС, та наведено порівняння між індексацією повітря у країнах ЄС та Україні.

Були розглянуті існуючі системи моніторингу якості повітря в Україні та був здійснений аналіз їх функціонування по усій Україні.

Були проаналізовані забрудники та методи їх визначення такі як; оксид вуглецю, формальдегід, діоксид сірки, тверді частки PM10 та дрібні тверді частки PM2.5, діоксид азоту, озон. Та наведена інформація, щодо впливу цих забрудників на вплив здоров'я людини.

У другому розділі розробки апаратної частини моніторингу якості повітря було детально розглянуто що таке IoT технології, сфери використання, архітектури та взаємодія з хмарними технологіями, після оглянуто переваги та недоліки Інтернет речей. У другому розділі також були переглянуті різні існуючі датчики та плати, які дозволяють виконувати індексація якості атмосферного повітря.

При розробці програмної частини було розглянуто програмування та налаштування плати Arduino Uno. Були розглянуті основні вбудовані функції та їх список використань.

Для зв'язку між контролером і мобільними пристроями був розглянутий модуль WiFi ESP8266. Він надає кілька способів створення пристроїв дистанційного керування. Безкоштовна система для розробки та використання мобільних графічних інтерфейсів для управління контролером зі смартфона або планшета.

Переглянуто середовище для роботи з Arduino Fritzing. Програмний пакет Fritzing можна використовувати на етапі розробки, наприклад, для

складання прототипів схем на макетній платі та автоматичного створення схем і друкованих плат.

При розробці проекту моніторингу якості та індексації повітря за допомогою IoT, використовувалась хмарна безкоштовна платформа ThingSpeak, яка дозволяє збирати, відображати та аналізувати потокові дані. Після розглянуте налаштування цієї хмарної платформи.

Було наведено список використаних компонентів та датчик якості повітря MQ135, який може визначати рівні різних забруднювачів повітря.

Було розроблено апаратне забезпечення та написаний програмний код, який буде наведено у Додатку А для проекту IoT моніторингу якості повітря. Поєднано датчик якості повітря MQ-135 з платою NodeMCU ESP8266 і 0,96-дюймовим дисплеєм I2C OLED. Та проведено ряд випробувань що кажуть нам, що проект відповідає заданій задачі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Барометр ВМЕ-280 3V. *МікроАмпер*.
URL: <https://uamper.com/Барометр-ВМЕ-280-ВМР280-5V?search=ВМЕ-280> (дата звернення: 10.02.2023).
2. Вимірювання атмосферного озону. *Pidru4niki*.
URL: https://pidru4niki.com/80354/ekologiya/vimiryuvannya_atmosfernogo_ozonu (дата звернення: 11.02.2023).
3. Вимірювання діоксиду сірки SO₂. *Pidru4niki*.
URL: https://pidru4niki.com/80348/ekologiya/vimiryuvannya_dioksidu_sirki (дата звернення: 11.02.2023).
4. Вимірювання якості повітря. *Pidru4niki*.
URL: https://pidru4niki.com/80346/ekologiya/vimiryuvannya_yakosti_povitrya (дата звернення: 17.02.2023).
5. Державна установа "Харківський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України" » » Формальдегід: звідки надходить та як впливає на організм людини. *Державна установа "Харківський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України"*. URL: <https://labcenter.kh.ua/> (дата звернення: 25.01.2023).
6. Знайомство з модулем ESP8266. *HobbyTech*.
URL: <https://hobbytech.com.ua/> (дата звернення: 22.01.2023).
7. Контролер wemos D1 на ESP8266 rev.2 купити в києві та Україні. *Arduino в Україні*. URL: <https://arduino.ua/prod1921-kontroller-wemos-d1-na-esp8266> (дата звернення: 17.02.2023).
8. Коротко про PM10 і PM2.5 – ternopil smart citizen. *Ternopil Smart Citizen – Citizen science in Ternopil urban monitoring*.
URL: <http://ecocentr.com.ua/2018/07/23/коротко-про-pm10-i-pm2-5/> (дата звернення: 10.02.2023).
9. Налаштування Arduino IDE для програмування WiFi модуля ESP8266. *Любительська автоматика*.

URL: https://geekmatic.in.ua/ua/arduino_ide_with_wifi_esp8266 (дата звернення: 29.01.2023).

10. Сенсор якості повітря MQ-135. *МікроАмпер.*

URL: <https://uamper.com/Модуль-датчика-качества-воздуха-MQ-135-NH3-NOx-пары-алкоголя-бензина-дыма-CO2?search=MQ-135> (дата звернення: 08.02.2023).

11. Станція моніторингу якості повітря SaveEcoSensor 3.0 - SaveDnipro. *SaveDnipro.* URL: <https://www.savednipro.org/product/stanciya-monitoringu-yakosti-povitrya/> (дата звернення: 04.02.2023).

12. Українська правда *Життя.* Яким повітрям ми дихаємо в Україні, та як на нього вплинув карантин. *Українська правда Життя.* URL: <https://life.pravda.com.ua/columns/2021/02/17/243953/> (дата звернення: 04.02.2023).

13. Що таке інтернет речей і як він працює?. *Серверы БУ выгодно, восстановленные HP, DELL с гарантией - бесплатная доставка по всей Украине.* URL: <https://server-shop.ua/ua/the-internet-of-things-and-the-scope-of-its-use.html> (дата звернення: 02.02.2023).

14. AirFresh - пристрій моніторингу якості повітря на вулиці з термокомпенсацією. *BeeGreen.* URL: <https://beegreen.com.ua/> (дата звернення: 28.01.2023).

15. HDC1080 - цифровой датчик влажности I2C - купить датчики в украине, харьков. *Iwire.com.ua.* URL: <https://1wire.com.ua/ru/hdc1080-cifrovoj-datchik-vlazhnosti-i2c.html> (дата звернення: 14.02.2023).

16. OLED дисплей 0.96 i2c 128x64 Waveshare - купить с доставкой по Киеву и Украине, цены, отзывы, фото | RoboStore. *Все для робототехники и электроники в интернет-магазине RoboStore.* URL: <https://www.robostore.com.ua/moduli-i-datchiki/monohromnye-displei/oled-displej-waveshare-096-dyujmov-128h64/> (дата звернення: 06.02.2023).

17. WeMos D1 mini Модуль. *МікроАмпер*.

URL: <https://uamper.com/WeMos-D1-mini-модуль-быстрой-отладки-esp8266> (дата звернення: 03.02.2023).

доступу до ресурсу :<https://drive.google.com/file/d/1QTJ4xEIbf7WYDAv4kLJqyqLazldV6n79/> (дата звернення: 02.02.2023)

18. В. В. Шликов Мікропроцесорна техніка: Практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 163 «Біомедична інженерія» та 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»/ В. В. Шликов; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 144 с. (Електронний ресурс)

Режим доступу до ресурсу
:https://drive.google.com/file/d/117AvmKwxZe37hTTOj_NaN6ej02O-FyUX/view?usp=sharing (дата звернення: 01.02.2023)

19. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони: ГОСТ 12.1.005- 88.

Режим доступу до ресурсу
:<https://drive.google.com/file/d/1t9J2jokxwSFFxlWBvkzwZiLvfeUZ74-Z/view?usp=sharing> (дата звернення: 09.02.2023)

20. Яковенко В.В. Система збору, збереження та відображення інформації про навколишнє середовище/ Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»/кер. доц. к.ф.м. наук_Заворотний В.Ф. Виконавець: Яковенко В.В: Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 65с. (дата звернення: 10.02.2023)

21. Welcome to fritzing. *Welcome to Fritzing*.

URL: <https://fritzing.org/> (date of access: 05.02.2023).

22. Data sheet CCS811 Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality (Електронний ресурс)

Режим

23. Internet of things, *iot.IT-Enterprise – your one-stop ecosystem for reengineering / it.ua*. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/internet-veschej-internet-of-things-iot> (date of access: 14.02.2023).
24. IoT analytics - thingspeak internet of things. *IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*. URL: <https://thingspeak.com/> (date of access: 15.02.2023).
25. S. Srilatha, R. Uma, A. R. Pallavi, and S. Koppu, “Quantitative performance analysis of face recognition system,” in *Proceedings - International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICEI 2017*, Feb. 2018, vol. 2018-January, pp. 1143–1146, doi: 10.1109/ICOEI.2017.8300892.
26. G. S. Hsu and C. H. Tang, “health monitoring in Ukraine,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 147765–147775, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3014877.
27. V. B. T. Shoba and I. S. Sam, “A Hybrid Features Extraction on Face for Efficient Face Recognition,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 79, no. 31–32, pp. 22595–22616, Aug. 2020, doi: 10.1007/s11042-020-08997-1.
28. J. Liu, Y. Deng, T. Bai, Z. Wei, and C. Huang, “Targeting Ultimate Accuracy: Face Recognition via Deep Embedding,” Jun. 2015, Accessed: Nov. 22, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1506.07310>.
29. S. V. Tathe, A. S. Narote, and S. P. Narote, “tracking IOT,” *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst.*, vol. 2, no. 3, pp. 1238–1244, 2017, doi: 10.25046/aj0203156.
30. M. W. Eysenck, M. T. Keane, M. W. Eysenck, and M. T. Keane, “Object and recognition,” in *Cognitive Psychology*, Psychology Press, 2020, pp. 94–139.
31. Серода М. О., Пузирьов С. В. Побудова сенсорної IoT-мережі для моніторингу якості повітря. Інформаційні технології та інженерія: тези доп. Всеукр. наук.- конф. Миколаїв, 07-10 лютого 2023р.: Чорном. Нац. ун-т ім. Петра Могили, 2023. С. 88-90.

ДОДАТОК А

Код програми

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include "MQ135.h"
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

String apiKey = "2036019"; // API key from ThingSpeak
const char *ssid = "TP-LINK_NIK"; // wifi ssid and wpa2 key
const char *pass = "*****";
const char* server = "api.thingspeak.com";

WiFiClient client;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); //initialize with the I2C addr 0x3C (128x64)
  display.clearDisplay();
  delay(10);

  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0,0);
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.println("Connecting to ");
  display.setTextSize(2);
  display.print(ssid);
  display.display();

  WiFi.begin(ssid, pass);
```

```
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
  delay(500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");

display.clearDisplay();
display.setCursor(0,0);
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.print("WiFi connected");
display.display();
delay(4000);
}

void loop()
{
  MQ135 gasSensor = MQ135(A0);
  float air_quality = gasSensor.getPPM();
  Serial.print("Air Quality: ");
  Serial.print(air_quality);
  Serial.println(" PPM");
  Serial.println();

  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0,0); //oled display
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.println("Air Quality Index");

  display.setCursor(0,20); //oled display
  display.setTextSize(2);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.print(air_quality);
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.println(" PPM");
  display.display();

  if (client.connect(server, 80) // "184.106.153.149" or api.thingspeak.com
  {
```



```
String postStr = apiKey;
postStr += "&field1=";
postStr += String(air_quality);
postStr += "\r\n";

client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
client.print("Connection: close\n");
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(postStr.length());
client.print("\n\n");
client.print(postStr);

Serial.println("Data Send to Thingspeak");
}
client.stop();
Serial.println("Waiting...");

delay(2000); // thingspeak needs minimum 15 sec delay between updates.
}
```