

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи та програмно-апаратні засоби виявлення небезпечних
концентрацій метану для попередження аварії на вугільних шахтах

Виконав: студент 6 курсу, групи СІм-62
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Марценюк І.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Жаровський Р.О.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Луцик Н.С.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«11» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Марценюку Ігорю Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та програмно-апаратні засоби виявлення небезпечних концентрацій метану для попередження аварії на вугільних шахтах

Керівник роботи Жаровський Руслан Олегович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» листопада 2024 року № 4/7-1144

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові літературні джерела, мова програмування C++

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз наукових досліджень у сфері виявлення небезпечних концентрацій метану

2. Методи та засоби віддаленого моніторингу небезпечних концентрацій метану

3. Реалізація методів та засобів дистанційного моніторингу рівня концентрацій метану

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

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

1. Тема кваліфікаційної роботи, актуальність і мета дослідження

2. Завдання, об'єкт і предмет дослідження

3. Наукова новизна і практична цінність дослідження

4. Структурна схема системи

5. Схема електричних з'єднань

6. Блок-схема алгоритму роботи

7. Результати роботи системи

8. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Осухівська Г.М., зав.каф. КС	05.12.2024	
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 11.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих методів та засобів розв'язання науково-технічних проблем, що відповідають тематиці кваліфікаційної роботи	20.11.2024 – 30.11.2024	Викон.
2	Методи та засоби віддаленого моніторингу небезпечних концентрацій метану	01.12.2024 – 04.12.2024	Викон.
3	Реалізація методів та засобів дистанційного моніторингу рівня концентрацій метану	05.12.2024 – 11.12.2024	Викон.
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	12.12.2024 – 14.12.2024	Викон.
5	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	15.12.2024 – 18.12.2024	Викон.
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи магістра	19.12.2024	Викон.
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	26.12.2024	

Студент

(підпис)

Марценюк І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Жаровський Р.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Марценюк І.В. Методи та програмно-апаратні засоби виявлення небезпечних концентрацій метану для попередження аварії на вугільних шахтах: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. Р.О. Жаровський. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. — 79 с.

Ключові слова: виявлення метану, сенсорна мережа, моніторинг концентрацій газів, програмно-апаратна система, аварійне попередження.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методів та засобів виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах з метою попередження аварій. Проведено аналіз сучасних методів і засобів виявлення метану, включаючи сенсорні технології, алгоритми обробки даних та інтеграцію з хмарними платформами. Запропоновано метод багатоступеневої обробки даних із сенсорів із використанням порогового аналізу, що забезпечує високу точність і надійність системи в умовах шахтного середовища.

Реалізовано апаратну частину системи, до складу якої входять сенсор метану MQ-9, мікроконтролер Arduino Leonardo та мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3, які забезпечують збір, обробку та передачу даних. Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення для моніторингу концентрації метану, визначення прогнозування небезпечних рівнів і візуалізацію даних у реальному часі через хмарну платформу ThingSpeak.

Результати тестування підтвердили ефективність системи, її здатність виявляти небезпечні концентрації метану та забезпечувати оперативне оповіщення. Запропоновану систему можна впровадити у вугільних шахтах для підвищення безпеки праці та зниження ризиків аварійних ситуацій.

ANNOTATION

Martseniuk I.V. Methods and hardware-software tools for detecting dangerous methane concentrations to prevent accidents in coal mines. Master's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering / supervisor R.O. Zharovskyi. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2024. — 79 p.

Keywords: methane detection, sensor network, monitoring of gas concentrations, hardware and software system, emergency warning.

The qualification work is devoted to the development of methods and means for detecting dangerous concentrations of methane in coal mines in order to prevent accidents. An analysis of modern methods and means of methane detection, including sensor technologies, data processing algorithms and integration with cloud platforms, was carried out. A method of multi-stage processing of sensor data using threshold analysis is proposed, which ensures high accuracy and reliability of the system in the mine environment.

The hardware of the system, which includes the MQ-9 methane sensor, the Arduino Leonardo microcontroller, and the Raspberry Pi 3 microcomputer, has been implemented, which provide data collection, processing, and transmission. Algorithmic and software was developed to monitor methane concentration, determine the prediction of dangerous levels, and visualize data in real time via the ThingSpeak cloud platform.

The test results confirmed the effectiveness of the system, its ability to detect dangerous methane concentrations and provide prompt alerts. The proposed system can be implemented in coal mines to improve occupational safety and reduce the risk of accidents.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ	11
1.1. Аналіз сфери застосування систем виявлення небезпечних концентрацій метану	11
1.2. Загальні характеристики метану як небезпечного газу у вугільних шахтах.....	13
1.3. Апаратно-програмні засоби для виявлення небезпечних концентрацій метану	15
1.4. Сучасний стан наукових досліджень у сфері виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах.....	17
1.5. Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ НЕБЕЗПЕЧНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ МЕТАНУ	26
2.1. Аналіз методів виявлення метану у вугільних шахтах.....	26
2.2. Моделі та алгоритми контролю концентрації метану	29
2.3. Огляд сучасних сенсорних технологій для виявлення метану.....	31
2.4. Інтегровані системи моніторингу газових середовищ.....	33
2.5. Методи аналізу даних для виявлення небезпечних концентрацій метану.....	35
2.6. Метод багатоступеневої обробки даних із сенсорів із використанням порогового аналізу.....	37
2.7. Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ	41
3.1. Апаратна реалізація системи дистанційного моніторингу концентрації метану	41
3.2. Реалізація алгоритмічного та програмного забезпечення системи	48
3.3. Інтеграція з хмарною IoT платформою	54

	6
3.4. Результати тестування системи моніторингу.....	59
3.5. Висновки до розділу 3	61
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
4.1. Охорона праці.....	63
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	65
4.3. Висновки до розділу 4.....	68
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
Додаток А Тези конференцій	74

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ВШ – вугільна шахта;

КМ – концентрація метану;

МК – мікроконтролер;

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

СМ – система моніторингу;

IoT – Internet of Things.

ВСТУП

Актуальність роботи. Вугільні шахти є об'єктами підвищеної небезпеки через можливість накопичення метану — газу, який може спричинити вибухи та аварії з серйозними наслідками для життя працівників. Метан, що утворюється в результаті природних процесів у вугільних шарах, є одним із головних ризиків для безпеки робіт у шахтах. Згідно зі статистичними даними, значна частина аварій у вугільній промисловості пов'язана саме з вибухами метану, що підкреслює важливість своєчасного та надійного його виявлення.

Накопичення метану в шахтних виробках може відбуватися непомітно, що робить задачу своєчасного виявлення небезпечних концентрацій цього газу критично важливою. Традиційні системи моніторингу не завжди забезпечують необхідний рівень точності та швидкості реагування, тому виникає потреба в розробці сучасних комплексних рішень. Впровадження інноваційних програмно-апаратних засобів, що можуть працювати в режимі реального часу та забезпечувати аналіз даних з високою точністю, є важливою складовою безпеки робіт на шахтах. Застосування таких технологій дозволить не тільки вчасно виявляти небезпечні концентрації метану, але й прогнозувати потенційні аварійні ситуації, тим самим зменшуючи ризики для життя працівників і забезпечуючи безперервність виробничих процесів. Тому розробка методів і засобів для своєчасного виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах є актуальним науковим і технічним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка методів та програмно-апаратних засобів для віддаленого моніторингу концентрації метану у вугільних шахтах, які забезпечують високу точність, своєчасне попередження про небезпечний рівень газу та інтеграцію з хмарною платформою для аналізу даних у реальному часі.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- провести огляд літературних джерел і сучасних досліджень щодо методів виявлення концентрації метану, сенсорних технологій і систем моніторингу у вугільних шахтах;

- розробити метод багатоступеневої обробки даних із сенсорів із використанням порогового аналізу для забезпечення точності й надійності роботи системи;
- виконати апаратну реалізацію системи, включаючи вибір та інтеграцію сенсорів, контролерів і комунікаційних модулів для забезпечення збору й передачі даних;
- розробити алгоритмічне забезпечення для обробки, фільтрації та аналізу даних із сенсорів;
- реалізувати програмне забезпечення для інтеграції системи з хмарною IoT-платформою, візуалізації даних і оповіщення у разі перевищення допустимих рівнів концентрації метану;
- провести тестування розробленої системи, оцінити її ефективність за критеріями точності вимірювань, швидкодії та стабільності роботи.

Об'єкт дослідження: процес виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах.

Предмет дослідження: методи та програмно-апаратні засоби для виявлення та попередження небезпечних концентрацій метану.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел і наукових публікацій для систематизації сучасних знань про моніторинг концентрації метану, моделювання для створення апаратно-програмної структури системи, методи цифрової обробки сигналів для фільтрації та корекції даних сенсорів, алгоритмічний аналіз для розробки програмного забезпечення, експериментальний метод для тестування системи.

Наукова новизна дослідження:

1. Вперше розроблено метод багатоступеневої обробки даних із сенсорів із використанням порогового аналізу, який забезпечує підвищення точності виявлення небезпечних концентрацій метану та зниження впливу шумів у складних шахтних умовах.

2. Отримала подальший розвиток модель інтеграції сенсорних систем з хмарними IoT-платформами для забезпечення віддаленого моніторингу та

візуалізації даних у реальному часі, що сприяє підвищенню ефективності систем безпеки в шахтах.

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи полягає у створенні автоматизованої IoT-системи для віддаленого моніторингу концентрації метану, яка може бути впроваджена у вугільних шахтах для підвищення рівня безпеки працівників, зниження ризиків аварійних ситуацій і забезпечення оперативного реагування на небезпечні зміни концентрації газу.

Публікації. Результати дослідження апробовано на XIII міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» [1] та на XII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» [2].

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини [3, 4]. Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку [5]. Обсяг роботи: пояснювальна записка – 79 арк. формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

1.1. Аналіз сфери застосування систем виявлення небезпечних концентрацій метану

Системи виявлення небезпечних концентрацій метану є критично важливими для багатьох галузей промисловості, зокрема у видобувній, нафто- і газовій, хімічній та енергетичній сферах. Однак, однією з найбільш небезпечних і вразливих до впливу метану галузей є вугільна промисловість, де існує високий ризик накопичення цього газу у повітрі шахт. Метан є вибухонебезпечним газом, що утворюється під час видобутку вугілля, і його вчасне виявлення є ключовим для запобігання аваріям, що можуть спричинити серйозні наслідки як для людей, так і для обладнання.

Основною сферою застосування таких систем є вугільні шахти, де концентрація метану може досягати критичних рівнів через природні геологічні процеси. У цих умовах необхідно постійно контролювати рівень газу для запобігання вибухам. Системи моніторингу метану дозволяють вчасно виявити небезпечні концентрації, що допомагає оперативно реагувати на зміну умов і попереджати аварії шляхом активації систем вентиляції, евакуації працівників або відключення електрообладнання. Це забезпечує підвищення безпеки працівників та зменшення ризику людських жертв.

Крім видобутку вугілля, важливою сферою застосування є нафто- і газовидобувна промисловість, де метан також виділяється в процесі буріння свердловин та транспортування природного газу. Незважаючи на високий рівень автоматизації та контролю в цих галузях, існує загроза накопичення метану у великих об'ємах, що може призвести до вибухів або пожеж. Системи виявлення газів забезпечують постійний моніторинг нафтогазових свердловин, газопроводів,

компресорних станцій та інших критичних об'єктів, що дозволяє запобігати аварійним ситуаціям та зменшувати вплив метану на навколишнє середовище.

Ще однією важливою сферою застосування є хімічна промисловість, де використовуються або виробляються великі обсяги газоподібних речовин, у тому числі метану. У випадку витоків або нештатних ситуацій, таких як аварії на виробництві, рівень метану може різко збільшитися, що створює ризик вибухів або пожеж. Системи моніторингу у хімічній промисловості дозволяють контролювати концентрації метану в різних ділянках виробництва, що допомагає мінімізувати ризик аварій та забезпечити безпечні умови праці.

Також системи виявлення метану застосовуються в енергетичній галузі, особливо на об'єктах, що використовують природний газ для виробництва енергії. Незважаючи на те, що більшість енергетичних установок обладнані сучасними системами безпеки, можливі витoki метану на різних етапах транспортування та зберігання газу. Системи моніторингу газів допомагають запобігти витокam метану, знизити ризик вибухів і підвищити ефективність роботи енергетичних установок.

Застосування таких систем має також екологічне значення. Метан є одним з найпотужніших парникових газів, тому його неконтрольовані викиди в атмосферу можуть сприяти глобальному потеплінню. Використання систем для виявлення метану на промислових об'єктах допомагає знизити кількість неконтрольованих викидів, що сприяє зменшенню впливу на клімат та екологію.

Загалом, сфера застосування систем виявлення небезпечних концентрацій метану є дуже широкою, охоплюючи різні галузі промисловості. Головним завданням цих систем є забезпечення безпеки працівників та запобігання аваріям, які можуть бути спричинені накопиченням метану. Успішне впровадження таких систем дозволяє зменшити ризики як для людських життів, так і для навколишнього середовища.

1.2. Загальні характеристики метану як небезпечного газу у вугільних шахтах

Метан (CH_4) є найпростішим вуглеводневим газом, що належить до класу алканів. Він безбарвний, не має запаху і смаку, що ускладнює його виявлення без спеціальних сенсорів. Метан легко змішується з повітрям, утворюючи вибухонебезпечні суміші. Його щільність менша, ніж у повітря, тому метан має тенденцію підніматися і накопичуватися у верхніх частинах замкнених просторів, таких як шахтні тунелі або камери. Важливим фізико-хімічним параметром є його температура займання, яка становить близько 537°C , а нижній вибухонебезпечний рівень у повітрі складає 5% за об'ємом. При досягненні концентрацій від 5% до 15% метан може вибухнути за наявності джерела іскри чи високої температури.

Метан не є токсичним для людини при низьких концентраціях, проте його наявність у великих кількостях може витіснити кисень, що призводить до асфіксії, тобто нестачі кисню в організмі. Тому накопичення метану у шахтах несе загрозу як вибухами, так і небезпекою задухи для шахтарів. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, метан легко утворюється під час видобутку вугілля, що робить його особливо небезпечним у вугільних шахтах.

Накопичення метану у шахтах створює значні ризики для безпеки працівників. Основна небезпека метану полягає в його вибухонебезпечних властивостях. При досягненні критичних концентрацій у повітрі, будь-яке джерело запалення – це може бути іскра від електрообладнання, відкритий вогонь або висока температура – може спричинити вибух. Вибух метану у закритих просторах шахти призводить до руйнувань, обвалів і може викликати пожежі, які є важкими для ліквідації через складність доступу до глибоких підземних тунелів.

Крім ризику вибуху, накопичення метану впливає на загальний стан повітря в шахті, знижуючи концентрацію кисню, що створює умови для гіпоксії у працівників. Коли рівень кисню знижується, шахтарі можуть відчувати запаморочення, втрату свідомості, що значно підвищує ризик нещасних випадків під час роботи. У складних умовах шахт, де видимість часто обмежена, а роботи ведуться з важким обладнанням, втрата контролю через нестачу кисню може

призвести до трагедії. Порогові рівні концентрації метану в вугільних шахтах визначаються з урахуванням безпеки праці та вибухонебезпечності цього газу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Порогові рівні концентрації метану в вугільних шахтах

Рівень концентрації	Концентрація метану, ppm	Опис
Низький	0 – 500	Небезпеки немає, робота у шахті дозволена.
Середній	500 – 10000	Підвищений рівень, необхідний постійний моніторинг.
Високий	10000 – 15000	Рівень небезпеки, можливе відключення обладнання.
Критичний	>15000	Високий ризик вибуху, необхідна евакуація.

Особливо небезпечним є те, що метан не має запаху і не може бути виявлений без спеціальних приладів. Це означає, що без належного контролю та своєчасного виявлення концентрацій газу у повітрі шахтарі можуть опинитися в ситуації підвищеного ризику без жодних попереджувальних ознак. Тому впровадження систем автоматичного виявлення метану є критичним для забезпечення безпеки працівників і запобігання аваріям. Системи моніторингу мають безперервно контролювати рівні метану і забезпечувати швидке оповіщення про небезпечні концентрації, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни умов роботи.

Таким чином, фізико-хімічні властивості метану та його здатність накопичуватися у середині шахт створюють серйозні загрози для безпеки працівників. Вибухи та задуха є двома головними ризиками, які можна ефективно попередити завдяки сучасним системам моніторингу концентрацій метану.

1.3. Апаратно-програмні засоби для виявлення небезпечних концентрацій метану

Апаратно-програмні засоби для виявлення небезпечних концентрацій метану відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки працівників у вугільних шахтах та інших промислових об'єктах. Вони складаються з комбінації апаратних пристроїв, таких як сенсори й контролери, та програмного забезпечення для моніторингу, аналізу і реагування на рівень газів у реальному часі. Завдяки технологічному розвитку, сучасні системи дозволяють забезпечувати високоточний та надійний контроль за концентраціями метану навіть у найскладніших умовах підземних робіт.

До апаратної частини таких систем належать сенсори, які можуть бути різних типів: інфрачервоні, оптичні, напівпровідникові, термokatалітичні тощо. Інфрачервоні сенсори, які працюють на основі поглинання світла певної довжини хвилі, є одними з найбільш точних і популярних завдяки їх здатності виявляти низькі концентрації метану. Оптичні сенсори використовують властивості зміни заломлення світла, що також дає змогу ефективно контролювати газову атмосферу. Термокatalітичні сенсори, у свою чергу, базуються на окисленні метану на кatalізаторі, що викликає зміну температури і, відповідно, фіксує наявність газу. Незалежно від типу, сенсори повинні мати високу чутливість і швидкість реакції для своєчасного виявлення небезпечних концентрацій метану.

Контролери є ключовими елементами апаратної частини системи, які відповідають за обробку даних, що надходять від сенсорів. Вони приймають сигнал від сенсорів, перетворюють його у цифрову форму і передають до центральної системи моніторингу. Сучасні контролери мають високу продуктивність і можуть обробляти значні обсяги даних у реальному часі, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг концентрацій метану на об'єкті. Крім того, контролери можуть бути інтегровані з іншими системами автоматизації, наприклад, з вентиляційними системами, що дозволяє автоматично реагувати на підвищення рівня метану.

Програмна частина системи включає в себе спеціальне програмне забезпечення для збору, аналізу та відображення даних про концентрацію метану. Ці програми можуть працювати на локальних серверах або в хмарних обчислювальних середовищах, що дозволяє віддалено моніторити ситуацію на об'єкті. Програмне забезпечення здатне аналізувати дані в реальному часі, створювати звіти та надсилати повідомлення про критичні ситуації на мобільні пристрої або на центральний пульт управління. Деякі системи мають функції прогнозування, що дозволяє передбачати можливі аварійні ситуації на основі попередніх показників і трендів.

Сучасні апаратно-програмні комплекси також підтримують інтеграцію з бездротовими сенсорними мережами, що дозволяє мінімізувати кількість дротових з'єднань і підвищити гнучкість розміщення сенсорів у важкодоступних місцях. Такі мережі забезпечують надійну передачу даних на великі відстані, що є особливо важливим у розгалужених підземних системах вугільних шахт. Крім того, сучасні комплекси часто підтримують інтерфейси для підключення до зовнішніх баз даних та систем диспетчеризації, що дає можливість отримувати та зберігати історичні дані для подальшого аналізу та вдосконалення систем безпеки.

Завдяки можливості адаптації до різних умов роботи, апаратно-програмні засоби для виявлення метану можуть бути налаштовані для роботи як у постійно діючих системах, так і в мобільних рішеннях для тимчасових шахтних об'єктів. Це забезпечує гнучкість у застосуванні систем залежно від потреб конкретного виробничого процесу. Інтеграція з автоматизованими системами аварійного реагування дозволяє не лише виявляти загрози, але й вживати заходи для їх негайного усунення.

Отже, апаратно-програмні засоби для виявлення небезпечних концентрацій метану є незамінними для забезпечення безпеки у вугільних шахтах. Вони реалізують безперервний моніторинг, високий рівень точності вимірювань і можливість автоматичного реагування на зміну умов, що значно знижує ризик аварійних ситуацій.

1.4. Сучасний стан наукових досліджень у сфері виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах

Сучасні наукові дослідження у сфері виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах зосереджені на розвитку новітніх методів і технологій для підвищення безпеки працівників та запобігання аваріям. Оскільки метан є одним із найбільш небезпечних газів, що накопичуються у шахтних умовах, його виявлення та контроль є критично важливим завданням для гірничої галузі. Актуальність цього питання зростає через часті аварії, які спричинені вибухами газу, і науковці усього світу активно працюють над пошуком нових підходів для розв'язання цієї проблеми.

Одним із напрямків досліджень є вдосконалення традиційних методів вимірювання концентрацій метану, таких як базуються на термокаталітичних сенсорах. Вчені намагаються підвищити їх точність, знизити енергоспоживання і забезпечити довгострокову стабільність роботи в агресивних шахтних умовах. Поряд із цим, ряд досліджень спрямовані на мінімізацію похибок вимірювань у ситуаціях з підвищеною вологістю і пилом, що може суттєво впливати на точність роботи сенсорів у шахтах.

Сучасні дослідження також зосереджуються на розробці новітніх сенсорних технологій, таких як інфрачервоні та лазерні сенсори, що забезпечують вищу точність та швидкість вимірювань. Ці технології дозволяють виявляти концентрації метану на ранніх стадіях, що допомагає запобігти критичним ситуаціям. Наприклад, інфрачервоні сенсори здатні виявляти гази на основі спектрального аналізу, що дозволяє отримати високоточні результати навіть у низьких концентраціях. Така технологія вже знаходить своє застосування у провідних системах моніторингу.

Крім того, досліджується можливість використання бездротових сенсорних мереж для моніторингу газової атмосфери в реальному часі. Вчені вивчають нові протоколи передачі даних і технології, що дозволяють забезпечити надійний зв'язок між сенсорами у важкодоступних умовах вугільних шахт. Це дозволяє

створювати масштабовані системи, які можуть охоплювати великі території та забезпечувати точні дані про концентрацію газів навіть у найвіддаленіших точках шахти. Важливим аспектом є дослідження енергозберігаючих рішень для таких сенсорів, адже забезпечення їхньої автономної роботи протягом тривалого періоду є критично важливим.

Окрім технологічних рішень, значна увага приділяється питанням алгоритмів обробки даних. Сучасні дослідження включають розробку методів аналізу великих обсягів даних, отриманих від сенсорних мереж. Це включає побудову математичних моделей для прогнозування концентрацій метану, виявлення аномальних ситуацій та розробку алгоритмів, що дозволяють автоматично приймати рішення у випадку підвищення концентрації газу. Використання таких алгоритмів дозволяє підвищити ефективність моніторингових систем і знизити кількість помилкових тривог.

Також досліджуються питання інтеграції сенсорних систем із вентиляційними та аварійними системами. Учені працюють над створенням автоматизованих рішень, які не тільки виявляють небезпечні концентрації метану, але й автоматично регулюють роботу вентиляційного обладнання, забезпечуючи своєчасну вентиляцію шахти для зниження концентрації газу до безпечного рівня.

У статті [6] аналізуються методи та технологічні засоби дегазації, спрямовані на підвищення безпеки шахтних робіт і економічну ефективність вуглевидобувних підприємств. Основною метою статті є розробка методологічного підходу до оцінки ефективності різних способів управління газовиділенням у вугільних пластах. Дослідження охоплює як теоретичні, так і практичні аспекти дегазації, враховуючи як економічні показники, так і технологічні рішення, що спрямовані на підвищення ефективності відведення та утилізації метану з шахтного середовища.

Аналіз запропонованих методів базується на розгляді показників, що характеризують вилучення, відведення і використання шахтного метану. В статті виділяються економічні ефекти дегазації, серед яких підвищення ефективності вуглевидобутку, зменшення впливу "газового фактора" на продуктивність,

зниження ризиків аварійності, пов'язаних із вибухами метану, а також екологічний ефект від скорочення викидів метану в атмосферу. Важливим аспектом є підвищення герметичності вакуумних газопроводів, що знижує витрати на електроенергію та підвищує ефективність транспортування метаноповітряної суміші.

Визначено, що значний економічний ефект можна досягти шляхом модернізації діючих дегазаційних систем. Автори пропонують методику розрахунку економічної ефективності дегазаційних систем з урахуванням додаткових ефектів, таких як зменшення аварійності та використання вилученого метану для енергетичних цілей. Запропоновані методи зосереджені на покращенні використання вугільних пластів як джерела метану, що може слугувати для виробництва енергії та заміни традиційних енергоносіїв.

Водночас, у статті залишаються невирішені питання, особливо в контексті реалізації автоматизованих IoT-систем для моніторингу концентрацій метану у шахтному середовищі. Запропоновані засоби мають обмеження у застосуванні в реальному часі, що важливо для оперативного контролю небезпечних концентрацій газу.

Стаття [7] висвітлює підходи та результати досліджень у сфері забезпечення безпеки шахт шляхом контролю концентрації небезпечних речовин, зокрема метану та пилу. Основною метою статті є розробка нових методів для підвищення швидкодії та точності комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем. Представлені розробки спрямовані на забезпечення високоточних вимірювань концентрацій газів і пилу для своєчасного виявлення загроз.

У статті детально проаналізовано існуючі методи контролю метану і пилу, вказано на їх обмеження, серед яких недостатня швидкодія та похибки вимірювань у важких умовах шахт. Запропоновані підходи ґрунтуються на використанні оптоелектронних вимірювальних систем, здатних компенсувати вплив дестабілізуючих факторів, таких як запиленість атмосфери, температурні зміни та зміна складу газового середовища. Розроблені моделі дозволяють проводити точні вимірювання, а нові методи обробки інформації забезпечують підвищення

швидкодії до 84 мс, що є значним поліпшенням порівняно з традиційними системами.

Серед недоліків запропонованих рішень зазначено, що в умовах шахт досі виникають проблеми з обслуговуванням оптоелектронних компонентів, які потребують регулярного очищення. Це є суттєвим обмеженням, оскільки для підвищення автоматизації системи контролю концентрації метану необхідні надійні рішення, які працюватимуть тривалий час без втручання людини.

У статті [8] обговорюються шляхи вдосконалення системи управління безпекою на українських гірничих підприємствах, зокрема у вугільній промисловості, для підвищення рівня захисту працівників. Основною метою дослідження є аналіз факторів, що призводять до травмування, а також розробка заходів для зниження ризиків при недостатньому сприйнятті загроз або свідомому порушенні правил безпеки. Автори виділяють три основні групи ризиків, які впливають на травматизм: пов'язані з людським фактором, технологічним устаткуванням і робочим середовищем.

У роботі розглянуто методи, які можуть покращити безпеку, такі як система "смарт-захисту" для ідентифікації та мінімізації ризиків (рис. 1.1). Ця система заснована на використанні додаткових сенсорів, що підвищують швидкість реагування і змінюють принцип обробки інформації, що дозволяє виявляти потенційні загрози на ранніх етапах. Також представлено метод аерогазового контролю шахтної атмосфери, що забезпечує безперервний моніторинг концентрації небезпечних газів, таких як метан, і дозволяє виявляти несанкціоноване втручання в роботу сенсорів, що знижує ризик вибухів і пожеж.

Проте, стаття має недоліки у частині практичної реалізації запропонованих методів. Наприклад, "смарт-захист" і метод аерогазового контролю потребують подальших досліджень для забезпечення їх надійної роботи в умовах українських шахт. Це може бути важливим у контексті даної кваліфікаційної роботи, де також актуальна розробка автономної системи моніторингу концентрації метану з акцентом на довготривалу стабільність та зменшення потреби у технічному обслуговуванні.

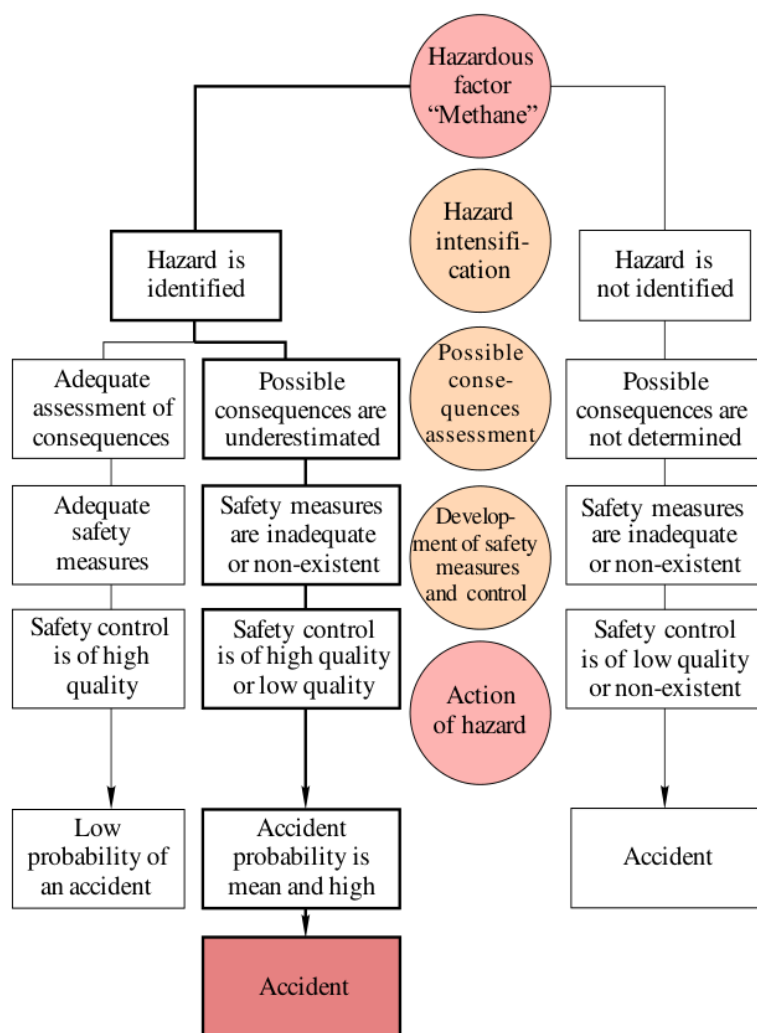


Рис. 1.1. Діаграма управління безпекою на вугільних шахтах

Стаття [9] зосереджується на розробці алгоритму оцінки метанової небезпеки у зонах, де ведуться гірничі роботи. Дослідження базується на балансі метану й вентиляції в шахтах, що дозволяє контролювати рівень метану та вчасно вживати заходи для зниження ризиків. Запропонований метод балансу враховує об'єм метану, що надходить у виробки, а також здатність вентиляційної системи знижувати концентрацію метану до безпечного рівня (рис. 1.2). Основний індикатор оцінки, коефіцієнт k_{KW} , розраховується як співвідношення вентиляційної потужності метану до граничної допустимої величини. Зростання цього коефіцієнта свідчить про підвищення метанової небезпеки, що може вказувати на необхідність припинення робіт у небезпечній зоні.

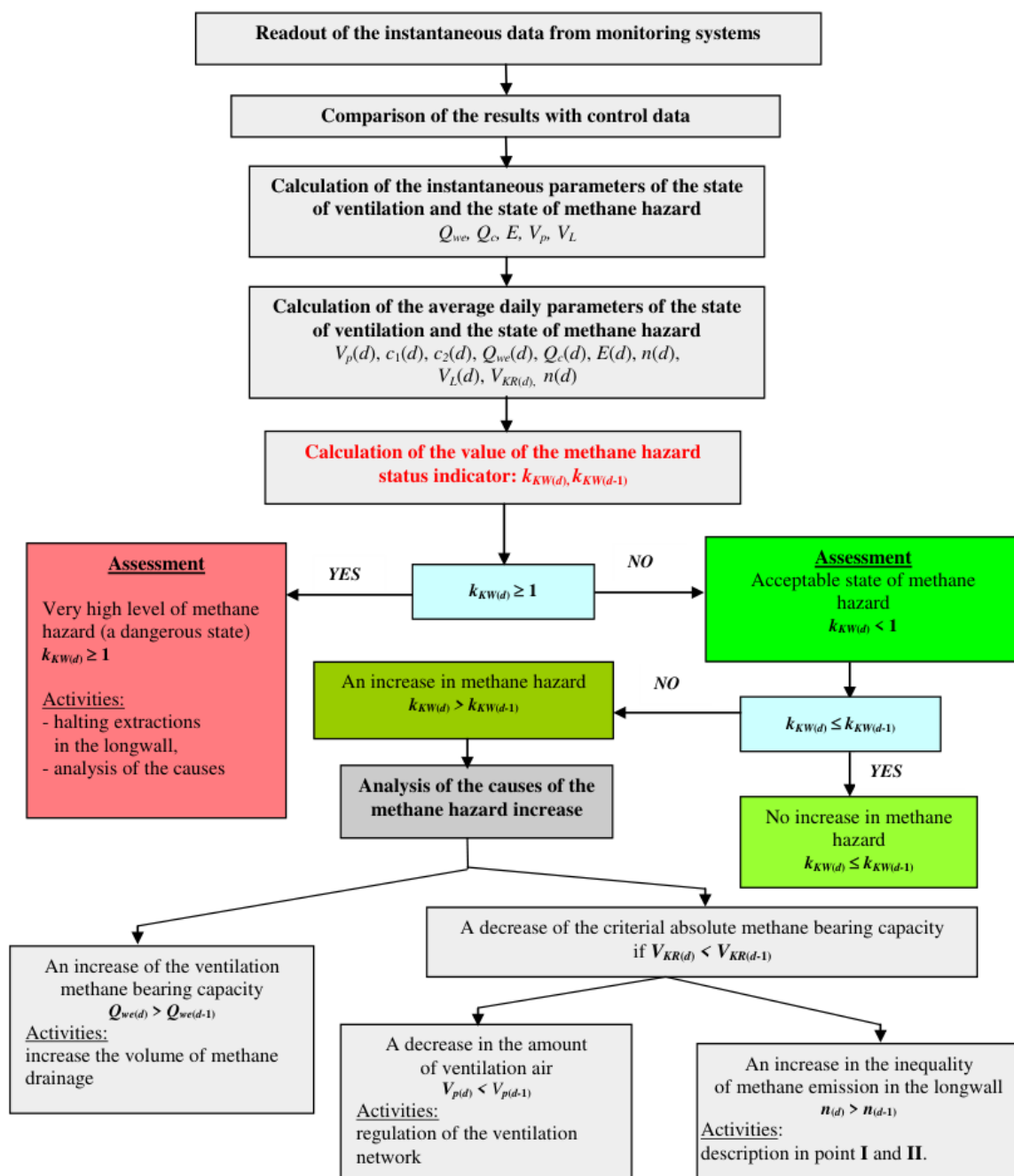


Рис. 1.2. Алгоритм оцінки та візуалізації небезпеки через перевищення концентрації метану

Стаття також описує алгоритм візуалізації метанової небезпеки у реальному часі, який дозволяє оперативно реагувати на зміни концентрації метану. Алгоритм передбачає збір і обробку даних від автоматизованих давачів метану та аерометрів, що фіксують швидкість повітряного потоку в зоні роботи.

Однак, недоліком запропонованої методики є залежність від точності сенсорів і потреба в регулярному технічному обслуговуванні, що може бути

проблематичним для безперервного моніторингу в умовах шахт. Це може обмежувати автоматизацію системи, оскільки надійність і тривала стабільність роботи без постійного обслуговування є критично важливими для ефективного контролю метану у вугільних шахтах.

Автори статті [10] розглядають розробку нейро-нечіткої моделі для прогнозування метанової небезпеки під час підземного видобутку вугілля. Основною метою дослідження є створення моделі для діагностики та прогнозування рівня метанової загрози, базуючись на показниках вентиляції, зареєстрованих автоматизованою системою. Модель використовує метод адаптивної нейро-нечіткої інференційної системи (ANFIS), поєднуючи переваги нейронних мереж та нечіткої логіки (рис. 1.3).

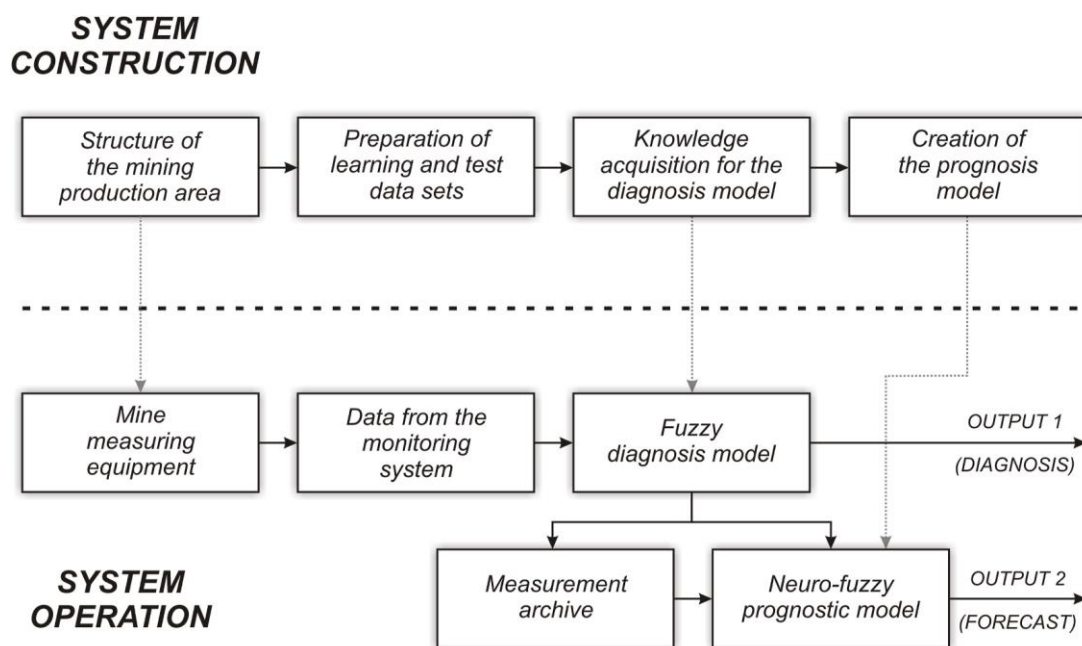


Рис. 1.3. Методика дослідження для діагностики та прогнозування стану небезпеки внаслідок підвищеної концентрації метану

Основний показник загрози — індекс метанової небезпеки (МНІ), який обчислюється на основі співвідношення абсолютної та критичної метаноемності в аналізованій зоні видобутку. Для моделювання використовуються дані, зібрані в реальних умовах шахти, що дозволяє оцінити ступінь небезпеки в короткостроковій перспективі. Перевагою запропонованої моделі є її здатність до

самонавчання на основі нових даних, що забезпечує точність прогнозів і високу швидкодію. Використання ANFIS дозволяє моделі адаптуватися до змін у середовищі та давати надійні результати в умовах складної експлуатації.

Однак стаття залишає нерозв'язаними деякі проблеми, зокрема обмеження точності через залежність від якості сенсорних даних та потребу в регулярному обслуговуванні системи. Ці аспекти є важливими, оскільки забезпечення тривалої стабільності та мінімізація необхідності технічного обслуговування є ключовими для реалізації системи моніторингу концентрації метану у вугільних шахтах.

Стаття [11] висвітлює заходи, які застосовуються для забезпечення безпеки вугільних шахт компанії Kompania Węglowa SA, зокрема в умовах ризику вибухів метану та гірських ударів. Основна увага приділяється розробці методів моніторингу та оцінки небезпеки, а також застосуванню попереджувальних заходів для зниження ризиків аварій.

Для виявлення небезпеки, пов'язаної з метаном, використовуються автоматизовані газометричні системи, які постійно вимірюють концентрацію газів і швидкість повітряних потоків. Найсучасніші системи дозволяють здійснювати безперервний моніторинг та швидко відключати електроживлення в разі перевищення безпечних рівнів метану. Крім автоматизованих систем, важливу роль відіграє ручний контроль за допомогою переносних приладів, що доповнює дані, отримані автоматично, і забезпечує комплексний підхід до моніторингу.

Незважаючи на ефективність запропонованих заходів, автори статті зазначають, що системи потребують постійного технічного обслуговування і модернізації, що є суттєвим недоліком у контексті автоматизації. Подібні обмеження є важливими, адже система моніторингу концентрацій метану має забезпечувати тривалу стабільність роботи з мінімальною потребою в обслуговуванні.

Отже, сучасні наукові дослідження у сфері виявлення метану у вугільних шахтах націлені на вдосконалення існуючих методів вимірювання, впровадження нових сенсорних технологій та розробку інтегрованих систем, що можуть забезпечити не лише точний моніторинг, але й автоматичне реагування на зміну

умов у шахтах. Це сприяє підвищенню безпеки шахтарів та зменшенню ризиків аварійних ситуацій, пов'язаних з накопиченням метану.

1.5. Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз наукових досліджень і сучасних технологій у сфері моніторингу концентрації метану у вугільних шахтах. Визначено, що системи виявлення метану є критично важливими для забезпечення безпеки праці через вибухонебезпечність і токсичність цього газу. Огляд сфери застосування таких систем підтвердив необхідність використання автоматизованих рішень для своєчасного реагування на зміну концентрацій метану в шахтному середовищі.

Розглянуто фізико-хімічні властивості метану, зокрема його здатність утворювати вибухонебезпечні суміші при певних концентраціях у повітрі. Ці характеристики є визначальними при проектуванні систем моніторингу та обранні технологій для вимірювання газу.

Аналіз апаратно-програмних засобів показав, що сучасні системи моніторингу переважно використовують сенсори різних типів, такі як оптичні, каталізаторні та напівпровідникові, які інтегруються з мікроконтролерами й IoT-платформами. Оцінено переваги та недоліки цих технологій, що дозволило обґрунтувати вибір компонентів для розроблюваної системи.

Вивчення сучасного стану наукових досліджень підтвердило актуальність інтегрованих систем моніторингу на основі IoT, які забезпечують віддалений контроль та обробку даних у реальному часі. Установлено, що перспективним напрямком є використання алгоритмів обробки даних для підвищення точності та швидкодії систем.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ НЕБЕЗПЕЧНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ МЕТАНУ

2.1. Аналіз методів виявлення метану у вугільних шахтах

Виявлення концентрацій метану є важливим завданням для забезпечення безпеки вугільних шахт та інших промислових об'єктів. Існуючі методи можна класифікувати на основі принципів роботи та способів визначення концентрацій газу. Основними групами є методи прямого вимірювання, непрямого визначення та комбіновані підходи.

2.1.1. Методи прямого вимірювання базуються на прямому аналізі властивостей газу, таких як його хімічний або фізичний склад. До таких методів належать:

- інфрачервоні методи;
- каталітичні методи;
- електрохімічні методи.

Інфрачервоні методи використовують властивість молекул метану поглинати інфрачервоне випромінювання на певних довжинах хвиль. Спектрометричні сенсори дозволяють точно визначати концентрацію метану навіть у низьких концентраціях, що робить їх популярними у промислових системах моніторингу.

Каталітичні методи працюють за принципом окислення метану на каталізаторі, що супроводжується виділенням тепла. Зміна температури фіксується сенсором, який обчислює концентрацію газу. Електрохімічні методи використовують хімічну реакцію між молекулами метану та реагентом, що генерує електричний сигнал, пропорційний концентрації газу.

Методи прямого вимірювання забезпечують високу точність, але їх ефективність може знижуватися у середовищах із високою вологістю, пилом або домішками інших газів.

2.1.2. Методи непрямого визначення концентрацій газу базуються на вимірюванні параметрів, які корелюють із концентрацією метану, таких як тиск, температура, або вологість. До них належать:

- акустичні методи;
- теплопровідні методи;
- оптичні методи непрямого аналізу.

Акустичні методи передбачають вимірювання швидкості звуку в газовій суміші, яке змінюється залежно від концентрації метану. Цей метод є чутливим до зовнішніх умов, таких як температура та тиск.

Теплопровідні методи базуються на різниці теплопровідності метану та повітря. Сенсор вимірює зміну теплопровідності газової суміші, яка залежить від концентрації метану.

Оптичні методи непрямого аналізу базуються на вимірюванні зміни інтенсивності розсіяного світла у середовищі, що залежить від наявності та концентрації метану.

Ці методи менш точні, ніж прямі, але їхня перевага полягає у простоті реалізації та можливості використання у складних умовах.

2.1.3. Комбіновані підходи до виявлення небезпечних концентрацій метану поєднують переваги прямих і непрямих підходів для підвищення точності та надійності системи моніторингу. Такі підходи включають:

- використання сенсорних мереж;
- моделі прогнозування;
- автоматизовані системи з адаптивними алгоритмами.

Сенсорні мережі передбачають застосування систем, що використовують кілька типів сенсорів (інфрачервоні, каталітичні, акустичні) для отримання різноманітних даних про концентрацію метану. Ці дані обробляються програмним забезпеченням для досягнення максимальної точності.

Поєднання сенсорних даних із математичними моделями дозволяють прогнозувати зміни концентрації метану. Це особливо корисно для раннього виявлення небезпечних ситуацій. Автоматизовані системи з адаптивними

алгоритмами, використання алгоритмів машинного навчання або нечіткої логіки для комбінування даних від різних сенсорів дозволяє створювати більш стійкі до помилок системи.

Комбіновані підходи забезпечують високу точність і надійність, але вимагають складнішого обладнання і програмного забезпечення. Вони є перспективними для застосування у складних умовах, таких як вугільні шахти.

Традиційні методи виявлення метану у вугільних шахтах були розроблені ще в середині ХХ століття та використовували фізико-хімічні властивості газу для його ідентифікації. Одним з найбільш ранніх і простих методів було використання світильників Деві — спеціальних ламп з металевими сітками, які захищали полум'я від контактів з горючими газами. Присутність метану визначалася зміною кольору полум'я або його подовженням. Хоча цей метод був досить примітивним і вимагав постійної уваги, він дозволяв у реальному часі виявляти потенційні небезпеки.

Інший поширений метод включав використання ручних газоаналізаторів на основі термокаталітичних сенсорів, які реагували на зміни концентрації метану. Ці аналізатори мали ряд обмежень: вони не могли працювати в умовах зниженої концентрації кисню, потребували ручної обробки даних та мали низьку чутливість до малих концентрацій газу. Однак, незважаючи на ці недоліки, такі пристрої були надійними в умовах шахт і широко використовувалися для періодичних перевірок рівнів метану.

Ще одним традиційним методом був хімічний аналіз проб повітря, що дозволяв точніше виміряти концентрацію метану, але вимагав складного лабораторного обладнання і часу на аналіз. Це робило метод неефективним для оперативного контролю в умовах вугільних шахт, де потрібна швидка реакція на зміну концентрацій газу.

Сучасні технології для моніторингу концентрацій метану у вугільних шахтах значно підвищили точність та надійність вимірювань завдяки розвитку нових сенсорних систем. Основними типами сенсорів, які використовуються сьогодні, є оптичні, інфрачервоні та напівпровідникові. Інфрачервоні сенсори стали популярними завдяки своїй високій чутливості та здатності працювати у

безкисневому середовищі, що особливо важливо для умов вугільних шахт. Вони вимірюють концентрацію метану на основі поглинання інфрачервоного випромінювання певної довжини хвилі, що дозволяє точно визначити наявність навіть незначних кількостей газу.

Напівпровідникові сенсори, що працюють на основі зміни електричного опору при контакті з газом, також широко використовуються для моніторингу концентрацій метану. Вони компактні, недорогі у виробництві та можуть працювати в реальному часі. Однак їх точність може залежати від умов довкілля, таких як вологість і температура, що вимагає додаткових калібрувань.

Окрім цього, досягнення в області цифрових технологій дозволили інтегрувати сенсори з автоматизованими системами контролю та обробки даних. Сучасні системи можуть збирати дані в режимі реального часу і передавати їх на центральні сервери для аналізу та зберігання. Такі системи забезпечують цілодобовий моніторинг концентрацій метану та інших шкідливих газів, що дозволяє оперативно реагувати на зміну умов у шахті. Крім того, використання бездротових сенсорних мереж дозволяє зменшити кількість кабельних з'єднань та підвищити гнучкість системи.

Інноваційним напрямком розвитку є використання багатофункціональних сенсорних платформ, які можуть одночасно вимірювати кілька параметрів навколишнього середовища, включаючи температуру, вологість і концентрації різних газів. Це дозволяє отримати комплексну картину стану шахти та краще прогнозувати можливі аварійні ситуації. Таким чином, сучасні сенсорні технології значно підвищують безпеку роботи у вугільних шахтах, забезпечуючи високоточний та оперативний контроль концентрацій метану.

2.2. Моделі та алгоритми контролю концентрації метану

Контроль концентрації метану у вугільних шахтах є одним із ключових завдань для забезпечення безпеки робітників і запобігання аварійним ситуаціям. Ефективність контролю залежить не лише від точності вимірювань, але й від

правильного моделювання процесів накопичення газу та прогнозування його небезпечних рівнів. У цьому контексті математичні моделі та алгоритми прогнозування відіграють важливу роль у сучасних системах моніторингу. Вони дозволяють аналізувати дані, отримані від сенсорів, і на основі цих даних приймати рішення про необхідність вентиляції або евакуації працівників.

2.2.1. Математичні моделі для аналізу концентрацій метану ґрунтуються на теоретичних і емпіричних даних про розподіл газів у замкнених просторах шахт. Основними факторами, які впливають на формування таких моделей, є швидкість утворення метану, вентиляційні потоки та фізико-хімічні властивості шахтного середовища. Однією з найбільш поширених моделей є модель дифузії газів, яка базується на рівнянні Фіка. Вона описує поширення метану від місця його утворення до інших ділянок шахти в залежності від часу та просторових координат.

Іншою важливою моделлю є модель динамічної вентиляції шахт, яка враховує швидкість і напрямок повітряних потоків у шахтних системах. Вона дозволяє прогнозувати зміни концентрацій метану в реальному часі залежно від роботи вентиляційного обладнання та конфігурації шахтних ходів. Ця модель особливо корисна для оцінки ефективності заходів з вентиляції та виявлення можливих зон накопичення газу.

Моделі накопичення метану також враховують можливі джерела газу, зокрема метан, що виділяється з вугільних пластів під час видобутку вугілля. Це дозволяє створювати детальніші картини газової атмосфери у шахтах, прогнозувати можливі зони підвищеної небезпеки та виявляти потенційні "гарячі точки", де може відбутися різке збільшення концентрації метану.

2.2.2. Алгоритми прогнозування небезпечних рівнів концентрації метану ґрунтуються на даних, отриманих від сенсорних мереж, та застосуванні математичних моделей для оцінки динаміки змін концентрацій газу. Основне завдання цих алгоритмів – виявлення потенційно небезпечних ситуацій на ранніх етапах і попередження аварій до досягнення критичних рівнів концентрації метану.

Сучасні алгоритми прогнозування працюють за принципом обробки великих масивів даних у реальному часі. Вони аналізують поточні виміри концентрацій

газів, швидкість їх зміни та історичні дані про попередні аварії. На основі цих даних алгоритми можуть побудувати прогноз щодо майбутнього розвитку ситуації та визначити, коли концентрація метану досягне небезпечного рівня. Один із найбільш використовуваних підходів – це методи регресійного аналізу, що дозволяють оцінити швидкість накопичення газу та передбачити його концентрацію через певний період.

Інший важливий клас алгоритмів – це методи часових рядів, що аналізують зміни концентрацій метану у часі. Вони дозволяють виявити закономірності в накопиченні газу та передбачити ймовірність перевищення безпечного рівня. Наприклад, алгоритми на основі авторегресійних моделей можуть прогнозувати поведінку концентрації метану на основі попередніх даних і генерувати тривожні сигнали в разі наближення до критичних значень.

Деякі сучасні підходи також включають адаптивні алгоритми, які самостійно налаштовуються на умови конкретної шахти. Такі алгоритми можуть враховувати індивідуальні особливості вентиляційної системи, розташування сенсорів та інші специфічні фактори. Вони підвищують точність прогнозів і дозволяють швидше реагувати на зміни у концентрації метану, знижуючи ймовірність помилкових тривог.

Завдяки використанню математичних моделей та сучасних алгоритмів, системи контролю концентрації метану можуть не тільки забезпечити постійний моніторинг, але й прогнозувати небезпечні ситуації, що суттєво підвищує рівень безпеки працівників шахт.

2.3. Огляд сучасних сенсорних технологій для виявлення метану

Сучасні сенсорні технології для виявлення метану відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки вугільних шахт та інших промислових об'єктів. Ефективність таких систем залежить від принципів роботи сенсорів, їх типів і характеристик, зокрема точності та чутливості.

Газові сенсори працюють на основі різних фізичних, хімічних або оптичних явищ, що виникають під час взаємодії молекул метану з чутливим елементом сенсора. Основними принципами є:

- хімічна адсорбція, в якій молекули метану адсорбуються на поверхні чутливого шару, викликаючи зміну електропровідності або інших характеристик матеріалу;
- каталітичне окислення, при якому метан окислюється на поверхні каталізатора, виділяючи тепло, яке вимірюється сенсором;
- оптичне поглинання, при якому сенсори використовують властивість метану поглинати світло певних довжин хвиль у інфрачервоному діапазоні, інтенсивність поглинання пропорційна концентрації газу;
- електрохімічна реакція, в основі якої лежить генерація електричного сигналу внаслідок хімічної реакції метану з реагентом у комірці сенсора.

Давачі, які застосовуються для моніторингу метану, поділяються на кілька типів залежно від технології. Зокрема, оптичні сенсори використовують інфрачервоне випромінювання для аналізу газового середовища. Вони характеризуються високою точністю і можуть працювати у широкому діапазоні концентрацій. Їх перевагою є нечутливість до вологи та температурних змін, але вони зазвичай дорожчі.

Напівпровідникові сенсори побудовані на основі оксидів металів, таких як SnO_2 . Їхній принцип роботи полягає у зміні електропровідності чутливого шару при контакті з молекулами метану. Вони економічні, компактні та підходять для масового застосування, але мають обмежену точність.

Каталітичні сенсори використовують явище каталітичного окислення метану для вимірювання концентрації. Вони надійні, недорогі та підходять для роботи в умовах шахт, але можуть зношуватися через накопичення забруднень.

Електрохімічні сенсори чутливі до низьких концентрацій газу та забезпечують високу точність. Проте їхній строк служби обмежений, і вони чутливі до хімічних домішок.

Вибір типу сенсора залежить від умов експлуатації, вимог до точності та економічних обмежень. Точність сенсорів визначається їхньою здатністю точно вимірювати концентрацію метану, а чутливість – здатністю реагувати на невеликі зміни концентрації. Оптичні сенсори забезпечують найвищу точність і можуть виявляти навіть незначні концентрації газу, що робить їх оптимальними для високотехнологічних систем моніторингу.

Напівпровідникові сенсори є менш точними, але їх висока чутливість дозволяє використовувати їх у системах, де необхідне попереднє виявлення метану. Каталітичні сенсори мають достатню точність для контролю в шахтних умовах, але можуть втрачати ефективність через накопичення забруднень.

Для систем, де необхідна висока точність і стабільність, часто використовують комбіновані сенсорні системи, що поєднують кілька типів сенсорів. Це дозволяє підвищити надійність роботи навіть у складних умовах, таких як шахти з високою вологістю або великою кількістю пилу.

Отже, сучасні сенсорні технології пропонують широкий вибір засобів для моніторингу метану, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Правильний вибір сенсора є ключовим для створення ефективної системи моніторингу, здатної працювати в реальних умовах.

2.4. Інтегровані системи моніторингу газових середовищ

Інтегровані системи моніторингу газових середовищ є важливою складовою сучасних технологій забезпечення безпеки у вугільних шахтах. Такі системи дозволяють ефективно контролювати концентрації небезпечних газів, зокрема метану, в реальному часі, завдяки поєднанню різних технологічних рішень, зокрема сенсорних мереж, контролерів, обробки даних та автоматизованого керування вентиляційними і аварійними системами. Вони є важливими для мінімізації ризиків вибухів, пожеж і інших небезпечних ситуацій у шахтах, забезпечуючи безперервний моніторинг та оперативне реагування на будь-які зміни в атмосфері.

Принципи побудови інтегрованих систем моніторингу газових середовищ ґрунтуються на злагодженій роботі різних компонентів системи, які забезпечують збір, обробку і передачу даних про концентрації газів у шахтах. Основними елементами таких систем є сенсори, контролери, модулі зв'язку та програмне забезпечення для аналізу даних. Сенсори, розташовані в різних зонах шахти, вимірюють концентрації метану та інших небезпечних газів і передають ці дані до центрального процесора або контролера, який забезпечує їх подальшу обробку.

Контролери здійснюють обробку отриманих сигналів від сенсорів, фільтрують дані і передають їх на центральну станцію моніторингу або сервер для подальшого аналізу. У випадку перевищення критичних рівнів концентрацій газів, система автоматично генерує сигнали тривоги і може ініціювати аварійні заходи, такі як активація вентиляційних систем або евакуація працівників. Програмне забезпечення, яке використовується в таких системах, має функції обробки великих обсягів даних у реальному часі, прогнозування розвитку аварійних ситуацій і створення звітів для подальшого аналізу.

Інтегровані системи також підтримують гнучку конфігурацію, що дозволяє адаптувати їх до специфічних умов роботи кожної шахти. Це може включати налаштування частоти збору даних, кількості сенсорів, їхнього розташування і інтеграції з іншими системами шахти, такими як вентиляційні чи охоронні системи. Завдяки цьому, інтегровані системи моніторингу є ефективним інструментом для виявлення та попередження аварійних ситуацій.

Однією з ключових переваг інтегрованих систем моніторингу є використання бездротових сенсорних мереж, які значно підвищують ефективність і надійність систем безпеки шахт. Сенсорні мережі складаються з великої кількості мікросенсорів, розташованих у різних частинах шахти, які безперервно передають дані про концентрації газів до центральної станції моніторингу. Така структура дозволяє покрити великі площі і забезпечити високий рівень точності вимірювань навіть у важкодоступних місцях.

Використання бездротових сенсорних мереж знижує витрати на прокладання кабелів і їх обслуговування, що є особливо важливим у шахтах, де інфраструктура

часто змінюється. Безпроводна передача даних забезпечує більшу гнучкість в управлінні системою та можливість швидкого реагування на зміни умов роботи. Крім того, сенсорні мережі мають можливість автоматично перебудовувати свої зв'язки у випадку виходу з ладу окремих датчиків або комунікаційних вузлів, що підвищує надійність роботи всієї системи.

Інша важлива перевага сенсорних мереж полягає в їхній здатності інтегрувати різні типи сенсорів, які вимірюють не тільки концентрації метану, але й інші параметри, такі як температура, вологість і концентрації інших небезпечних газів, наприклад, чадного газу. Це дозволяє створити більш повну картину умов у шахті та своєчасно виявляти потенційні загрози.

Завдяки сучасним технологіям обробки даних, інтегровані системи з використанням сенсорних мереж можуть аналізувати величезні обсяги інформації в режимі реального часу та забезпечувати більш точне прогнозування аварійних ситуацій. Це значно підвищує рівень безпеки у вугільних шахтах і дозволяє своєчасно вживати заходів для запобігання нещасним випадкам та аваріям, що можуть бути спричинені накопиченням небезпечних концентрацій газів.

2.5. Методи аналізу даних для виявлення небезпечних концентрацій метану

Ефективне виявлення небезпечних концентрацій метану залежить не лише від точності сенсорів, але й від методів обробки даних, які забезпечують коректність і достовірність отриманих результатів. До ключових етапів аналізу даних належать обробка сигналів від сенсорів, фільтрація та корекція вимірювань, а також прогнозування критичних концентрацій.

2.5.1. Підходи до обробки сигналів від сенсорів. Сигнали, отримані від сенсорів метану, часто мають шум або спотворення через вплив зовнішніх факторів, таких як температура, вологість або пил у шахтному середовищі. Для їх коректної обробки застосовується декілька підходів.

Цифрова обробка сигналів (DSP), яка передбачає використання алгоритмів для перетворення та аналізу аналогових сигналів у цифровому вигляді. Це дозволяє покращити точність вимірювань, усунувши шум і артефакти.

Аналіз часових рядів, при якому використовуються методи статистики для вивчення динаміки зміни концентрації метану у часі. Це допомагає ідентифікувати аномальні зміни, які можуть свідчити про небезпеку. Калібрування сенсорів здійснюється для забезпечення точності вимірювань через регулярне налаштування сенсорів відповідно до еталонних параметрів. Ці підходи дозволяють підвищити надійність даних, зменшивши ризик хибних тривог.

2.5.2. Методи фільтрації та корекції вимірюваних даних. Фільтрація даних є важливим етапом для усунення шумів та артефактів, що можуть впливати на точність вимірювань. Найпоширенішими методами фільтрації є:

- фільтр Калмана;
- медіанний фільтр;
- згладжування даних.

Фільтр Калмана використовується для оцінювання динамічних систем і забезпечує точні результати навіть за наявності шуму. Фільтр передбачає прогнозування значень концентрації на основі попередніх даних і корекцію результатів після нового вимірювання.

Медіанний фільтр видаляє сплески сигналу (артефакти), обчислюючи медіанне значення вікна сусідніх точок. Цей метод є простим і ефективним для видалення короткочасних аномалій.

Згладжування даних використовується для усунення шуму шляхом усереднення показників у заданому інтервалі часу. Цей метод дозволяє отримати більш плавні графіки змін концентрації метану.

Корекція вимірюваних даних здійснюється для врахування впливу зовнішніх факторів. Наприклад, корекційні алгоритми можуть компенсувати похибки, спричинені температурними змінами або підвищеною вологістю у шахтах.

2.5.3. Прогнозування критичних концентрацій за результатами вимірювань. Прогнозування небезпечних концентрацій метану є важливим етапом для попередження аварійних ситуацій. Для цього використовуються такі методи:

- аналіз трендів;
- моделі машинного навчання;
- нечіткі моделі.

Аналіз трендів передбачає динамічне відстеження змін у концентрації метану дозволяє прогнозувати, коли рівень газу досягне небезпечних значень. Цей метод базується на екстраполяції даних часових рядів.

Моделі машинного навчання використовують алгоритми, які аналізують історичні дані та ідентифікують закономірності для передбачення критичних ситуацій. Наприклад, регресійні моделі можуть оцінити швидкість накопичення метану у конкретній зоні шахти.

Нечіткі моделі забезпечують прогнозування концентрацій у середовищах із високим рівнем невизначеності. Ці моделі дозволяють враховувати різні фактори ризику і приймати рішення навіть за неповної інформації.

Прогнозування забезпечує завчасне виявлення загрозливих ситуацій, що дозволяє оперативно реагувати та знижувати ризики для працівників шахти. Методи аналізу даних, поєднані з високоточними сенсорами, забезпечують створення ефективних систем моніторингу метану, які здатні працювати в умовах підвищеної небезпеки та складного середовища вугільних шахт.

2.6. Метод багатоступеневої обробки даних із сенсорів із використанням порогового аналізу

Для реалізації системи моніторингу концентрації метану запропоновано використати метод багатоступеневої обробки даних із сенсорів із використанням порогового аналізу та фільтрації сигналів. Цей метод забезпечує надійність і точність вимірювань навіть у складних умовах шахт, де спостерігається високий рівень шуму та зовнішніх перешкод.

Перший етап реалізації методу передбачає зчитування та нормалізацію сигналів сенсора. Сенсор метану MQ-9 генерує аналоговий сигнал S_{raw} , що пропорційний концентрації газу. Для перетворення цього сигналу у цифрове значення використовується аналого-цифровий перетворювач (АЦП):

$$S_{\text{norm}} = \frac{S_{\text{raw}}}{S_{\text{max}}} \cdot R_{\text{max}}, \quad (1)$$

де S_{norm} — нормалізоване значення сигналу, S_{max} — максимальне значення сигналу, яке може бути зчитане сенсором, R_{max} — максимальна концентрація метану, на яку розрахований сенсор.

Наступний етап включає фільтрацію сигналів для усунення шуму. Для зменшення впливу шумів і спотворень застосовується фільтр Калмана, який оцінює поточне значення концентрації C_k на основі попередніх вимірів:

$$C_k = C_{k-1} + K_k(S_{\text{norm}} - C_{k-1}), \quad (2)$$

де C_k — оцінка концентрації метану на кроку k , C_{k-1} — оцінка концентрації на попередньому кроці, K_k — коефіцієнт Калмана, який обчислюється залежно від співвідношення шуму вимірювань та моделі динаміки.

Цей фільтр дозволяє усунути короточасні сплески сигналу, які можуть виникати через перешкоди.

Далі здійснюється пороговий аналіз концентрації метану. Оброблений сигнал C_k порівнюється із заздалегідь визначеним граничним значенням $C_{\text{threshold}}$, яке відповідає небезпечному рівню концентрації:

$$\text{Alert} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } C_k \geq C_{\text{threshold}}, \\ 0, & \text{якщо } C_k < C_{\text{threshold}}. \end{cases} \quad (3)$$

де Alert — сигнал тривоги, який активується, якщо концентрація перевищує поріг.

Важливим етапом є передача даних і їх візуалізація. Значення C_k та сигнал тривоги Alert передаються на центральний мікрокомп'ютер Raspberry Pi через UART. Для передачі даних використовується формат повідомлень:

$$\text{Message} = [C_k, \text{Alert}], \quad (4)$$

де C_k подається в ppm (частини на мільйон), а Alert — бінарне значення (0 або 1).

Мікрокомп'ютер передає отримані дані на IoT-платформу через HTTP-запит. Візуалізація здійснюється у вигляді графіків і таблиць, які дозволяють відслідковувати динаміку змін концентрації метану у реальному часі.

Для прогнозування майбутньої концентрації використовується метод лінійної екстраполяції:

$$C_{k+1} = C_k + \Delta C \cdot \Delta t, \quad (5)$$

де $\Delta C = C_k - C_{k-1}$ — зміна концентрації між двома останніми кроками, Δt — час між вимірами.

Якщо прогнозоване значення C_{k+1} перевищує $C_{\text{threshold}}$, система може заздалегідь активувати сигнал тривоги.

Цей метод дозволяє забезпечити надійну і точну роботу системи в умовах шахтного середовища, зменшуючи кількість хибних спрацювань і підвищуючи безпеку працівників.

2.7. Висновки до розділу 2

У другому розділі досліджено методи та засоби віддаленого моніторингу небезпечних концентрацій метану для вугільних шахт. Проаналізовано існуючі підходи до виявлення газу, включаючи прямі, непрямі та комбіновані методи, що дозволило оцінити їх ефективність у різних умовах. Особливу увагу приділено

сучасним сенсорним технологіям, таким як оптичні, напівпровідникові та каталізаторні сенсори.

Вивчено інтегровані системи моніторингу, що поєднують сенсори, мікроконтролери та IoT-платформи, для забезпечення автоматизації процесів контролю та передачі даних у реальному часі. Розглянуто методи обробки сигналів із сенсорів, зокрема фільтрацію, корекцію та прогнозування, які сприяють зниженню впливу шуму й підвищенню точності вимірювань. Запропоновано метод багатоступеневої обробки даних із використанням порогового аналізу, який забезпечує оперативне реагування на небезпечні зміни концентрації метану.

Результати аналізу підкреслюють доцільність застосування сучасних сенсорних технологій та алгоритмів обробки даних для створення ефективних систем моніторингу, що інтегруються з IoT-платформами. Це стало основою для подальшої реалізації системи в межах кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ

3.1. Апаратна реалізація системи дистанційного моніторингу концентрації метану

3.1.1. Структура системи виявлення небезпечних концентрацій метану для попередження аварій у вугільних шахтах представлена на рис. 3.1.

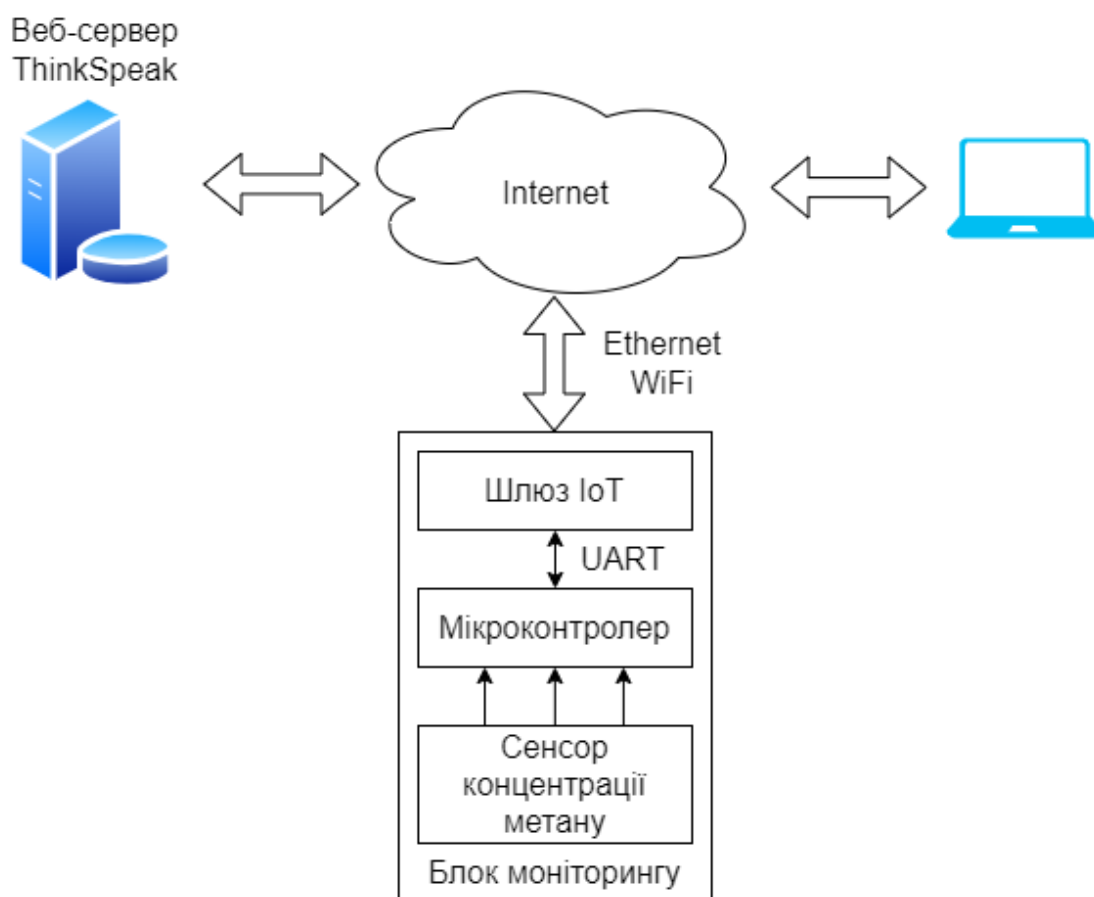


Рис. 3.1. Структурна схема системи виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах

Структурна схема системи виявлення небезпечних концентрацій метану складається з кількох ключових компонентів, що забезпечують безперервний моніторинг, обробку, передачу даних та попередження про потенційні загрози.

Система базується на IoT-технологіях і побудована для автоматизованого функціонування в умовах підвищеної небезпеки.

Сенсорний модуль відповідає за виявлення метану у повітрі. Основними компонентами модуля є сенсори метану, які постійно вимірюють концентрацію газу. Ці сенсори можуть працювати у безперервному режимі або періодично, залежно від заданих налаштувань.

Мікроконтролер є центральним елементом системи. Він збирає дані з сенсорного модуля, обробляє їх і виконує порівняння з попередньо встановленими пороговими значеннями концентрації метану. У разі перевищення допустимих рівнів контролер ініціює тривожний сигнал. Мікроконтролер також може бути оснащений додатковими модулями для управління зовнішніми пристроями, такими як вентиляційне обладнання.

Комунікаційний модуль забезпечує передавання даних із сенсорів та контролера до центральної платформи або хмарного сервера. Використовуються такі комунікаційні технології, як Wi-Fi, LoRaWAN або ZigBee, що забезпечують передачу даних навіть у віддалені зони. Комунікаційний модуль дозволяє передавати не тільки показники сенсорів, але й сигнали тривоги у разі виявлення небезпечних концентрацій метану.

Усі зібрані дані зберігаються на хмарному сервері або локальному сервері підприємства для подальшого аналізу та архівування. Наприклад, платформа ThingSpeak дозволяє зберігати дані, відображати їх у вигляді графіків у реальному часі, а також використовувати аналітичні інструменти для оцінки ситуації та прогнозування.

Для контролю та управління системою використовується інтерфейс користувача, доступний через мобільний додаток, веб-інтерфейс або настільну програму. Інтерфейс надає оператору інформацію про поточні показники концентрації метану, можливі попередження та дозволяє керувати вентиляційною системою чи активувати аварійні заходи.

Якщо концентрація метану перевищує допустимий рівень, система автоматично активує попереджувальні сигнали (звукові чи світлові) та надсилає

сповіщення операторам. У разі критичної ситуації система може автоматично запускати вентиляційне обладнання або ініціювати часткову евакуацію.

Сенсори надсилають дані на контролер, де відбувається їх обробка. У разі нормального рівня метану контролер періодично передає дані до хмари для зберігання й аналізу. Якщо ж концентрація метану перевищує встановлений поріг, контролер активує систему оповіщення і може автоматично відправляти сигнал на аварійне обладнання. Інтерфейс користувача дозволяє операторам відстежувати стан у реальному часі й приймати оперативні рішення.

Система забезпечує постійний контроль концентрації метану, дозволяє оперативно реагувати на зміну ситуації і підвищує рівень безпеки вугільних шахт. Завдяки хмарному зберіганню даних і віддаленому доступу користувачі можуть контролювати стан навіть у віддаленому режимі.

3.1.2. Raspberry Pi (RPi) є одноплатним комп'ютером, який отримав значну популярність у багатьох проектах, включаючи системи моніторингу, управління і збору даних. Завдяки своїй потужності та гнучкості, він підходить для широкого кола завдань, де необхідне програмоване обладнання для контролю і обробки інформації (рис. 3.2).

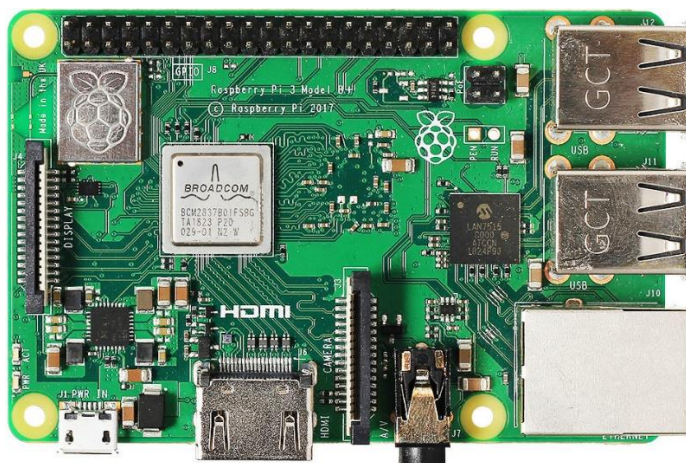


Рис. 3.2. Мікрокомп'ютер RPi

Raspberry Pi 3 побудований на базі 64-бітного ARM процесора з чотирма ядрами, який працює на частоті 1,4 ГГц. Цей модуль оснащений 1 Гб оперативної пам'яті LPDDR2 і має вбудований модуль Wi-Fi, Bluetooth і Ethernet, що забезпечує

бездротове та дротове підключення. Він підтримує USB порти, HDMI-вихід для підключення дисплеїв, і 40 GPIO (выводів загального призначення), які використовуються для підключення зовнішніх сенсорів та інших пристроїв.

Raspberry Pi функціонує як невеликий комп'ютер, здатний запускати операційні системи (наприклад, Raspbian або інші дистрибутиви Linux). Завдяки вбудованій підтримці мережевих інтерфейсів, він може працювати як центральний вузол системи збору та обробки даних, забезпечуючи координацію роботи сенсорів і приймаючи рішення на основі отриманої інформації.

Raspberry Pi дозволяє легко інтегрувати різні модулі та сенсори, керувати їх роботою через програми на Python або інших мовах програмування, та здійснювати моніторинг у реальному часі. Підтримка Wi-Fi дає можливість бездротового передавання даних, що є важливим у середовищах, де використання кабельних з'єднань може бути небезпечним або недоцільним, як у вугільних шахтах.

3.1.3. Розширення для Raspberry Pi на основі Arduino Leonardo дозволяє підключати до Raspberry Pi різні периферійні пристрої та сенсори, які зазвичай використовуються з Arduino. Це розширення надає можливість використовувати сумісні плати Arduino разом із Raspberry Pi, комбінуючи переваги обох платформ у єдиній системі (рис. 3.3).

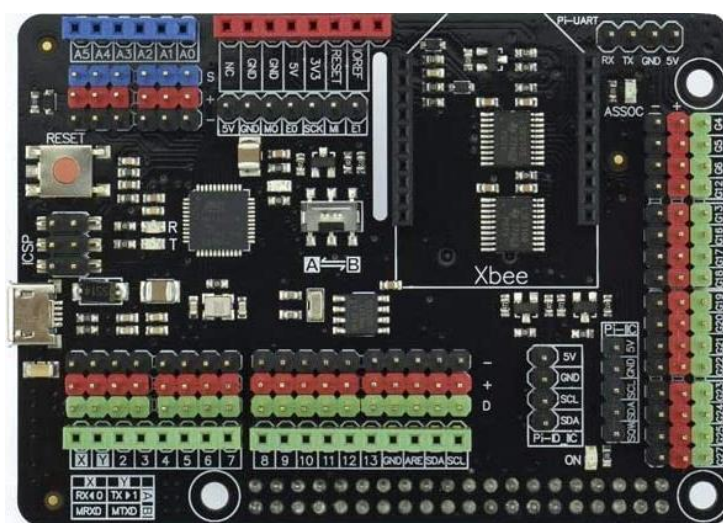


Рис. 3.3. Розширення для RPi на основі Arduino Leonardo

Розширення для Raspberry Pi, представлене в цьому стартовому наборі, забезпечує фізичне з'єднання між платою Raspberry Pi та Arduino-сумісними компонентами. Це дозволяє використовувати GPIO виводи Raspberry Pi для підключення до модулів, створених для Arduino. У комплекті також є додаткові компоненти, такі як світлодіоди, резистори, модулі дисплеїв, що робить цю систему більш універсальною.

Розширення працює як посередник, дозволяючи Raspberry Pi використовувати пристрої та сенсори, характерні для платформи Arduino, при цьому вся обчислювальна потужність та логіка програми знаходиться на Raspberry Pi. Це значно розширює функціональні можливості системи, зокрема в проєктах, де необхідний великий обсяг сенсорів або специфічні модулі для вимірювання.

Raspberry Pi 3 з Arduino розширенням забезпечує потужну і гнучку платформу для створення системи моніторингу метану у вугільних шахтах. Однією з ключових переваг цього модуля є можливість збору даних із сенсорів, обробки інформації та передачі результатів у реальному часі через Wi-Fi або Ethernet. Це дозволяє швидко реагувати на зміни концентрації газів і оперативно інформувати про небезпечні ситуації.

Комбінація Raspberry Pi і Arduino забезпечує легкість інтеграції великої кількості сенсорів для виявлення метану та інших небезпечних газів, при цьому платформа є енергоефективною, що важливо для безперервної роботи в шахтах. Завдяки обчислювальним можливостям Raspberry Pi, можна реалізувати алгоритми обробки даних безпосередньо на місці, зменшуючи залежність від віддалених серверів. Arduino-розширення дозволяє легко підключати специфічні модулі для газоаналізу, що робить систему ще більш універсальною.

Така конфігурація дозволяє створити ефективну, надійну та доступну систему для моніторингу концентрацій метану у вугільних шахтах, підвищуючи рівень безпеки та знижуючи ризики аварій.

3.1.4. Модуль давача газу MQ-9 є поширеним і доступним сенсором для виявлення метану (CH_4), чадного газу (CO) та інших газів у навколишньому середовищі. Він широко використовується в системах моніторингу повітря,

зокрема для виявлення небезпечної концентрації газу у промислових умовах, включаючи вугільні шахти (рис. 3.4).

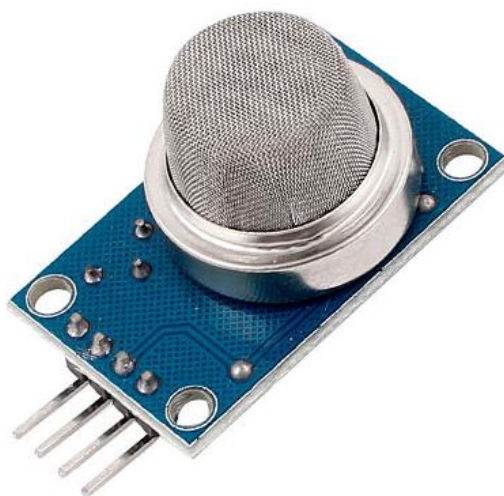


Рис. 3.4. Давач газу MQ-9

Основу модуля MQ-9 складає чутливий елемент із напівпровідникового матеріалу, виготовленого на основі оксиду металу (зазвичай діоксиду олова – SnO_2). Цей матеріал змінює свої електричні властивості при взаємодії з молекулами метану та інших горючих газів. Модуль MQ-9 оснащений двома нагрівачами, які забезпечують роботу в різних температурних режимах для виявлення різних газів. На платі модуля також знаходяться контактні виводи, які дозволяють легко інтегрувати сенсор у систему контролю концентрації газів.

Принцип роботи давача MQ-9 ґрунтується на зміні електропровідності чутливого шару при взаємодії з молекулами метану. У присутності метану або інших горючих газів відбувається окислення на поверхні чутливого матеріалу, що призводить до зміни електричного опору. Чутливий елемент працює у двох температурних режимах: при низькій температурі (близько 1.5 В) MQ-9 реагує на чадний газ, а при високій (5 В) – на метан та інші вуглеводні. Сенсор виробляє аналоговий сигнал, який можна обробити за допомогою мікроконтролера для визначення концентрації газу в повітрі.

MQ-9 має діапазон вимірюваних концентрацій газів: метан (CH_4) від 200 до 10,000 ppm, чадний газ (CO) від 10 до 1,000 ppm. Вихідний сигнал – аналоговий.

Цей датчик є доступним і простим у використанні сенсором для виявлення небезпечних концентрацій метану. Він має високу чутливість до метану, що робить його ефективним у складних умовах, таких як вугільні шахти, де накопичення газів може відбуватися нерівномірно. Низька вартість і легкість інтеграції цього сенсора в існуючі системи моніторингу дозволяє створювати масштабовані та економічно ефективні рішення для безперервного контролю.

Додатково, MQ-9 здатний працювати в умовах з помірною температурою і вологістю, що є важливим для вугільних шахт, де кліматичні умови можуть коливатися. Сенсор забезпечує швидкий відгук, що дозволяє швидко реагувати на підвищення рівня метану, запобігаючи аваріям та вибухам.

Таким чином, MQ-9 є технічно обґрунтованим вибором для систем виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах завдяки його чутливості, доступності та можливості швидкої інтеграції у складні середовища.

3.1.5. На рис. 3.5 представлена електрична принципова схема основного пристрою системи виявлення концентрації метану.

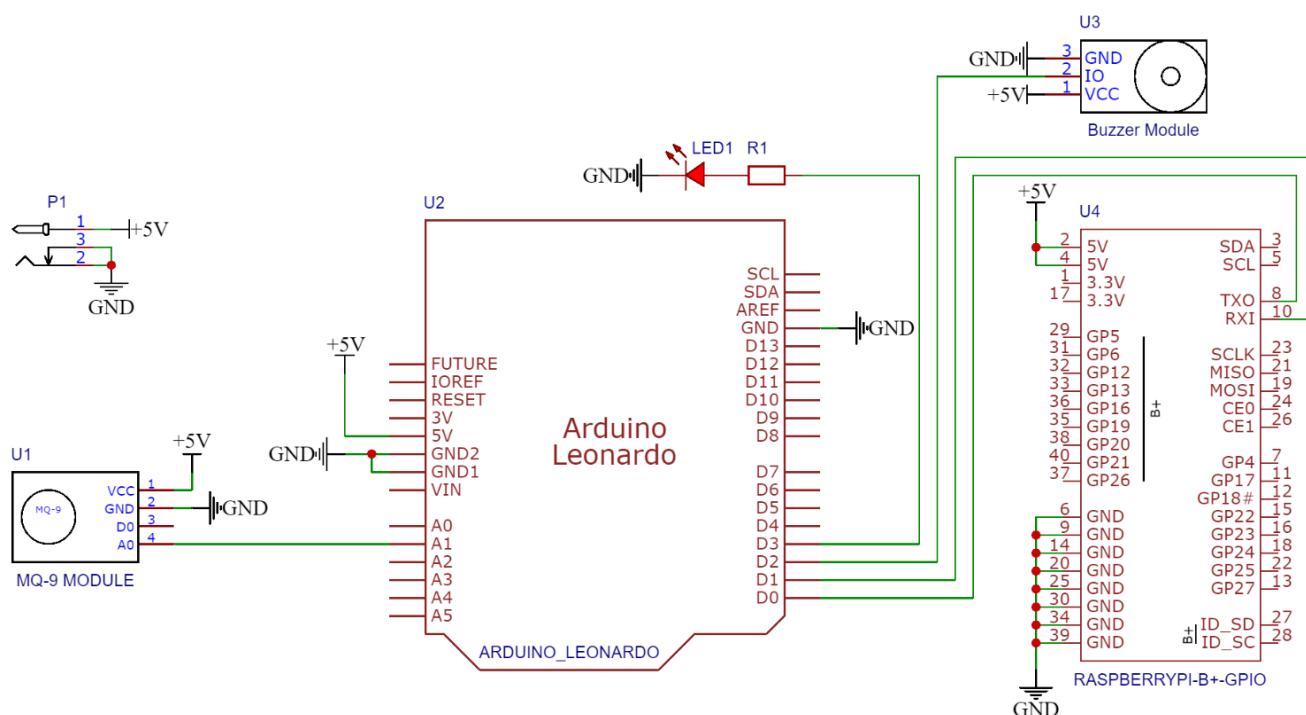


Рис. 3.5. Схема електричних з'єднань

Сенсор метану MQ-9 (U1), призначений для вимірювання рівня концентрації метану в повітрі. Сенсор підключений до контролера через аналоговий вхід, який дозволяє передавати сигнал, що відображає поточний рівень газу.

Мікроконтролерний модуль Arduino Leonardo центральний обчислювальний вузол, що відповідає за збір, обробку та аналіз даних, отриманих із сенсора метану. Контролер приймає аналоговий сигнал із сенсора, перетворює його на цифрові значення, виконує обробку та порівнює з граничними значеннями концентрації метану. При перевищенні критичного рівня контролер активує сигнали тривоги.

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi забезпечує зв'язок з хмарною платформою для віддаленого моніторингу. Цей модуль підключений до контролера і дозволяє передавати дані до хмарного сервера, де інформація зберігається і відображається в інтерфейсі користувача.

У разі перевищення допустимого рівня концентрації метану контролер активує звуковий сигналізатор та світлодіодний індикатор. Це попереджає працівників шахти про небезпечну ситуацію. Схема забезпечує безперервне вимірювання концентрації метану, своєчасне виявлення небезпечних рівнів газу і передачу інформації на віддалений сервер.

3.2. Реалізація алгоритмічного та програмного забезпечення системи

3.2.1. Алгоритм роботи програми для мікроконтролера ATmega32u4, що використовується в модулі Arduino Leonardo, починає свою роботу з ініціалізації системи (рис. 3.6). Це включає налаштування швидкості передачі даних через UART для забезпечення зв'язку з Raspberry Pi, а також конфігурацію аналогових та цифрових портів для підключення сенсора метану, звукового сигналізатора та світлодіодів. Крім того, задаються граничні значення концентрації метану, при перевищенні яких активуються сигнали попередження.

Після ініціалізації програма циклічно виконує читання даних із сенсора метану, отримуючи аналоговий сигнал. Цей сигнал перетворюється в цифрове значення, що відповідає концентрації газу у частинах на мільйон (ppm). Отримані

дані порівнюються з граничним рівнем, встановленим для забезпечення безпеки. Якщо концентрація метану перевищує поріг, активуються звуковий сигналізатор і світлодіоди, які попереджають про небезпеку. У такому разі через UART передається тривожне повідомлення. Якщо рівень газу не перевищує поріг, система надсилає нормальне значення концентрації метану. Після кожного циклу програма виконує затримку, щоб забезпечити стабільність роботи, і повторює процес знову.

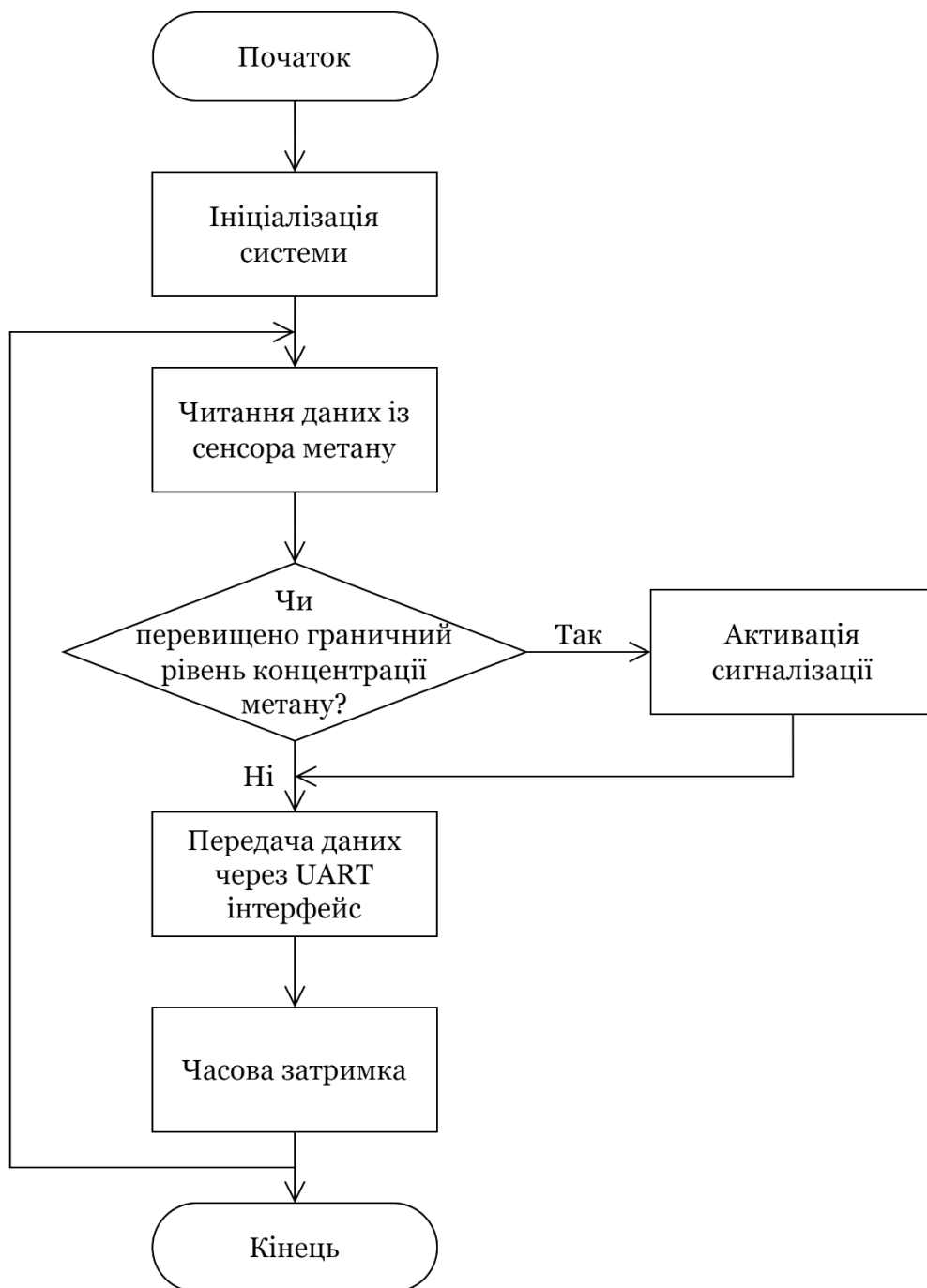


Рис. 3.6. Блок-схема алгоритму програми для Arduino Leonardo

Цей алгоритм дозволяє Arduino Leonardo безперервно контролювати концентрацію метану та відправляти отримані дані для обробки і збереження на Raspberry Pi.

На стороні Raspberry Pi алгоритм програми також розпочинається з ініціалізації (рис. 3.7).

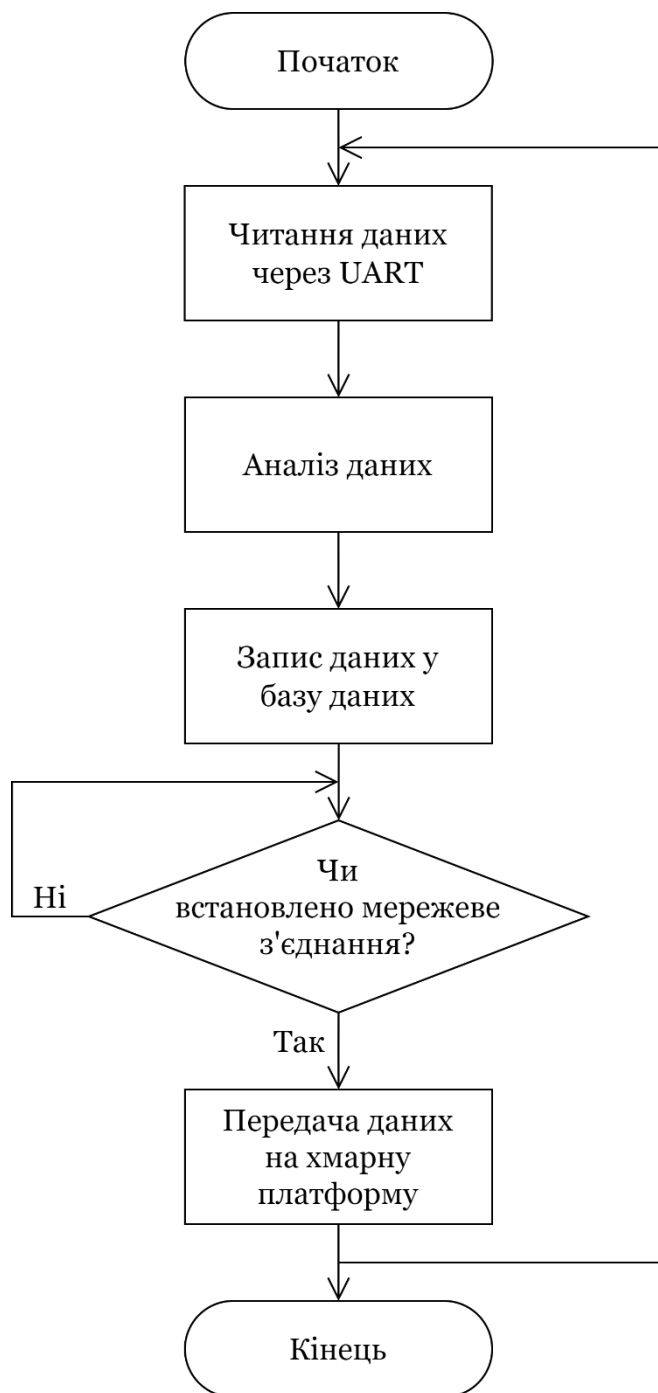


Рис. 3.7. Блок-схема алгоритму програми для Raspberry Pi

Встановлюється швидкість передачі даних для UART, налаштовується мережеве підключення для доступу до Інтернету і використовуються бібліотеки для обробки даних. Потім Raspberry Pi через UART зчитує дані, надіслані Arduino Leonardo, і розпізнає повідомлення, які можуть містити нормальне значення концентрації або тривожний сигнал.

Отримані дані обробляються: якщо в повідомленні виявлено тривожний сигнал, вони записуються у базу даних із позначкою про небезпеку. У разі нормальних показників дані також зберігаються для подальшого аналізу. Крім того, інформація відображається в інтерфейсі користувача, а тривожні сигнали виводяться на екран із відповідним попередженням.

Через задані інтервали часу дані передаються на IoT-платформу ThingSpeak. Повідомлення включає поточне значення концентрації метану, а також статус (норма або небезпека). Для забезпечення стабільності програма контролює зв'язок із Arduino і в разі помилок перезапускає з'єднання. Цикл повторюється, забезпечуючи безперервний моніторинг концентрації метану, збереження даних та їх передачу для віддаленого аналізу.

Цей алгоритм дозволяє Raspberry Pi постійно отримувати дані про концентрацію метану від Arduino Leonardo, зберігати їх, відображати для оператора та надсилати на хмарну платформу для подальшого моніторингу й аналізу.

3.2.2. Програма, розроблена для мікроконтролера ATmega32u4, реалізує функції збору даних із сенсора метану MQ-9, обробки цих даних та передачі результатів на Raspberry Pi через UART.

Після запуску програма ініціалізує необхідні компоненти, включаючи UART для обміну даними, пін для сенсора метану, а також пін для звукового сигналізатора і світлодіода. Ініціалізація виконується у функції `setup()`, яка задає конфігурацію вхідних та вихідних пінів (рис. 3.8).

```

void setup() {
    pinMode(gasSensorPin, INPUT);
    pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    mySerial.begin(9600); // Налаштування UART для передачі даних
    Serial.begin(9600);   // Для моніторингу в Arduino IDE
}

```

Рис. 3.8. Код функції setup()

Основна логіка програми реалізована у функції loop(). Вона циклічно зчитує аналоговий сигнал із сенсора метану, перетворює його у цифровий формат і порівнює з граничним значенням (рис. 3.9).

```

void loop() {
    int gasValue = analogRead(gasSensorPin); // Зчитування значення сенсора
    Serial.println(gasValue);                // Вивід в монітор порту

    // Перевірка на перевищення граничного рівня
    if (gasValue > threshold) {
        digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
        digitalWrite(ledPin, HIGH);
        mySerial.println(String("ALERT: ") + gasValue); // Надсилання тривожного повідомлення
    } else {
        digitalWrite(buzzerPin, LOW);
        digitalWrite(ledPin, LOW);
        mySerial.println(String("Normal: ") + gasValue); // Надсилання нормального рівня
    }

    delay(1000); // Затримка 1 секунда
}

```

Рис. 3.9. Код функції loop()

Якщо значення перевищує встановлений поріг, активується сигналізація: звуковий сигналізатор і світлодіод. Одночасно дані передаються через UART у вигляді тривожного повідомлення. Якщо рівень метану залишається в межах норми, передаються відповідні повідомлення зі значеннями концентрації.

Функціонал програми передбачає затримку між циклами для стабілізації роботи сенсора та UART-зв'язку, що забезпечує регулярність оновлення даних.

3.2.3. Програма для Raspberry Pi, реалізована мовою Python, відповідає за зчитування даних від Arduino Leonardo через UART, обробку отриманої інформації та її передачу на IoT-платформу ThingSpeak.

Програма починає свою роботу з ініціалізації UART-порту для забезпечення з'єднання з Arduino Leonardo та налаштування API-запитів до платформи ThingSpeak. Ці функції реалізовано у вигляді імпорту відповідних бібліотек і налаштування параметрів порту та API.

Функція `send_to_thingspeak()` відповідає за передачу даних на платформу ThingSpeak. Вона формує HTTP-запит, який містить значення концентрації метану та сигнал тривоги, якщо рівень газу перевищує граничне значення (рис. 3.10).

```
def send_to_thingspeak(value, alert):
    try:
        payload = {
            "api_key": THINGSPEAK_WRITE_API_KEY,
            "field1": value, # Концентрація метану
            "field2": alert # Сигнал тривоги (0 - нормально, 1 - небезпека)
        }
        response = requests.get(THINGSPEAK_URL, params=payload)
        if response.status_code == 200:
            print("Дані успішно передані на ThingSpeak")
        else:
            print("Помилка передачі даних на ThingSpeak")
    except Exception as e:
        print(f"Помилка під час передачі даних: {e}")
```

Рис. 3.10. Код функції `send_to_thingspeak()`

У циклі основної програми здійснюється перевірка наявності нових даних у UART-порту. У разі отримання повідомлення виконується його обробка для виділення значення концентрації та можливого сигналу тривоги. Оброблені дані виводяться у консоль Raspberry Pi для моніторингу оператором та передаються на ThingSpeak (рис. 3.11).

```

def main():
    while True:
        try:
            if ser.in_waiting > 0:
                data = ser.readline().decode("utf-8").strip()
                print(f"Отримано: {data}")

                # Обробка отриманих даних
                if "ALERT" in data:
                    gas_value = int(data.split(": ")[1])
                    send_to_thingSpeak(gas_value, 1)
                    print("Тривога: концентрація перевищує норму!")
                elif "Normal" in data:
                    gas_value = int(data.split(": ")[1])
                    send_to_thingSpeak(gas_value, 0)
                    print("Концентрація в межах норми.")
                else:
                    print("Невідомий формат даних.")
        except Exception as e:
            print(f"Помилка: {e}")
        time.sleep(1)

```

Рис. 3.11. Код функції main()

Ця програма дозволяє постійно оновлювати інформацію на хмарній платформі та забезпечує оперативне відображення даних у веб-інтерфейсі.

Обидві програми працюють у тісній інтеграції, забезпечуючи збір, обробку та візуалізацію даних. Arduino Leonardo передає дані в реальному часі через UART до Raspberry Pi, де вони обробляються і передаються на платформу ThingSpeak. Весь процес забезпечує безперервний моніторинг концентрації метану та своєчасне оповіщення у разі небезпеки.

3.3. Інтеграція з хмарною IoT платформою

3.3.1. ThingSpeak — це хмарна платформа для Інтернету речей (IoT), яка надає користувачам інтерфейс для легкого збору даних із різноманітних сенсорів, їхньої обробки і подальшого аналізу за допомогою вбудованих інструментів. Ця платформа підтримує інтеграцію з популярними апаратними засобами, такими як Raspberry Pi та Arduino, що робить її особливо зручною для проєктів у сфері моніторингу рівня газу в повітрі.

У ThingSpeak можна підключати різні сенсори, які передають дані на платформу через інтернет, зокрема Wi-Fi або Ethernet. ThingSpeak дозволяє легко створювати графіки та таблиці для візуалізації отриманих даних у реальному часі. За допомогою вбудованого інтерфейсу MathWorks MATLAB можна автоматизувати аналіз даних та створювати алгоритми, які обробляють інформацію безпосередньо на платформі. Користувачі можуть налаштовувати автоматичні сповіщення або дії (наприклад, надсилання повідомлень або запуск скриптів) у випадку виявлення небезпечних концентрацій метану.

Технічні характеристики платформи ThingSpeak:

- підтримка HTTP та MQTT протоколів для передачі даних;
- максимальна частота оновлення каналів: раз на 15 секунд (для платної версії), 15 хвилин (для безкоштовної);
- інтеграція з MATLAB для аналітики та обробки даних;
- API для доступу до даних та їхнього контролю;
- дашборди та графіки для моніторингу стану систем у режимі реального часу;
- ThingSpeak зберігає історію всіх даних, що надійшли, для подальшого аналізу.

У контексті системи виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах, ThingSpeak дозволяє отримувати дані від сенсора через контролер Arduino та мікрокомп'ютер Raspberry Pi, які передають ці дані в хмару через інтернет-з'єднання. Платформа візуалізує концентрацію метану у вигляді графіку, що дозволяє оперативно оцінювати ситуацію в шахті. У випадку перевищення допустимих рівнів метану, можна налаштувати автоматичні сповіщення, які будуть надходити на електронну пошту або інші пристрої.

ThingSpeak також дозволяє використовувати аналітичні інструменти MATLAB для прогнозування концентрацій метану, створення моделей поведінки газів у шахтах та автоматичного контролю за рівнями безпеки. Це дає можливість не тільки стежити за поточними показниками, а й передбачати майбутні ризики.

ThingSpeak є оптимальним вибором для цього проєкту через його легку інтеграцію з апаратними платформами Raspberry Pi і Arduino. Завдяки підтримці цих платформ, можна безпосередньо підключати сенсори, зокрема для вимірювання концентрації метану, та швидко передавати дані до хмарного сервісу для обробки та моніторингу.

Для системи моніторингу метану критично важливо отримувати дані в реальному часі, і ThingSpeak дозволяє з легкістю візуалізувати інформацію з датчиків на графіках і діаграмах. Це забезпечує оперативне виявлення небезпечних ситуацій у вугільних шахтах та швидке реагування.

Завдяки інтеграції з MATLAB, ThingSpeak надає можливості для глибшого аналізу даних, що дозволяє автоматизувати процеси контролю та передбачення рівня метану. Можливість застосовувати алгоритми аналізу безпосередньо на платформі дає змогу розробити ефективні рішення для прогнозування аварійних ситуацій.

ThingSpeak дозволяє налаштувати автоматичні сповіщення у випадку перевищення допустимого рівня метану, що є вкрай важливим для підвищення безпеки на шахті. Це дає змогу оперативно інформувати персонал про небезпечні концентрації газу та вживати необхідних заходів.

Платформа ThingSpeak доступна як у безкоштовній, так і платній версіях, що дає можливість почати з базових функцій і з часом розширювати можливості системи. Це робить її доступною для різних за масштабом проєктів, включаючи шахти з різними потребами в моніторингу.

Таким чином, ThingSpeak є надійною та ефективною платформою для створення системи виявлення небезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах завдяки її інтеграції з сучасними апаратними засобами, потужними інструментами для аналізу даних і можливостям автоматизації.

3.3.2. З метою налаштування IoT-платформи ThingSpeak для відображення результатів дистанційного моніторингу концентрації метану був створений обліковий запис на офіційному вебсайті. У розділі «Channels» створено новий

канал, в якому введено основну інформацію про проєкт. Зокрема, додано поле для відображення даних про концентрацію метану (рис. 3.12).

The screenshot shows the ThingSpeak web interface. At the top, there's a navigation bar with 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support'. The main heading is 'Computer system for detecting hazardous methane concentration'. Below this, it shows 'Channel ID: 2778515', 'Author: mwa0000018132791', and 'Access: Private'. There are tabs for 'Private View', 'Public View', 'Channel Settings' (which is active), 'Sharing', 'API Keys', and 'Data Import / Export'. The 'Channel Settings' section includes a 'Percentage Complete' indicator at 50%, the 'Channel ID' 2778515, a 'Name' field with the value 'Computer system for detecting hazardous methane con', a 'Description' field with the value 'Master's graduation thesis project by Martseniuk Ihor', and a 'Field 1' section with the name 'Methane concentration' and a checked checkbox. To the right, there is a 'Help' section explaining that channels store data and can hold various types of data, and a 'Channel Settings' list with instructions for 'Percentage complete', 'Channel Name', 'Description', and 'Field#'. The 'Field#' instruction says: 'Check the box to enable the field, and enter a field name. Each'.

Рис. 3.12. Процес створення та налаштування каналу в ThingSpeak

Після цього з'явилась можливість згенерувати унікальні API ключі для отримання даних із сенсора на ThingSpeak. Після налаштування каналу необхідно було інтегрувати ThingSpeak з Raspberry Pi, що отримує дані концентрацію метану від Arduino Leonardo. Для цього в коді використано «Write API Key» та створено HTTP-запити, щоб надсилати дані в канал ThingSpeak. Це реалізовано через функцію відправки HTTP GET-запиту з параметрами концентрації метану. Дані передаються на платформу через регулярні інтервали часу.

Після початку передачі даних ThingSpeak автоматично оновлює графіки та діаграми в режимі реального часу на сторінці каналу. У вкладці «Public View» налаштовано інтерфейс для перегляду даних, вибравши лінійний тип графіку, який найкраще підходять для візуалізації концентрації метану. Також був доданий компонент для візуалізації рівня метану у вигляді шкали з діапазонами різних кольорів (рис. 3.13).

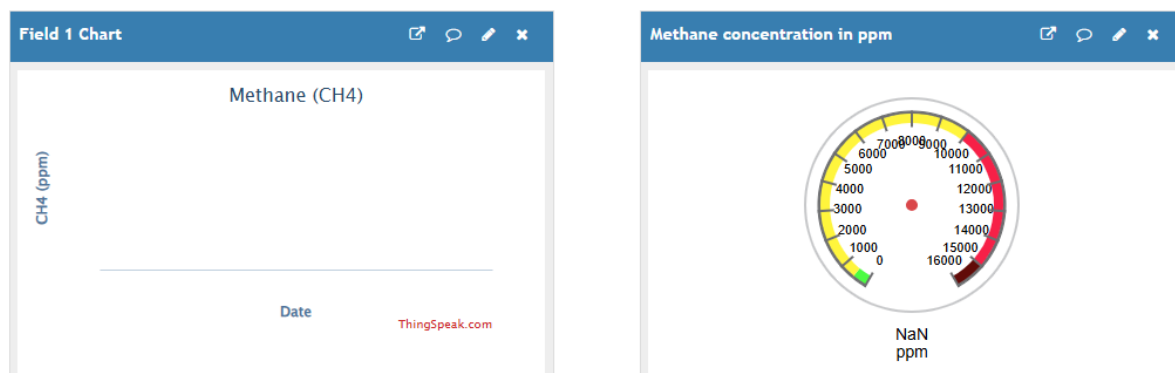


Рис. 3.13. Компоненти для візуалізації результатів моніторингу концентрації метану

Для забезпечення швидкого реагування на небезпечний рівень метану був налаштований тригер оповіщення у вкладці «React». Тут задана умова, при якій система автоматично виконає HTTP-запит на інші пристрої. Зокрема, встановлений тригер, який надсилає оповіщення, якщо концентрація метану перевищить встановлений поріг (рис. 3.14).

Рис. 3.14. Налаштування тригера оповіщення у вкладці «React»

ThingSpeak також надає інструменти для аналізу даних за допомогою MATLAB. У вкладці «Apps» є розділ «MATLAB Analysis», де можна створити скрипти для обробки історичних даних, прогнозування концентрації метану або побудови складніших аналітичних моделей.

Налаштування ThingSpeak дозволяє відображати та аналізувати результати моніторингу концентрації метану у реальному часі, що значно підвищує ефективність і безпеку контролю газового середовища у віддалених умовах.

3.4. Результати тестування системи моніторингу

На рис. 3.15 зображено прототип пристрою для виявлення небезпечних концентрацій метану, який складається із з'єднаних на макетній безпачній платі компонентів. Комплект Raspberry Pi з Arduino Leonardo виконує роль центрального елемента, відповідального за збір, обробку та передачу даних. Контролер підключений до сенсора метану MQ-9, за допомогою з'єднувальних провідників, що дозволяє отримувати дані про концентрацію газу в реальному часі.

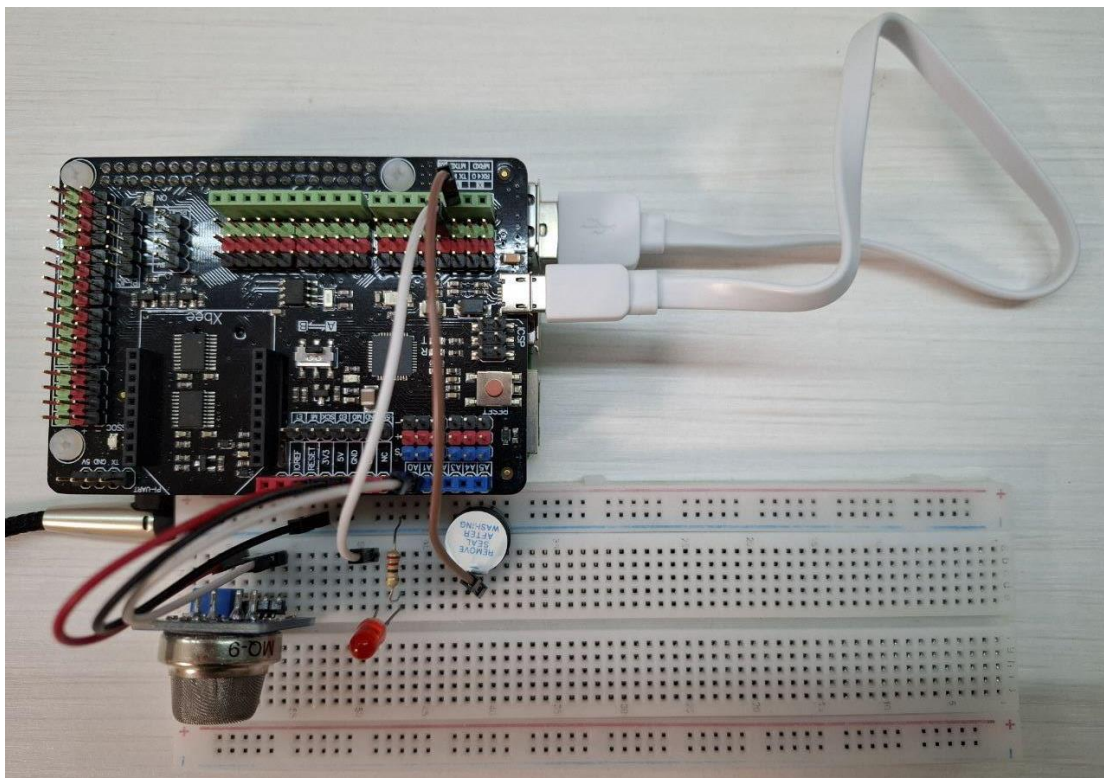


Рис. 3.15. Прототип пристрою для моніторингу концентрації метану

На платі також видно звуковий сигналізатор і світлодіодний індикатор, який підключений до контролера через резистор. Ці компоненти служать для візуального та звукового попередження про небезпечний рівень метану. Коли концентрація метану перевищує безпечний рівень, контролер активує звуковий сигналізатор і світлодіод, що дозволяє користувачам отримати миттєве попередження про небезпеку.

З'єднувальні провідники на макетній платі забезпечують тимчасове з'єднання без необхідності паяння, що спрощує налаштування та тестування пристрою. Така конструкція дозволяє гнучко змінювати компоненти та налаштування, оптимізуючи систему перед фінальною збіркою.

Прототип на макетній платі знаходиться в процесі тестування, яке полягає у перевірці чутливості сенсора метану до змін концентрації газу, стабільності роботи сигналізаторів, а також надійності передачі даних.

Результати тестування розробленої системи для моніторингу концентрації метану показали високу точність та ефективність у реальному застосуванні. Під час тестування система успішно збирала дані про концентрацію метану за допомогою сенсора та мікроконтролера. Якщо концентрація метану перевищувала поріг безпеки, мікроконтролер активував червоний індикатор та вмикав звукове оповіщення.

Паралельно дані про концентрацію метану передавались на IoT платформу ThingSpeak. На веб-інтерфейсі платформи дані відображались у вигляді графіків, що показують динаміку зміни концентрації метану протягом часу. Всі показники, що передавались від системи, було видно на лінійному графіку, де по осі X позначався час, а по осі Y — рівень концентрації метану в ppm. Цей графік дозволяв спостерігати за тенденціями змін концентрації газу в режимі реального часу (рис. 3.16).

Платформа підтримує динамічне оновлення даних, що дозволяло оператору відразу отримувати актуальну інформацію про стан системи. Це дало змогу аналізувати ситуацію, виявляти тенденції та визначати аномальні підвищення концентрації метану.

У разі перевищення небезпечного рівня концентрації метану, система надсилала повідомлення. Ці повідомлення містили не тільки дані про концентрацію метану, але й точний час виявлення небезпечної ситуації та рекомендовані дії.

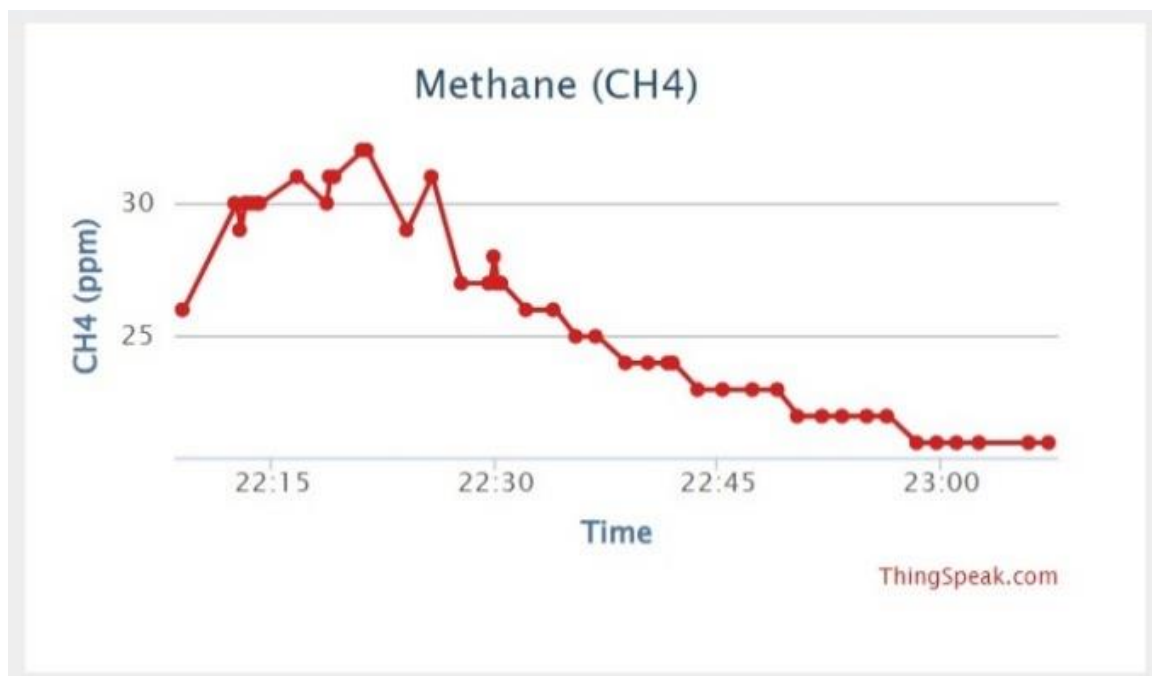


Рис. 3.16. Результат моніторингу концентрації метану в повітрі

Тестування показало, що система здатна оперативно реагувати на зміни концентрації метану та надавати точну і своєчасну інформацію на віддаленому веб-інтерфейсі. Візуальні елементи, зокрема графіки та діаграми, забезпечили зручне відображення результатів і дозволили оперативно оцінювати ситуацію. Інтерфейс був інтуїтивно зрозумілим і дозволяв легко інтегрувати систему в реальні умови моніторингу стану вугільних шахт.

3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі проведено реалізацію методів та засобів дистанційного моніторингу рівня концентрації метану, що включає апаратну, програмну складову та інтеграцію з хмарною IoT платформою.

Описано апаратну реалізацію системи, яка базується на використанні сенсора метану MQ-9, мікроконтролера Arduino Leonardo та мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Компоненти були інтегровані на макетній платі, що дозволило виконати тестування. Для передачі даних використано UART, що забезпечує стабільний зв'язок між мікроконтролером і мікрокомп'ютером. Реалізована апаратна частина продемонструвала надійну роботу в умовах імітації реального середовища.

Наведено реалізацію алгоритмічного та програмного забезпечення. Для Arduino розроблено програму, яка виконує зчитування даних із сенсора, їх обробку та передачу на Raspberry Pi. Для мікрокомп'ютера створено програму, яка обробляє отримані дані, записує їх у базу та надсилає на IoT платформу ThingSpeak. Алгоритми забезпечують високу точність обробки даних і виявлення небезпечних концентрацій метану.

Дані концентрації метану передавалися на платформу в реальному часі, де вони візуалізувались у вигляді графіка. Це дозволило створити зручний інструмент для дистанційного моніторингу, доступний через веб-інтерфейс.

Тестування показало, що система коректно працює за заданими сценаріями, точно виявляє перевищення концентрації метану та своєчасно передає сигнали тривоги. Дані на локальному дисплеї і в хмарі синхронізовані, а час передачі даних мінімальний. Система також продемонструвала стабільність роботи в умовах помірного шуму й перешкод.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Робота з комп'ютером чи комп'ютерними системами не передбачає зазвичай якого надмірного впливу на здоров'я, оскільки немає шкідливих речовин. Проте є різні фактори ризику, які можуть становити небезпеку для здоров'я та зашкодити правильному функціонуванню деяких органів тіла. Мається на увазі небезпека для зору при тривалій роботі за комп'ютером чи спини. Є також ризики для здоров'я пов'язані із проблемою надмірної ваги, яка з'являється як наслідок сидячої роботи та малорухомості.

Оскільки в даній роботі розроблено програмно-апаратну систему виявлення небезпечних концентрацій метану, що може становити небезпеку для здоров'я, то загалом потрібно лише дотримуватися правил безпеки при роботі із комп'ютерами. Вони регулюються законодавчими та нормативно-правовими актами, які, зокрема, визначають обов'язки роботодавця щодо забезпечення працівникам комфортних та безпечних умов для виконання поставлених задач. Ці обов'язки, а також права працівників щодо умов праці передбачені частиною 2 ст.2 і частиною 1 ст.21 КЗпП, а також ст.13 Закону України «Про охорону праці», у яких прописані основні положення з реалізації конституційного права працівників [25].

Законодавчі та нормативно-правові акти встановлюють єдиний порядок організації охорони праці в Україні, а також і відносини між роботодавцем та працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. На їх основі розроблені такі документи як правила, інструкції, норми, державні санітарні правила та ін., якими мають керуватись роботодавці та які регламентують вимоги щодо конструкції електронно-обчислювальної техніки та особливості її розміщення.

На сьогодні основними документами, які регламентують питання охорони праці при використанні працівниками персональних комп'ютерів, є такі підзаконні

акти: НПАОП 0.00-7.15-18 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

У відповідності з цими документами, необхідно вжити всіх необхідних заходів з охорони праці та розробити відповідні документи. Приміщення, в яких виконується робота за комп'ютером, повинні відповідати проектній документації будинку, яка погоджена з уповноваженими державними органами. Крім того, мають бути дотримані санітарні нормативи освітлення, вимоги до параметрів мікроклімату (температура, відносна вологість), ступеня і сили вібрації, звукового шуму і вогнестійкості приміщення, а також характеристики електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного полів [26].

Освітлення робочого місця працівника, який виконує роботу з використанням екранних пристроїв має відповідати встановленим вимогам. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 “Природне і штучне освітлення” приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати природне освітлення. Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє і комбіноване. Що до штучного освітлення воно поділяється на робоче, аварійне, охоронне і чергове. Мікроклімат приміщень з робочими місцями працівників з екранними пристроями має підтримуватись на постійному рівні та відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42.

Обладнання та організація робочого місця ВДТ ЕОМ повинна відповідати характеру трудової діяльності і задовольняти вимоги ДСТУ 7299:2013 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце оператора. Взаємне розташування елементів робочого місця. Загальні вимоги ергономіки». Дотримання всіх необхідних вимог з охорони праці забезпечує комфортні умови при виконанні поставлених задач під час та відсутність шкоди для здоров'я, що сприяє підвищенню продуктивності праці. При розробці системи виявлення небезпечних концентрацій метану враховані всі вимоги охорони праці та техніки безпеки [26].

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Стійкість програмно-апаратних засобів до дії ударної хвилі внаслідок вибуху газоповітряної суміші та заходи щодо її підвищення. Оцінка стійкості роботи програмно-апаратних засобів при виробничій аварії може бути виконана за допомогою моделювання уразливості (характер руйнувань, пожеж, уражень робітників і службовців) об'єкту при дії вражаючих чинників вибуху газоповітряної суміші на основі використання результатів випробувань і розрахункових даних.

Вибухова хвиля – основний вражаючий чинників вибуху газоповітряної суміші. Ударна хвиля травмує людей, руйнує або ушкоджує будівлі, споруди, обладнання, техніку і майно. При дії ударної хвилі будівлі, споруди, обладнання і комунально-енергетичні мережі (КЕМ) об'єкту можуть бути зруйновані в різній мірі [27].

Найчастіше виникає надзвичайна ситуація при виробничих аваріях, катастрофах і стихійних лихах, пов'язана з вибухом газоповітряної суміші. Вражаюча дія при вибуху виробляє ударна хвиля, механічний вплив на предмет. Предмет який піддався дії ударної хвилі може бути переміщений, відкинутий, деформований або пошкоджений.

Необхідно визначити найбільш слабкий елемент об'єкта до впливу ударної хвилі ядерного (техногенного) вибуху та розробити заходи щодо підвищення його стійкості, що є необхідною умовою забезпечення безперервної роботи в умовах надзвичайних ситуацій.

Повітряна ударна хвиля – це область різкого стиску повітря, що розповсюджується в усі сторони від центра вибуху з надзвуковою швидкістю. Джерелом виникнення ударної хвилі є високий тиск в області вибуху (мільярди атмосфер) і температура, що досягає мільйонів градусів [27].

Розпечені гази, прагнучи розширитися, сильно стискають і нагрівають навколишні шари повітря, в результаті чого від центру вибуху утворюється хвиля стиснення або ударна хвиля. Поблизу центру вибуху швидкість розповсюдження ударної хвилі в кілька разів перевищує швидкість звуку в повітрі. Зі збільшенням

відстані від центру вибуху швидкість знижується, і ударна хвиля трансформується в звукову хвилю.

Найбільший тиск у стислій області спостерігається на передній її кромці, яка називається фактором ударної повітряної хвилі. Різниця між нормальним атмосферним тиском і тиском на передній кромці ударної хвилі становить величину надлишкового тиску [27].

Безпосередньо за фронтом ударної хвилі утворюються сильні потоки повітря, швидкість яких досягає декількох сотень кілометрів на годину. При зустрічі з перешкодою створюється навантаження швидкісного напору або навантаження гальмування, яке посилює руйнівну дію ударної хвилі. Дія впливу ударної хвилі на об'єкти носить досить складний характер і залежить від багатьох причин: кута падіння, реакції об'єкта, відстані від центру вибуху і т.д. Коли фронт ударної хвилі досягає передньої стінки об'єкта, відбувається її відображення. Тиск у відбитій хвилі підвищується в кілька разів, що й визначає ступінь руйнування даного об'єкта.

Для характеристики руйнувань будівель, споруд прийняті чотири ступені руйнування: повні, сильні, середні і слабкі [28].

Повні руйнування – коли руйнуються всі основні елементи будівлі, в тому числі і несучі конструкції. Підвальні приміщення можуть частково зберегтися. При повному руйнуванні об'єкт не підлягає відновленню.

Сильні руйнування – коли руйнуються несучі конструкції і перекриття верхніх поверхів, деформуються перекриття нижніх поверхів. Використання будівлі неможливо, а відновлення недоцільно.

Середні руйнування – коли руйнуються дахи, внутрішні перегородки та частково перекриття верхніх поверхів. Після розчищення частина приміщень нижніх поверхів і підвали можуть бути використані. Відновлення будинків можливо при проведенні капітального ремонту.

Слабкі руйнування – коли руйнуються віконні та дверні заповнення, покрівлю та легкі внутрішні перегородки. Можливі тріщини в стінах верхніх поверхів. Будівля може експлуатуватися після поточного ремонту.

Руйнування і пошкодження будівель, споруд, механічних установок, ємкостей і трубопроводів на підприємствах з вибухо-, пожежонебезпечною технологією може привести до виділення газоподібних або зріджених вуглеводневих продуктів. При перемішуванні вуглеводневих продуктів з повітрям утворюються вибухо-, пожежонебезпечні суміші.

Найбільш вибухово- та пожежонебезпечні суміші з повітрям вуглеводних газів є: метан, пропан, бутен, етилен, пропілен та ін. Вибух чи займистість цих газів настає при певному вмісту газу 1 м³ повітря; вибух – при 21 л газу, а займистість – при 95 л.

При вибуху газоповітряної суміші утворюється осередок вибуху з ударною хвилею, що спричиняє руйнування будівель, споруд і обладнання аналогічно тому, як це відбувається в наслідок дії ударної хвилі ядерного вибуху. У осередку вибуху газоповітряної суміші прийнято виділяти три кругові зони: I – зона детонаційної хвилі; II – зона дії продуктів вибуху; III – зона повітряної ударної хвилі. Одним з основних способів підвищення стійкості програмно-апаратних засобів до ударної хвилі є використання спеціальних захисних оболонок та конструктивних елементів, які здатні витримувати механічні навантаження. Вони можуть бути виготовлені з віброізоляційних матеріалів, що поглинають енергію ударної хвилі, або з металевих сплавів, що забезпечують додаткову міцність. Такі оболонки мають не лише захищати від механічних пошкоджень, але й мінімізувати вплив підвищених температур, які можуть виникати при вибуху [29].

Іншим важливим напрямком є використання віброізоляційних та амортизуючих матеріалів для елементів апаратного забезпечення. Вони можуть значно знизити вплив ударних хвиль на електронні компоненти, що є критичними для роботи системи виявлення небезпечних концентрацій метану. Такі матеріали повинні бути вибрані з урахуванням високих температур та умов шахтної атмосфери.

4.3. Висновки до розділу 4

В даному розділі описані актуальні питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях та охорони праці. Була опрацьована інформація стосовно вимог з охорони праці і техніки безпеки, пожежної та електробезпеки. Також, розглянуті питання щодо стійкості програмно-апаратних засобів до дії ударної хвилі внаслідок вибуху газоповітряної суміші та заходи щодо її підвищення.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано всі поставлені завдання, результати яких дозволяють забезпечити надійний і точний моніторинг концентрації метану у вугільних шахтах. Основні результати роботи:

1. Проведено огляд літературних джерел і сучасних досліджень щодо методів виявлення концентрації метану, сенсорних технологій і систем моніторингу, визначено переваги й недоліки існуючих підходів, що дало змогу сформулювати вимоги до розроблюваної системи.

2. Розроблено метод багатоступеневої обробки даних із сенсорів із використанням порогового аналізу, який забезпечує високу точність вимірювань та зниження впливу шумів у складних умовах шахтного середовища.

3. Виконано апаратну реалізацію системи моніторингу, що включає інтеграцію сенсора метану MQ-9, мікроконтролера Arduino Leonardo та Raspberry Pi, забезпечено стабільну роботу системи та передачу даних через UART.

4. Розроблено алгоритмічне забезпечення для обробки, фільтрації і аналізу даних із сенсора, яке дозволяє виявляти небезпечні рівні концентрації метану та забезпечувати своєчасне попередження.

5. Реалізовано програмне забезпечення для інтеграції системи з хмарною IoT-платформою ThingSpeak. Забезпечено передачу даних, візуалізацію концентрації метану у вигляді графіку, а також функцію оповіщення у разі перевищення допустимих рівнів газу.

6. Проведено тестування системи, оцінено її ефективність за критеріями точності вимірювань, швидкодії та стабільності роботи, результати підтвердили надійність і функціональність розробленої системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р., Марценюк І., Паламар А. Комп'ютеризована система виявлення небезпечних концентрацій метану на основі сенсорних мереж. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 11-12 грудня 2024 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С. 492.
2. Жаровський Р., Марценюк І., Паламар А. Структура автоматизованої IoT-системи для моніторингу концентрації метану в шахтах. Матеріали XII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 18-19 грудня 2024 року), Тернопіль: ТНТУ, 2024. С. 127.
3. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Програма та методичні рекомендації з проходження практики за тематикою кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ. 2024. 45 с.
4. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. 2024. 44 с.
5. Варавін А.В., Лецишин Ю.З., Чайковський А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Дослідження і проєктування комп'ютерних систем та мереж» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 32 с.
6. Єгорченко Р.Р., Коптовець О.М., Федоренко Е.А., Фелоненко С.В. Оцінка ефективності проєктів способів та засобів шахтної дегазації метановугільних родовищ. Нафтогазова інженерія та технології, 2023. С. 259-269.
7. Вовна О., Зорі А. Результати розробок і досліджень комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт. Науковий вісник ДонНТУ, 2016. №1 (1). С. 55-62.

8. Kobylanskyi B., Mykhalchenko H. Improvement of safety management system at the mining enterprises of Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 2020. 14(2). P. 34-42.
9. Koptoń H., Wierzbinski K. The balance of methane and ventilation as a tool for methane hazard assessment in the areas of longwalls exploited in hard coal mines. *Journal of Sustainable Mining*, 2014. 13(4). P. 40-46.
10. Brodny J., Felka D., Tutak M. The use of the neuro-fuzzy model to predict the methane hazard during the underground coal mining production process. *Journal of Cleaner Production*, 2022. 368, P. 133258.
11. Marek U. Monitoring of methane and rockburst hazards as a condition of safe coal exploitation in the mines of Kompania Weglowa SA. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2009. 1(1). P. 54-59.
12. Vasylykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017)*, Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.
13. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. *CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*, Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.
14. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.
15. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. *CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023)*, Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.
16. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. *Scientific Journal of TNTU*, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

17. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

18. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

19. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

20. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

21. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

22. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.

23. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.

24. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

25. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 551 с.

26. Желібо Є. П., Сагайдак І. С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник для аудиторної та практичної роботи. К.: ЕКОМЕН. 2011. 200 с.

27. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка". 2010. 417с.

28. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 156 с.

29. Навчальний посібник «Техноекоекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 156 с.

Додаток А

Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей

**ХІІ Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
11-12 грудня 2024 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2024

61. О.Ю. Петрик	489
АНАЛІЗ UI/UX РОЗРОБОК ПРИ СТВОРЕННІ ОНЛАЙН-МАГАЗИНІВ	
62. П.С. Градовий; Н.І. Поліник; І.Р. Козбур; Ю.Б. Капаціла	490
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ГЕОПОЗИЦІЮВАННЯ	
63. Р.О. Жаровський, І.В. Марценюк; А.М. Паламар	492
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ВІЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ МЕТАНУ НА ОСНОВІ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	
64. Р.П. Вархоляк	493
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТИСКУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ	
65. Р.С.Липянич, Б.М. Липа, О.В.Мардинавка	495
ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВІЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ В МЕРЕЖЕВИХ IDS СИСТЕМАХ	
66. Ростислав Трембач, Віталій Ковалик, Ростислав Гвоздецький, Інна Кобринчук	497
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В НАЗЕМНИХ ДІЛЯНКАХ ТРУБОПРОВІДІВ	
67. С. Вінтонів; Є. Тиш	500
ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АРІ ДЛЯ ПЛАТФОРМИ ОБМІНУ КНИГАМИ	
68. Станько А.А., докт. філософії, Дудирев Д.Ю., Козачок М.В.	501
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ НА ОСНОВІ ІОТ	
69. Станько А.А., Козак С.І., Кульчицький С.З.	503
ІНДУСТРІЯ 5.0: ЛЮДИНОЦЕНТРИЧНИЙ ПІДХІД У ДОБУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ РЕВОЛЮЦІЇ	
70. Т.О. Шпота; О.В. Палка	505
ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ АНАЛІЗУ ДАНИХ	
71. Ю. Б. Паляниця , Н.О. Брозь	506
СПОСІБ ЗАХИСТУ ВІД КОМБІНОВАНИХ ЗАВАД ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОМУНІКАЦІЇ НА БЛИЗЬКИХ ВІДСТАНЯХ	
72. Ю.Б. Гладь, Н.Б. Гашин, С.В.Гладь, Н.Р.Крива	508
КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯМ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ	
73. Ю. Б. Паляниця , Н.О. Брозь	510
АНАЛІЗ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ НА ОСНОВІ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	
74. Я. В. Мозговий, О. О. Базиль	512
ПРОЦЕДУРНА ГЕНЕРАЦІЯ В ІГРАХ: МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ НЕСКІНЧЕННИХ СВІТІВ	
75. Я.І. Музичишин	514
МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ВІЛЬНИХ ПАРКОМІСЦЬ	
76. Ю.Р. Курчак, О.Р. Кучма	517
МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ РЕКОМЕНДАЦІЙ НА ВЕБ-САЙТІ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ГРАФІВ І СТАТИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ	
77. Яцишин В.В. канд. техн. наук, доцент, Демиденко А.О., Яцишин Вік. В.	520
ПІДХОДИ ДО ВІЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ТРАФІКУ У КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ	
78. Ю.Б. Максим'як	521
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ МІСЦЕВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ОПОВІЩЕННЯ	

УДК 681.518.3

Р.О. Жаровський, канд. техн. наук; І.В. Марценюк; А.М. Паламар, канд. техн. наук
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ МЕТАНУ НА ОСНОВІ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

R.O. Zharovskyi, Ph.D; I.V. Martseniuk; A.M. Palamar, Ph.D
 COMPUTERIZED SYSTEM FOR DETECTING DANGEROUS METHANE
 CONCENTRATIONS BASED ON SENSOR NETWORKS

Система моніторингу газового середовища у вугільних шахтах є важливим інструментом забезпечення безпеки шахтарів. Оскільки метан є легкозаймистим та вибухонебезпечним газом, його накопичення в закритих просторах шахт може призвести до катастрофічних наслідків, таких як вибухи та отруєння. Сучасні вимоги до безпеки потребують створення надійної системи для виявлення та контролю концентрації метану, яка повинна бути швидкою, точною та здатною працювати у реальному часі.

Метан є невидимим газом без запаху, що значно ускладнює його виявлення без використання спеціальних пристроїв. Існуючі методи контролю концентрації метану часто потребують модернізації, оскільки вони або недостатньо точні, або не забезпечують своєчасного реагування на небезпечні зміни концентрації газу. Крім того, багато з цих систем є надто дорогими та складними для інтеграції у великій кількості в шахтні середовища. Таким чином, виникає потреба у створенні нової системи на основі технології Інтернету речей (IoT), яка могла б забезпечити цілодобовий моніторинг і попередження про небезпечні концентрації метану.

Метою цього дослідження є розробка комп'ютеризованої системи виявлення небезпечних концентрацій метану на основі сенсорних мереж, яка б була ефективною, економічно вигідною та доступною для розгортання у шахтних умовах. Пропонована система побудована на основі сенсорної мережі для виявлення метану з використанням IoT-платформи. До основних апаратних компонентів входять сенсори метану, контролер, що виконує функції збору, обробки та передавання даних, а також хмарна платформа, яка використовується для зберігання й аналізу інформації.

Система працює наступним чином: сенсори, розташовані у шахті, безперервно вимірюють концентрацію метану в повітрі. Зібрані дані надходять до контролера, де вони попередньо обробляються. У разі виявлення небезпечної концентрації метану контролер автоматично надсилає повідомлення на IoT-платформу. Завдяки цьому, інформація візуалізується в режимі реального часу, а у разі перевищення порогових значень система відправляє аварійне повідомлення до відповідальних осіб, а також може ініціювати автоматичне включення вентиляційної системи. Сенсорні мережі забезпечують більш точне й надійне виявлення небезпечних рівнів газу завдяки можливості встановлення багатьох датчиків у різних місцях шахти.

Головною перевагою запропонованої системи є її здатність до безперервного моніторингу концентрації метану та автоматизованого реагування у разі виявлення загрози. Дана система дозволяє зменшити ризик вибухів та покращити загальний рівень безпеки праці у вугільних шахтах. Запропонована комп'ютеризована система забезпечує надійний та економічно вигідний моніторинг газового середовища, а також підвищує оперативність реагування на небезпечні зміни концентрації метану. Завдяки сучасним IoT-технологіям, ця система може бути легко інтегрована у шахтне обладнання, забезпечуючи можливість адаптації до особливостей конкретних умов експлуатації.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА**

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



18-19 грудня 2024 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2024**

Р. О. Жаровський, В. А. Іваницький ОРГАНІЗАЦІЯ ЗАХИСТУ СТАЦІОНАРНОГО ОБ'ЄКТУ НЕРУХОМОСТІ НА ОСНОВІ GSM-СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА МІКРОКОНТРОЛЕРА RASPBERRY PI	
R. O. Zharovskyi, V. A. Ivanytskyi ORGANIZATION OF SAFETY OF A STATIONARY PROPERTY OBJECT BASED ON GSM-SIGNALIZATION AND RASPBERRY PI	125
Р. О. Жаровський, І. П. Цірка ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ ЗБОРУ, ПЕРЕДАЧІ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ ВОДОСПОЖИВАННЯ	
R. O. Zharovskyi, I. P. Tsirka DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES IN THE IMPLEMENTATION OF A NETWORK FOR COLLECTION, TRANSMISSION AND ANALYSIS OF WATER CONSUMPTION DATA	126
Р. О. Жаровський, І. В. Марценюк, А. М. Паламар СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ В ШАХТАХ	
R. O. Zharovskyi, I. V. Martseniuk, A. M. Palamar STRUCTURE OF AN AUTOMATED IOT SYSTEM FOR MONITORING METHANE CONCENTRATION IN MINES	127
Д. Ключко, Ю. Лещинин, Р. Жаровський КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СЕЙСМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ЗЕМНОЇ КОРИ	
D. Klochko, Y. Leshchyshyn, R. Zharovskyi COMPUTER SYSTEM FOR MONITORING SEISMIC ACTIVITY OF THE EARTH'S CRUST	128
Д. М. Козак, Н. Б. Стадник ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНДАРТІВ ФІЗИЧНОГО РІВНЯ WI-FI	
D. M. Kozak, N. B. Stadnyk RESEARCH OF WI-FI PHYSICAL LAYER STANDARDS	129
Д. М. Козак, Н. Б. Стадник МЕТОДИ МАНІПУЛЯЦІЇ СИГНАЛОМ У БЕЗДРОТОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ	
D. M. Kozak, N. B. Stadnyk KEYING METHODS OF SYGNAL IN WIRELESS COMMUNICATION	130
М. В. Козачок, С. В. Марценко ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНКЛЮЗИВНОЇ ОСВІТИ	
M. V. Kozachok, S. V. Martsenko RESEARCH OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR INCLUSIVE EDUCATION	131
О. В. Крайник ВИМОГИ ДО БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	
O. V. Krainyk REQUIREMENTS FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS	132
О. В. Крайник ZIGBEE GREEN POWER	
O. V. Krainyk ZIGBEE GREEN POWER	133
І. О. Кухар, Г. М. Осухівська ІНТЕГРАЦІЯ СОЛЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ У SMART GRID: СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТА ГЛОБАЛЬНІ ТРЕНДИ	
I. O. Kukhar, H. Osukhivska INTEGRATION OF SOLAR POWER PLANTS INTO SMART GRIDS: MODERN SOLUTIONS AND GLOBAL TRENDS	134

УДК 681.518.3

Р.О. Жаровський, канд. техн. наук, І.В. Марценюк, А.М. Паламар, канд. техн. наук
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ В ШАХТАХ

UDC 681.518.3

R.O. Zharovskyi, Ph.D, I.V. Martseniuk, A.M. Palamar, Ph.D

STRUCTURE OF AN AUTOMATED IOT SYSTEM FOR MONITORING METHANE CONCENTRATION IN MINES

Підвищення безпеки праці у вугільних шахтах є важливим завданням сучасної гірничої промисловості. Метан, що утворюється в середовищі шахт, є одним із найнебезпечніших газів через його високу вибухонебезпечність. Традиційні методи контролю концентрації метану часто не забезпечують належної швидкодії та точності, що створює ризики для працівників. Тому актуальною задачею є розробка автоматизованої системи моніторингу, яка б поєднувала сенсорні технології та можливості інтернету речей (IoT).

Метою цього дослідження є розробка структури автоматизованої IoT-системи для моніторингу концентрації метану, яка забезпечує безперервний контроль і своєчасне попередження про небезпеку. Запропонована система складається з сенсорного модуля, контролера, комунікаційного модуля та хмарної платформи. Структурна схема системи моніторингу концентрацій метану подана на рис. 1.

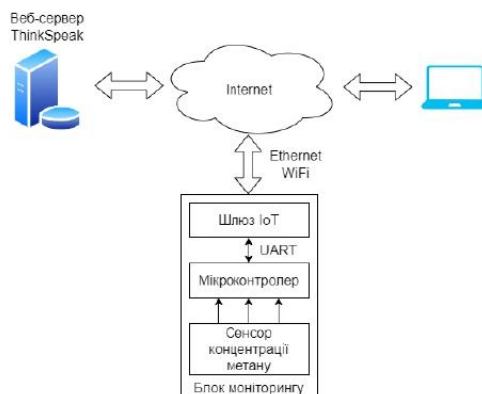


Рисунок 1. Структура системи моніторингу концентрацій метану

Сенсорний модуль виконує вимірювання рівня метану у виробках шахти. Зібрані дані передаються на мікроконтролер, який аналізує отриману інформацію, порівнюючи її з граничними значеннями. У разі перевищення безпечного рівня система активує сигналізацію та передає тривожне інформацію на хмарну платформу ThingSpeak. Через хмару дані стають доступними у вигляді графіків, що дозволяє оперативно реагувати на загрози.

Перевагами системи є її надійність, можливість віддаленого моніторингу та висока швидкодія. Використання IoT-технологій забезпечує інтеграцію з іншими системами безпеки та масштабованість для великих шахтних об'єктів. Впровадження таких систем значно знижує ризики аварійних ситуацій і сприяє підвищенню безпеки праці у вугільних шахтах.