

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
**Кафедра екології та природоохоронних технологій**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Леонід ПЛЯЦУК  
(підпис)

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**  
зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-  
професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища»  
на тему:

**ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА**  
**ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ**  
**СИСТЕМИ**

Здобувача групи ТС.м-31/2 Чугая Нікити Віталійовича

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

\_\_\_\_\_ Нікіта ЧУГАЙ  
(підпис)

Керівник – завідувач кафедри екології  
та природоохоронних технологій,  
доктор технічних наук,  
професор

\_\_\_\_\_ Леонід ПЛЯЦУК  
(підпис)

**Суми – 2024**

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Зав. кафедрою \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**  
**Чугая Нікити Віталійовича**

1. Тема проекту (роботи) Зниження техногенного навантаження на довкілля під час експлуатації газотранспортної системи.

затверджена наказом по університету від “14” жовтня 2024 р. № 1048-VI

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 13 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) газотранспортна система України, склад природного газу що транспортується, кількісний склад викідів, елементна база для аналізу та інформаційного збору матеріалу.

4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)  
схема підключення модулів до плати WeMos R1 D2; схема з’єднання елементів і модулів пристрою виявлення; діаграма варіантів використання для пристрою передачі; діаграма варіантів використання для пристрою виявлення.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд за досліджуваною проблематикою.	Вересень 2024 р.	
2	Робота над розділом «IoT технології захисту довкілля у газотранспортній галузі».	Вересень 2024 р.	
3	Опис та розрахунок LoRaWAN технологія та її використання.	Жовтень 2024 р.	
4	Удосконалена технологія та використання в газотранспортній галузі.	Листопад 2024 р.	
5	Інтенсифікація процесу попередження аварійних ситуацій.	Листопад 2024 р.	
6	Робота над розділом «Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях».	Листопад 2024 р.	
7	Робота над економічною частиною.	Грудень 2024 р.	
8	Оформлення роботи.	Грудень 2024 р.	

5. Дата видачі завдання – 14.10.2024 року.

Студент

\_\_\_\_\_

Н.В. Чугай

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

Л.Д. Пляцук

## АНОТАЦІЯ

### *Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра*

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 14 найменувань. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 65 с., у тому числі, 22 рисунки, 2 додатки.

*Мета роботи* – розробка концепції зменшення впливу на довкілля при аварійних скидах газу шляхом впровадження IoT-технологій та інноваційних підходів до моніторингу стану газотранспортних мереж.

Відповідно до поставленої мети було вирішено такі *завдання*: провести аналіз стану газотранспортної системи України та виявити основні проблеми, пов'язані з аварійними витокami газу; провести оцінку сучасних підходів до моніторингу викидів газу з використанням IoT-технологій; розробити систему IoT з декількох пристроїв, використовуючи технологію LoRa та хмарну платформу для накопичення і відображення даних в реальному часі; провести оцінку техногенного впливу на навколишнє середовище та оцінити еколого-економічний ефект від впровадження запропонованої системи.

*Об'єкт дослідження* – аварійні викиди газу під час експлуатації газотранспортної системи України.

*Предмет дослідження* – сучасні технології моніторингу стану газопроводів та газосховищ для зменшення техногенних викидів, екологічних та економічних збитків, спричинених аварійними витокami газу.

*Методи дослідження.* Методологічною основою роботи є експериментальне моделювання IoT-систем, аналіз літературних джерел, розрахунок енергоефективності та оцінка техногенного впливу на довкілля

Ключові слова: АВАРІЙНІ СКИДИ ГАЗУ, ІОТ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, LORAWAN, ГАЗОТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, АВТОНОМНІ ПРИСТРОЇ, ПЛАТФОРМА UBIDOTS.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД.....	7
1.1 Характеристика газотранспортної мережі України.....	7
1.2 Аналіз проблеми аварійних скидів газу на доквілля.....	8
1.3 Огляд сучасних технологій моніторингу та міжнародний досвід.....	11
1.4 Огляд засобів моніторингу та захисту газопроводів в Україні.....	15
1.5 Постановка задачі.....	16
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	17
2.1 Запропоноване рішення з використанням IoT .....	17
2.2 Застосування даної системи для виявлення аварійних скидів газу.....	21
2.3 Оцінка ефективності інформаційної системи .....	23
2.4 Можливість впровадження AI для аналізу зібраних даних .....	24
РОЗДІЛ 3 ВИБІР МЕТОДІВ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ.....	27
3.1 Вибір засобів апаратної реалізації .....	27
3.2 Вибір засобів програмної реалізації .....	29
3.3 Вибір середовища розробки .....	30
3.4 Використання платформи Ubidots для збору даних .....	30
РОЗДІЛ 4 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	32
4.1 Проектування інформаційної системи .....	32
4.2 Опис вхідних даних .....	34
4.3 Апаратна реалізація інформаційної системи.....	36
4.4 Програмна реалізація інформаційної системи.....	45
4.5 Аналіз роботи програми.....	53
РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ ВПЛИВ .....	56
5.1 Зниження викидів парникових газів завдяки швидкому реагуванню.....	56
5.2 Економічна ефективність використання IoT-рішень (порівняння з традиційними методами) .....	57
ВИСНОВКИ .....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	60
ДОДАТКИ.....	61
ДОДАТОК А. ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ ДЛЯ ARDUINO.....	61
ДОДАТОК Б. ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ ДЛЯ WEMOS R1 D2.....	64

Підп. і дата
Інв. Нодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподл.

<b>ТС 23510336</b>								
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	<i>Зниження техногенного навантаження на довкілля під час експлуатації газотранспортної системи</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Чугай						4	65
Перев.	Пляцук					СумДУ, ф-т ТеСЕТ		
Н.Контр	Батальцев					гр. ТС.м-31/2		
Затв.	Пляцук							

## ВСТУП

Енергетична стабільність є ключовим фактором економічного розвитку будь-якої держави. Україна, володіючи однією з найбільших газотранспортних систем у світі, забезпечує як власні потреби в енергоносіях, так і транзит природного газу до країн Європейського Союзу. Проте інфраструктура ГТС України була побудована переважно у середині ХХ століття, що призводить до високих ризиків технічних збоїв, серед яких особливо небезпечними є аварійні скиди газу.

Скиди газу, спричинені аваріями, мають значний негативний вплив на навколишнє середовище. Основний компонент природного газу — метан — є потужним парниковим газом, глобальний потенціал потепління якого у 25 разів перевищує вуглекислий газ. Крім того, витоки газу спричиняють локальне забруднення ґрунтів, водних об'єктів і атмосферного повітря. У багатьох випадках вони створюють потенційну загрозу для населення через можливість вибухів.

Актуальність теми роботи полягає у необхідності модернізації систем моніторингу ГТС України для зменшення техногенного впливу на довкілля і економічних втрат, спричинених аваріями. У цьому контексті використання Інтернету речей (ІоТ), телеметрії та дронів для автоматизованого контролю стану трубопроводів та швидкого реагування на аварії є перспективним напрямом досліджень.

**Мета роботи** – зменшення техногенного впливу на довкілля від аварійних скидів газу у газотранспортній мережі України шляхом впровадження системи ІоТ пристроїв, що дозволять швидше виявляти витоки газу в системі та оперативніше на них реагувати.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі **завдання**:

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 23510336					5

провести аналіз стану газотранспортної системи України та виявити основні проблеми, пов'язані з аварійними витокami газу; провести оцінку сучасних підходів до моніторингу викидів газу з використанням IoT-технологій, включаючи аналіз міжнародного досвіду; розробити систему IoT з декількох пристроїв, використовуючи технології LoRa та хмарну платформу для накопичення і відображення даних в реальному часі; провести розрахунки автономності пристроїв та оцінити енергоефективність розробленої системи; провести оцінку еколого-економічного ефекту від впровадження запропонованої системи; розробити рекомендації щодо можливого масштабування та впровадження IoT-рішень для моніторингу аварійних викидів газу.

**Об'єкт дослідження** – техногенне навантаження на довкілля від аварійних витоків газу в газотранспортній мережі України.

**Предмет дослідження** – сучасні технології моніторингу стану газопроводів та газосховищ, включаючи IoT-рішення для зменшення техногенного впливу на довкілля та економічних збитків, спричинених аварійними витокami газу.

**Методи дослідження.** Методологічною основою роботи є експериментальне моделювання IoT-систем, аналіз літературних джерел, розрахунок енергоефективності та оцінка техногенного впливу на довкілля.

**Наукова новизна:**

запропоновано систему IoT для моніторингу стану газотранспортних мереж, яка включає автономні модулі виявлення та передачі даних. Система забезпечує оперативне виявлення аварійних витоків метану з високою точністю.

**Практична цінність.** Результати досліджень після певного доопрацювання можуть бути впроваджені в газотранспортній галузі України для зменшення втрат природнього газу при транспортуванні, скорочення викидів парникових газів, підвищення техногенної безпеки навколишнього середовища.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						<i>ТС 23510336</i>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат			6

## РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Характеристика газотранспортної системи України

Газотранспортна система (ГТС) України є невід'ємною частиною енергетичної інфраструктури країни, яка забезпечує як внутрішнє постачання природного газу, так і його транзит до європейських країн. Система була створена в середині 20-го століття і за десятиліття розвитку стала однією з найбільших у світі за протяжністю та пропускнуою спроможністю. Сьогодні ГТС України включає понад 38 000 кілометрів трубопроводів, 72 компресорні станції та 12 підземних сховищ газу (ПСГ).

Основу ГТС складають магістральні газопроводи загальною протяжністю понад 22 000 кілометрів. Ці газопроводи мають діаметр від 500 до 1400 міліметрів і можуть працювати під тиском до 7,5 МПа. Ці параметри дозволяють транспортувати значні обсяги природного газу на великі відстані, забезпечуючи безперебійне постачання в усі регіони країни та за її межі. Решта газопроводів, які складають решту мережі, доставляють газ місцевим споживачам.

Ключовими елементами ГТС є компресорні станції, які забезпечують підтримку необхідного тиску в газопроводах. Вони оснащені найсучаснішими газоперекачувальними агрегатами, які дозволяють транспортувати газ навіть у складних географічних умовах. Підземні сховища газу є особливо важливою частиною системи, оскільки вони можуть зберігати значні обсяги енергії. Їх загальна активна ємність становить понад 30 мільярдів кубометрів, що робить їх незамінним інструментом для балансування попиту та пропозиції газу в періоди пікового споживання.

Важливою особливістю української ГТС є її стратегічне розташування. Система інтегрована в європейську мережу газопостачання, з'єднуючи родовища Сибіру та Центральної Азії з ринками Європейського Союзу. Основними

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

7



транзитними трубопроводами є Уренгой-Помари-Ужгород та «Союз», якими щорічно транспортуються мільярди кубометрів газу до таких європейських країн, як Німеччина, Польща, Угорщина та Словаччина.

Однак, незважаючи на свій масштаб і важливість, газотранспортна система України стикається з низкою проблем. Більшість трубопроводів були побудовані понад 40 років тому, і їхній технічний стан значно погіршився через тривалий термін експлуатації. Корозійні процеси, фізичний знос матеріалів та недостатній рівень автоматизації створюють значні ризики для безперебійної роботи системи. У зв'язку з цим модернізація ГТС та впровадження сучасних технологій моніторингу є одним з ключових завдань для забезпечення її надійності та ефективності.

## 1.2 Аналіз проблем аварійних скидів газу та їх впливу на екологію

Незважаючи на свою стратегічну важливість, газотранспортна система України стикається з низкою проблем, які суттєво ускладнюють її функціонування. Однією з головних проблем є фізична зношеність інфраструктури. Більшість трубопроводів, з яких складається ГТС, були побудовані понад 40 років тому, і їхній технічний стан значно погіршився через тривалий термін експлуатації. Це створює підвищені ризики аварій, витоків газу та пошкодження труб.

Іншою серйозною проблемою є корозія трубопроводів, спричинена хімічним впливом ґрунту та блукаючими електричними струмами. Для боротьби з цією проблемою застосовуються методи захисту від корозії, але не всі ділянки трубопроводів обладнані такими системами. Особливо вразливими є старі трубопроводи, які експлуатуються без достатнього захисту.

Ще одним викликом для ГТС є недостатня автоматизація. Багато ділянок системи не обладнані сучасними телеметричними системами, що ускладнює моніторинг параметрів транспортування газу та своєчасне виявлення аномалій.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Як наслідок, витіки газу можуть залишатися непоміченими протягом тривалого часу, що призводить до екологічних та економічних збитків.

Вплив надзвичайних ситуацій на навколишнє середовище також є значною проблемою. Аварійні витіки газу в газотранспортній системі є однією з найбільших екологічних проблем, оскільки вони мають масштабні та багатогранні екологічні наслідки. Такі ситуації можуть бути спричинені фізичним зносом трубопроводів, корозією, механічними пошкодженнями та технічними збоями. Наслідки таких аварій є серйозними, вони впливають на атмосферу, ґрунт, водні ресурси, здоров'я флори та фауни [1].

Основним компонентом природного газу є метан (CH<sub>4</sub>), який є потужним парниковим газом. Потенціал впливу метану на зміну клімату в 25 разів більший, ніж у вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). У разі витіку метан швидко потрапляє в атмосферу, де залишається протягом 10-20 років. Його здатність утримувати тепло в тропосфері сприяє парниковому ефекту, який призводить до глобального потепління. У контексті міжнародних зобов'язань України щодо скорочення викидів парникових газів, аварійні викиди природного газу є серйозним викликом.

Окрім глобального впливу на клімат, витіки газу спричиняють локальні екологічні проблеми. Газ, який проникає в ґрунти, змінює їхні фізичні та хімічні властивості. Ґрунт втрачає здатність утримувати вологу, що може призвести до деградації ґрунту. У сільськогосподарських районах це безпосередньо впливає на врожайність, оскільки порушується природний баланс поживних речовин у ґрунті.

Іншим критичним наслідком аварій є забруднення водних ресурсів. Газ, що просочується крізь ґрунт, може досягти водоносних горизонтів, забруднюючи ґрунтові води. Це ускладнює використання води для пиття, зрошення та інших побутових потреб. Забруднена вода може містити токсичні сполуки, які впливають на здоров'я людей і тварин. Наприклад, у районах, де

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.

ТС 23510336

Арк

9

інтенсивно використовуються газопроводи, часто трапляються випадки підвищеної концентрації вуглеводнів у воді, небезпечної для споживання.

Одним з найсерйозніших ризиків, пов'язаних з витоками газу, є можливість пожежі або вибуху. Метан є легкозаймистим газом у певних концентраціях. У разі витоку поблизу житлових або промислових об'єктів він створює ризик пожеж і вибухів, які можуть призвести до значних матеріальних збитків і загибелі людей. Наприклад, вибухи, спричинені витоками природного газу, є поширеною причиною масштабних аварій у містах.

Не менш важливими є соціально-економічні наслідки аварійних викидів газу. Витоки призводять до значних втрат енергії, які важко компенсувати, особливо враховуючи високу залежність України від імпорту газу. Витрати на ліквідацію наслідків аварій також є значними, враховуючи необхідність ремонту пошкоджених трубопроводів, відновлення екосистем та виплати компенсацій населенню.

Аварії також мають довгостроковий вплив на екосистеми. Наприклад, у випадках великих витоків спостерігається загибель рослинності, особливо якщо газ проникає в кореневу систему рослин. Це може призвести до локального вимирання певних видів рослин і тварин, що порушує екологічний баланс. Тривале накопичення газу у водних і ґрунтових екосистемах може змінити структуру біоценозів, зменшуючи їхнє біорізноманіття.

У контексті забезпечення екологічної безпеки впровадження сучасних систем моніторингу, які дозволяють вчасно виявляти витоки та реагувати на них, є критично важливим. Технології моніторингу, такі як датчики Інтернету речей та телеметричні системи, можуть значно знизити ризик аварій та мінімізувати їхній вплив на довкілля. Використання автоматизованих систем моніторингу особливо актуальне в регіонах з проляганням маршрутів магістральних трубопроводів, де навіть незначні витоки можуть спричинити значні екологічні проблеми [1].

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

10

Таким чином, аварійні витoki газу є серйозною екологічною проблемою, яка потребує комплексного підходу до її вирішення. Це включає модернізацію газотранспортної інфраструктури, впровадження сучасних технологій моніторингу, розробку ефективних заходів реагування на надзвичайні ситуації та підвищення екологічної свідомості серед газовидобувних компаній та споживачів.

### 1.3 Огляд сучасних технологій моніторингу та міжнародний досвід

Сучасні технології моніторингу газотранспортної системи розвиваються в усьому світі, адже скорочення викидів парникових газів, зокрема метану, є одним із ключових завдань для досягнення цілей сталого розвитку. Різні країни використовують інноваційні рішення для ефективного контролю витоків газу, їх швидкого виявлення та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

#### 1.3.1 Використання IoT-технологій

Одним з найбільш перспективних напрямків є впровадження Інтернету речей (IoT) для моніторингу газотранспортних систем. Технології IoT активно використовуються в Європі, США та Канаді. У Норвегії компанія Equinor розробила систему моніторингу трубопроводу з використанням IoT-датчиків, які безперервно контролюють тиск, температуру та вібрації. Ці датчики передають дані на центральний сервер через бездротові протоколи зв'язку, такі як LoRaWAN і Zigbee. Такі технології також інтегруються в системи штучного інтелекту, що дозволяє автоматично виявляти аномалії і генерувати сигнали тривоги.

У США компанія Chevron впровадила програму моніторингу викидів метану у своїх трубопроводах за допомогою автономних IoT-датчиків. Система дозволяє виявляти навіть мінімальні концентрації метану у важкодоступних

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

ТС 23510336

Арк

11

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

місцях, таких як підземні трубопроводи. Це забезпечує швидке реагування на витоки та мінімізує втрати енергії. За статистикою, впровадження цієї системи дозволило скоротити втрати енергії на 18% за два роки [2].

В Італії використання Інтернету речей у системах моніторингу дозволило скоротити витрати на обслуговування інфраструктури на 12% завдяки оптимізації планових робіт та зменшенню кількості необхідних візитів технічних бригад. Технології LoRaWAN, що використовуються для передачі даних з датчиків, забезпечили стабільний зв'язок навіть у віддалених регіонах, що було особливо важливо для південних областей країни.

### 1.3.2 Телеметрія та автоматизація

Телеметрія є важливим елементом сучасного моніторингу газотранспортної системи. У Великій Британії National Grid активно використовує телеметричні системи на своїх газорозподільчих пунктах. Ці системи дозволяють здійснювати дистанційний моніторинг роботи газопроводу та оперативно реагувати на будь-які відхилення від норми. Наприклад, у разі падіння тиску або підвищення температури система автоматично генерує сигнал тривоги, який надсилається в центр управління. Це дозволило скоротити час реагування на надзвичайні ситуації на 20% і запобігти кільком серйозним інцидентам [3].

Німеччина також зробила значний внесок у розвиток телеметрії. Open Grid Europe інтегрувала телеметричні системи з геоінформаційними технологіями, що дозволяє операторам аналізувати стан трубопроводів у режимі реального часу і визначати місце потенційних витоків з точністю до кількох метрів. Такий підхід значно скорочує час реагування на аварійні ситуації та мінімізує вплив на навколишнє середовище. Як результат, за п'ять років експлуатації кількість аварійних ситуацій скоротилася на 25% [4].

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

12

### 1.3.3 Використання дронів для моніторингу

Дрони стали незамінним інструментом для моніторингу газотранспортної системи завдяки своїй мобільності та можливості доступу до важкодоступних ділянок. У США Агентство з охорони навколишнього середовища (EPA) ініціювало проект з використання дронів для моніторингу викидів метану з газопроводів і газових родовищ. Дрони оснащені датчиками газу, тепловізорами та камерами високої роздільної здатності, що дозволяє їм ефективно виявляти витоки. Після впровадження цієї технології кількість виявлених витоків зростає на 30%, що сприяло значному зниженню ризику аварій [5].

В Австралії компанія APA Group використовує дрони для моніторингу газотранспортної системи у важкодоступних регіонах, включаючи пустелі. Ці дрони можуть працювати автономно, пролітаючи заданими маршрутами і збираючи дані про стан трубопроводів. У разі виявлення витоків система автоматично повідомляє операторів для подальших дій. Такий підхід дозволив знизити ризик аварій на 15% [6].

У Норвегії дрони використовують в інтеграції з системами IoT. Наприклад, якщо датчики Інтернету речей виявляють аномалію, дрон автоматично отримує сигнал і пролітає над відповідною ділянкою трубопроводу. Це може значно скоротити час, необхідний для виявлення місця аварії та оцінки її масштабів [7].

### 1.3.4 Інші інноваційні рішення

Нідерланди реалізували проект з використання роботизованих систем для діагностики стану трубопроводів. Ці роботи можуть переміщатися всередині труб, виконуючи перевірки на корозію, тріщини і механічні пошкодження. Вони оснащені камерами і датчиками, які передають дані в режимі реального часу, що дозволяє операторам оцінювати стан трубопроводу без необхідності його

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

					<b>ТС 23510336</b>	Арк
Вип.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.		13

демонтажу. Це дозволило скоротити кількість несподіваних відключень трубопроводів на 10% [8].

Крім того, у Швейцарії для виявлення витоків метану активно використовуються системи лазерної спектроскопії. Лазерні сканери встановлюються на транспортні засоби, які обходять ділянки газопроводів і фіксують концентрацію метану в повітрі. Це дозволяє швидко знаходити джерела, особливо в густонаселених районах. За оцінками, використання цих систем скоротило середній час виявлення витоків на 40% [9].

### 1.3.5 Катастрофи через аварійні витoki газу

Один з найвідоміших інцидентів стався в США - витік газу на об'єкті Aliso Canyon, що стало найгіршим випадком витoku газу в історії країни. Згідно з дослідженнями (Conley et al., 2016), під час цього витoku в атмосферу було викинуто 97 100 тонн метану і 7 300 тонн етану. Це стало серйозною екологічною катастрофою і підкреслило важливість впровадження сучасних технологій для моніторингу та запобігання надзвичайних ситуацій [10].

### 1.3.6 Висновки щодо міжнародного досвіду

Міжнародний досвід показує, що скорочення викидів газу та запобігання надзвичайним ситуаціям можливі завдяки впровадженню комплексних систем моніторингу, включаючи датчики IoT, телеметрію, дрони та інші інноваційні рішення. Успішні приклади таких технологій в Норвегії, США, Канаді, Німеччині та інших країнах демонструють ефективність інтеграції сучасних технологій для забезпечення сталого функціонування газотранспортних систем. Використання цих рішень в Україні дозволить значно підвищити надійність ГТС, знизити ризики аварій і мінімізувати їх вплив на навколишнє середовище. Впровадження передового досвіду з міжнародного досвіду може стати

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

14

ключовим фактором модернізації української газотранспортної системи та зменшення її впливу на довкілля.

#### 1.4 Огляд засобів моніторингу та захисту газопроводів в Україні

Сучасні технології моніторингу відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної роботи газотранспортної системи України (ГТС). Одним з найбільш поширених і ефективних рішень є впровадження телеметричних систем, що дозволяють дистанційно контролювати параметри транспортування газу. Телеметрія активно використовується в газорозподільних пунктах (ГРП) і корпусних регуляторних пунктах (ШРП), забезпечуючи автоматичний збір даних про тиск, температуру, обсяг газу, концентрацію метану та інші ключові параметри. Це дозволяє своєчасно реагувати на будь-які зміни в роботі системи, запобігати аваріям і забезпечувати надійне газопостачання.

Інтеграція телеметрії з автоматизованими системами управління (АСУ) дозволяє створювати комплексні рішення для моніторингу та управління ГТС. Наприклад, дані, що надходять від датчиків, автоматично аналізуються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке здатне виявляти відхилення від нормальних показників і генерувати тривоги. Такі системи дозволяють проводити аналіз в режимі реального часу, що особливо важливо для запобігання аварій, які можуть мати серйозні екологічні наслідки [2].

Телеметрія активно використовується для моніторингу газотранспортних мереж в Україні, зокрема в газорозподільних пунктах і кабінетних регуляторних пунктах. Однак моніторинг магістральних трубопроводів вимагає додаткових рішень, оскільки ці трубопроводи часто проходять через важкодоступні і віддалені райони, де неможливо забезпечити стабільну потужність і зв'язок для телеметричних систем [1].

Зараз в Україні телеметричні системи на магістральних трубопроводах включають датчики вимірювання тиску, температури і обсягу газу, а також

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

15



системи виявлення аномалій. Дані передаються в диспетчерську, де оператори аналізують інформацію і приймають рішення про подальші дії.

Через старіння інфраструктури, модернізація телеметричних систем має вирішальне значення. Це включає оновлення датчиків, підвищену надійність даних та інтеграцію з автоматизованими системами управління. Впровадження сучасних телеметричних рішень дозволяє знизити ризик аварій і забезпечити стабільність роботи ГТС України.

Загалом моніторинг газотранспортної системи в Україні здійснюється за допомогою телеметрії, автоматизації та інтеграції з сучасними протоколами зв'язку, що дозволяє забезпечити безпеку транспортування газу та своєчасне реагування на потенційні проблеми.

### 1.5 Постановка задачі

Метою цього дослідження є дослідження шляхів зменшення впливу аварійних викидів газу на навколишнє середовище шляхом розробки системи моніторингу та швидкого реагування. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан газотранспортної системи України та проблеми, пов'язані з аварійними викидами газу.
2. Дослідити сучасні технології моніторингу викидів газів, включаючи використання рішень IoT.
3. Розробити методологію створення системи IoT, яка включає пристрої виявлення та передачі даних, які функціонують автономно.
4. Налаштувати передачу даних на хмарну платформу і забезпечити візуалізацію отриманих параметрів.
5. Оцінити еколого-економічний вплив впровадження запропонованої системи.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Враховуючи сучасні виклики в управлінні газотранспортною системою України, одним з найбільш перспективних напрямків її модернізації є більш масове впровадження Інтернету речей (IoT). Технології IoT дозволяють створювати автоматизовані системи моніторингу, які забезпечують збір даних в режимі реального часу, обробку інформації та прийняття оперативних рішень про стан трубопроводів. Враховуючи погіршення стану газотранспортної інфраструктури, впровадження IoT має вирішальне значення для підвищення безпеки, зниження ризику аварій та зменшення їх екологічних наслідків шляхом швидкого виявлення та ліквідації.

Запропоноване рішення з використанням IoT для моніторингу стану газотранспортної системи базується на сучасних технологіях автоматизації та телеметрії. У цьому розділі детально описано методи, які використовуються для розробки та впровадження системи.

### 2.1 Запропоноване рішення з використанням IoT

Дане рішення для моніторингу стану магістральних газопроводів включає розробку двох типів пристроїв: пристрій виявлення з інтегрованим GPS-модулем, а також пристрій збору даних, оснащений сонячною панеллю та підтримкою LTE для передачі даних на хмару або центральний сервер.

Система складається з пристроїв виявлення та вузлів збору і передачі даних. Основна мета такої системи — забезпечення ефективного моніторингу стану газопроводів у реальному часі з можливістю оперативного реагування на будь-які аномалії, що можуть виникати.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

17

### 2.1.1 Пристрій виявлення

Пристрої виявлення базуються на контролері STM32 та оснащені датчиком метану типу NDIR (наприклад, MH-Z19C), а також GPS-модулем для передачі координат. Пристрої розміщуються вздовж магістральних газопроводів у ключових точках, на території газосховищ, особливо у зонах з підвищеним ризиком аварій. Основна функція пристроїв — постійний моніторинг концентрації метану та швидке виявлення можливих витоків.

- **Живлення:** Прилади використовують акумулятори ємністю LiFePO4 від 10000 мАг, що забезпечує тривалу автономну роботу навіть при низьких температурах. Завдяки низькому енергоспоживанню контролера STM32 і періодичному включенню датчика і модуля LoRa пристрої можуть працювати без обслуговування протягом декількох років.
- **Модуль GPS:** Інтеграція модуля GPS дозволяє передавати точні координати кожного пристрою, що дає можливість побудувати карту з розташуванням пристроїв і швидко визначити місце витoku в разі аварії.
- **Модуль LoRa:** використовується для передачі даних до вузлів збору інформації. LoRa дозволяє передавати дані на великі відстані при мінімальному енергоспоживанні, що забезпечує надійний зв'язок навіть у віддалених регіонах. Дальність передачі може досягати до 15 км на відкритих майданчиках. Використання більш низьких частот (наприклад, 868 МГц) дозволяє збільшити діапазон передачі при збереженні низького енергоспоживання.
- **Періодичне включення:** Для збільшення автономності пристрої працюють в режимі періодичного перемикавання, активуючи зчитування даних і передачу їх через LoRa кожні 10, 30 або 60 хвилин. Це дозволяє значно знизити енергоспоживання.

Елементи схеми:

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 23510336					
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						18

1. **Контролер STM32L0** - вибрано через його низьке енергоспоживання (до 2 мкА у режимі глибокого сну). Це забезпечує мінімальні втрати енергії під час простою.
2. **Датчик метану MH-Z19C (NDIR)** - вибрано завдяки його точності та низькому енергоспоживанню (50 мА під час активної роботи). Датчик включається лише на короткий час для зчитування, що значно знижує загальне споживання.
3. **GPS-модуль Neo-6M** - використовується для визначення точних координат пристрою. Його енергоспоживання оптимізовано за допомогою режимів сну, коли модуль активується лише під час передачі даних.
4. **LoRa-модуль RFM95W** - забезпечує передачу даних на відстань до 15 км у відкритій місцевості, при цьому споживаючи всього 120 мА під час передачі. Його дальність зв'язку і низьке енергоспоживання роблять його ідеальним для IoT-рішень, оскільки використання частоти 868 МГц дозволяє збільшити дальність передачі, зберігаючи при цьому низьке енергоспоживання.
5. **Акумулятор LiFePO4, 15 000 мАг, 3.2В** - вибрано через високу морозостійкість та стабільну напругу при компактних розмірах. Акумулятори цього типу забезпечують тривалий термін служби і мінімальну деградацію навіть у складних умовах. При необхідності об'єм акумулятора можна збільшити, але це вплине на розмір пристрою і його вартість.

#### 2.1.2 Пристрій збору даних з сонячною панеллю і підтримкою LTE

Для збору даних від пристроїв виявлення використовується пристрій збору даних, встановлений на стовпі, оснащений сонячною панеллю потужністю 30-40 Вт, контролером MPPT та підтримкою LTE для передачі даних на хмару чи сервер для подальшого аналізу.

Підп. і дата					
	Взаєм. інв. №				
Підп. і дата					
	Інв. № дубл.				
Інв. № подл.					
	Інв. №				
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	
<b>ТС 23510336</b>					Арк
					19

- **Сонячна панель:** Забезпечує автономне живлення прийомного пристрою. Використання MPPT контролера дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію навіть у складних погодних умовах.
- **LoRa та LTE-зв'язок:** Пристрій збору даних отримує інформацію від пристроїв виявлення через LoRa та передає її на центральний сервер або хмару через LTE. Це дозволяє створити мережу з вузлами, які збирають дані з великих відстаней і відправляють їх на обробку. LTE забезпечує практично необмежену дальність передачі даних, що є критичним для надійного функціонування системи у віддалених районах.
- **Передача даних і обробка:** Дані, зібрані пристроями, передаються на хмарний сервер, де можуть бути оброблені за допомогою алгоритмів штучного інтелекту для виявлення аномалій і прогнозування можливих проблем. Використання LTE забезпечує швидку і надійну передачу даних, що є критичним для своєчасного реагування на аварії.

Елементи схеми:

1. **Сонячна панель 30-40 Вт** - забезпечує живлення пристрою збору даних, заряджаючи акумулятор навіть у складних погодних умовах. Використовується разом із MPPT контролером для максимального використання сонячної енергії.
2. **MPPT контролер зарядки** - дозволяє ефективно управляти зарядом від сонячної панелі, оптимізуючи процес навіть за умов змінного освітлення.
3. **LoRa-модуль RFM95W** - забезпечує передачу даних на відстань до 15 км у відкритій місцевості, при цьому споживаючи всього 120 мА під час передачі. Його довга дальність і низьке енергоспоживання роблять його ідеальним для мережевих рішень. Використання частоти 868 МГц дозволяє збільшити дальність передачі, зберігаючи при цьому низьке енергоспоживання.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					<b>ТС 23510336</b>					
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						

4. **LTE-модем SIM7600** - забезпечує передачу даних на центральний сервер або хмару. LTE-зв'язок дозволяє створити надійну мережу передачі даних, яка покриває практично необмежені відстані..
5. **Акумулятор LiFePO4, 15 000 мАг** - забезпечує енергією пристрій збору даних, підтримуючи його роботу у разі недостатньої інсоляції або уночі.

## 2.2 Застосування даної системи для виявлення аварійних скидів газу

Запропоновані модулі можуть бути ефективно використані для моніторингу стану магістральних газопроводів та інших критичних об'єктів газотранспортної системи, таких як газосховища і компресорні станції. Розглянемо їх потенційне застосування у цих випадках.

### 2.2.1 Застосування вздовж магістральних ліній

Магістральні газопроводи є основними артеріями газотранспортної системи, які проходять на великі відстані через різні типи ландшафтів. Вони піддаються багатьом ризикам, таким як зсуви, сторонні перешкоди, механічні пошкодження або природні катаклізми. Для ефективного виявлення витоків та інших аномалій пропонується використовувати автономні пристрої виявлення, які будуть розміщені на певних відстанях уздовж газопроводів.

Особливості застосування:

1. Моніторинг в ключових точках: Пристрої виявлення рекомендується встановлювати в місцях з найбільшою ймовірністю аварій, таких як стикові з'єднання труб, зони з підвищеним ризиком корозії або механічних пошкоджень, а також поблизу місць перетину з іншими комунікаціями або транспортними шляхами. Це дозволить швидко реагувати на виток газу, знижуючи їх вплив на навколишнє середовище.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						ТС 23510336	Арк
Вип		Арк		№ докум.		Підп.		Дат		21	

2. Ефективність розміщення: Установка пристроїв виявлення може здійснюватися як на спеціально встановлених стійках, так і безпосередньо в землі. У випадку магістральних газопроводів, що проходять через відкриті ділянки (наприклад, поля або пустелі), використання стелажів є більш доцільним, оскільки забезпечує кращий прийом сигналу від модуля GPS і LoRa, а також захист пристрою від вологи і механічних пошкоджень.

3. Мережеве підключення: пристрої виявлення передаватимуть дані про концентрацію метану через модулі LoRa до вузлів збору даних, встановлених на полюсах сонячних панелей. Вузли збору даних, в свою чергу, будуть передавати інформацію на хмарний сервер через LTE. Це забезпечує практично необмежений діапазон передачі даних і можливість швидкого моніторингу в режимі реального часу.

4. Автономність і стабільність: важливим аспектом є автономність пристроїв, які повинні працювати без зовнішнього живлення протягом тривалого часу. Завдяки використанню LiFePO4 батарей низьке енергоспоживання контролера STM32 та режимам періодичного включення, пристрої можуть функціонувати протягом кількох років без необхідності заміни батарей або обслуговування.

### 2.2.2 Застосування на території газосховищ

Газові сховища є критично важливими елементами газотранспортної інфраструктури, оскільки використовуються для зберігання значних обсягів природного газу, що вимагає особливої уваги до безпеки. Витоки газу в газосховищах можуть мати катастрофічні наслідки, тому використання системи моніторингу вкрай важливо.

Особливості застосування:

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

22

1. Щільне розміщення датчика: У зоні зберігання газу датчики виявлення метану розміщуються з більшою щільністю порівняно з магістральними лініями, що дозволяє швидше виявляти будь-які витоки газу. Пристрої встановлюються в потенційних місцях витоку, таких як клапани, трубопровідні з'єднання, газові резервуари та компресорні станції.
2. Моніторинг стану атмосферного повітря: пристрої виявлення забезпечують контроль концентрації метану в атмосфері, що дозволяє своєчасно виявляти навіть незначні витоки, які можуть залишитися непоміченими традиційними методами моніторингу. Інтеграція з модулем GPS дозволяє точно визначити місце витоку, що полегшує роботу ремонтних бригад.
3. Мобільні блоки збору даних: Для забезпечення повного покриття території газосховищ можна використовувати мобільні блоки збору даних на стовпах, що дозволяє передавати їх залежно від необхідності або під час ремонтних робіт. Це забезпечує гнучкість у побудові мережі та здатність адаптувати систему до умов експлуатації.
4. Швидке реагування: Завдяки можливості передачі даних в режимі реального часу на центральний сервер через LTE, система дозволяє диспетчерам швидко реагувати на будь-які сигнали тривоги і направляти команди для усунення проблем.

### 2.3 Оцінка ефективності інформаційної системи

Запропоноване рішення реалізації інформаційної системи щодо використання автономних модулів IoT вздовж магістральних ліній та на території газосховищ є ефективними з точки зору швидкого виявлення потенційних проблем та зменшення витрат на утримання системи моніторингу. Завдяки використанню малопотужних компонентів система може працювати в автономному режимі тривалий час.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510336



Однією з головних переваг є можливість масштабування системи – нові модулі можна легко інтегрувати в існуючу інфраструктуру моніторингу, що дозволяє розширити покриття без значних вкладень.

Крім того, використання LoRa дозволяє передавати дані на великі відстані, що є критично важливим для магістральних ліній та газових сховищ, де встановлення дротового з'єднання може бути фінансово та технічно складним. Частота 868 МГц забезпечує відмінний діапазон передачі сигналу з мінімальним споживанням електроенергії. А зв'язок LTE в приймальних пристроях забезпечує передачу даних на необмежену відстань до центрального сервера або хмарного сховища. Завдяки інтеграції модулів GPS система дозволяє відстежувати місцезнаходження кожного пристрою виявлення на карті в режимі реального часу. Це дає можливість не тільки швидко виявити проблемні ділянки, але і оцінити загальний стан магістральної лінії.

Система також пропонує ефективний підхід до моніторингу завдяки використанню переривчастого режиму живлення та малопотужних компонентів, пристрої можуть працювати автономно протягом тривалого часу. Це дозволяє знизити енергоспоживання і продовжити термін служби на одному заряді батареї. Наприклад, для передачі даних щогодини пристрій виявлення здатний працювати автономно протягом декількох років, що значно знижує потребу в частому обслуговуванні.

#### 2.4 Можливість впровадження AI для аналізу зібраних даних

Ця інформаційна система також передбачає можливість впровадження аналізу даних за допомогою алгоритмів штучного інтелекту (ШІ), що значно підвищує ефективність моніторингу та управління газотранспортною системою. Використання ШІ дозволяє аналізувати великі обсяги даних в

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

24

режимі реального часу, що в свою чергу сприяє більш точному виявленню аномалій, прогнозуванню потенційних аварій і оперативному прийняттю рішень.

Після того, як дані з модулів вимірювання відправляються на хмарний сервер через LTE зв'язок, вони обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання. Ці алгоритми навчаються з історичних даних і можуть виявляти приховані патерни, які важко виявити під час традиційного моніторингу. Зокрема, ШІ здатний автоматично розпізнавати відхилення від нормальних параметрів газопроводу, що може бути показником потенційного витоку, механічних пошкоджень або іншої проблеми. Переваги використання AI в системі моніторингу:

- Автоматичне виявлення аномалій: алгоритми машинного навчання здатні виявляти аномальні зміни параметрів продуктивності трубопроводів, такі як різке збільшення або зменшення концентрації метану, зміни температури або вібрації. Це дає можливість виявити проблеми на ранніх стадіях і запобігти розвитку аварій.
- Прогнозування ризиків: ШІ може не тільки виявити існуючі проблеми, але і передбачити можливі ризики на основі аналізу тенденцій в системі. Наприклад, поступове збільшення концентрації метану на певній ділянці трубопроводу може свідчити про необхідність профілактичного обслуговування. Це дає можливість проводити регламентні роботи, що набагато дешевше і менш ризиковано в порівнянні з ліквідацією наслідків аварій.
- Швидке реагування на надзвичайні ситуації: якщо виявлено аномалію AI, система може автоматично генерувати сповіщення та надсилати повідомлення до центру керування, що значно скорочує час реагування на можливу аварію. Крім того, ШІ може запропонувати рекомендації щодо дій, які необхідно зробити для усунення проблеми.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.

ТС 23510336

- Оптимізація системи: AI дозволяє оптимізувати роботу всієї системи моніторингу, зокрема регулювати частоту зчитування даних і їх передачі в залежності від поточної ситуації. Це дозволяє додатково знизити енергоспоживання і продовжити час автономної роботи модулів.

Загалом використання штучного інтелекту в системі моніторингу газотранспортної системи значно підвищує рівень безпеки, надійності та економічної ефективності. AI забезпечує більш глибокий аналіз даних, швидку реакцію на критичні ситуації та знижує витрати на технічне обслуговування, роблячи систему більш стійкою до потенційних загроз.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 23510336					

## РОЗДІЛ 3 ВИБІР МЕТОДІВ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

### 3.1 Вибір засобів апаратної реалізації

Запропоноване рішення для моніторингу газопроводів засноване на використанні недорогих, енергоефективних і надійних компонентів. Оскільки ми орієнтуємося на пробну реалізацію з обмеженим бюджетом, деякі елементи модулів були замінені більш дешевими і доступними аналогами, що дозволяє ефективно тестувати з мінімальними витратами.

#### 3.1.1 Пристрій виявлення

Для пристрою виявлення, що відповідає за контроль рівня концентрації метану вздовж магістральних газопроводів, було обрано такі компоненти:

1. **Arduino Nano**: обрано замість контролера STM32 завдяки доступності та простоті інтеграції. Arduino Nano забезпечує достатню продуктивність для управління датчиками, а також є бюджетним рішенням для пробної реалізації.
2. **Датчик газу MQ-4**: використовується для виявлення концентрації метану в повітрі. Хоча датчик типу MQ споживає більше енергії, ніж NDIR-датчики, він є доступним варіантом для тестової реалізації.
3. **LoRa-трансивер RA-01SC**: модуль для бездротового зв'язку на основі технології LoRa, який забезпечує дальність передачі даних до 3 кілометрів із низьким енергоспоживанням. Він працює на частотах ISM-діапазону, підтримує високу чутливість приймача та відмінно підходить для IoT-рішень, де потрібна довготривала автономність. RA-01SC часто застосовується в розумних сенсорних мережах і віддалених системах моніторингу.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

27

4. **Акумулятор Li-Ion:** використовується для живлення пристрою. Для забезпечення можливості зарядки використовується плата зарядки TP4056.
5. **Плата зарядки TP4056:** забезпечує зарядку акумулятора від зовнішнього джерела, що дозволяє підтримувати роботу пристрою у разі необхідності.
6. **Twinhex 2596 і MT3608:** понижувальний конвертор і перетворювач напруги відповідно.

### 3.1.2 Пристрій збору даних

Пристрій збору даних відповідає за прийом інформації від пристроїв виявлення та передачу її на центральний сервер або хмару. Основні компоненти:

1. **WeMos D1 R2:** мікроконтролерна плата на базі ESP8266, яка підтримує Wi-Fi і сумісна з Arduino IDE. Вона забезпечує просте підключення до бездротових мереж, має цифрові та аналогові входи/виходи і широко використовується для IoT-проектів. Завдяки своїм компактним розмірам і доступності, ця плата ідеально підходить для створення розумних пристроїв.
2. **LoRa-трансивер RA-01SC:** модуль для бездротового зв'язку на основі технології LoRa, який забезпечує дальність передачі даних до 3 кілометрів із низьким енергоспоживанням. Він працює на частотах ISM-діапазону, підтримує високу чутливість приймача та відмінно підходить для IoT-рішень, де потрібна довготривала автономність. RA-01SC часто застосовується в розумних сенсорних мережах і віддалених системах моніторингу.
3. **Акумулятор Li-Ion:** акумулятор забезпечує живлення пристрою, а плата зарядки TP4056 дозволяє підтримувати його заряд у разі необхідності.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

28

Приймний пристрій не оснащений сонячною панеллю для зменшення вартості пробної реалізації.

4. **Плата зарядки TP4056:** використовується для зарядки акумулятора, що дозволяє підтримувати пристрій у робочому стані протягом тривалого часу без значних втрат автономності.

Таким чином, для пробної реалізації використані більш доступні компоненти для зменшення загальної вартості проєкту. Вибір компонентів здійснено на основі їх доступності та можливості забезпечення базової функціональності для тестування системи.

### 3.2 Вибір засобів програмної реалізації

Програмне забезпечення для проєкту створено за допомогою відкритих інструментів розробки, які підтримують платформу Arduino.

**Мова програмування** пристроїв Arduino заснована на C / C ++, а компілюється і збирається з використання бібліотеки AVR Libc і дозволяє використовувати будь-які її функції. Разом з тим вона проста в освоєнні, і на даний момент мова програмування Arduino - це, мабуть, найзручніший спосіб програмування пристроїв на мікроконтролерах. Для взаємодії з різними модулями були обрані наступні бібліотеки:

- **LoRa.h:** Забезпечує взаємодію з LoRa-модулями для передачі даних на великі відстані. Використовується для зв'язку між пристроями виявлення та передачі.
- **ESP8266WiFi.h:** Дозволяє підключати WeMos D1 R2 до Wi-Fi-мережі. Забезпечує базову функціональність бездротового зв'язку.
- **ESP8266HTTPClient.h:** Використовується для формування та відправлення HTTP-запитів на платформу Ubidots. Забезпечує передачу даних у форматі JSON.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510336

Арк

29

- **TinyGPS++:** Здійснює обробку даних, отриманих від GPS-модулів. Дозволяє визначати широту, довготу та інші параметри позиціонування.
- **SoftwareSerial.h:** Забезпечує створення додаткових послідовних портів на мікроконтролерах. Використовується для комунікації з GPS-модулем.
- **Wire.h:** Використовується для роботи з шиною I2C. Забезпечує взаємодію між мікроконтролером та периферійними модулями, якщо такі потрібні.

### 3.3 Вибір середовища розробки

Програмне забезпечення Arduino, з відкритим вихідним кодом (IDE), . Він працює для Windows, Mac OS і Linux. Arduino IDE дуже проста у використанні, з підтримкою всіх доступних різновидів плат Arduino з різними мікропроцесорами [12]. У порівнянні з більш серйозними середовищами розробки, в ньому немає дерева структури файлів проекту (складні проекти в нього не прийдуть, тому він не спітніє), відсутність рефакторингу, автоматичне завершення коду, а також швидкість компіляції коду не є його перевагою. Він також має базові бібліотеки для роботи з різними модулями, датчиками. Дуже зручною під час використання була наявність готових програм-прикладів, щоб продемонструвати роботу з певною бібліотекою [11].

### 3.4 Використання платформи Ubidots для збору даних

Ubidots - хмарна платформа, призначена для моніторингу та управління IoT-пристроями. Він дозволяє зберігати, аналізувати і візуалізувати дані, отримані з пристроїв, використовуючи зручний інтерфейс і готові віджети. Платформа підтримує передачу даних через протоколи HTTP, MQTT і UDP, що забезпечує гнучкість при підключенні різних типів пристроїв.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510336

Арк

30

Ubidots надає користувачам можливість створювати пристрої, додавати змінні та налаштовувати інформаційні панелі для зручного відображення даних у вигляді графіків, таблиць або інтерактивної карти.

Ubidots був обраний для цього проекту з наступних причин:

- **Наявність безкоштовної STEM-підписки для студентів:** Платформа надає вільний доступ до базового функціоналу в освітніх цілях, що дозволяє використовувати його без фінансових витрат.
- **Віджет «Карта»:** Ubidots підтримує інтерактивний віджет Map, який дозволяє відображати розташування пристроїв на карті. Це полегшує демонстрацію географічного розташування пристроїв виявлення витоків газу.
- **Проста демонстрація роботи платформ IoT:** проста конфігурація та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс платформи дозволяють зручно демонструвати основні принципи збору, передачі та обробки даних в рамках дисертації.

Хоча Ubidots добре підходить для демонстрації та роботи з невеликою кількістю пристроїв, він має обмеження, які роблять його непридатним для як для масштабованих проектів, так і загалом для нашого проекту:

- **Обмежена кількість пристроїв і змінних:** у безкоштовній підписці STEM кількість пристроїв і змінних обмежена, що створює труднощі при масштабуванні системи.
- **Недостатня гнучкість для великих даних:** платформа не оптимізована для роботи з великою кількістю даних або пристроїв одночасно, що важливо для комерційних або промислових проектів.

Ubidots був обраний для реалізації цього проекту як зручний інструмент для демонстрації принципу роботи системи IoT. Однак для масштабованої системи з із сотнями або тисячами пристроїв доцільніше використовувати платформи, оптимізовані для великих обсягів даних, такі як AWS IoT, Google Cloud IoT або Microsoft Azure IoT.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

31



## РОЗДІЛ 4 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 4.1 Проектування інформаційної системи

Перед розробкою будь-якої інформаційної системи необхідно її спроектувати. Проектування (на відміну від моделювання) передбачає роботу з поки неіснуючим об'єктом і направлено на створення інформаційної системи в області: обробки об'єктів майбутньої бази даних, написання програм (в тому числі - звітних і екранних форм), що забезпечують виконання запитів до даних, виконання обліку функціонування конкретної середовища (технології).

Діаграма варіантів використання в UML відображає взаємодію користувача з системою, та показує зв'язок між користувачем і різними випадками використання, в яких бере участь користувач. Вона може ідентифікувати різні типи користувачів системи (актори) та різні випадки використання, а також часто супроводжуватися іншими типами діаграм[13].

Діаграми випадків використання UML ідеально підходять для [14]:

- представлення цілей взаємодії між системою і користувачем;
- визначення та організація функціональних вимог у системі;
- вказання контексту та вимог системи;
- моделювання базового потоку подій у випадку використання;

Розглянемо модель використання даної інформаційної системи з точки зору користувача домашньої метеостанції. І відповідно до постановки задачі відобразимо усі вимоги до функціоналу на рис. 4.1 та рис. 4.2.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

32

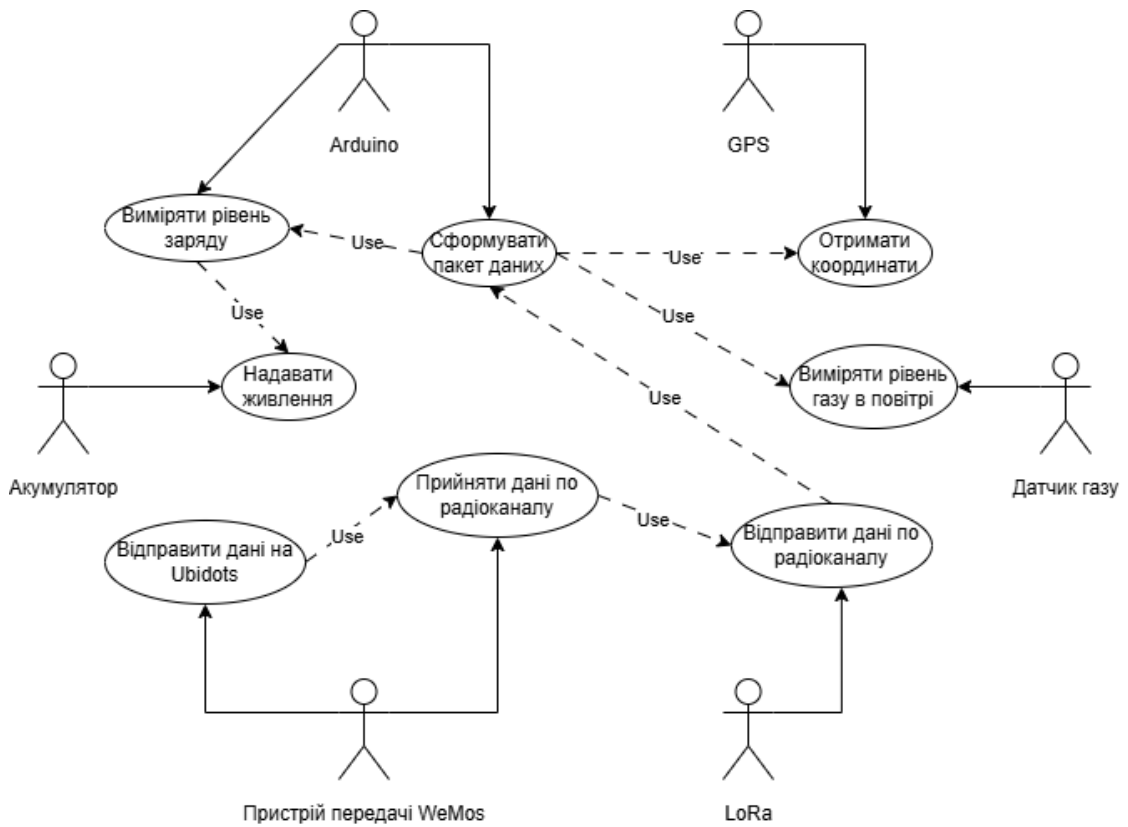


Рисунок 4.1 - Діаграма варіантів використання для пристрою виявлення

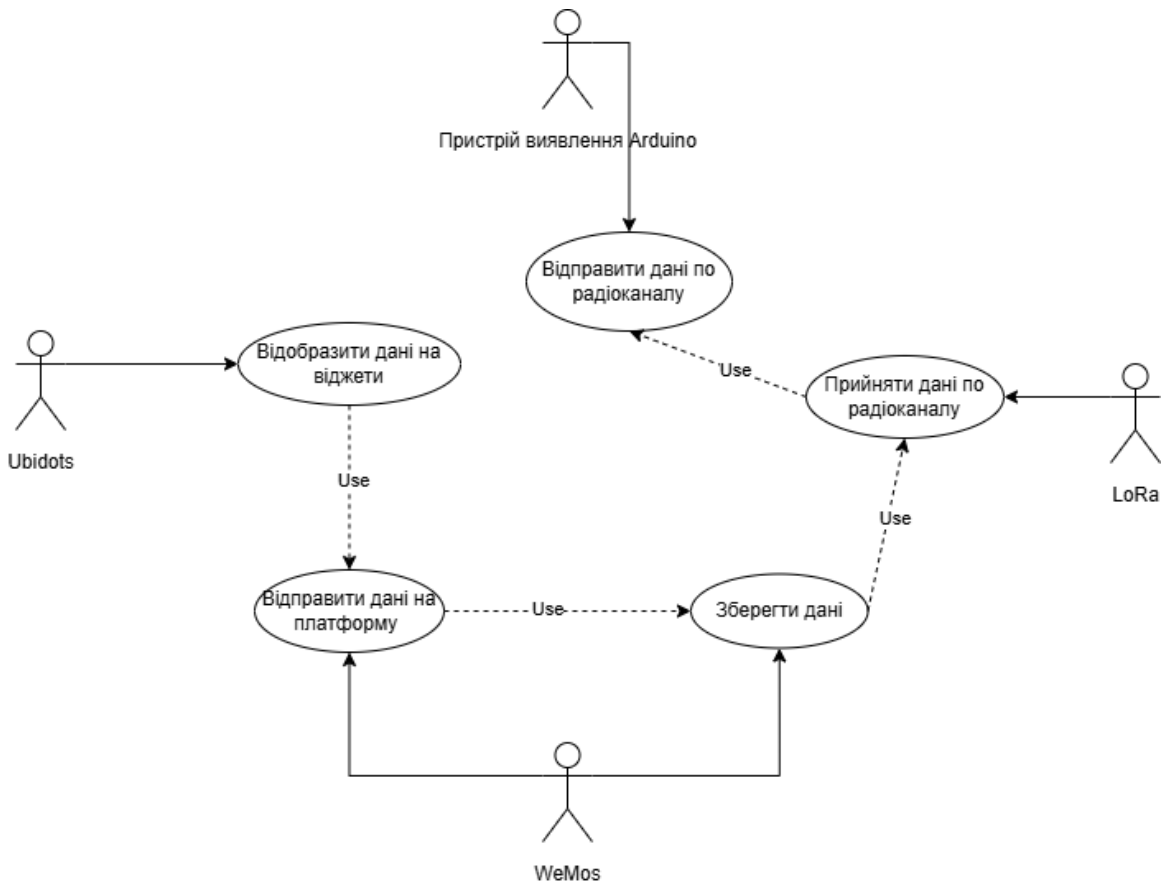


Рисунок 4.2 - Діаграма варіантів використання для пристрою передачі

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

## 4.2 Опис вхідних даних

Вхідні дані для нашої системи IoT є ключовими параметрами, які забезпечують моніторинг навколишнього середовища та роботу пристроїв. Ці дані генеруються на основі показників, отриманих від датчиків і модулів, інтегрованих в пристрій виявлення.

Основні види вхідних даних:

- Рівень концентрації газу (значення):
  - Індикатор зчитується з датчика MQ-4.
  - Відображає концентрацію метану в навколишньому середовищі в процентному або ppm форматі.
  - Використовується для визначення наявності витоків газу.
- Географічні координати (розташування):
  - Дані про широту та довготу, отримані з Neo-6M модуля GPS.
  - Визначено точне місцезнаходження пристрою виявлення, що дозволяє локалізувати джерело витoku.
- Рівень заряду батареї:
  - Дані, що показують стан акумулятора пристрою у відсотках.
  - Використовується для контролю автономності пристрою та планування заміни акумулятора або зарядки.
- Унікальний ідентифікатор пристрою (id):
  - Надається кожному пристрою виявлення для його унікальної ідентифікації в системі.

Дані передаються у форматі JSON, що забезпечує їх легке читання, обробку та сумісність із хмарними платформами. Приклад сформованого JSON-повідомлення:

```
{  
  "id": "GasDetector_01",  
  "location": {
```

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

34

```

    "lat": 50.4501,
    "long": 30.5234
  },
  "value": 0.015,
  "battery": 87
}

```

Використання даних в системі.

1. Локальна обробка: дані збираються пристроєм виявлення, обробляються контролером Arduino Nano і формуються в повідомлення для передачі через LoRa.
2. Передача даних: дані передаються пристроєм виявлення на шлюз передачі (WeMos D1 R2), який відправляє його на хмарну платформу Ubidots через Wi-Fi.
3. Зберігання та візуалізація: на платформі Ubidots дані зберігаються в базі даних і використовуються для створення графіків, карт та інших інструментів візуалізації. Це дозволяє відстежувати зміни показників в режимі реального часу.
4. Система оцінки заряду батареї: дані рівня заряду батареї дозволяють оцінити автономність пристроїв і попередити користувачів про необхідність технічного обслуговування.

Вхідні дані мають вирішальне значення для роботи системи, оскільки вона забезпечує можливість швидкого реагування на надзвичайні ситуації, такі як витік газу. Географічні координати дозволяють локалізувати проблему, а контроль заряду акумулятора забезпечує безперервну роботу пристроїв. Завдяки передачі даних у хмару система дозволяє дистанційно контролювати показники і оперативно вживати заходів щодо ліквідації аварійних ситуацій.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

35

## 4.3 Апаратна реалізація інформаційної системи

### 4.3.1 Пристрій виявлення

За основу була вибрана плата Arduino Nano (рис.4.3). Вона базується на мікроконтролері ATmega328. Arduino Nano має [19][20]:

- 32 Кб флеш-пам'яті;
- 2 Кб ОЗУ;
- EEPROM розміром 2 Кб (пам'ять в якій дані зберігаються після вимкнення пристрою);
- 14 цифрових входів\виходів;
- 6 аналогових входів;
- кварцевий генератор 16 МГц;
- порт Mini-B USB;
- ICSP (програматор);

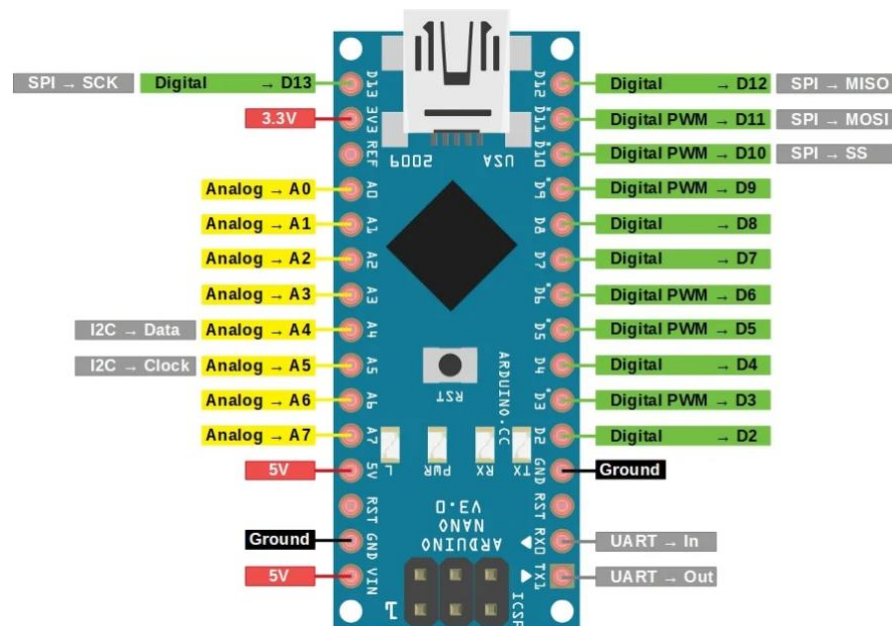


Рисунок 4.3 - Зовнішній вигляд та розміщення пінів плати Arduino Nano

Давайте розглянемо модулі, датчики які були використані в даному пристрої, а також їх з'єднання між собою.

Підп. і дата	Підп. і дата	Інв.Недубл.	Взаєм.інв.№	Інв.№	Підп. і дата	Інв.Неподл.	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 23510336	Арк
													36

1. **LoRa трансивер RA-01SC** - бездротовий модуль для передачі даних на великі відстані (до 10 км) із низьким енергоспоживанням. Підключається через SPI. Радіомодулі цієї серії побудовані за технологією LoRa (Long-range Radio), використання якої дає змогу досягти дальності радіозв'язку в 10 км на відкритому просторі за відносно невеликого енергоспоживання, а також має чудову стійкість до радіоперешкод. До модулів з таким діапазоном частот простіше підібрати або виготовити спрямовану антену. Може працювати і як приймач, і як передавач даних, з можливістю об'єднання декількох модулів у загальну мережу. Основні виводи: VCC для живлення (3.3V), GND для землі, а також MISO, MOSI, SCK для ліній SPI і NSS для вибору пристрою.

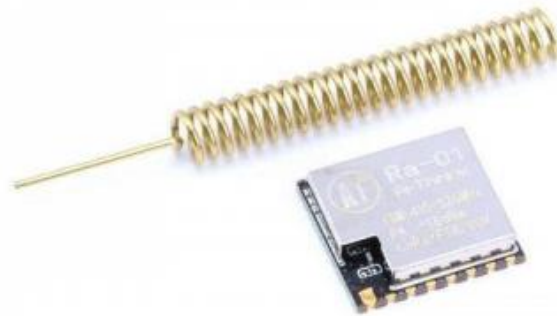


Рисунок 4.4 - LoRa трансивер RA-01SC

2. **GPS модуль NEO-6M** - модуль глобального позиціонування для визначення координат місця розташування. Підключається через UART або I2C. Основні контакти: VCC (живлення, 3.3V або 5V), GND (земля), TXD (передача даних) та RXD (прийом даних).

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	TC 23510336					Арк
										37
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	

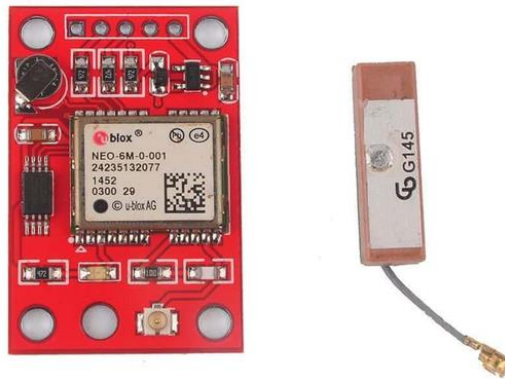


Рисунок 4.5 - модуль GPS Neo 6M

3. **Модуль датчика газу MQ-4** - газовий датчик, призначений для виявлення метану та природного газу. Має високу чутливість і швидкий відгук. Основні виводи: VCC для живлення (5V), GND для землі, DO для цифрового виходу та AO для аналогового виходу.



Рисунок 4.6 - Модуль датчика газу MQ-4

4. **Понижувальний конвертор Twinhex 2596** - це понижувальний конвертор напруги, цим модулем ви можете понизити напругу від 4.5 - 30 В до 1.2 - 30 В, якщо ваш проект споживає струм до 3А

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Недубл.	Підп. і дата	TC 23510336					Арк
										38
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						



Рисунок 4.7 - Понижувальний конвертор Twinhex 2596

5. **DC-DC Step-Up конвертор MT3608** - мініатюрний регульований підвищуючий перетворювач з вихідною напругою до 28В і максимальним струмом до 2А. Вхідна напруга завжди повинна бути нижчою від вихідної. Максимальний вихідний струм залежить від різниці вхідної та вихідної напруги. Живлення подається через контакти IN+ та IN-, а вихідна напруга регулюється потенціометром і виводиться через OUT+ та OUT-.



Рисунок 4.8 - DC-DC Step-Up конвертор MT3608

6. **Акумулятор Li-Ion** – акумуляторна батарея на основі літій-іонної технології, що забезпечує високу енергоємність і стабільну напругу. Напруга одного елемента зазвичай 3.7V, а повністю заряджений

Підп. і дата										
Інв.№дубл.										
Взаєм.інв.№										
Підп. і дата										
Інв.№подл.										
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 23510336					Арк
										39



акумулятор видає 4.2V. Має два контакти: "+" (позитивний) і "-" (негативний).



Рисунок 4.9 - Акумулятор Li-Ion

7. **Плата зарядки TP4056** - зарядний модуль для Li-Ion акумуляторів із вбудованим захистом від перезарядки та перевантаження. Основні виводи: B+ і B- для підключення акумулятора, IN+ і IN- для входу живлення (5V), OUT+ і OUT- для живлення пристрою. Комплектується micro-USB або USB-TypeC конекторами.

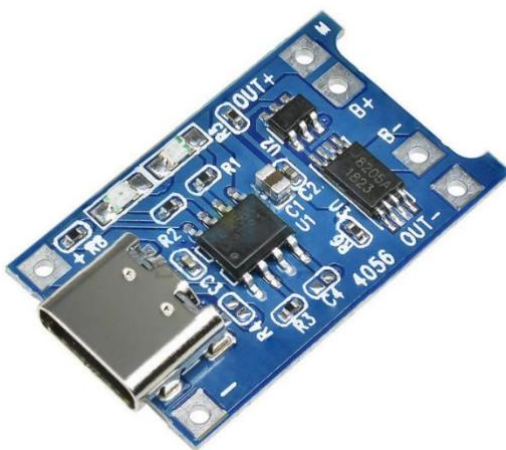


Рисунок 4.10 - Плата зарядки TP4056

8. Резистори виводні 1K 0.25Вт 1% - пасивний компонент, що забезпечує опір у 1000 Ом для обмеження струму або поділу напруги в схемах.

9. Резистори виводні 2K 0.25Вт 1% - пасивний компонент, що забезпечує опір у 2000 Ом для обмеження струму або поділу напруги в схемах.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

40

Нижче наведена схема підключення модулів до Arduino Nano з врахуванням технічних характеристик і особливостей кожного з модулів.

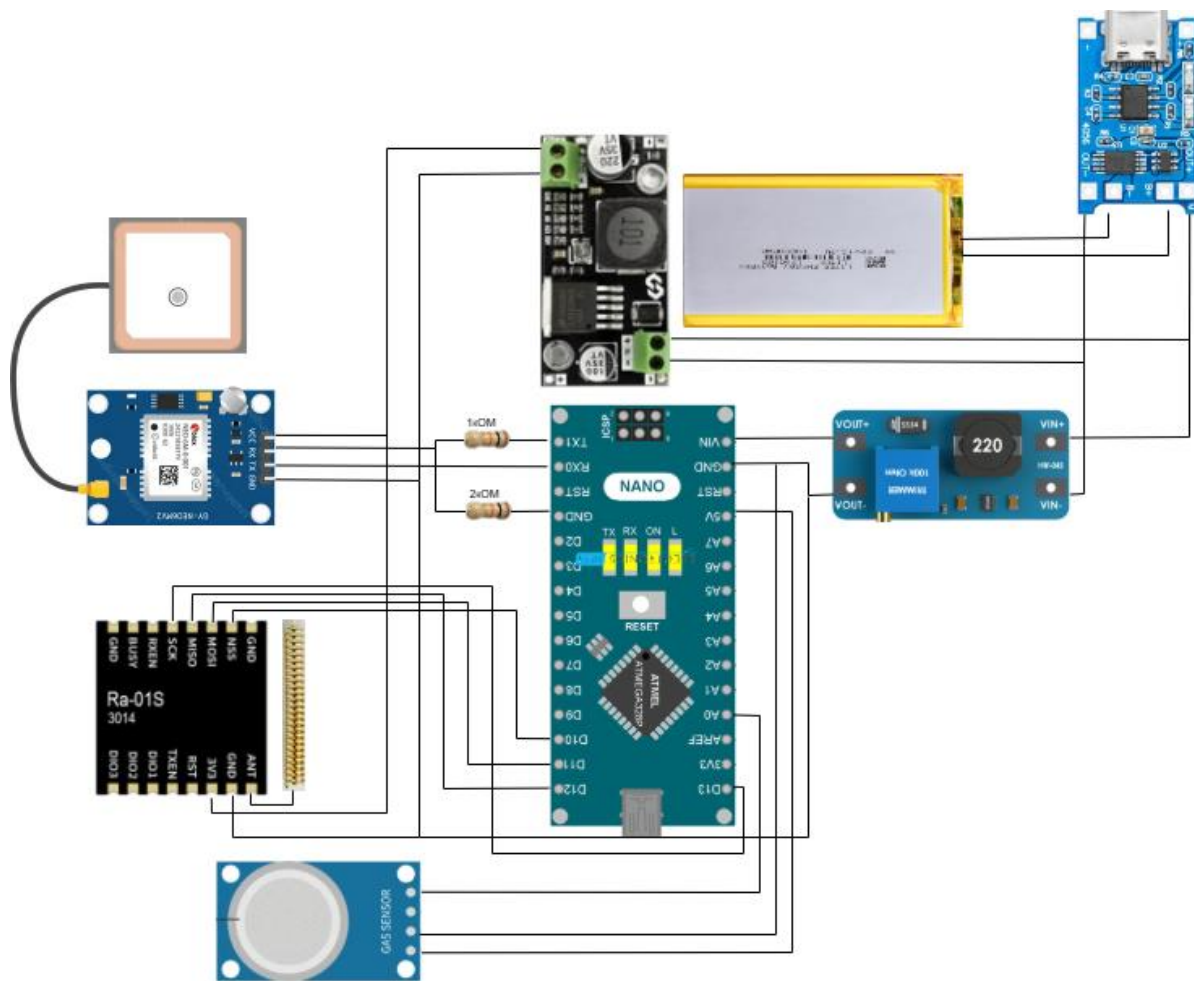


Рисунок 4.11 - Схема з'єднання елементів і модулів пристрою виявлення

### 4.3.2 Пристрій передачі

За основу була вибрана плата WeMos D1 R2 оскільки вона має вбудований WI-Fi модуль і програмується через Micro-USB в середовищі Arduino IDE. Вона базується на мікроконтролері ESP8266 та має [19][20]:

- 4 Мб флеш-пам'яті;
- 2 Кб ОЗУ;
- WI-FI модуль (2.4 ГГц, + 24dbm, 802.11 b/g/n)
- роз'єм живлення 9-24 В

Інв.Неподл.	Підп. і дата
Взаєм.інв.№	Інв.Недубл.
Підп. і дата	

- кнопку скидання
- 11 цифрових входів\виходів;
- 1 аналогових входів;
- кварцевий генератор 80/160 МГц;
- порт Mini-B USB;

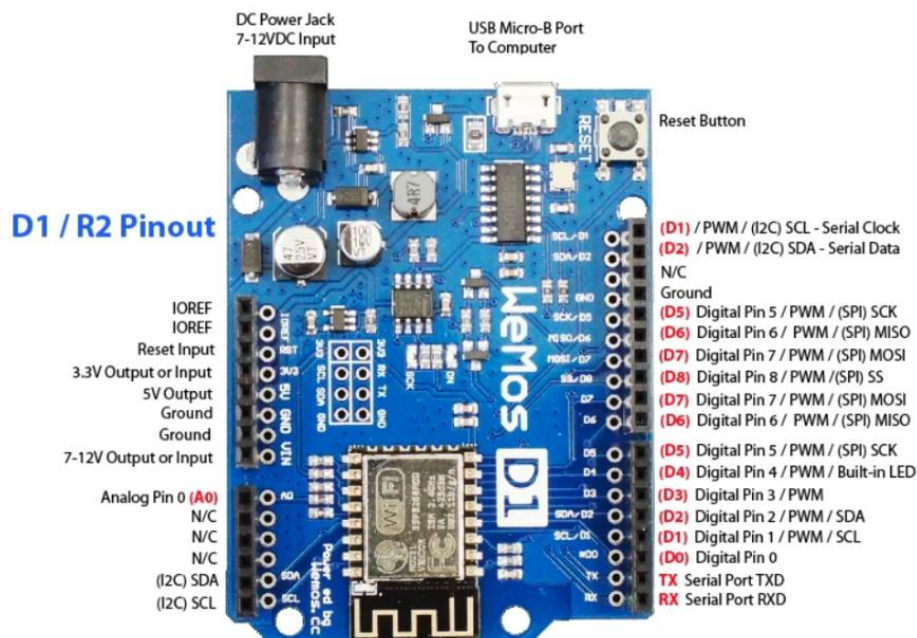


Рисунок 4.12 - Плата WeMos D1 R2

Давайте розглянемо модулі, датчики які були використані в даному пристрої, а також їх з'єднання між собою.

1. **LoRa трансивер RA-01SC** - радіомодулі цієї серії побудовані за технологією LoRa (Long-range Radio), використання якої дає змогу досягти дальності радіозв'язку в 10 км на відкритому просторі за відносно невеликого енергоспоживання, а також має чудову стійкість до радіоперешкод. До модулів з таким діапазоном частот простіше підібрати або виготовити спрямовану антену. Може працювати і як приймач, і як передавач даних, з можливістю об'єднання декількох модулів у загальну мережу.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510336

Арк

42

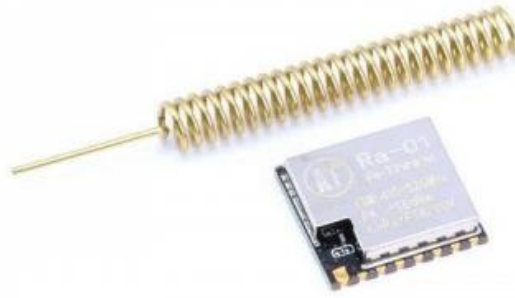


Рисунок 4.13 - LoRa трансивер RA-01SC з антеною

2. **Плата зарядки TP4056** - зарядний модуль для Li-Ion акумуляторів із вбудованим захистом від перезарядки та перевантаження. Основні виводи: B+ і B- для підключення акумулятора, IN+ і IN- для входу живлення (5V), OUT+ і OUT- для живлення пристрою. Комплектується micro-USB або USB-TypeC конекторами.

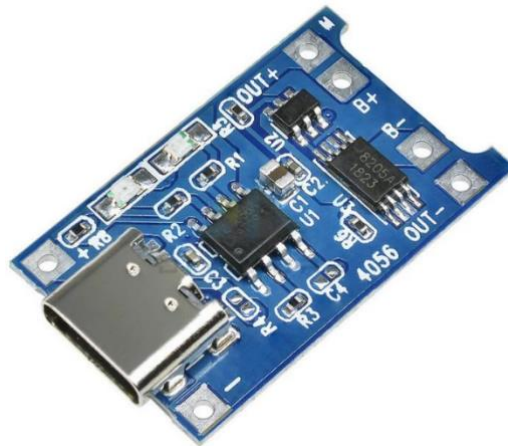


Рисунок 4.14 - Плата зарядки TP4056

3. **Акумулятор Li-Ion** - акумуляторна батарея на основі літій-іонної технології, що забезпечує високу енергоємність і стабільну напругу. Напруга одного елемента зазвичай 3.7V, а повністю заряджений акумулятор видає 4.2V. Має два контакти: "+" (позитивний) і "-" (негативний).

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 23510336

Арк

43



Рисунок 4.15 - Аккумулятор Li-Ion

Нижче наведена схема підключення модулів до плати WeMos R1 D2 з врахуванням технічних характеристик і особливостей кожного з елементів пристрою.

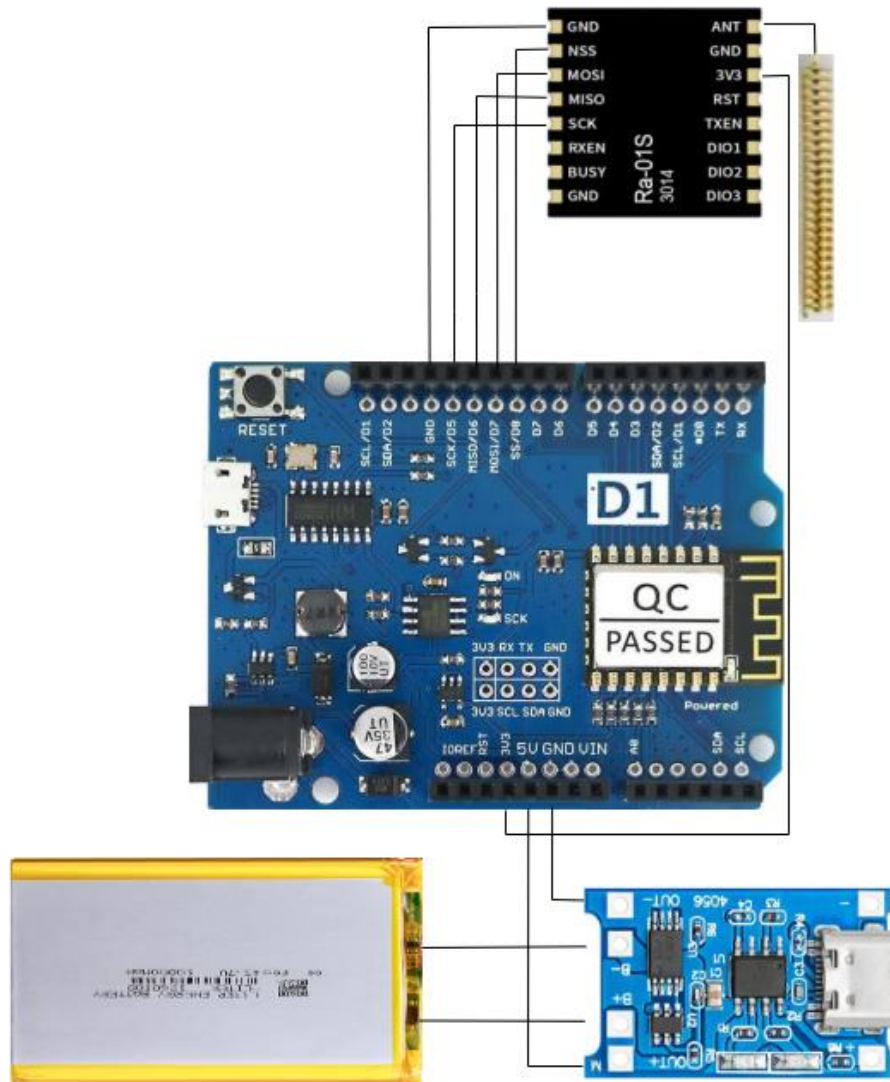


Рисунок 4.16 - Схема підключення модулів до плати WeMos R1 D2

Підп. і дата	Інв.Недубл.	Взаєм.інв.№	Підп. і дата	Інв.Неподл.
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336



## 4.4 Програмна реалізація інформаційної системи

У цьому розділі ми розглянемо основні функції кожного з пристроїв, а також розглянемо платформу Ubidots для відображення даних з IoT і її налаштування.

### 4.4.1 Налаштування платформи Ubidots

Для налаштування платформи Ubidots під мій проект були використані наступні кроки:

1. Перейти за посиланням <https://ubidots.com/stem>
2. Натиснути на кнопку «Create STEM Account»

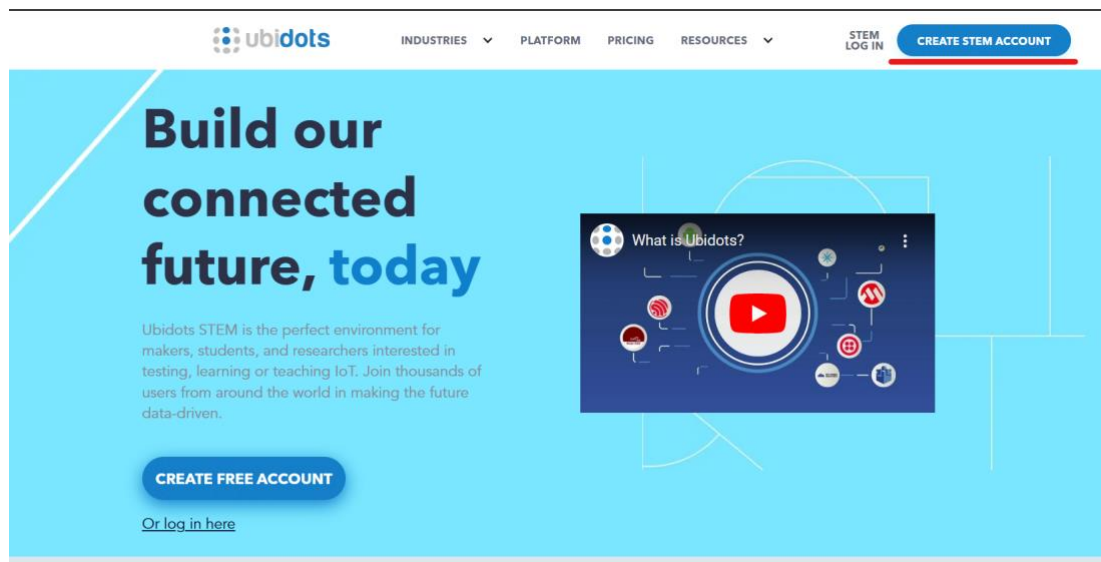


Рисунок 4.17 - Сторінка сайту Ubidots

3. Заповнити всі поля і натиснути кнопку «Sign Up»

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

45

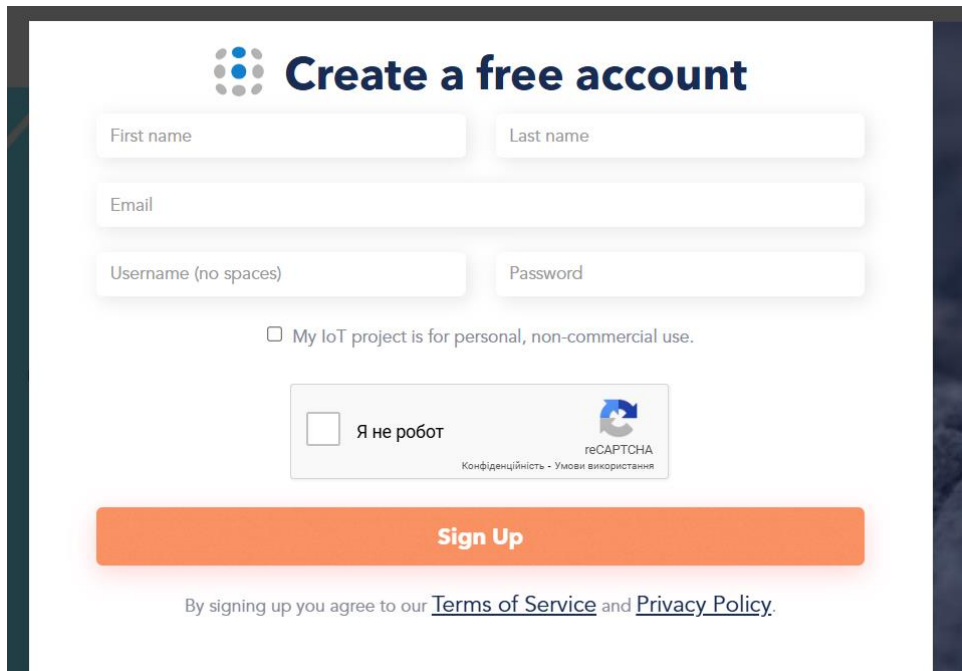


Рисунок 4.18 - Вікно створення аккаунта з безкоштовною підпискою

4. Перейти на вкладку «Devices» і створити новий пристрій без параметрів.

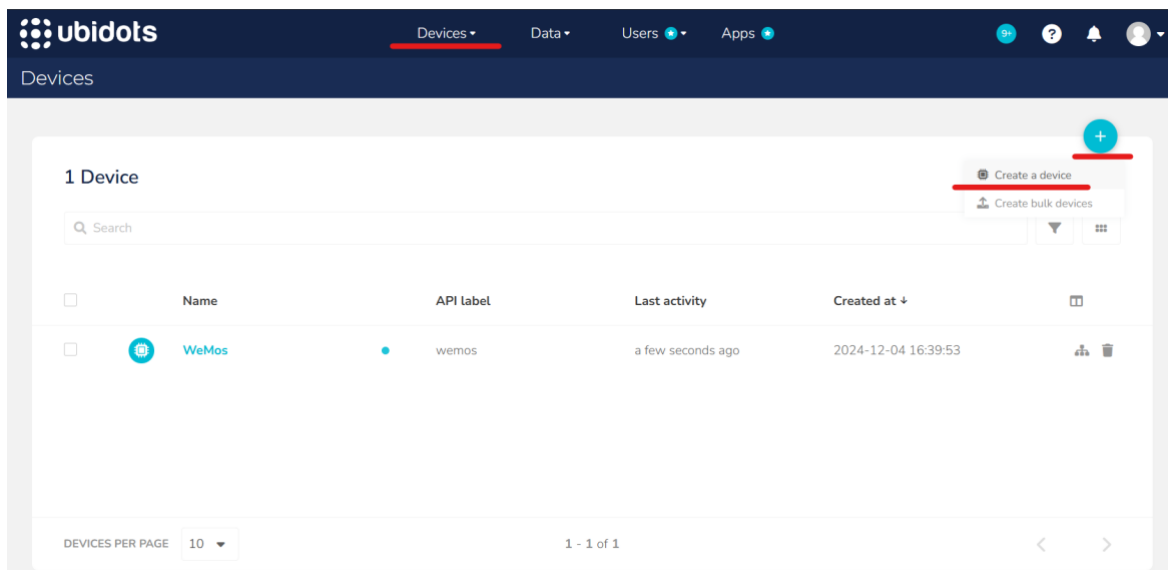


Рисунок 4.19 - Вкладка Devices

5. Натиснувши на пристрій копіюємо параметр «Token» для подальшого використання у програмі при налаштуванні підключення пристрою передачі з Ubidots.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

46

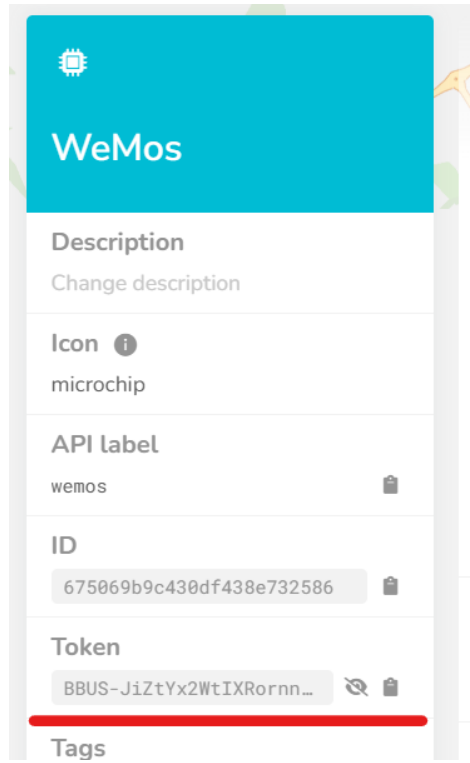


Рисунок 4.20 - Сторінка Device з відображення його параметрів

6. Після того як пристрій передачі почне передавати дані, перейти на вкладку «Data», «Dashboards» і створити новий dashboard.

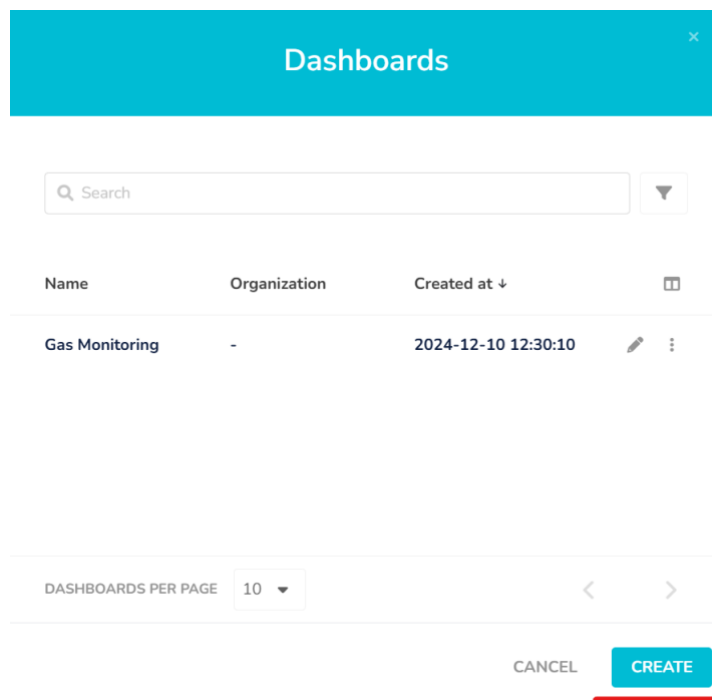


Рисунок 4.21 - Вкладка створення нового dashboard

Підп. і дата					TC 23510336	Арк 47
Взаєм.інв.№						
Підп. і дата						
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат		



7. Далі додати наступні віджети «Line chart», «Gauge widget», «Battery», «Map» для відображення даних, вказавши необхідні параметри для відображення.

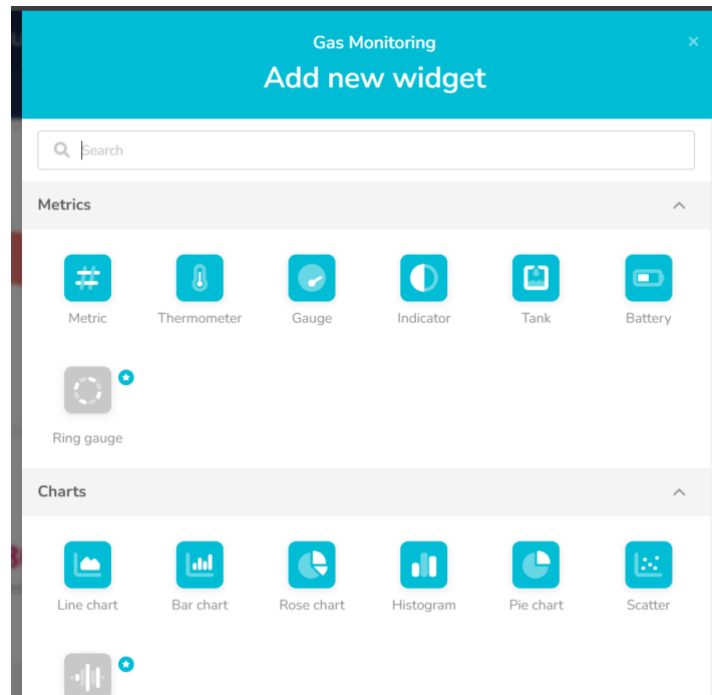


Рисунок 4.22 - Меню додавання віджетів

#### 4.4.2 Програмне забезпечення для пристрою виявлення

Програма для пристрою виявлення працює за наступним алгоритмом: пристрій вмикається раз на 20 секунд, визначає поточні координати за допомогою GPS-модуля, вимірює рівень газу за допомогою газового сенсора, оцінює рівень заряду батареї, після чого формує повідомлення у форматі JSON і передає його на пристрій передачі через LoRa.

Функція `setup()` — виконує ініціалізацію всіх модулів, включаючи LoRa-модуль для передачі даних, GPS-модуль для визначення координат та серійний зв'язок для діагностики.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    gpsSerial.begin(9600);
}
```

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Інв.№подл.	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 23510336	Арк
											48

```

LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);

if (!LoRa.begin(433E6)) {
  Serial.println("LoRa initialization failed!");
  while (1);
}

Serial.println("LoRa initialized successfully!");
}

```

Функція loop() — забезпечує виконання основного циклу програми:

- читання даних GPS: координати перевіряються на валідність, і у разі відсутності зв'язку з супутниками повертаються значення за замовчуванням (0.0).
- читання рівня газу: значення сигналу з газового сенсора вимірюється через аналоговий вхід.
- оцінка заряду батареї: напруга батареї вимірюється через аналоговий вхід, а рівень заряду обчислюється у відсотках.
- формування повідомлення: створюється JSON-рядок, який містить унікальний ідентифікатор пристрою (id), координати (location), рівень газу (value) та рівень заряду батареї (battery).
- передача повідомлення: дані відправляються через LoRa-модуль.

```

void loop() {
  // Чекаємо, поки GPS встановить зв'язок
  unsigned long startWaiting = millis();
  while (!gps.location.isValid() && millis() - startWaiting < 15000) { //
15 секунд на очікування GPS
    while (gpsSerial.available() > 0) {
      gps.encode(gpsSerial.read());
    }
    delay(100);
  }

  double latitude = gps.location.isValid() ? gps.location.lat() : 0.0;
  double longitude = gps.location.isValid() ? gps.location.lng() : 0.0;

  // Читання рівня газу
  int gasValue = analogRead(MQ4_PIN);

```

Підп. і дата	Інв.№дубл.	Взаєм.інв.№	Підп. і дата	Інв.№подл.	ТС 23510336					Арк
										49
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	

```

// Визначення рівня заряду батареї
int batteryRaw = analogRead(BATTERY_PIN);
float batteryVoltage = (batteryRaw / 1023.0) * 5.0;
int batteryLevel = map(batteryVoltage * 100, batteryMinVoltage * 100,
batteryMaxVoltage * 100, 0, 100);
if (batteryLevel < 0) batteryLevel = 0;
if (batteryLevel > 100) batteryLevel = 100;

// Формування повідомлення
String message = "{\"id\": \"" + deviceID + "\", ";
message += "\"location\": {\"lat\": " + String(latitude, 6) + ", \"long\": "
+ String(longitude, 6) + "}, ";
message += "\"value\": " + String(gasValue) + ", ";
message += "\"battery\": " + String(batteryLevel) + "}";

// Відправка через LoRa
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(message);
LoRa.endPacket();

Serial.println("Sent: " + message);

// Перехід у режим сну
enterSleepMode(20000); // Спати 20 секунд
}

```

**enterSleepMode()** — переводить пристрій у режим сну після завершення основних операцій, що забезпечує економію енергії.

```
void enterSleepMode(unsigned long sleepDuration) {
```

```

// Підготовка до сну
set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN); // Мінімальне споживання енергії
sleep_enable();

unsigned long sleepStart = millis();
while (millis() - sleepStart < sleepDuration) {
    sleep_cpu(); // Ввійти в режим сну
}

sleep_disable(); // Вихід із режиму сну
}

```

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Інв. № подл.	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	TC 23510336	Арк
											50

#### 4.4.3 Програмне забезпечення для пристрою передачі

Програма для пристрою передачі працює у безперервному режимі, забезпечуючи прийом даних від пристроїв виявлення через LoRa і подальшу передачу цих даних на платформу Ubidots через Wi-Fi.

setup() — виконує ініціалізацію Wi-Fi для підключення до мережі, LoRa-модуля для прийому даних, а також серійного зв'язку для діагностики.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);

    // Wi-Fi підключення
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nConnected to Wi-Fi!");

    // LoRa ініціалізація
    LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
    if (!LoRa.begin(433E6)) {
        Serial.println("LoRa initialization failed!");
        while (1);
    }

    Serial.println("LoRa initialized successfully!");
}
```

loop() — забезпечує виконання основного циклу програми:

- прийом даних: через LoRa-канал приймається повідомлення від пристрою виявлення.
- розпакування повідомлення: отримані дані розділяються на окремі компоненти (id, location, value, battery).
- передача даних: повідомлення у форматі JSON відправляється на платформу Ubidots через HTTP-запит.

```
void loop() {
```

Підп. і дата	Інв. № дубл.	Взаєм. інв. №	Підп. і дата	Інв. № подл.						Арк
					ТС 23510336					51
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						

```

// Прийом даних через LoRa
int packetSize = LoRa.parsePacket();
if (packetSize) {
    String receivedData = "";
    while (LoRa.available()) {
        receivedData += (char)LoRa.read();
    }

    Serial.println("Received: " + receivedData);

    // Відправка даних на Ubidots
    sendToUbidots(receivedData);
}
}

```

`sendToUbidots()` — здійснює передачу даних на платформу Ubidots через Wi-Fi. Повідомлення містить унікальний ідентифікатор пристрою (`id`), координати (`location`), рівень газу (`value`) та рівень заряду батареї (`battery`).

```

void sendToUbidots(String payload) {
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        HTTPClient http;
        String url = String(ubidotsEndpoint) + deviceName + "/";
        http.begin(client, url);

        http.addHeader("Content-Type", "application/json");
        http.addHeader("X-Auth-Token", ubidotsToken);

        Serial.println("Sending to Ubidots: " + payload);
        int httpResponseCode = http.POST(payload);

        if (httpResponseCode > 0) {
            Serial.println("Ubidots Response: " + String(httpResponseCode));
        } else {
            Serial.println("Error sending to Ubidots: " +
String(httpResponseCode));
        }
        http.end();
    } else {
        Serial.println("Wi-Fi disconnected. Reconnecting...");
        WiFi.begin(ssid, password);
    }
}

```

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

52

## 4.5 Аналіз роботи програми

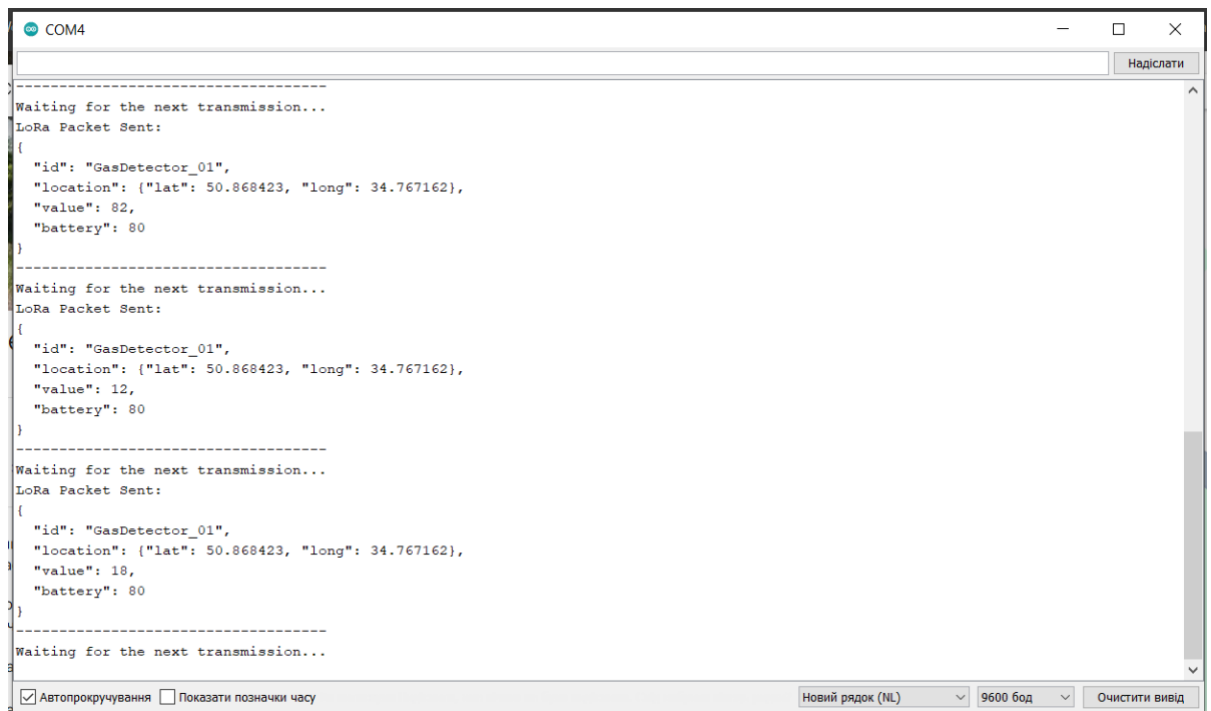
Розроблена IoT-система складається з двох пристроїв: пристрою виявлення та пристрою передачі, які спільно забезпечують збір, передачу й обробку даних. Аналіз роботи системи проведено шляхом перевірки текстових виводів пристроїв через послідовний монітор, а також візуалізації отриманих даних на платформі Ubidots.

Пристрій виявлення генерує дані та передає їх через LoRa до пристрою передачі. Його робота включає:

- формування JSON-повідомлень;
- передачу цих даних через LoRa-модуль.

Вивід послідовного монітора пристрою виявлення підтверджує коректну роботу програми, включаючи генерацію даних у правильному форматі та їх успішну передачу.

На зображенні нижче наведено приклад виводу послідовного монітора пристрою виявлення.



```
COM4
Waiting for the next transmission...
LoRa Packet Sent:
{
  "id": "GasDetector_01",
  "location": {"lat": 50.868423, "long": 34.767162},
  "value": 82,
  "battery": 80
}
Waiting for the next transmission...
LoRa Packet Sent:
{
  "id": "GasDetector_01",
  "location": {"lat": 50.868423, "long": 34.767162},
  "value": 12,
  "battery": 80
}
Waiting for the next transmission...
LoRa Packet Sent:
{
  "id": "GasDetector_01",
  "location": {"lat": 50.868423, "long": 34.767162},
  "value": 18,
  "battery": 80
}
Waiting for the next transmission...
```

Рисунок 4.23 - Вивід послідовного монітору пристрою виявлення

Підп. і дата	
Інв.Недубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.Неподл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

Пристрій передачі приймає дані через LoRa від пристрою виявлення, розпаковує їх, а потім відправляє на платформу Ubidots через Wi-Fi. Робота пристрою включає:

- Прийом JSON-повідомлень через LoRa-модуль.
- Передачу отриманих даних через HTTP-запит.
- Вивід діагностичної інформації в послідовний монітор, включаючи:
  - JSON-повідомлення, отримане через LoRa.
  - Стан підключення до Wi-Fi.
  - Коды HTTP-відповідей від платформи Ubidots.

На зображенні нижче наведено приклад виводу послідовного монітора пристрою передачі.

```

COM4
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":98,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":34,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":23,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":89,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":33,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":16,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":10,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":30,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":11,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":83,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":46,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":24,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":73,"battery":80}
Ubidots Response: 200
Sending data: {"id":"GasDetector_01","location":{"lat":50.86842346,"lng":34.76716232},"value":79,"battery":80}
Ubidots Response: 200
    
```

Рисунок 4.24 - Вивід послідовного монітору пристрою передачі

Для демонстрації принципу роботи системи було налаштовано Dashboard на платформі Ubidots. На ньому відображаються такі елементи:

- Карта: Відображає географічне розташування пристрою виявлення.
- Графік рівня газу: Демонструє зміни концентрації газу в реальному часі.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

- Індикатор заряду батареї: Показує залишковий рівень заряду пристрою.

На зображенні нижче наведено приклад Dashboard із отриманими даними.

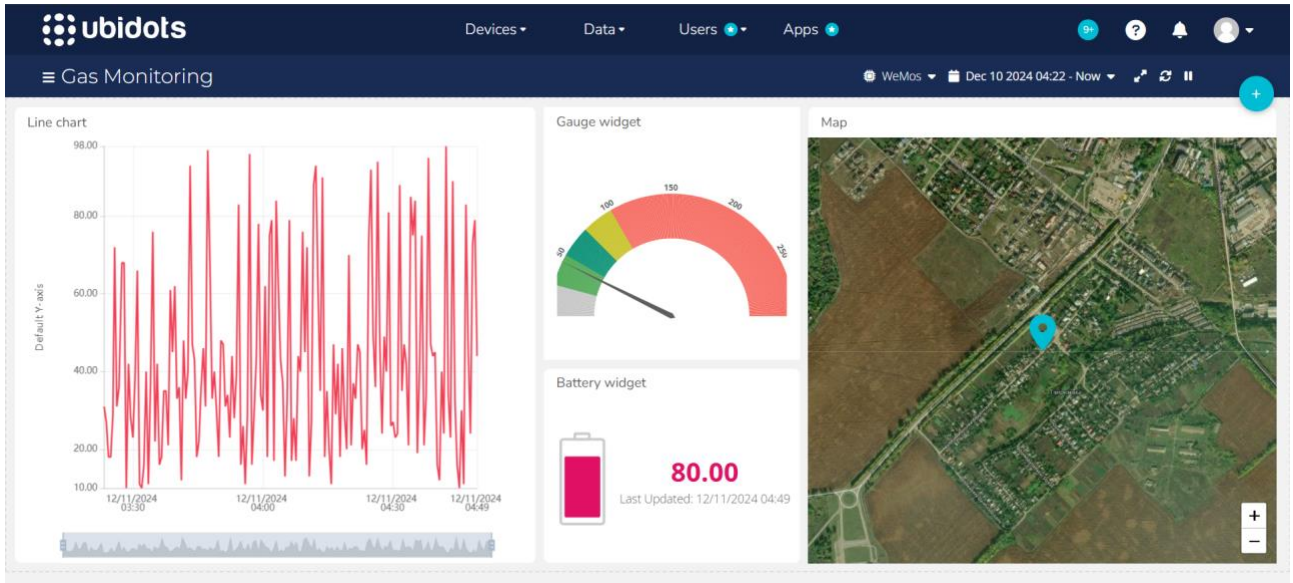


Рисунок 4.25 - Dashboard з віджетами відображення даних

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 23510336					



## РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ ВПЛИВ

Екологічний та економічний вплив запропонованої IoT-системи оцінюється з урахуванням її потенційної ефективності у вирішенні проблем, пов'язаних із аварійними викидами газу. У ході практичної реалізації була продемонстрована базова працездатність системи, яка показує перспективність теоретичних рішень, але вимагає подальших досліджень для їх масштабування та впровадження в реальних умовах.

### 5.1 Зниження викидів парникових газів завдяки швидкому реагуванню

Метан є одним з найпотужніших парникових газів, який значно впливає на глобальне потепління. Завдяки використанню запропонованої системи IoT досягається швидке виявлення витоків газу, що дозволяє скоротити час відгуку і, відповідно, мінімізувати екологічні наслідки.

Практична реалізація підтверджує здатність системи фіксувати такі основні параметри, як рівень концентрації метану, координати витоків і рівень заряду приладів. Однак, щоб повністю вплинути на зниження викидів, система повинна бути реалізована у великих масштабах з більш точними датчиками та розширеною функціональністю.

На теоретичному рівні запропонована система демонструє великий потенціал для поліпшення екологічної ситуації. Він може бути використаний для зменшення глобальних викидів метану, особливо в регіонах з підвищеним ризиком витоків, таких як магістральні газопроводи.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

56

## 5.2 Економічна ефективність використання IoT-рішень (порівняння з традиційними методами)

Запропонована система IoT знижує витрати на утримання газотранспортної інфраструктури за рахунок автоматизації процесів моніторингу. У порівнянні з традиційними методами, які вимагають ручного контролю, пристрої IoT забезпечують більш швидке реагування на надзвичайні ситуації.

Економічні переваги системи:

- Зменшення втрат газу: за рахунок своєчасного виявлення витоків скорочуються прямі втрати газу, що економить фінансові ресурси компаній.
- Зниження витрат на технічне обслуговування: автономні пристрої виявлення вимагають менше людських ресурсів для моніторингу газопроводів.
- Масштабованість: Хоча практична реалізація системи є базовою, її теоретична модель може бути адаптована для великих інфраструктур з мінімальними додатковими витратами.

На практиці запропонована система надає лише базові функції, але її вдосконалення дозволяє значно підвищити економічну ефективність. Зокрема, використання більш точних датчиків і поліпшеного програмного забезпечення сприятиме кращому аналізу даних і поліпшенню точності прогнозування аварій.

Результати теоретичного аналізу показують, що запропонована система IoT має великий потенціал для зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення економічної ефективності. При цьому практична реалізація показує основні показники, які можуть служити основою для подальшого розвитку. Для досягнення повної ефективності необхідно продовжити дослідження, спрямовані на розширення функціональності системи та її адаптацію до промислових масштабів.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

57

## ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи було досягнуто головної мети — розроблено IoT-систему для виявлення та моніторингу аварійних викидів газу. Система включає автономні пристрої виявлення та шлюз передачі даних, що функціонують на базі сучасних апаратних і програмних рішень.

В першій частині роботи було проведено аналіз сучасного стану газотранспортної системи України. Виявлено основні проблеми, пов'язані з аварійними витокami газу, їх вплив на екологію та економіку. На основі аналізу сформульовано необхідність впровадження нових технологій моніторингу, які дозволяють оперативно реагувати на подібні ситуації.

На другому етапі дослідження були розглянуті сучасні технології моніторингу газових викидів. Особлива увага приділялася використанню IoT-рішень, які забезпечують автоматизований збір, передачу та аналіз даних. Проведено огляд міжнародного досвіду та технологій, які застосовуються в Україні, що дозволило визначити ключові вимоги до розроблюваної системи.

Практична частина роботи включала створення прототипу IoT-системи. Основними компонентами системи стали:

- Пристрій виявлення, що складається з датчика газу, GPS-модуля, LoRa-модуля та контролера Arduino Nano. Цей пристрій забезпечує збір даних про концентрацію газу, географічне розташування та рівень заряду батареї.
- Пристрій передачі, реалізований на базі WeMos D1 R2. Він отримує дані через LoRa, обробляє їх та передає на хмарну платформу Ubidots через Wi-Fi.

Для передачі даних використовувалася хмарна платформа Ubidots, яка дозволила не лише зберігати дані, а й візуалізувати їх у вигляді графіків та карт.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

58

Налаштована система демонструє принцип роботи IoT-рішень у контексті моніторингу аварійних витоків газу.

Результати роботи показали:

1. Система здатна здійснювати базовий моніторинг викидів газу та їх локалізацію.
2. Теоретичний аналіз свідчить про значний екологічний та економічний потенціал впровадження таких рішень у реальних умовах.
3. Практична реалізація підтвердила працездатність системи в умовах обмежених ресурсів.

Незважаючи на досягнуті результати, система має певні обмеження, зокрема:

- Високу залежність від точності сенсорів.
- Необхідність додаткового тестування для забезпечення надійності в умовах реального використання.
- Потребу в масштабуванні для впровадження в промислових масштабах.

У перспективі розроблена IoT-система може бути вдосконалена шляхом інтеграції більш точних сенсорів, оптимізації програмного забезпечення та адаптації до промислових потреб. Крім того, подальше дослідження можливостей використання альтернативних хмарних платформ дозволить забезпечити більшу масштабованість і стабільність системи.

Загалом, результати цієї роботи підтверджують ефективність використання IoT-рішень для вирішення екологічних проблем, пов'язаних із аварійними витокami газу, та слугують основою для подальших досліджень у цій галузі.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

59

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ободьянська О. І., Коваль О. І. Заходи захисту підземних газопроводів від корозії // Вінницький національний технічний університет. УДК 622.692.4.
2. Chevron Corporation. (2020). Methane emissions reduction report.
3. National Grid. (2019). Telemetry systems for gas distribution networks.
4. Open Grid Europe. (2021). Integration of telemetry and geoinformation technologies in pipeline monitoring.
5. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Drone monitoring for methane emissions.
6. APA Group. (2018). Autonomous drone operations for pipeline monitoring.
7. Equinor. (2019). Integration of IoT and drone technologies for pipeline monitoring.
8. Dutch Robotics Project. (2020). Robotic systems for pipeline diagnostics.
9. Swiss Gas Association. (2019). Laser spectroscopy for methane leak detection.
10. Conley, S., Franco, G., Faloon, I., Blake, D. R., Peischl, J., & Ryerson, T. B. (2016). Methane emissions from the 2015 Aliso Canyon blowout in Los Angeles, CA. *Science*, 351(6279), 1317-1320.
11. Arduino – Software [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/main/software>
- 12 Meet Android Studio [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://developer.android.com/studio/intro>
13. Use Case Diagram [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Use\\_case\\_diagram](https://en.wikipedia.org/wiki/Use_case_diagram)
14. UML Use Case Diagram [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.lucidchart.com/pages/uml-use-casediagram>

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						<i>ТС 23510336</i>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат			60

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А. ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ ДЛЯ ARDUINO

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <avr/sleep.h> // Для сну
#include <SoftwareSerial.h>

// LoRa параметри
#define LORA_SS 10
#define LORA_RST 9
#define LORA_DIO0 2

// GPS модуль
#define GPS_RX_PIN 4
#define GPS_TX_PIN 3
TinyGPSPlus gps;
SoftwareSerial gpsSerial(GPS_RX_PIN, GPS_TX_PIN);

// Датчик метану
#define MQ4_PIN A0

// Вхід для вимірювання напруги акумулятора
#define BATTERY_PIN A1

// Постійні параметри
float batteryMaxVoltage = 4.2; // Максимальна напруга батареї
float batteryMinVoltage = 3.0; // Мінімальна напруга батареї
String deviceID = "GasDetector_01";

void setup() {
    Serial.begin(9600);
```

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

61

```

gpsSerial.begin(9600);

LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);

if (!LoRa.begin(433E6)) {
  Serial.println("LoRa initialization failed!");
  while (1);
}

Serial.println("LoRa initialized successfully!");
}

void loop() {
  // Чекаємо, поки GPS встановить зв'язок
  unsigned long startWaiting = millis();
  while (!gps.location.isValid() && millis() - startWaiting < 15000) { // 15 секунд на
очікування GPS
    while (gpsSerial.available() > 0) {
      gps.encode(gpsSerial.read());
    }
    delay(100);
  }

  double latitude = gps.location.isValid() ? gps.location.lat() : 0.0;
  double longitude = gps.location.isValid() ? gps.location.lng() : 0.0;

  // Читання рівня газу
  int gasValue = analogRead(MQ4_PIN);

  // Визначення рівня заряду батареї
  int batteryRaw = analogRead(BATTERY_PIN);
  float batteryVoltage = (batteryRaw / 1023.0) * 5.0;
  int batteryLevel = map(batteryVoltage * 100, batteryMinVoltage * 100,
batteryMaxVoltage * 100, 0, 100);
  if (batteryLevel < 0) batteryLevel = 0;

```

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336

Арк

62

```

if (batteryLevel > 100) batteryLevel = 100;

// Формування повідомлення
String message = "{\"id\": \"" + deviceID + "\",";
message += "\"location\": {\"lat\": " + String(latitude, 6) + ", \"long\": " +
String(longitude, 6) + "},";
message += "\"value\": " + String(gasValue) + ",";
message += "\"battery\": " + String(batteryLevel) + "}";

// Відправка через LoRa
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(message);
LoRa.endPacket();

Serial.println("Sent: " + message);

// Перехід у режим сну
enterSleepMode(20000); // Спати 20 секунд
}

void enterSleepMode(unsigned long sleepDuration) {
// Підготовка до сну
set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN); // Мінімальне споживання енергії
sleep_enable();

unsigned long sleepStart = millis();
while (millis() - sleepStart < sleepDuration) {
sleep_cpu(); // Увійти в режим сну
}

sleep_disable(); // Вихід із режиму сну
}

```

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 23510336



## ДОДАТОК Б. ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ ДЛЯ WEMOS R1 D2

```

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <LoRa.h>

// Wi-Fi параметри
const char* ssid = "POCO X3 NFC";
const char* password = "1111111";

// Ubidots параметри
const char* ubidotsToken = "BBUS-JiZtYx2WtIXRornnc96hv4ghnDPBxf";
const char* ubidotsEndpoint = "http://industrial.api.ubidots.com/api/v1.6/devices/";
String deviceName = "wemos_Receiver";

// LoRa параметри
#define LORA_SS D2
#define LORA_RST D1
#define LORA_DIO0 D0

WiFiClient client;

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    // Wi-Fi підключення
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nConnected to Wi-Fi!");

    // LoRa ініціалізація
    LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
    if (!LoRa.begin(433E6)) {
        Serial.println("LoRa initialization failed!");
        while (1);
    }

    Serial.println("LoRa initialized successfully!");
}

void loop() {
    // Прийом даних через LoRa
    int packetSize = LoRa.parsePacket();
    if (packetSize) {
        String receivedData = "";
        while (LoRa.available()) {
            receivedData += (char)LoRa.read();
        }

        Serial.println("Received: " + receivedData);

        // Відправка даних на Ubidots
        sendToUbidots(receivedData);
    }
}

```

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	<h1 style="margin: 0;">ТС 23510336</h1>	Арк 64
-----	-----	----------	-------	-----	---	-----------

```

void sendToUbidots(String payload) {
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    HTTPClient http;
    String url = String(ubidotsEndpoint) + deviceName + "/";
    http.begin(client, url);

    http.addHeader("Content-Type", "application/json");
    http.addHeader("X-Auth-Token", ubidotsToken);

    Serial.println("Sending to Ubidots: " + payload);
    int httpResponseCode = http.POST(payload);

    if (httpResponseCode > 0) {
      Serial.println("Ubidots Response: " + String(httpResponseCode));
    } else {
      Serial.println("Error sending to Ubidots: " + String(httpResponseCode));
    }

    http.end();
  } else {
    Serial.println("Wi-Fi disconnected. Reconnecting...");
    WiFi.begin(ssid, password);
  }
}

```

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	TC 23510336					Арк
										65
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						