

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»
Завідувачка кафедри

_____ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ
13 грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

за спеціальністю 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електронні інформаційні системи»

на тему: **КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ
СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ІЗ ДИСТАНЦІЙНИМ
ЗБОРОМ ДАНИХ**

Здобувача групи ЕП.м-32

Скрипченка Владислава Олександровича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Владислав СКРИПЧЕНКО

Керівник ст. викладач кафебри ЕЗПФ,
канд. фіз.-мат. наук

_____ Андрій ЛОГВИНОВ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики
Спеціальність 171 – Електроніка, освітньо-професійна програма
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри

_____ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ

«04» листопада 2024 р.

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Скрипченка Владислава Олександровича

1. Тема роботи «Комплексна система віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища із дистанційним збором даних» затверджена наказом СумДУ від «01» листопада 2024 р., № 1130-VI

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 11 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета):

Актуальність роботи: тема даної роботи є актуальною та важливою, оскільки сприяє розвитку інноваційних технологій управління ресурсами та запобіганню екологічним катастрофам.

Мета: розробка та впровадження комплексної системи, що дозволить здійснювати ефективний контроль за екологічними показниками.

4. Зміст текстової частини роботи (перелік питань, які необхідно розробити):

1) Дослідити сучасні системи віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища.

2) Описати методику і техніку проведення експерименту.

3) Розробити функціональну, структурну та електричну принципову схеми розроблюваного приладу.

4) Провести симуляцію роботи приладу у обраному середовищі.

5. Перелік графічного матеріалу для презентації:

Слайди № 1-2 – Загальна інформація

Слайди № 2-6 – Теоретичний огляд систем віддаленого моніторингу навколишнього середовища

Слайд № 7-9 – Методика і техніка проведення експерименту

Слайд № 10-14 – Проектування системи та проведення експериментальних досліджень

Слайд № 15 – Висновки

Слайд № 16 – Список використаних джерел

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № пор. | Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка про стан виконання роботи |
|--------|---|---|------------------------------------|
| 1 | Теоретичний огляд систем віддаленого моніторингу навколишнього середовища | 04.11.2024 р. | Виконано |
| 2 | Проведення експерименту, моделювання, розрахунків, обробка результатів | 11.11.2024 р. | Виконано |
| 3 | Розробка схем приладу | 18.11.2024 р. | Виконано |
| 4 | Симуляція роботи системи | 25.11.2024 р. | Виконано |
| 5 | Підготовка тексту магістерської роботи | 01.12.2024 р. | Виконано |
| 6 | Підготовка презентації до захисту кваліфікаційної роботи | 07.12.2024 р. | Виконано |
| 7 | Попередній захист роботи | 12.12.2024 р., 10 ⁰⁵ (онлайн) | Виконано |
| 8 | Захист кваліфікаційної роботи | 17.12.2024 р., 11 ⁴⁰ | |

Здобувач

Владислав СКРИПЧЕНКО

Керівник

Андрій ЛОГВИНОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 43 сторінках, зокрема, містить 23 рисунки, 1 таблицю, список використаних джерел складається з 20 найменувань.

Актуальність теми роботи пов'язана із сучасними екологічними викликами, такими як зміна клімату, забруднення води, повітря та ґрунту, вимагають нових підходів для забезпечення сталого розвитку та екологічної безпеки. В Україні та світі зростає потреба в інтегрованих рішеннях для моніторингу довкілля, які дозволяють своєчасно збирати та аналізувати дані про стан довкілля. Тема даної роботи є актуальною та важливою, оскільки сприяє розвитку інноваційних технологій управління ресурсами та запобіганню екологічним катастрофам.

Мета роботи полягала в розробці та впровадженні комплексної системи, що дозволить здійснювати ефективний контроль за екологічними показниками повітря, вологості, температури та рівень шкідливих газів для здоров'я.

Методи: огляд літератури з даного питання та проектування.

У результаті проведених наукових досліджень встановлено, що розроблена система моніторингу забезпечує точне вимірювання концентрації забруднюючих речовин, температури та вологості в режимі реального часу.

Отримані результати:

1. Установлено, що використання інтегрованої системи моніторингу з поєднанням сучасних датчиків і мікроконтролерів дозволяє створити платформу для постійного контролю екологічних показників. Такий підхід сприяє підвищенню якості зібраних даних і забезпечує можливість віддаленого доступу до них через інтернет-технології.

2. Одержано експериментальні результати, які підтвердили функціональність і точність роботи системи в режимі реального часу. Дані про концентрацію забруднюючих речовин (оксид вуглецю, аміак, метан) та параметри навколишнього середовища (температура, вологість) були успішно виміряні та проаналізовані. Це забезпечує надійний базис для моніторингу екологічної ситуації.

3. Показано, що розроблена система, завдяки використанню платформи Tinkercad, дозволяє проводити повноцінне тестування всіх її компонентів, включаючи датчики, мікроконтролери та модулі зв'язку. Такий підхід значно скорочує час і витрати на розробку, мінімізуючи ризики технічних помилок перед фізичною реалізацією.

4. Установлено, що впровадження модуля бездротового зв'язку ESP8266 забезпечує високий рівень автономності та гнучкості системи, зокрема можливість доступу до даних через інтернет у режимі реального часу. Це є ключовим фактором для інтеграції системи в сучасні екологічні проекти та її адаптації до різних сфер використання.

5. Розроблено структурну, функціональну та електричну схеми системи, що дозволяють адаптувати її до різних умов і потреб. Практичне застосування розробленої системи сприятиме оперативному виявленню екологічних загроз, оптимізації управління природними ресурсами та підвищенню рівня екологічної безпеки в місцевих і глобальних масштабах.

Ключові слова: моніторинг, датчики, симуляція, проектування, система, Tinkercad.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА | 9 |
| 1.1 Загальна інформація про системи віддаленого моніторингу навколишнього середовища | 9 |
| 1.2 Становлення і розвиток моніторингу навколишнього середовища | 11 |
| 1.3 Типи систем моніторингу навколишнього середовища | 13 |
| 1.4 Принципи створення систем моніторингу в режимі реального часу | 14 |
| 1.5 Огляд і аналіз існуючих методів та засобів в галузі віддаленого контролю стану навколишнього середовища | 16 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ | 20 |
| 2.1 Опис експерименту | 20 |
| 2.1.1 Завдання експерименту | 20 |
| 2.1.2 Методологія проведення експерименту | 21 |
| 2.2 Методи збору даних | 22 |
| 2.2.1 Типи датчиків та компонентів системи | 22 |
| 2.2.2 Технології зв'язку для системи моніторингу стану навколишнього середовища | 25 |
| 2.2.3 Середовище симуляції роботи системи | 27 |
| РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ | 29 |
| 3.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи | 29 |
| 3.2 Розробка алгоритму роботи системи | 29 |
| 3.3 Розробка електричної принципової схеми | 30 |
| 3.4 Створення системи віддаленого моніторингу в Tinkercad | 31 |
| 3.5 Тестування розробленої системи | 36 |
| ВИСНОВКИ | 41 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 42 |

| | |
|-----------------|----|
| ДОДАТОК А | 44 |
| ДОДАТОК Б..... | 46 |
| ДОДАТОК В..... | 47 |
| ДОДАТОК Г..... | 48 |

ВСТУП

Сучасні екологічні виклики, зокрема зміни клімату, забруднення повітря, води та ґрунтів, вимагають від суспільства нових рішень для забезпечення сталого розвитку та екологічної безпеки. В Україні, як і в усьому світі, спостерігається зростання потреби у комплексних рішеннях для моніторингу стану навколишнього середовища, які б забезпечували своєчасний збір та аналіз даних про екологічні показники.

Об'єктом дослідження є процеси віддаленого моніторингу екологічних показників, що включає в себе різноманітні аспекти, такі як збір, обробка, зберігання та аналіз даних про стан навколишнього середовища в режимі реального часу. Предметом дослідження є комплексна система, що забезпечує інтеграцію різних технологій для віддаленого моніторингу та дистанційного збору даних.

Мета дослідження полягає в розробці та впровадженні комплексної системи, що дозволить здійснювати ефективний контроль за екологічними показниками. Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Аналіз сучасних методів моніторингу навколишнього середовища
2. Розробка архітектури системи збору та обробки даних
3. Впровадження сучасних технологій для забезпечення безпеки та точності даних
4. Тестування та апробація розробленої системи у реальних умовах
5. Методи дослідження включають аналіз та синтез, моделювання, експериментальні дослідження, а також статистичні методи обробки даних

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості впровадження розробленої системи в організації, які займаються охороною навколишнього середовища, що дозволить забезпечити оперативний контроль за станом екології та своєчасну реакцію на негативні зміни. Результати дослідження можуть бути використані для покращення екологічної політики та створення нових стратегій управління природними ресурсами. Рекомендації щодо практичного застосування системи детально викладені у висновках роботи.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1 Загальна інформація про системи віддаленого моніторингу навколишнього середовища

Системи віддаленого моніторингу навколишнього середовища (СВМНС) – це технологічні рішення, які дозволяють автоматично збирати, обробляти та аналізувати дані про стан довкілля з різних територій. Ці системи відіграють важливу роль у захисті навколишнього середовища, управлінні природними ресурсами та реагуванні на надзвичайні ситуації. Часто базуються на безпроводових технологіях, які є ефективними для передачі даних у важкодоступні регіони [1].

Сучасні СВМНС базуються на інтеграції різних технологій, таких як бездротові сенсорні мережі (WSN), Інтернет речей (IoT), дистанційне зондування та хмарні обчислення. Вони дозволяють здійснювати моніторинг таких параметрів, як температура, вологість, рівень забруднення повітря та води, а також інші екологічні показники [2].

Основними компонентами системи віддаленого моніторингу є:

- Сенсори: пристрої фіксують фізичні або хімічні зміни у навколишньому середовищі. Вони бувають рухомі та стаціонарні, в залежності з специфіки місць застосування;

- Збирання фактів і передача інформації з сенсорів до центральною системи обробки: може бути реалізовано через бездротові мережі Wi-Fi, LoRaWAN, мобільні мережі тощо.

- Обробка та зберігання даних: використання алгоритмів аналізу та зберігання отриманих даних у базах даних. Хмарні технології дозволяють зберігати великі масиви інформації та мати до неї доступ з будь якої точки світу.

- Візуалізація даних: виведення інформації у зручному для сприйняття вигляді, що дозволяє користувачам оперативно реагувати на зміни в

навколишньому середовищі. Це можуть бути графіки, діаграми або інтерактивні карти.

СВМНС використовуються в багатьох важливих сферах, забезпечуючи ефективний контроль та аналіз екологічних умов. Одним із ключових застосувань є екологічний моніторинг. Ці системи використовують для контролю якості повітря, води, рівня шумового та радіаційного забруднення. Завдяки такому моніторингу можна вчасно виявляти шкідливі впливи на довкілля, що дозволяє приймати оперативні заходи для захисту природи і здоров'я людей.

Ще одним важливим напрямком є моніторинг кліматичних змін. В умовах глобальних змін клімату віддалені системи моніторингу відіграють критичну роль у зборі та аналізі даних про температуру, вологість та атмосферний тиск. Ці дані можуть використовуватись для побудови моделей, що прогнозують зміни клімату, що є важливим інструментом для наукових досліджень і розробки політик протидії змінам клімату [3].

В сільському господарстві СВМНС також стають незамінними. Вони допомагають контролювати стан ґрунту, рівень зволоженості, температуру та інші ключові параметри, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів і підвищувати ефективність аграрних процесів. Це знижує втрати у виробництві і сприяє сталому розвитку сільського господарства.

Не менш важливим є застосування таких систем для реагування на надзвичайні ситуації. Вони можуть бути налаштовані для виявлення загроз, таких як повені, пожежі, зсуви ґрунту або забруднення. Можливість швидкого виявлення небезпек та повідомлення відповідних служб допомагає мінімізувати наслідки катастроф і покращує ефективність рятувальних операцій.

Важливо розуміти, що впровадження СВМНС супроводжується як значними перевагами, так і певними недоліками, що можуть впливати на їх ефективність та поширеність використання. Нижче представлена таблиця 1.1, яка підсумовує основні переваги та недоліки таких систем.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки системи моніторингу стану навколишнього середовища

| Переваги | Недоліки |
|---|---|
| Цілодобовий автоматизований контроль за станом екосистеми | Проблеми з енергоефективністю сенсорів |
| Швидке реагування на зміни в навколишньому середовищі | Складність забезпечення надійної передачі даних у віддалених регіонах |
| Зменшення потреби у ручному зборі даних | Високі вимоги до безпеки інформації |
| Зниження витрат на моніторинг за рахунок автоматизації | Потреба у високоякісних, дорогих сенсорах та обладнанні |
| Можливість інтеграції з хмарними технологіями для зберігання та обробки даних | Залежність від інфраструктури мереж для передачі даних |

Ця таблиця дозволяє зрозуміти, які переваги надають ці системи, зокрема автоматизацію та точність, і які виклики можуть виникнути під час їхнього впровадження, зокрема технічні труднощі та високі вимоги до обладнання.

1.2 Становлення і розвиток моніторингу навколишнього середовища

Моніторинг навколишнього середовища як науково-практичний напрям системної екології сформувався у другій половині ХХ століття. На ранніх етапах розвитку галузі основними завданнями були отримання достовірних даних про стан екосистем та їх динамічні зміни, формування баз даних та створення мереж спостережень. Перші системи моніторингу були спрямовані на спостереження за компонентами біосфери та підтримку природоохоронних заходів.

У 1970-х роках вчені розробили нові концепції моніторингу довкілля. Одна з ключових концепцій належить геофізику Юрію Ізраелю, який визначив моніторинг як систему програмованого спостереження за елементами навколишнього

середовища. Основними складовими цього процесу були спостереження, оцінка та прогнозування стану навколишнього середовища. Згідно з цією концепцією, метою моніторингу була фіксація антропогенних змін, а управління якістю довкілля не передбачалося [4].

Інша концепція, запропонована географом І. Герасимовим, стосувалася створення системи спостережень за навколишнім середовищем з можливістю управління станом довкілля. Герасимов виділив кілька рівнів моніторингу – біоекологічний (санітарно-гігієнічний), геоекологічний та біосферний – і використовував їх для управління якістю навколишнього середовища на різних масштабах і рівнях [5].

Важливий внесок у розвиток концепції моніторингу зробив український вчений М. Горвець, який запропонував багаторівневу систему моніторингу та оцінки стану довкілля. Його підхід базувався на ієрархічному поділі моніторингу за регіональним масштабом - від глобального до регіонального. Він також виділяв різні види моніторингу відповідно до компонентів навколишнього середовища: біологічний, гідрометеорологічний та біогеохімічний.

Концепція глобального моніторингу, запропонована в 1970-х роках американським вченим Р. Манном, передбачала створення системи управління навколишнім середовищем на міжнародному рівні. Ідея Манна полягала в тому, щоб проводити повторювані в часі і просторі спостереження для оцінки змін в елементах навколишнього середовища і розробки ефективних управлінських заходів.

У 1986 році ООН опублікувала «Посібник з моніторингу навколишнього середовища», який базувався на наукових дослідженнях Манна і містив методології для країн, що розвиваються. Документ містив рекомендації щодо моніторингу природних ресурсів, таких як клімат, рельєф, ґрунти та рослинність, з метою захисту навколишнього середовища.

В Україні система моніторингу довкілля була запроваджена у 1992 році відповідно до Закону «Про охорону навколишнього природного середовища». Система спостерігає за станом довкілля, збирає, обробляє та оцінює отримані дані,

а також розробляє природоохоронні заходи для запобігання надзвичайним ситуаціям.

Таким чином, системи дистанційного моніторингу довкілля стали важливим інструментом забезпечення екологічної стійкості та екологічної політики. Системи дистанційного моніторингу довкілля дозволяють збирати та аналізувати дані про стан довкілля, прогнозувати його зміни та приймати науково обґрунтовані рішення щодо захисту природи [6].

1.3 Типи систем моніторингу навколишнього середовища

Серед доступних рішень для моніторингу навколишнього середовища побутові метеостанції можна розділити на механічні та цифрові системи. Ці системи відрізняються за функціональністю та точністю вимірювань, що визначається вартістю та складністю.

Механічні метеостанції

Ці прилади зазвичай використовуються для простих вимірювань температури, вологості та барометричного тиску. Вони засновані на класичних механізмах і можуть прогнозувати зміни погодних умов, наприклад, аналізуючи падіння атмосферного тиску, що вказує на вологу погоду. Такі метеостанції недорогі, але мають обмеження з точки зору точності та функціональності.

Цифрові метеостанції

Ці пристрої пропонують більше функцій. До них відносяться наступні:

– Недорогі моделі: Ці метеостанції зазвичай мають лише базові датчики, такі як термометр і барометр. Вони також можуть бути оснащені зовнішнім дротовим датчиком, який може отримувати прогнози погоди на 12 годин вперед. Однак їхня функціональність обмежена.

– Проміжні моделі: Ці моделі зазвичай оснащені бездротовими датчиками температури і вологопоглинання і мають широкий діапазон вимірювань. Додаткові функції, такі як різні типи календарів, підсвічування та проекція інформації, роблять їх простими у використанні.

– Комерційні метеостанції: Це найдорожчі пристрої в цьому класі. Вони мають розширені функції, такі як можливість вимірювати швидкість, напрямок і висоту вітру. Професійні моделі зазвичай мають можливість підключення до комп'ютера через додаткову пам'ять або USB-інтерфейс; метеостанції з підключенням до Wi-Fi також належать до цієї категорії і можуть відстежувати дані в режимі реального часу через Інтернет [7].

Моніторинг навколишнього середовища важливий для всіх типів організацій, включаючи IT-центри, лікарні, офіси, ресторани, ферми, заводи, зоопарки та музеї. Стабільні умови навколишнього середовища необхідні для безперебійної роботи обладнання та збереження продукції. Тому моніторинг зазвичай здійснюється на постійній основі.

Сім основних загроз, що викликають особливе занепокоєння на ринку IT-моніторингу навколишнього середовища – це температура, потужність, вологість, затоплення, дим, протяги і несанкціоноване проникнення. Для забезпечення безпеки та комфорту важливо встановити відповідні датчики, які відповідають конкретним потребам програми моніторингу, та інтегрувати їх в автоматизовану систему моніторингу та сигналізації. Це забезпечить своєчасне реагування на зміни в навколишньому середовищі та належний рівень безпеки для всіх приміщень, що перебувають під моніторингом.

Тому вибір системи моніторингу залежить від бюджету, а також від конкретних вимог користувача і підприємства. Розуміння відмінностей між механічними та цифровими метеостанціями допоможе вам ефективно вибрати найкраще рішення для моніторингу навколишнього середовища. [8]

1.4 Принципи створення систем моніторингу в режимі реального часу

Одним з основних принципів, що лежать в основі розробки систем моніторингу навколишнього середовища, є можливість обробки даних у режимі реального часу. Це означає, що інформація обробляється одразу після отримання,

що дозволяє швидко приймати рішення, які впливають на подальший збір даних. [8]

Створення систем моніторингу в режимі реального часу базується на принципах ефективного управління якістю повітря шляхом безперервного аналізу та документування подій. Цей процес керування ґрунтується на фіксації та обробці подій, які постійно аналізуються на основі даних про поточний стан забрудненості атмосферного повітря.

Система моніторингу складається з декількох основних блоків, включаючи «спостереження», «оцінку фактичних умов», «прогнозування умов» та «оцінку прогнозованих умов» (рис. 1.1). На додаток до спостережень і вимірювань викидів, система включає оцінку і прогнозування атмосферних умов. Для цього використовуються інтелектуальні системи для збору, обробки, моделювання та прогнозування даних. Такий підхід дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо захисту довкілля та раціонального використання природних ресурсів. [9]

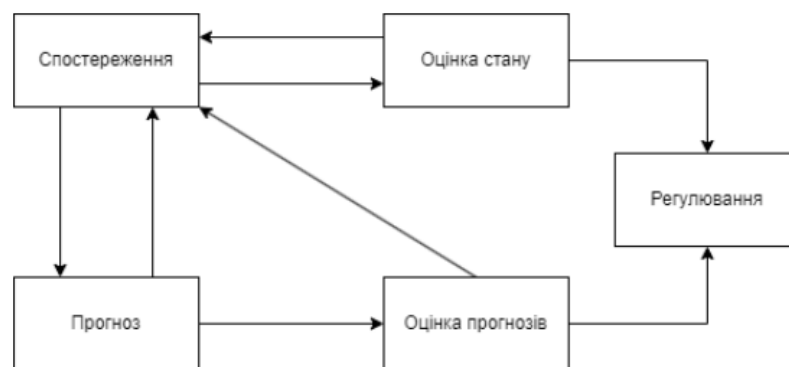


Рисунок 1.1 – Схема інформаційно-виміральної системи для контролю стану атмосферного повітря

Таким чином, система моніторингу якості повітря виконує не лише функцію збору даних, а й детальний аналіз отриманої інформації. Це дозволяє ефективно вирішувати екологічні проблеми, покращувати якість повітря та захищати природні ресурси. Такий комплексний підхід є важливим для управління екологічними ризиками та забезпечення сталого розвитку.

1.5 Огляд і аналіз існуючих методів та засобів в галузі віддаленого контролю стану навколишнього середовища

У роботі [10] автори представляють метод моніторингу якості повітря, заснований на інтелектуальному аналізі супутникових знімків для визначення рівнів оксидів азоту (NO₂) та твердих частинок PM_{2,5}. Дослідження використовує програмне забезпечення ArcGIS для обробки даних і охоплює дані індексу забруднення повітря (ІЗА) за період 1992-2013 рр. для 53 населених пунктів в Україні (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Схема методики обробки даних [10]

Дослідження базується на математичній моделі, яка дозволяє оцінити потенційні значення ІЗА для всієї України. Автори порівняли дані супутникових знімків з даними наземних станцій за 21-річний період і виявили кореляцію між результатами обробки супутникових знімків та наземних спостережень за концентраціями NO_2 . Хоча супутникові знімки важко отримати для обробки в режимі реального часу, цей метод показує високу точність і підходить для великих територій.

У статті [11] представлено розробку системи моніторингу якості повітря, основаної на технології Internet of Things (IoT). Система реалізована на базі Raspberry Pi 3, Wi-Fi модуля, а також датчиків MQ7 і MQ135 (рис. 1.4), які використовуються для збору даних. Датчик MQ7 вимірює концентрацію монооксиду карбону, тоді як MQ135 визначає рівень газів, таких як NH_3 та CO_2 . Структурна схема цієї системи моніторингу представлена на рисунку 1.3.

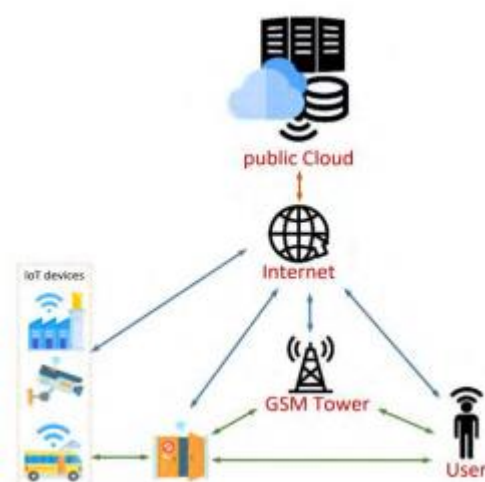


Рис. 1.3 – Структурна схема системи Internet Of Things [11]



Рис. 1.4 – Детектори газів

Розроблена система моніторингу здатна контролювати концентрацію таких газів, як NH_3 , CO_2 та CO в атмосфері. Додаток базується на платформі Raspberry Pi 3, яка виконує роль серверної частини станції. Дані з датчиків передаються на мікропроцесор NUCLEO F401RE, де вони обробляються і перетворюються в зрозумілі значення перед передачею на Raspberry Pi 3 через модуль Wi-Fi для подальшої обробки і зберігання. Оскільки система є модульною, дані можна збирати з кількох місць одночасно, використовуючи різні мобільні станції.

У статті [12] розглядається процес розробки інформаційної системи моніторингу забруднення повітря в містах на основі технології Інтернету речей (IoT). Автори обґрунтовують вибір програмного та апаратного забезпечення, яке дозволяє ефективно збирати, передавати, зберігати, обробляти та візуалізувати дані про якість повітря.

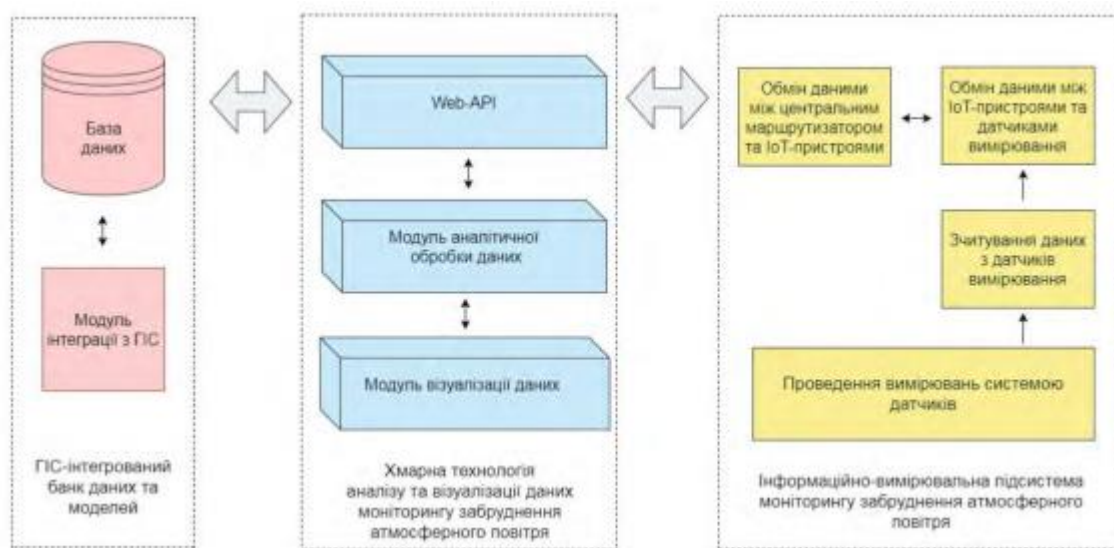


Рис. 1.5 – Структурна схема станції моніторингу з використанням технології WiFi HaLow [12]

Автори статті здійснюють детальний порівняльний аналіз різних мережевих технологій, які можуть бути інтегровані в систему моніторингу забруднення повітря, і вибирають Wi-Fi HaLow як основний інтерфейс для передачі даних на веб-сервер. Ця технологія особливо важлива, оскільки вона здатна суттєво знизити споживання електроенергії, що є критичним для безперебійної роботи системи, яка

може функціонувати протягом тривалого часу без обслуговування. Хоча структура системи проілюстрована на рисунку 1.5, відсутність конкретних прикладів реалізації прототипів залишає відкритими питання щодо практичної застосовності та ефективності цієї розробки в реальних умовах. Це може викликати занепокоєння у потенційних користувачів щодо готовності технології до впровадження в системи моніторингу повітря.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТУ

2.1 Опис експерименту

Метою експерименту є оцінка ефективності розробленої системи моніторингу стану навколишнього середовища, що базується на технології Інтернету речей (IoT). Основним завданням є перевірка гіпотези про те, що впровадження сучасних технологій у процес збору та аналізу екологічних даних може суттєво підвищити точність і своєчасність вимірювань екологічних показників, а також забезпечити швидке реагування на зміни у стані навколишнього середовища. Це дозволить покращити ефективність управління природними ресурсами та запобігти екологічним кризам.

2.1.1 Завдання експерименту

Основним завданням експерименту є створення системи моніторингу стану навколишнього середовища, яка дозволяє зібрати дані про концентрацію забруднюючих речовин, таких як оксид вуглецю (CO), діоксид вуглецю (CO₂), аміак (NH₃), метан (CH₄), пропан та частинки PM2.5. Мобільні станції, оснащені відповідними датчиками, встановлюються в різних локаціях для безперервного моніторингу протягом визначеного періоду.

Зібрані дані піддаються глибокій обробці та аналізу за допомогою сучасних математичних моделей і програмного забезпечення, що забезпечує перетворення ключових показників на зрозумілі дані про якість повітря та їх порівняння з екологічними стандартами.

Особливу увагу приділяється аналізу взаємозв'язків між забруднювачами та їхнім впливом на здоров'я населення, використовуючи статистичні методи для виявлення кореляцій між різними показниками забруднення.

Після обробки даних результати порівнюються з чинними стандартами якості повітря, що допомагає оцінити відповідність системи екологічній безпеці.

Завершальний етап експерименту включає оцінку практичної значущості отриманих результатів, формулювання рекомендацій щодо вдосконалення системи моніторингу та її потенційного застосування в інших регіонах або для моніторингу інших видів забруднення.

Таким чином, реалізація такого підходу створює ефективну платформу для моніторингу стану навколишнього середовища, що сприяє вирішенню актуальних екологічних проблем та покращенню якості життя населення.

2.1.2 Методологія проведення експерименту

Експериментальна частина дослідження зосереджена на створенні та впровадженні системи моніторингу стану навколишнього середовища з дистанційним збором даних. Першим етапом є визначення територій для вимірювання, де враховуються фактори, такі як щільність населення, рівень промислового забруднення та природні умови. Це дозволяє всебічно охопити різноманітні аспекти екологічної ситуації.

На другому етапі проводиться встановлення необхідного обладнання, зокрема станцій з датчиками, які здатні фіксувати показники забруднення. Станції інтегруються в систему, що забезпечує передачу даних на центральний сервер у режимі реального часу, що є критично важливим для оперативного реагування на зміни.

Третій етап передбачає активний моніторинг зібраних даних. Датчики забезпечують постійний контроль основних забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту, сірчані діоксиди та частки PM_{2.5}, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в стані навколишнього середовища.

Заключним етапом є аналіз отриманих даних, що включає статистичну обробку та візуалізацію результатів. Це дає змогу створювати звіти та графіки, які спрощують сприйняття інформації та прийняття обґрунтованих управлінських рішень для покращення якості повітря і збереження навколишнього середовища. Таким чином, експеримент охоплює повний цикл — від вибору ділянки до аналізу

зібраних даних, що сприяє ефективному моніторингу стану навколишнього середовища.

2.2 Методи збору даних

2.2.1 Типи датчиків та компонентів системи

Для розробки ефективної системи моніторингу докільця з дистанційним збором даних важливо вибрати правильні датчики, які забезпечать точні вимірювання ключових параметрів.

MQ-7 (рис. 2.1): Цей датчик чутливий до оксиду вуглецю (CO) і може виявляти його концентрацію в повітрі від 20 до 2000 ppm; MQ-7 використовує аналіз зміни опору для точного вимірювання рівня забруднення. Швидкий час відгуку датчика робить його ідеальним для систем, що потребують моніторингу в режимі реального часу.

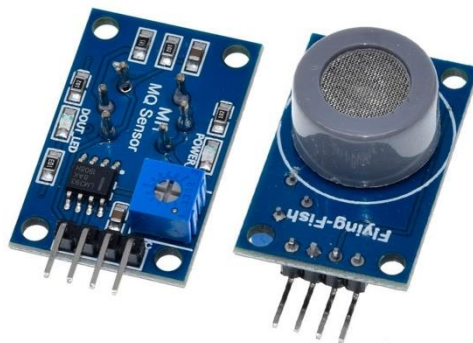


Рисунок 2.1 – Датчик MQ-7 [13]

MQ-9 (рис. 2.2): Напівпровідниковий датчик газу, який визначає концентрацію горючих газів, таких як оксид вуглецю (CO), метан (CH₄) і пропан. Має широкий діапазон вимірювання і працює як в режимі низьких (для моніторингу навколишнього середовища), так і в режимі високих (для виявлення витоків газу)

концентрацій. Датчик допомагає контролювати якість повітря та оцінювати рівень небезпечних газів у навколишньому середовищі.



Рисунок 2.2 – Датчик MQ-9 [14]

MQ-135 (рис. 2.3): Універсальний датчик, здатний виявляти різноманітні гази, включаючи аміак (NH_3), вуглекислий газ (CO_2) і різні леткі органічні сполуки (ЛОС) MQ-135 має широкий діапазон вимірювань і забезпечує комплексну оцінку якості повітря MQ-135 використовується в міських і промислових районах. важливий для виявлення шкідливих викидів.



Рисунок 2.3 – Датчик MQ-135 [15]

DHT11 (рис. 2.4): Датчик температури і вологості з дещо нижчою чутливістю, ніж у DHT22, але широко використовується завдяки низькій вартості і простоті використання. Він вимірює температуру в діапазоні від 0°C до $+50^\circ\text{C}$ і вологість в діапазоні 20-90% відносної вологості. Датчики часто використовуються для

базового моніторингу кліматичних умов навколишнього середовища в проектах і надають базові дані для екологічного аналізу.

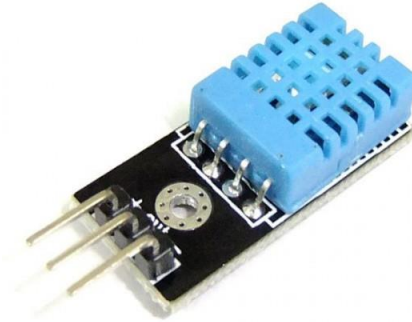


Рисунок 2.4 – Датчик DHT11 [16]

Arduino Uno (рис. 2.5): Поширений мікроконтролер, який використовується для керування датчиками та іншими електронними компонентами в системах моніторингу; він відіграє центральну роль у зборі та обробці даних з таких датчиків, як DHT11 і MQ-9, і надсилає їх на інші пристрої та бази даних для подальшого аналізу. Arduino Uno легко програмується і підтримує багато бібліотек датчиків, що робить його ідеальним для побудови систем моніторингу.



Рисунок 2.5 – Мікроконтролер Arduino Uno [17]

1602 I2C LCD (рис. 2.6): РК-дисплей, який використовує інтерфейс I2C для спрощення підключення до мікроконтролера Arduino. Здатний відображати виміряні параметри, такі як температура, вологість і концентрація газу, в режимі реального часу і полегшує використання систем моніторингу, LCD 1602 I2C спрощує процес взаємодії між користувачем і системою, дозволяючи швидко оцінити поточні умови навколишнього середовища.

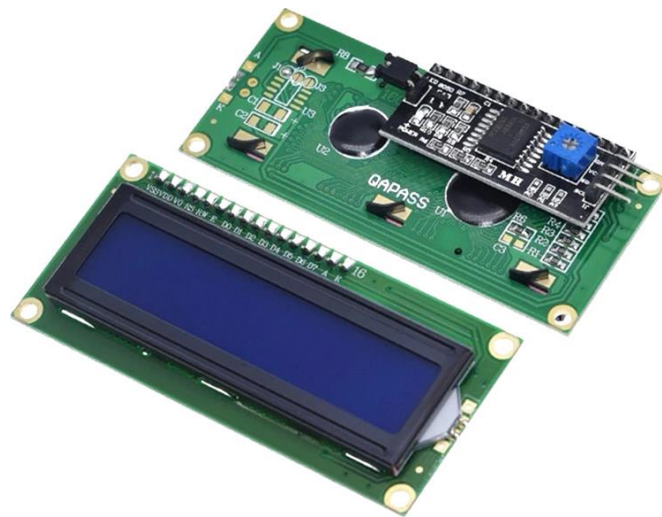


Рисунок 2.6 – РК-дисплей 1602 I2C LCD [18]

2.2.2 Технології зв'язку для системи моніторингу стану навколишнього середовища

Для ефективної роботи системи моніторингу навколишнього середовища важливо вибрати правильну технологію зв'язку, щоб забезпечити надійний збір і передачу даних від датчиків до центрального процесора або сервера. Однією з найпоширеніших технологій у цьому контексті є Wi-Fi.

Wi-Fi дозволяє передавати інформацію на високих швидкостях і здійснювати моніторинг в режимі реального часу. Wi-Fi також може покривати великі відстані, що дозволяє системі працювати в різних умовах як у міській, так і в сільській місцевості. Ця технологія дозволяє збирати дані з різних датчиків в єдиний інформаційний простір і передавати їх на центральний сервер для обробки.

Wi-Fi модуль ESP8266 (рис. 2.7) є популярним вибором для реалізації бездротового зв'язку в системах відеоспостереження. Цей мікрочіп має вбудований Wi-Fi і може легко використовуватися для збору та передачі даних:

- Низьке енергоспоживання робить його придатним для автономних пристроїв з живленням від батареї.
- Підтримка протоколу TCP/IP забезпечує інтеграцію з веб-серверами та базами даних.
- Можливість підключення до інших датчиків і контролерів через GPIO виводи робить його універсальним інструментом для моніторингу навколишнього середовища.

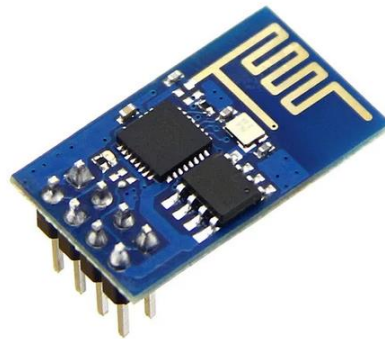


Рисунок 2.7 – Wi-Fi модуль ESP8266 [19]

Завдяки невеликим розмірам і доступній ціні ESP8266 широко використовується для створення систем IoT; в поєднанні з такими датчиками, як DHT11 і MQ-9, його можна використовувати для створення надійних систем, які можуть збирати інформацію про навколишнє середовище і передавати її на віддалений сервер для аналізу.

Технологія Wi-Fi, зокрема модуль ESP8266, забезпечує надійний високошвидкісний зв'язок у системах моніторингу навколишнього середовища. Модуль дозволяє інтегрувати велику кількість датчиків і передавати дані в режимі реального часу, що є ключем до надійного оперативного моніторингу якості повітря та інших параметрів навколишнього середовища.

2.2.3 Середовище симуляції роботи системи

Tinkercad – це інтуїтивно зрозуміла онлайн-платформа для моделювання електроніки, що дозволяє створювати прототипи систем без необхідності фізичної збірки компонентів. Серед її основних переваг — можливість симулювати роботу різних апаратних елементів, таких як Arduino Uno, датчики температури, вологості, газу, і модулі зв'язку, що дозволяє ефективно моделювати системи моніторингу навколишнього середовища. Це забезпечує швидке тестування і відлагодження, що значно полегшує процес розробки таких систем.

Система моніторингу включає використання кількох важливих компонентів: MQ-7, MQ-9, MQ-135, DHT11, Wi-Fi модуль ESP8266, Arduino Uno, та LCD 1602 I2C. Tinkercad надає можливість симулювати роботу кожного з цих компонентів, що робить платформу зручною для всіх етапів розробки і тестування.

Основною перевагою Tinkercad є його доступність та простота в користуванні. Він дозволяє відлагоджувати код і перевіряти функціональність системи у віртуальному середовищі, що особливо корисно для складних систем, де використовуються кілька датчиків та модулі зв'язку. Завдяки цьому розробник може перевірити, як будуть взаємодіяти всі компоненти, як передаватимуться дані з датчиків на Arduino Uno і як відобразатиметься інформація на LCD 1602 I2C, або як через ESP8266 дані будуть передаватися на віддалений сервер для зберігання та аналізу.

Симуляція в Tinkercad також дозволяє відтворювати реальні сценарії роботи, змінюючи умови навколишнього середовища, як-от рівень газів або температуру, що забезпечує можливість тестування системи у різних умовах. Наприклад, датчики MQ-7, MQ-9 і MQ-135 дозволяють контролювати рівні шкідливих газів у повітрі, таких як CO і NH₃, а DHT11 відстежує зміни температури та вологості, що також впливає на якість повітря.

Завдяки функціоналу Tinkercad, ми можемо симулювати всі процеси роботи системи в режимі реального часу. Система може бути перевірена на коректність роботи, що дозволяє швидко виявляти і виправляти помилки без ризику

пошкодження фізичного обладнання. Платформа також дозволяє інтегрувати всі компоненти в єдине середовище і забезпечити ефективну взаємодію між ними.

Важливою частиною симуляції є також тестування комунікаційних модулів, зокрема ESP8266, який дозволяє передавати дані через Wi-Fi. У середовищі Tinkercad можна налаштувати і перевірити роботу цього модуля для віддаленої передачі даних, що є необхідним етапом у розробці систем дистанційного моніторингу.

Таким чином, Tinkercad не лише дозволяє тестувати окремі компоненти, але й сприяє комплексній перевірці всієї системи в інтерактивному середовищі, надаючи зручний інструмент для розробки, налагодження та оптимізації системи моніторингу стану навколишнього середовища [20].

РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи

На підставі технічних вимог було створено функціональну схему системи контролю концентрації газу (додаток А рис. А.1).

Блок-схема розробленої системи показана на додатку А рисунку А.2.

Обмін даними між окремими компонентами здійснюється через цифрові інтерфейси I деки I2C і 1 провід.

Система включає в себе цифровий термометр DHT11, який передає інформацію по 1-дротовому протоколу. Концентрації вуглекислого газу, метану та монооксиду вуглецю вимірюються за допомогою датчиків MQ-135, MQ-7 та MQ-9. У корпусі системи має бути передбачено спеціальний отвір для взаємодії цих датчиків з навколишнім середовищем.

Дані, отримані датчиком, надсилаються на зовнішні пристрої, зокрема мікроконтролери Arduino Uno, які мають I2C для РК-дисплеїв та 1-дротові порти та цифрові інтерфейси для цифрових термометрів.

Виведення даних для моніторингу здійснюється на різних пристроях відповідно до зазначеного алгоритму. Інформація також відображається на РК-екрані, щоб надати користувачам необхідні дані.

Всі компоненти системи працюють з напругою +12 В, +5 В і +3,3 В. Необхідна стабільність напруги досягається за допомогою імпульсних DC/DC перетворювачів. Джерелом напруги +12 В може слугувати блок живлення або акумулятор.

3.2 Розробка алгоритму роботи системи

Система працює шляхом вимірювання концентрації вуглекислого газу, метану, окису вуглецю та температури за допомогою датчиків MQ-7, MQ-9, MQ-

135 та DHT11. Індикатори, отримані з датчика, зчитуються та обробляються, а результати відображаються на ПК-екрані. Крім того, Мікроконтролер Arduino відправляє дані в модуль ESP8266Wi-Fi, а модуль ESP8266Wi-Fi відправляє їх на платформу. Це дає можливість дистанційно контролювати концентрацію шкідливих газів в повітрі.

На додатку Б рисунок Б.1 наведено блок-схему алгоритму роботи системи віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища, яка відповідає за відображення інформації на LCD-дисплеї.

3.3 Розробка електричної принципової схеми

На додатку В рисунку В.1 зображено принципову електричну схему, яка відображає взаємодію основних компонентів системи моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Центральним елементом є мікроконтролер Arduino UNO, який обробляє дані від сенсорів та забезпечує керування відображенням інформації на LCD-дисплеї, а також передає дані через модуль Wi-Fi ESP8266.

До Arduino підключено кілька датчиків, серед яких MQ-7, MQ-9 та MQ-135, що відповідають за вимірювання концентрації монооксиду вуглецю, горючих газів і шкідливих речовин. Для забезпечення стабільності цифрових сигналів кожен з цих сенсорів має pull-down резистори номіналом 10 кОм, підключені між їхніми цифровими виходами (DO) та землею. Живлення цих модулів стабілізується за допомогою керамічних конденсаторів ємністю 100 нФ, підключених між Vcc і GND.

Для вимірювання температури та вологості використовується датчик DHT11, який підключено до Arduino через контакт DATA. Щоб забезпечити коректну передачу даних, між DATA і Vcc встановлено pull-up резистор номіналом 10 кОм. Живлення цього датчика також стабілізується за допомогою конденсатора 100 нФ.

Модуль ESP8266 виконує функцію бездротового передавання даних і підключений до Arduino через контакти RX і TX. Для його стабільної роботи в

режимі прошивки або запуску передбачено pull-up резистори номіналом 10 кОм, підключені до контактів GPIO0, GPIO2 і CH_PD. Живлення модуля також фільтрується конденсатором на 100 нФ.

Для виведення інформації використовується LCD-дисплей із підтримкою I2C, підключений до Arduino через контакти SDA та SCL. Цей модуль працює як інтерфейс для відображення результатів вимірювань, таких як температура, вологість і концентрація газів у повітрі.

Таким чином, схема забезпечує надійну роботу всіх компонентів за рахунок використання додаткових стабілізуючих елементів, таких як резистори та конденсатори. Це дозволяє точно вимірювати параметри навколишнього середовища, обробляти отримані дані та передавати їх у зручній для користувача формі через LCD-дисплей або Wi-Fi.

3.4 Створення системи віддаленого моніторингу в Tinkercad

Для створення комплексної системи віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища з дистанційним збором даних було використано онлайн-середовище Tinkercad. Для цього створюємо акаунт та створюємо новий проект для симуляції розроблюваної системи.

Апаратна частина системи складається з кількох ключових елементів. Центральну роль у ній відіграє мікроконтролер Arduino Uno, який виконує функцію обчислювального блоку. Він відповідає за обробку сигналів, що надходять від сенсорів, а також за передачу даних до інших компонентів системи.

Для вимірювання температури повітря було обрано датчик DHT11, який забезпечує точність і стабільність зчитування показників.

Для вимірювання забрудненості повітря було використано газові сенсори такі як MQ-135, MQ-7 та MQ-9.

Для локального відображення зчитаних даних використовується LCD-дисплей розміром 16x2. Він дає можливість оперативно спостерігати за показниками сенсорів у реальному часі, що полегшує процес локального контролю.

Бездротова передача даних на віддалений сервер або мобільний додаток реалізована за допомогою модуля Wi-Fi ESP8266. Цей модуль дозволяє інтегрувати систему в інтернет-мережу, забезпечуючи доступ до даних з будь-якої точки світу.

Для коректної роботи всіх компонентів у схемі передбачені резистори. Вони виконують важливу роль у стабілізації напруги, запобігаючи перенапруженню і захищаючи елементи системи від пошкодження.

Згідно розробленої принципової схеми (додаток В рис. В.1) розташовуємо елементи системи та з'єднуємо їх між собою. Отримуємо наступну систему (рис. 3.4).

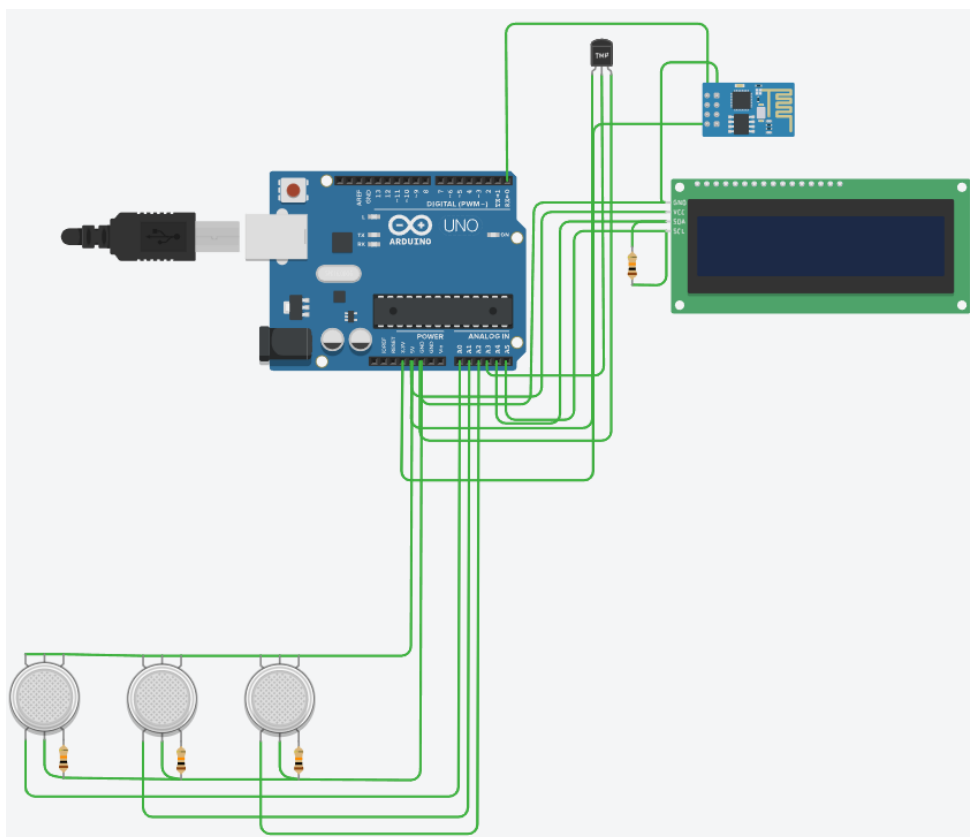


Рисунок 3.4 – Комплексна система віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища з дистанційним збором в Tinkercad

Після додавання та з'єднання всіх компонентів варто перевірити чи вірно підключені всі необхідні компоненти. Для перевірки роботи дисплею скористаємось кодом зображеним на рисунку 3.5.


```

1 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2
3 LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2);
4
5 void setup() {
6     lcd.init();           // Ініціалізація LCD
7     lcd.backlight();      // Вмикаємо підсвічування
8     lcd.setCursor(0, 0); // Встановлення курсору
9     lcd.print("Testing LCD"); // Виведення тестового тексту
10
11 }
12
13 void loop() {
14 }
15

```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду для перевірки роботи LCD-дисплею

Після виконання коду бачимо, що доданий дисплей працює вірно та виводить необхідний текст (рис. 3.6).

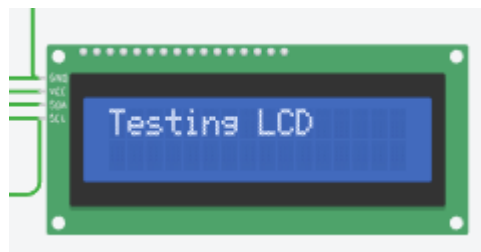


Рисунок 3.6 – Результат тестування дисплею

Для перевірки коректності підключення датчиків доповнюємо код з рисунка 3.5. Новий код (рис. 3.7) виконує перевірку сигналів з датчиків. Якщо датчики підключені правильно, на дисплеї відображається повідомлення з позначеннями датчиків та текстом «ОК». У разі відсутності сигналу з будь-якого датчика відображається текст «ERR» навпроти його позначення.

```

1 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2
3 LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2);
4
5 const int gasSensor1Pin = A0;
6 const int gasSensor5Pin = A1;
7 const int gasSensor6Pin = A2;
8 const int tempSensorPin = A3;
9
10 void setup() {
11     // Налаштування пінів сенсорів як вхідних
12     pinMode(gasSensor1Pin, INPUT);
13     pinMode(gasSensor5Pin, INPUT);
14     pinMode(gasSensor6Pin, INPUT);
15     pinMode(tempSensorPin, INPUT);
16
17     // Ініціалізація LCD
18     lcd.init();
19     lcd.backlight();
20
21     // Вивід початкового повідомлення
22     lcd.setCursor(0, 0);
23     lcd.print("Testing Sensors");
24     delay(2000);
25     lcd.clear();
26 }
27
28 void loop() {
29     // Зчитування даних із сенсорів
30     int gas1Value = analogRead(gasSensor1Pin);
31     int gas5Value = analogRead(gasSensor5Pin);
32     int gas6Value = analogRead(gasSensor6Pin);
33     int tempValue = analogRead(tempSensorPin);
34
35     // Перевірка наявності сигналу із сенсорів
36     lcd.setCursor(0, 0);
37     lcd.print("G1:");
38     lcd.print(gas1Value > 0 ? "OK" : "ERR");
39     lcd.print(" G2:");
40     lcd.print(gas5Value > 0 ? "OK" : "ERR");
41
42     lcd.setCursor(0, 1);
43     lcd.print("G3:");
44     lcd.print(gas6Value > 0 ? "OK" : "ERR");
45     lcd.print(" T:");
46     lcd.print(tempValue > 0 ? "OK" : "ERR");
47
48     delay(1000); // Коротка затримка для оновлення
49 }

```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду для перевірки працездатності датчиків

Після запуску симуляції бачимо що сигнал надходить із всіх датчиків та все працює коректно (рис. 3.8).

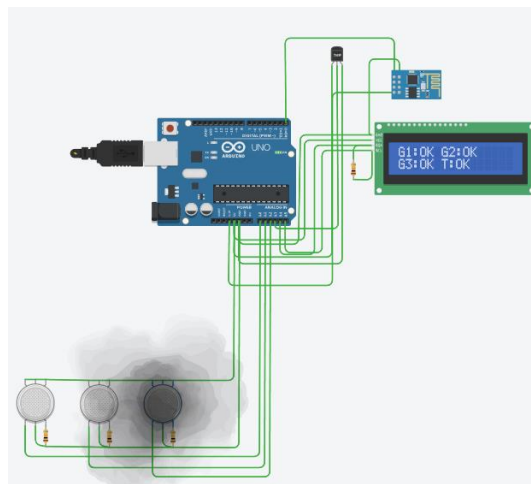


Рисунок 3.8 – Перевірка передачі сигналів з датчиків

Тепер можемо переходити до логіки симуляції системи. У кодї на рисунку 3.9 використовується бібліотека `LiquidCrystal_I2C`, яка дозволяє працювати з LCD-дисплеєм через інтерфейс I2C. На початку оголошується об'єкт `lcd`, що відповідає за дисплей розміром 16x2 символів, який працює на адресі 0x20. Також визначено чотири аналогові пін-коди, до яких підключені три газові сенсори та один температурний датчик.

```

1  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2
3  LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2);
4
5  const int gasSensor1Pin = A0;
6  const int gasSensor5Pin = A1;
7  const int gasSensor6Pin = A2;
8  const int tempSensorPin = A3;
9

```

Рисунок 3.9 – Лістинг коду підключення бібліотек, ініціалізації LCD-дисплею та аналогових пін-кодів датчиків

У функції `setup` (рис. 3.10) виконуються початкові налаштування. Пін-коди, до яких підключені датчики, встановлюються у режим `INPUT`, що дозволяє зчитувати дані. Далі виконується ініціалізація дисплея за допомогою методу `lcd.init()`, а також увімкнення підсвічування. На дисплей виводиться текст `Gas & Temp Init`, що сигналізує про початок роботи системи. Після короткої затримки в 5 секунд дисплей очищується для виводу нових даних.

```

10 void setup() {
11     // Налаштування пінів сенсорів як вхідних
12     pinMode(gasSensor1Pin, INPUT);
13     pinMode(gasSensor5Pin, INPUT);
14     pinMode(gasSensor6Pin, INPUT);
15     pinMode(tempSensorPin, INPUT);
16
17     // Ініціалізація LCD
18     lcd.init();
19     lcd.backlight();
20
21     // Вивід початкового повідомлення
22     lcd.setCursor(0, 0);
23     lcd.print("Gas & Temp Init");
24     delay(5000);
25     lcd.clear();
26 }

```

Рисунок 3.10 – Лістинг коду функції `setup`

У функції loop (рис. 3.11) реалізовано зчитування даних із сенсорів. За допомогою функції analogRead() отримуються значення з трьох газових сенсорів і температурного датчика. Для датчика температури DHT11 значення, зчитане з піну, переводиться у градуси Цельсія за допомогою відповідної формули.

```

28 void loop() {
29   // Зчитування даних із сенсорів
30   int gas1Value = analogRead(gasSensor1Pin);
31   int gas5Value = analogRead(gasSensor5Pin);
32   int gas6Value = analogRead(gasSensor6Pin);
33
34   // Зчитування температури з TMP36 (в мілівольтах)
35   int tempValue = analogRead(tempSensorPin);
36   float temperature = ((tempValue * 5.0 / 1023.0) - 0.5) * 100; // Переведення у градуси Цельсія
37
38   // Вивід усіх даних на LCD
39   lcd.setCursor(0, 0);
40   lcd.print("G1:");
41   lcd.print(gas1Value);
42   lcd.print(" G2:");
43   lcd.print(gas5Value);
44
45   lcd.setCursor(0, 1);
46   lcd.print("G3:");
47   lcd.print(gas6Value);
48   lcd.print(" T:");
49   lcd.print(temperature);
50   lcd.print("C");
51
52   delay(200); // Коротка затримка для оновлення
53 }
54

```

Рисунок 3.11 – Лістинг коду функції loop

Дані з усіх сенсорів виводяться на дисплей. У першому рядку відображаються значення для двох газових сенсорів (G1 і G2), а в другому – значення третього газового сенсора (G3) та температура (T). Після кожного оновлення даних робиться коротка затримка в 200 мілісекунд для плавного оновлення дисплея. Таким чином, система забезпечує безперервний моніторинг значень усіх датчиків.

Повний лістинг коду наданий в додатку Г.

3.5 Тестування розробленої системи

Тестування є важливим етапом у розробці комплексної системи віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища, оскільки під час нього

перевіряється коректність роботи всіх компонентів системи та відповідність отриманих результатів очікуванім.

Під час тестування здійснювалось зчитування даних з трьох газових сенсорів (MQ-135, MQ-7, MQ-9) та температурного датчика DHT11. Отримані дані виводились на LCD-дисплей. Значення відображались у реальному часі в двох рядках дисплея: перший рядок призначався для відображення даних з двох газових сенсорів (G1 - MQ-135 та G2 - MQ-7), а другий — для даних третього газового сенсора (G3 - MQ-9) і температури (T - DHT11). Робота системи була стабільною, дані оновлювались плавно з короткою затримкою в 200 мілісекунд.

Після запуску симуляції на дисплеї з'являється повідомлення «Gas & Temp Init» (рис. 3.12), яке вказує на те, що LCD-дисплей працює коректно, а всі датчики передають сигнал до мікроконтролера.

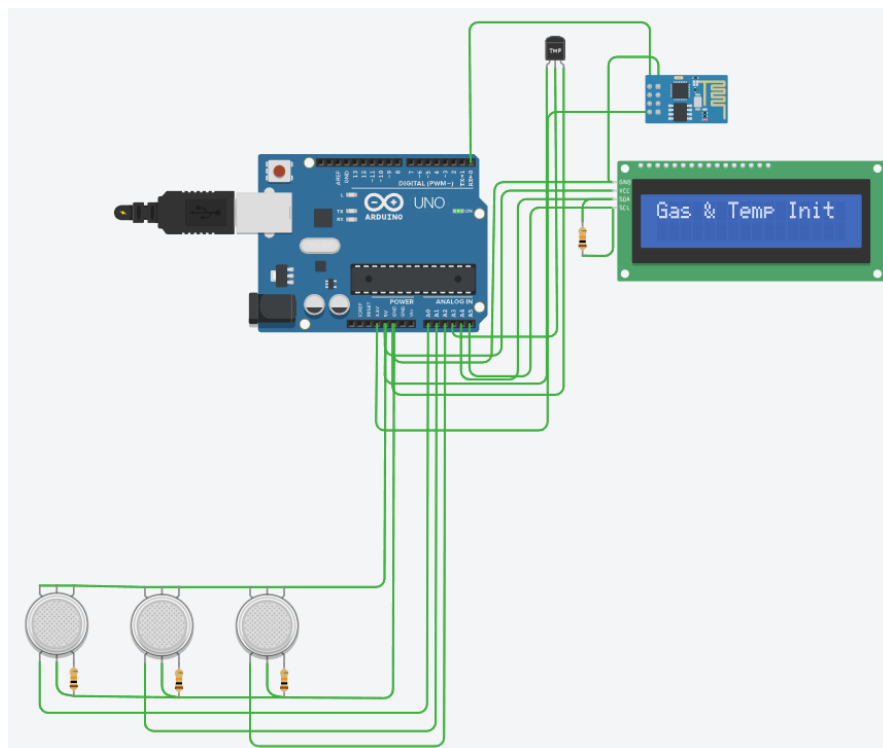


Рисунок 3.12 – Початок симуляції. Відображення початкового повідомлення

Далі на дисплеї з'являється інформація про стан трьох газових сенсорів та температурного датчика (рис. 3.13), що підтверджує коректне зчитування даних з датчиків і їх правильне відображення на дисплеї.

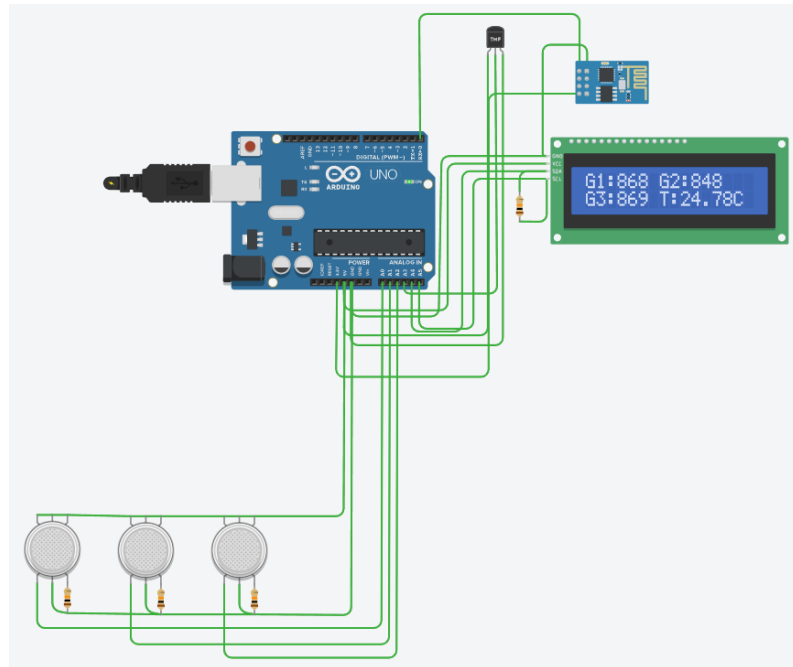


Рисунок 3.13 – Виведення даних з датчиків

Для перевірки коректності роботи датчиків, змінюємо значення зчитуваних параметрів. Спочатку збільшуємо температуру на датчику DHT11 (рис. 3.14). Для цього натискаємо на відповідний елемент та переміщаємо повзунок температури вправо.

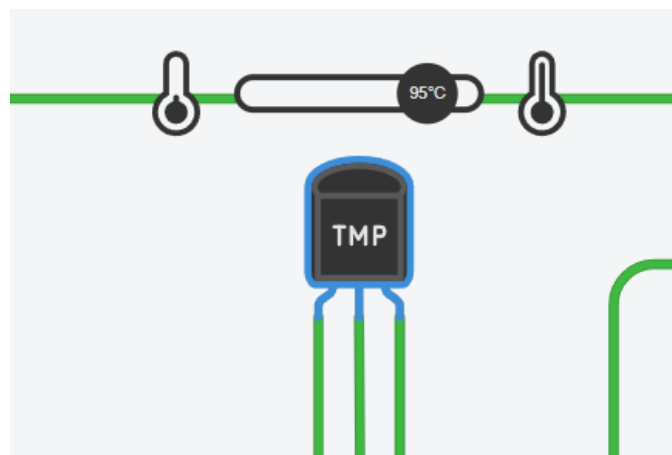


Рисунок 3.14 – Збільшення температури до 95 °С

На дисплеї відображається актуальне значення температури (рис. 3.15), що підтверджує коректність роботи температурного датчика.

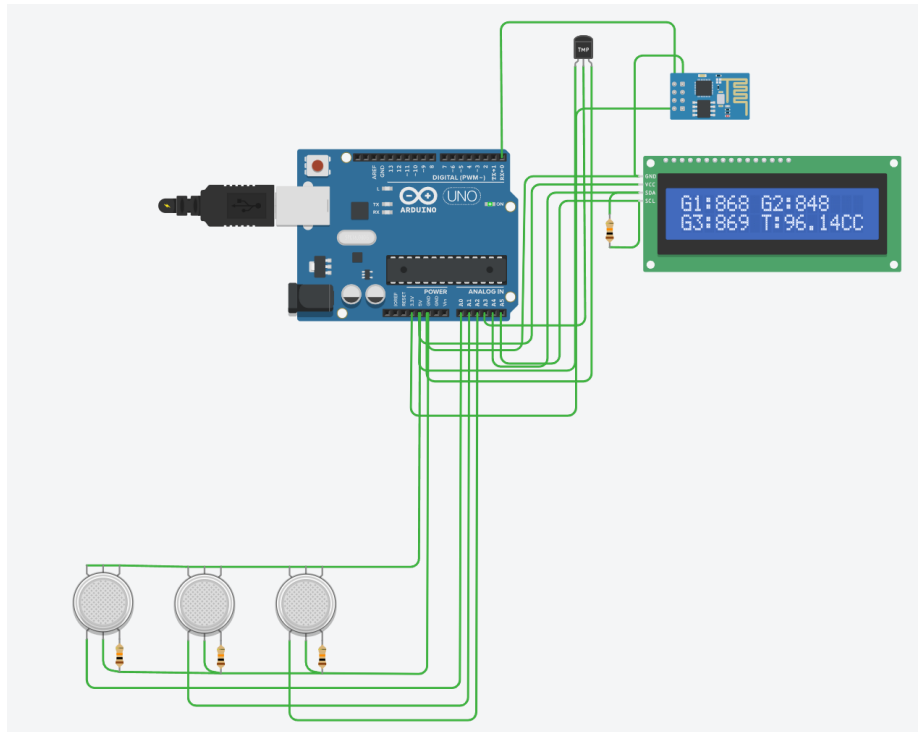


Рисунок 3.15 – Відображення оновлених даних температури

Далі перевіряємо роботу одного з датчиків забрудненості повітря. Для цього натискаємо на обраний сенсор і переміщаємо джерело забруднення в довільному напрямку (рис. 3.16). Це хмара є прототипом шкідливих речовин, які фіксує датчик. Змінюючи положення хмари, ми змінюємо концентрацію шкідливих речовин у повітрі.

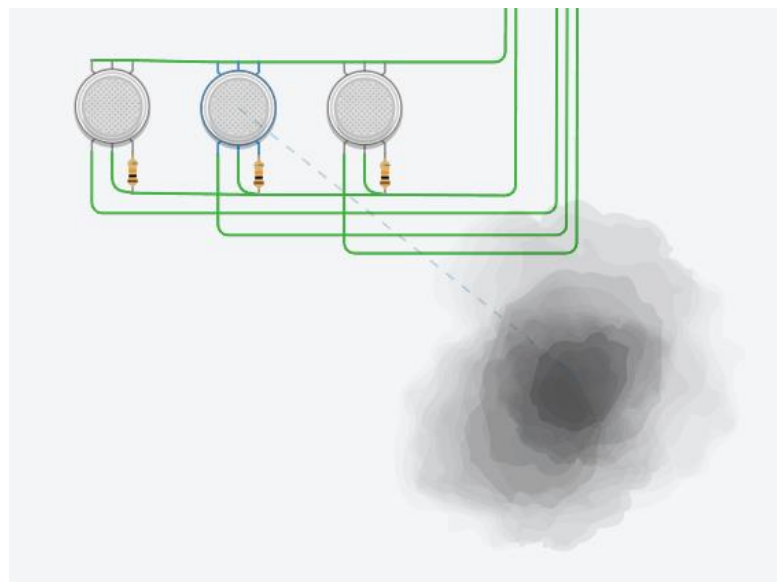


Рисунок 3.16 – Зменшення концентрації шкідливих речовин для G2

В результаті змінюється відображення даних на дисплеї, що підтверджує коректність роботи датчика MQ-7 (рис. 3.17).

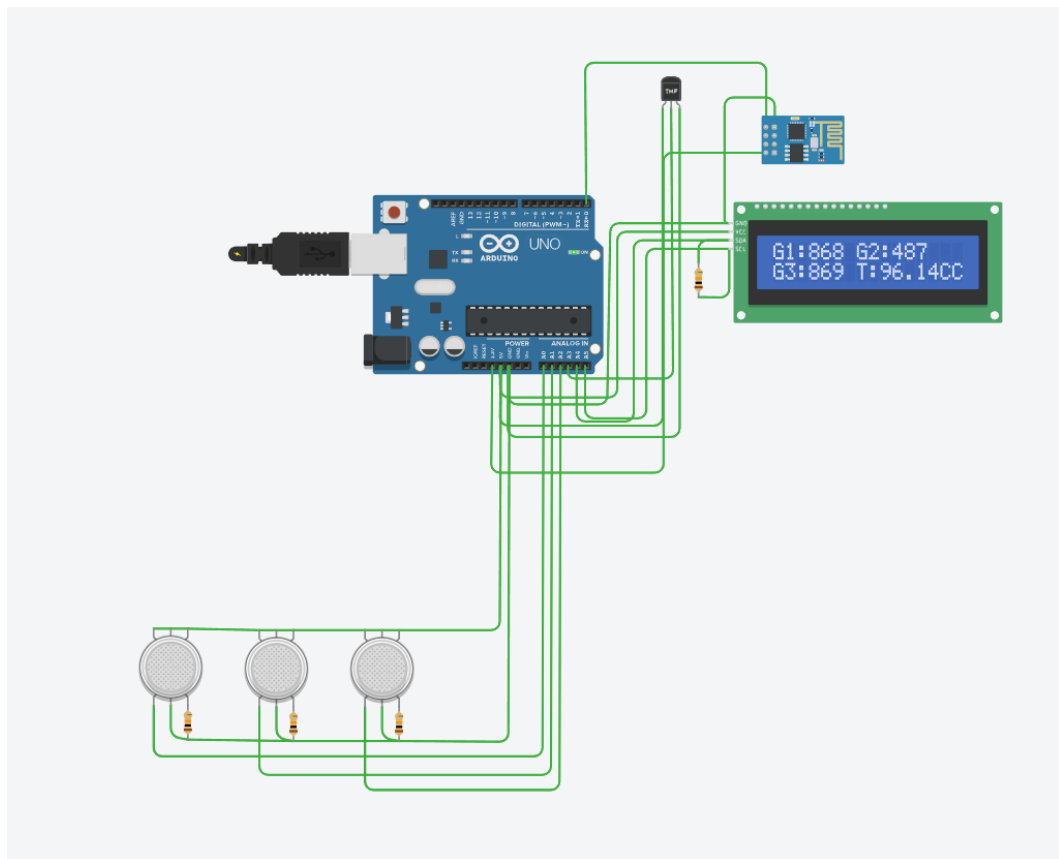


Рисунок 3.17 – Відображення оновлених даних MQ-7

Отже, після тестування та аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що розроблена система є повністю працездатною та готовою до подальшої реалізації.

ВИСНОВКИ

6. Установлено, що використання інтегрованої системи моніторингу з поєднанням сучасних датчиків і мікроконтролерів дозволяє створити платформу для постійного контролю екологічних показників. Такий підхід сприяє підвищенню якості зібраних даних і забезпечує можливість віддаленого доступу до них через інтернет-технології. Це відкриває нові можливості для ефективного управління екологічними ризиками.

7. Одержано експериментальні результати, які підтвердили функціональність і точність роботи системи в режимі реального часу. Дані про концентрацію забруднюючих речовин (оксид вуглецю, аміак, метан) та параметри навколишнього середовища (температура, вологість) були успішно виміряні та проаналізовані. Це забезпечує надійний базис для моніторингу екологічної ситуації.

8. Показано, що розроблена система, завдяки використанню платформи Tinkercad, дозволяє проводити повноцінне тестування всіх її компонентів, включаючи датчики, мікроконтролери та модулі зв'язку. Такий підхід значно скорочує час і витрати на розробку, мінімізуючи ризики технічних помилок перед фізичною реалізацією.

9. Установлено, що впровадження модуля бездротового зв'язку ESP8266 забезпечує високий рівень автономності та гнучкості системи, зокрема можливість доступу до даних через інтернет у режимі реального часу. Це є ключовим фактором для інтеграції системи в сучасні екологічні проєкти та її адаптації до різних сфер використання.

10. Розроблено структурну, функціональну та електричну схеми системи, що дозволяють адаптувати її до різних умов і потреб. Практичне застосування розробленої системи сприятиме оперативному виявленню екологічних загроз, оптимізації управління природними ресурсами та підвищенню рівня екологічної безпеки в місцевих і глобальних масштабах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тимощенко, О. В., Сорока, О. В. "Системи моніторингу навколишнього середовища на основі безпроводових технологій." Науковий вісник НТУУ "КПІ", 2020.
2. González, M. A., et al. "Remote Environmental Monitoring Using IoT and Cloud Computing." *Sensors*, vol. 20, no. 12, 2020.
3. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації : аналіт. доп. / С. Іванюта та ін. Київ : НІСД, 2020. 110 с. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf.
4. Глобальний екологічний моніторинг. Освіта.UA. URL: <https://ru.osvita.ua/vnz/reports/ecology/18982/>.
5. Теоретичні основи моніторингу довкілля : лекція. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 21 с.
6. Моніторинг довкілля : курс лекцій. Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 54 с.
7. Класифікація систем моніторингу довкілля. Івано-франківськ : Каф. хімії, 2021. 12 с. URL: <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2018/01/Lec-2M.pdf>.
8. Класифікація та принципи побудови систем моніторингу. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5706386/>.
9. Організаційна структура моніторингу. Принципи організації моніторингу (організаційні, методологічні, технічні, фінансовоекономічні). : лекція. Харків : ХНУ ім. В. Казаріна, 2024. 7 с. URL: <https://geo.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/11/ЛЕКЦІЯ-7.pdf>.
10. Путренко В. В., Назаренко С. Ю. Визначення якості повітря на основі інтелектуального аналізу даних дистанційного зондування. Математичне моделювання в економіці. №3-4. 2020. С. 176-187.
11. Parmar G., Lakhani S., Chattopadhyay M. An IoT based low cost air pollution monitoring system. *International Conference on Recent Innovations in Signal processing and Embedded Systems (RISE)*. 2021. P. 524-528.

12. Мокін В. Б., Собко Б. Ю., Дратований М. В., Крижановський Є. М., Горячев Г. В. Створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології Інтернет речей. Вісник Вінницького політехнічного інституту. № 3. 2023. С. 49-58.
13. Модуль датчика газу MQ-7. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1389-modyl-datchika-gaza-mq-7>.
14. Модуль датчика газу MQ-9. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1238-modyl-datchika-gaza-mq-9>.
15. Модуль датчика якості повітря MQ-135. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1201-modyl-datchika-kachestva-vozdyha-mq135>.
16. Датчик вологості та температури DHT11 (V2). Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod185-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht11>.
17. Arduino UNO R4 WiFi ABX00087. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod6428-arduino-uno-r4-wifi>.
18. LCD 1602 I2C символний дисплей 16x2 (синій). Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod6188-lcd-1602-i2c-simvolnii-displei-16x2-sinii>.
19. Wi-Fi модуль ESP8266 версія ESP-12S. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod2514-wi-fi-modyl-esp8266-versiya-esp-12s>.
20. What is Tinkercad?. Product Design Online. URL: <https://productdesignonline.com/tips-and-tricks/what-is-tinkercad/>.

ДОДАТОК А

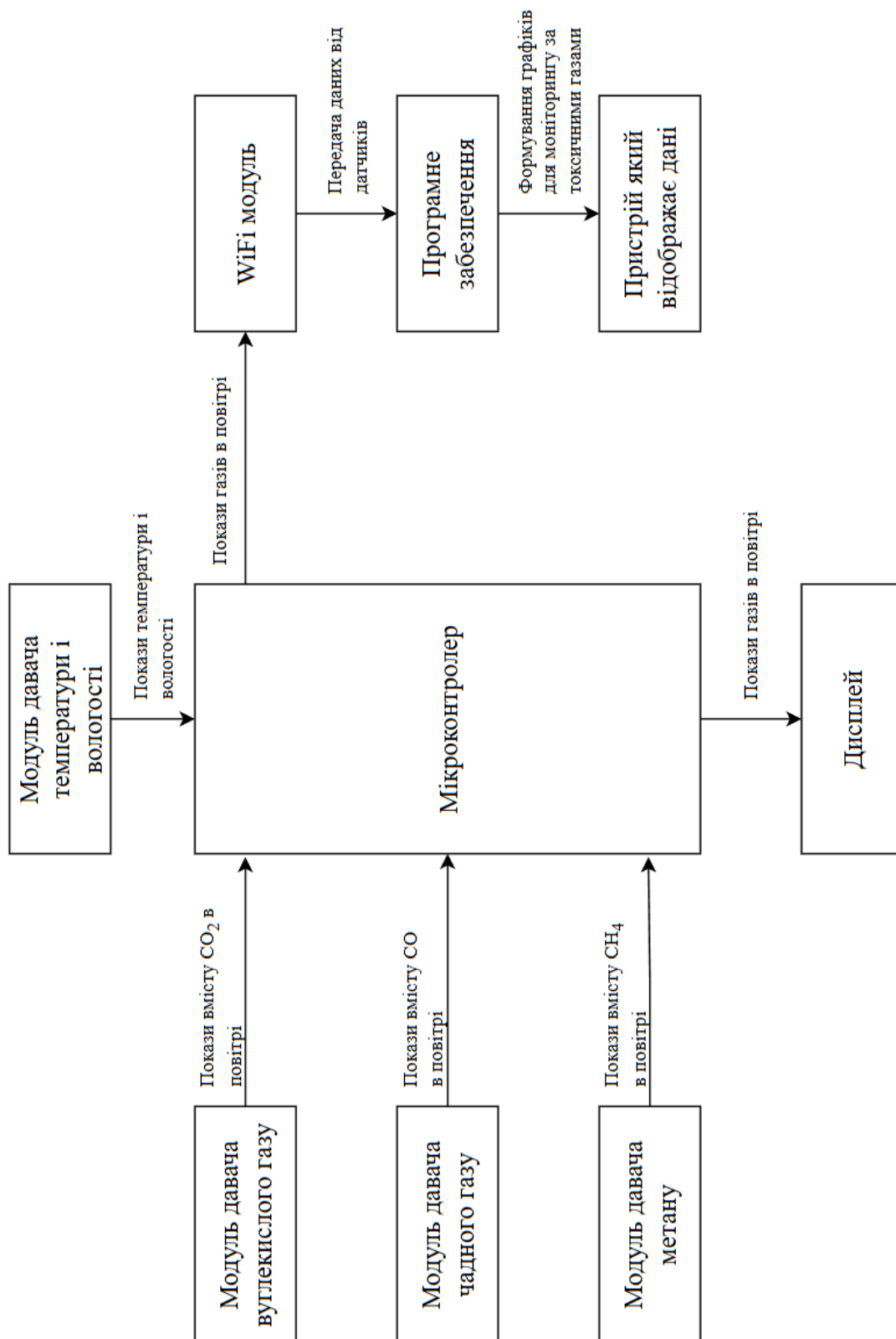


Рисунок А.1 – Функціональна схема комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища

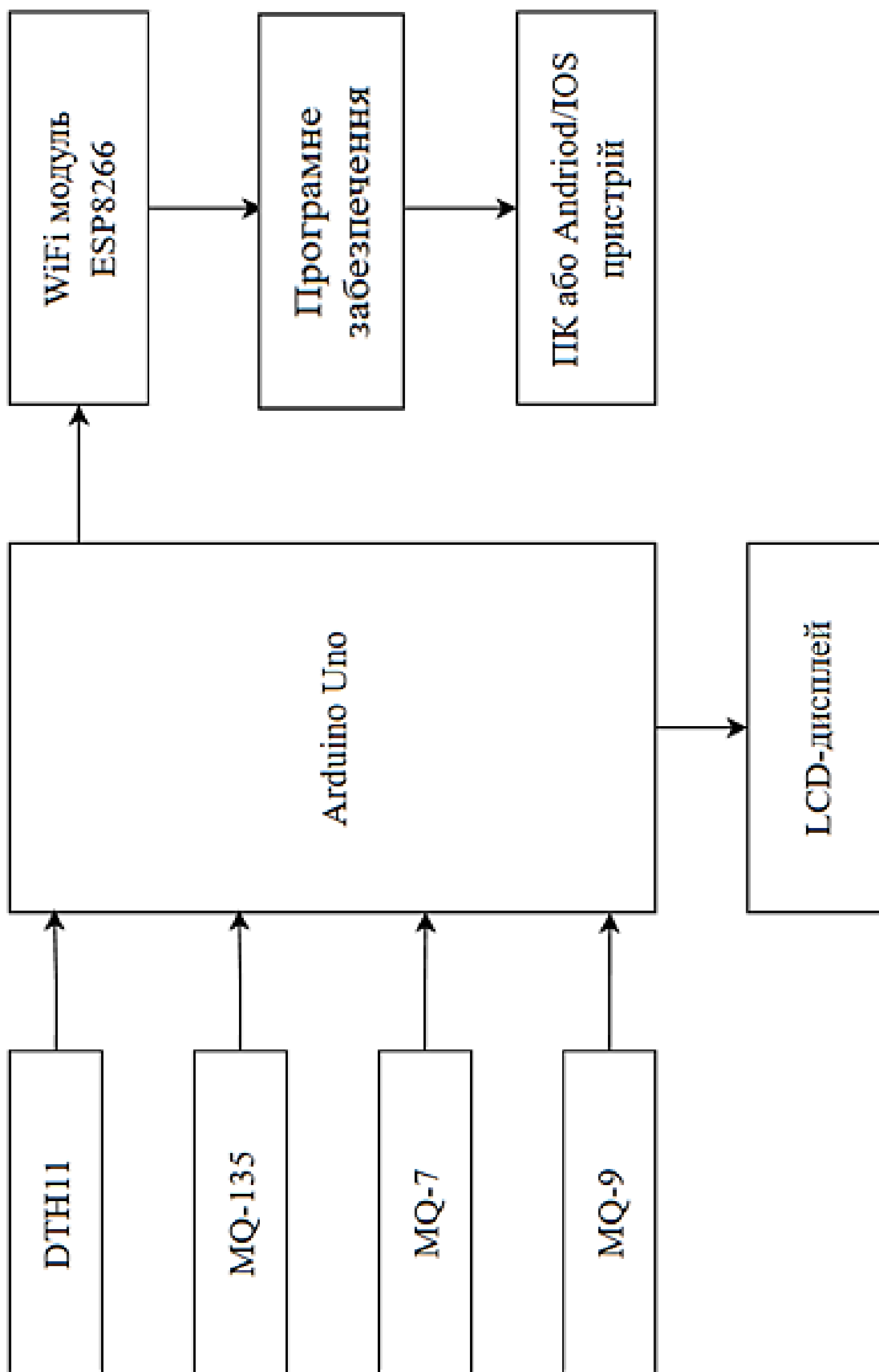


Рисунок А.2 – Структурна схема системи віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища

ДОДАТОК Б

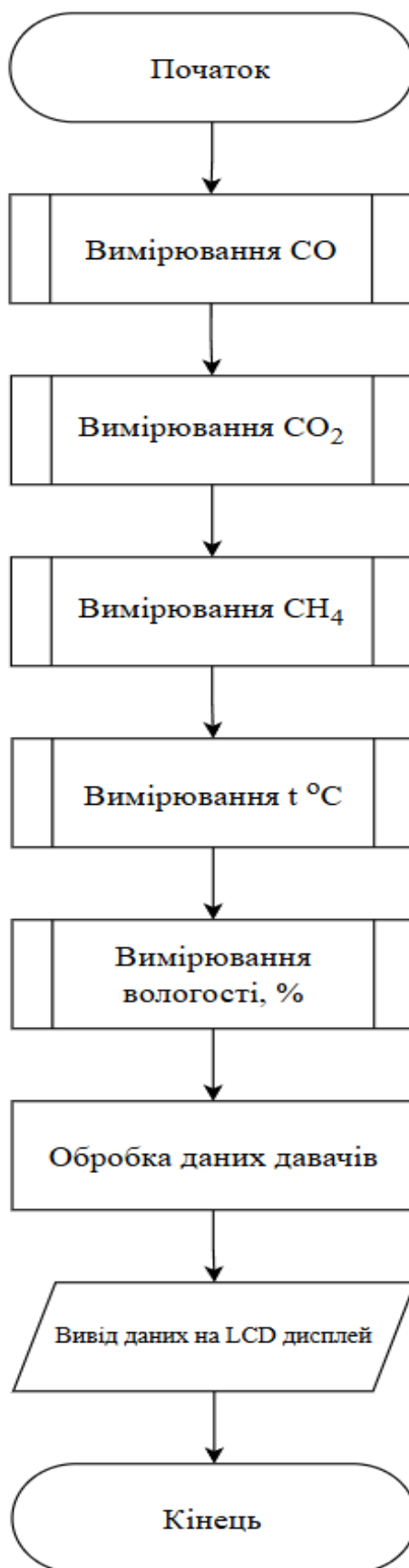


Рисунок Б.1 – Блок-схема алгоритму для виведення інформації на LCD дисплей

ДОДАТОК В

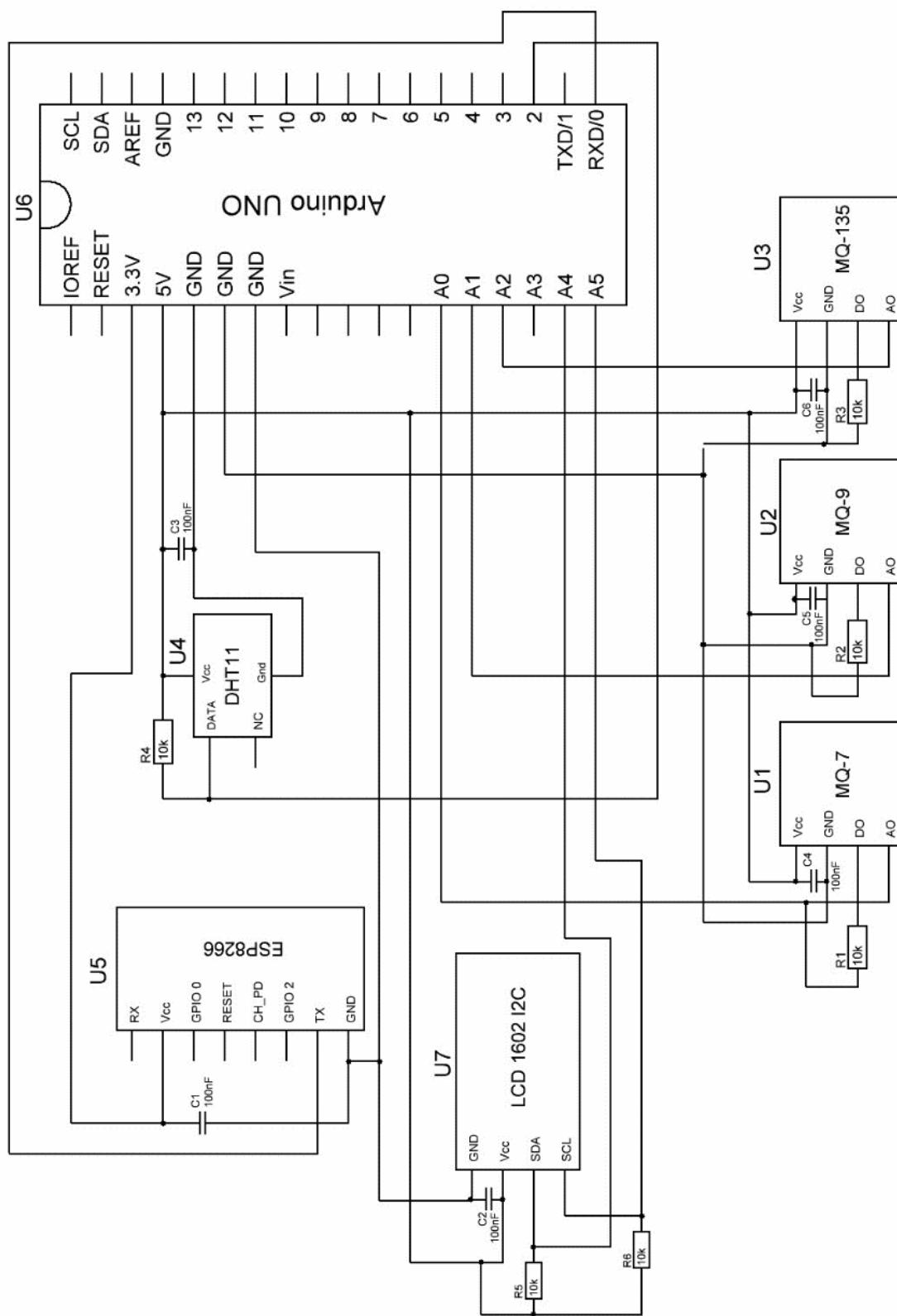


Рисунок В.1 – Електрична принципова схема приладу для моніторингу стану навколишнього середовища

ДОДАТОК Г

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2);

const int gasSensor1Pin = A0;
const int gasSensor5Pin = A1;
const int gasSensor6Pin = A2;
const int tempSensorPin = A3;

void setup() {
    // Налаштування пінів сенсорів як вхідних
    pinMode(gasSensor1Pin, INPUT);
    pinMode(gasSensor5Pin, INPUT);
    pinMode(gasSensor6Pin, INPUT);
    pinMode(tempSensorPin, INPUT);

    // Ініціалізація LCD
    lcd.init();
    lcd.backlight();

    // Вивід початкового повідомлення
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Gas & Temp Init");
    delay(5000);
    lcd.clear();
}

void loop() {
    // Зчитування даних із сенсорів
    int gas1Value = analogRead(gasSensor1Pin);
    int gas5Value = analogRead(gasSensor5Pin);
    int gas6Value = analogRead(gasSensor6Pin);

    // Зчитування температури з DHT11 (в мілівольтах)
    int tempValue = analogRead(tempSensorPin);
    float temperature = ((tempValue * 5.0 / 1023.0) - 0.5) * 100; // Переведення у градуси
    Цельсія
```



```
// Вивід усіх даних на LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("G1:");
lcd.print(gas1Value);
lcd.print(" G2:");
lcd.print(gas5Value);

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("G3:");
lcd.print(gas6Value);
lcd.print(" T:");
lcd.print(temperature);
lcd.print("C");

delay(200); // Коротка затримка для оновлення
}
```