

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 засоби дистанційного моніторингу рівня іонізуючого
випромінювання із застосуванням технологій інтернету речей

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи СІМ-61
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Вергун О.Р.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Паламар А.М.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Тиш Є.В.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (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 Вергуну Олександровичу Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та засоби дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій інтернету речей

Керівник роботи Паламар Андрій Михайлович, к.т.н., доцент
(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 20.12.2024 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 моніторингу іонізуючого випромінювання

2. Аналіз методів та засобів дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання

3. Застосування запропонованих методів для реалізації системи моніторингу іонізуючого випромінювання

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

АНОТАЦІЯ

Вергун О.Р. Методи та засоби дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій інтернету речей: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. А.М. Паламар. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. — 79 с.

Ключові слова: дистанційний моніторинг, іонізуюче випромінювання, Інтернет речей, сенсори, обробка даних, хмарні платформи, передача даних.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів і засобів дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій Інтернету речей (IoT). Проведено аналіз сучасних методів моніторингу, класифікацію сенсорів і систем, що використовуються для контролю радіаційного фону. Розроблено метод дистанційного моніторингу, який передбачає інтеграцію сенсорних мереж із хмарними платформами для забезпечення автоматизованого збору, обробки та передачі даних у реальному часі.

Реалізовано апаратну частину системи, яка включає мікроконтролер NodeMCU, GPS модуль, лічильник іонізуючого випромінювання, LCD дисплей і п'єзодинамік. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для зчитування, обробки й передачі даних на хмарну платформу Ubidots через Wi-Fi із використанням протоколу MQTT. Система забезпечує візуалізацію даних, відображення результатів на інтерактивних графіках і автоматичне генерування сповіщень про перевищення критичних рівнів радіації.

ANNOTATION

Verhun O.R. Methods and tools for remote monitoring of ionizing radiation levels using Internet of Things (IoT) technologies. Master's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering / supervisor A.M. Palamar. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2024. — 79 p.

Keywords: remote monitoring, ionizing radiation, Internet of Things, sensors, data processing, cloud platforms, data transmission.

The Master's graduation thesis is devoted to the study of methods and means of remote monitoring of ionizing radiation levels using Internet of Things (IoT) technologies. The author analyzes modern monitoring methods, classifies sensors and systems used to monitor radiation background. A remote monitoring method was developed that involves the integration of sensor networks with cloud platforms to ensure automated data collection, processing, and transmission in real time.

The hardware of the system, which includes a NodeMCU microcontroller, GPS module, ionizing radiation counter, LCD display and piezoelectric speaker, was implemented. The algorithmic and software for reading, processing, and transmitting data to the Ubidots cloud platform via Wi-Fi using the MQTT protocol was developed. The system provides data visualization, display of results on interactive graphs and automatic generation of notifications about exceeding critical radiation levels.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	11
1.1. Аналіз сфери застосування систем моніторингу рівня іонізуючого випромінювання.....	11
1.2. Класифікація сучасних засобів моніторингу іонізуючого випромінювання....	12
1.3. Огляд сучасних наукових досліджень у сфері моніторингу іонізуючого випромінювання.....	14
1.4. Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	24
2.1. Аналіз фізичних принципів вимірювання іонізуючого випромінювання.....	24
2.2. Огляд методів дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання	25
2.3. Аналіз існуючих систем збору та обробки даних про рівень іонізуючого випромінювання у реальному часі	27
2.4. Застосування технологій Інтернету речей для моніторингу іонізуючого випромінювання.....	30
2.5. Огляд сенсорів для вимірювання іонізуючого випромінювання.....	32
2.6. Алгоритми обробки та аналізу даних у системах дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання	34
2.7. Метод дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій Інтернету речей.....	35
2.8. Висновки до розділу 2	37
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	39

3.1. Апаратна реалізація системи дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання.....	39
3.2. Алгоритмічне та програмне забезпечення системи.....	46
3.3. Інтеграція системи з хмарною IoT платформою.....	53
3.4. Результати роботи системи.....	57
3.5. Висновки до розділу 3.....	58
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	60
4.1. Охорона праці.....	60
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	63
4.3. Висновки до розділу 4.....	66
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
Додаток А Тези конференцій.....	73

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЕС – атомна електростанція;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

БПЛА – безпілотні літальні апарати;

ІВ – іонізуюче випромінювання;

МК – мікроконтролер;

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

СМ – система моніторингу;

ІоТ – Internet of Things;

ВСТУП

Актуальність роботи. Іонізуюче випромінювання є серйозною загрозою для здоров'я людини та навколишнього середовища, особливо в зонах, де існує підвищений рівень радіаційної небезпеки, таких як атомні електростанції, промислові підприємства, медичні установи, які використовують радіоактивні матеріали, або території, постраждалі від техногенних аварій. Своєчасне виявлення підвищених рівнів випромінювання є критичним для забезпечення екологічної та технологічної безпеки.

Сучасні системи моніторингу часто мають низку недоліків, таких як обмежена мобільність, потреба в ручному зборі даних та залежність від стаціонарних засобів вимірювання. Це обмежує можливості їх використання в реальному часі та знижує ефективність реагування на надзвичайні ситуації. Відсутність інтегрованих систем автоматизованого контролю призводить до затримок у передачі інформації та недостатньо швидкої реакції на небезпечні зміни в рівнях радіації.

Застосування IoT технологій у сфері радіаційного моніторингу відкриває нові можливості для вирішення цих проблем. IoT дозволяє створювати розподілені системи, що об'єднують сенсори, програмне забезпечення та хмарні платформи для збору та аналізу даних у реальному часі. Такі системи можуть функціонувати автономно та забезпечувати постійний контроль, що суттєво підвищує оперативність реагування та дозволяє знизити ризики, пов'язані з іонізуючим випромінюванням. Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена потребою у вдосконаленні засобів моніторингу рівня іонізуючого випромінювання, що є критично важливим для підвищення безпеки населення та навколишнього середовища.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка методів і засобів дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій Інтернету речей для підвищення ефективності процесу інформування про радіаційний фон.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- провести огляд наукової літератури, сучасних методів і засобів моніторингу іонізуючого випромінювання та визначити основні тенденції й проблеми у цій сфері;
- розробити метод дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання на основі використання IoT-технологій;
- реалізувати апаратну частину системи на основі обраних сенсорів, мікроконтролера та інших компонентів для забезпечення точного зчитування та передачі даних;
- розробити алгоритмічне забезпечення, яке включає обробку даних від сенсорів, обчислення рівня радіації, генерацію сповіщень про критичні значення та інтеграцію з хмарною платформою;
- створити програмне забезпечення для мікроконтролера, яке реалізує функції зчитування, обробки, передачі даних на хмарну платформу та відображення інформації на локальному дисплеї.

Об'єкт дослідження: процес дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання.

Предмет дослідження: методи та засоби моніторингу іонізуючого випромінювання з використанням технологій Інтернету речей.

Методи дослідження: аналіз і узагальнення наукових джерел, методи математичного моделювання, методи алгоритмічного проєктування для розробки логіки роботи системи, методи програмної реалізації для створення програмного забезпечення.

Наукова новизна дослідження:

1. Вперше розроблено метод дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання, який завдяки інтеграції сенсорних мереж із хмарною платформою дає змогу автоматизувати процес збору та обробки даних у реальному часі.

2. Удосконалено алгоритм обробки даних, який завдяки швидкому виявленню критичних рівнів випромінювання з використанням IoT-технологій, дає змогу знизити затримки при передачі інформації до хмарної платформи.

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи полягає у можливості впровадження розробленої системи для автоматизованого та оперативного контролю рівня іонізуючого випромінювання у місцях підвищеного ризику, що сприяє підвищенню безпеки та швидкості реагування на можливі загрози.

Публікації. Результати дослідження апробовано на V міжнародній науково-практичній конференції учених та студентів «Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства» [1], XIII міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» [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 – 81 арк. формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ МОНІТОРИНГУ ІОНІЗУЮЧОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ

1.1. Аналіз сфери застосування систем моніторингу рівня іонізуючого випромінювання

Системи моніторингу рівня іонізуючого випромінювання широко застосовуються в різних галузях, де важливо контролювати радіаційний фон для забезпечення безпеки людей та навколишнього середовища. Основними сферами їхнього використання є ядерна енергетика, медична діагностика та лікування, промисловість, охорона навколишнього середовища та радіаційна безпека науково-дослідних установ.

Однією з найбільш очевидних і критичних сфер застосування таких систем є ядерна енергетика. На атомних електростанціях контроль за рівнем радіації є ключовим фактором забезпечення безпеки як персоналу, так і навколишнього середовища. Автоматизовані системи моніторингу дозволяють оперативно виявляти підвищення рівня випромінювання і, таким чином, вживати необхідних заходів для запобігання аварійним ситуаціям. Окрім того, ці системи допомагають здійснювати регулярний контроль у зоні можливого впливу на довкілля, що важливо для попередження екологічних катастроф [6].

У медичній галузі системи моніторингу іонізуючого випромінювання використовуються для контролю доз опромінення під час процедур діагностування, таких як рентгенографія або комп'ютерна томографія. Важливим аспектом є моніторинг рівня радіації в лікарнях і медичних центрах, де працює обладнання для лікування онкологічних захворювань, наприклад, при проведенні радіотерапії. Це дозволяє мінімізувати ризик небезпечного впливу на пацієнтів і медичний персонал.

У промисловості системи радіаційного моніторингу використовуються в таких галузях, як виробництво ядерних матеріалів, обробка радіоактивних відходів,

а також у металургії, де може використовуватися радіоактивна сировина або обладнання. Моніторинг у цих умовах допомагає запобігати небезпечним ситуаціям, а також контролювати умови праці для забезпечення безпеки робітників.

Важливу роль системи моніторингу відіграють в охороні навколишнього середовища, зокрема в зоні екологічної катастрофи. Після аварії на ЧАЕС питання радіаційної безпеки стало надзвичайно важливим для України та світу. Сучасні системи моніторингу рівня випромінювання дозволяють стежити за станом забруднених територій, контролювати рівні радіації в повітрі, ґрунті та воді, що є важливим для довгострокових стратегій реабілітації постраждалих зон.

Не менш важливими є дослідницькі установи та лабораторії, де працюють із джерелами іонізуючого випромінювання. Моніторинг радіаційного фону в цих умовах забезпечує безпеку науковців і підтримує відповідність нормативним вимогам. Системи моніторингу дозволяють автоматизувати контроль рівня випромінювання, що особливо актуально в умовах експериментів, які можуть супроводжуватися підвищеним рівнем радіаційного ризику.

Таким чином, системи дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання є невід'ємною частиною забезпечення радіаційної безпеки в різних галузях. Їхнє впровадження дозволяє своєчасно виявляти підвищені рівні радіації та запобігати можливим негативним наслідкам для здоров'я людей і стану довкілля. Автоматизація та інтеграція таких систем із сучасними технологіями Інтернету речей відкривають нові можливості для збільшення ефективності контролю за радіаційним фоном.

1.2. Класифікація сучасних засобів моніторингу іонізуючого випромінювання

Моніторинг іонізуючого випромінювання є важливою частиною забезпечення радіаційної безпеки в різних галузях. Для цього використовуються різноманітні засоби, які можна класифікувати, зокрема за типом застосування, рівнем мобільності та методами збору даних.

Стаціонарні системи радіаційного контролю використовуються для безперервного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання в місцях з обмеженим доступом, таких як атомні електростанції, медичні установи, промислові підприємства або забруднені зони. Ці системи зазвичай складаються з великої кількості давачів, які розміщуються по всій території для забезпечення високої точності вимірювань. Вони можуть контролювати радіаційний фон у реальному часі та автоматично передавати дані до центральних пунктів обробки для аналізу. Прикладом таких систем є комплекси радіаційного моніторингу на АЕС, які використовуються для виявлення витоків або підвищення рівня радіації в критичних зонах. Стаціонарні системи є ключовими у ситуаціях, коли необхідно постійно стежити за безпекою великих об'єктів і територій.

Мобільні та переносні пристрої для вимірювання радіації дозволяють оперативно перевіряти радіаційний фон у різних умовах і на різних об'єктах. До цієї категорії належать портативні дозиметри, спектрометри, а також радіометри, які можуть бути використані як професіоналами, так і звичайними користувачами. Такі прилади є незамінними у випадках аварійних ситуацій або при необхідності швидкого контролю радіаційного рівня в зоні ризику. Наприклад, переносні дозиметри часто використовуються під час ліквідації наслідків аварій, щоб оперативно оцінити рівень радіації на місці подій. Мобільні системи також можуть бути встановлені на транспортних засобах, що дозволяє здійснювати моніторинг великих територій або швидко переміщуватися між різними локаціями. Завдяки своїй мобільності ці пристрої є універсальними засобами для вимірювання радіаційного фону в найрізноманітніших умовах.

Останніми роками важливу роль у сфері моніторингу іонізуючого випромінювання відіграють безпілотні літальні апарати (БПЛА), які дозволяють здійснювати контроль над територіями, недоступними або небезпечними для людей. БПЛА обладнані спеціалізованими давачами, що дозволяють вимірювати рівень радіації на великих площах, включаючи промислові об'єкти, зони відчуження або території після аварій. Їхня ключова перевага полягає у можливості швидко охоплювати значні території та збирати точні дані навіть у важкодоступних

або небезпечних місцях. БПЛА використовуються для моніторингу радіаційного фону в таких місцях, як зона Чорнобильської катастрофи, де прямий контакт людини з територією може бути небезпечним. Крім того, безпілотники є ефективними при інспекціях великих промислових об'єктів, таких як атомні станції або радіоактивні сховища, де необхідно регулярно проводити вимірювання на великих відстанях.

Отже, сучасні засоби моніторингу іонізуючого випромінювання охоплюють широкий спектр рішень — від стаціонарних систем для довготривалого контролю на великих об'єктах до мобільних і безпілотних засобів, що дозволяють оперативно реагувати на зміни радіаційного фону у найрізноманітніших середовищах. Кожен із цих засобів має свої переваги та сфери застосування, що дозволяє забезпечити максимальну ефективність радіаційного контролю в різних умовах.

1.3. Огляд сучасних наукових досліджень у сфері моніторингу іонізуючого випромінювання

Сучасні наукові дослідження у сфері моніторингу іонізуючого випромінювання охоплюють різні аспекти, від фізичних принципів вимірювання радіації до розробки нових технологій для збирання та обробки даних. Наукова спільнота постійно працює над вдосконаленням методів контролю іонізуючого випромінювання, оскільки його вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище є значною проблемою.

Одним із ключових напрямів є розробка нових сенсорів для виявлення радіаційного фону. Вчені досліджують різні типи детекторів, включаючи сцинтиляційні, газорозрядні, напівпровідникові та інші технології. Сучасні дослідження зосереджені на підвищенні чутливості та точності таких сенсорів, а також на їх мініатюризації для використання в мобільних та переносних системах моніторингу. Наприклад, багато досліджень присвячено використанню напівпровідникових сенсорів на основі арсеніду галію (GaAs) або карбіду кремнію (SiC) через їх високу стійкість до радіаційного опромінення.

Іншою важливою темою є розробка та впровадження дистанційних систем моніторингу, особливо на основі Інтернету речей. Сучасні дослідження демонструють перспективність використання IoT для автоматизації збору даних і постійного моніторингу в реальному часі. Ці системи здатні забезпечувати безперервний контроль радіаційного фону на великих територіях, включаючи важкодоступні або небезпечні зони, такі як атомні електростанції або місця ядерних випробувань. Вчені також досліджують можливості використання БПЛА для моніторингу іонізуючого випромінювання в складних умовах, таких як зони техногенних катастроф.

Значна увага приділяється також питанням обробки та аналізу радіаційних даних. Багато досліджень зосереджено на розробці нових алгоритмів для фільтрації, класифікації та візуалізації даних, а також для виявлення небезпечних рівнів випромінювання. Наприклад, дослідження в області машинного навчання пропонують алгоритми для прогнозування динаміки радіаційного фону на основі історичних даних, що дозволяє вчасно виявляти відхилення та реагувати на загрози.

Одним із викликів є інтеграція сучасних технологій у існуючі системи моніторингу. Дослідники вивчають можливості вдосконалення архітектур інформаційних систем, що дозволить ефективніше зберігати та аналізувати радіаційні дані у хмарних сервісах. Це відкриває нові можливості для забезпечення оперативного реагування та більш гнучкого доступу до інформації.

У статті [7] розглядаються сучасні методи і засоби застосування БПЛА для радіаційного моніторингу. Авторами детально проаналізовано мобільні платформи, які використовуються для контролю радіації, включаючи як наземні, так і повітряні транспортні засоби. Підкреслено, що БПЛА мають суттєві переваги перед пілотованими апаратами, зокрема завдяки можливості виконувати завдання у небезпечних для здоров'я людини зонах та знижувати ризики для операторів. Основний акцент зроблено на використанні багатороторних БПЛА, дронів з вертикальним зльотом і посадкою, а також гібридних платформ. Такі пристрої ефективно використовуються для моніторингу радіаційної обстановки на

територіях, забруднених внаслідок аварій. Наведено приклади використання таких платформ під час аварії на Фукусіма-Даїчі. Особливу увагу приділено можливостям 3D-картографування, швидкому збору даних про радіаційні аномалії та високоточному скануванню територій.

Серед недоліків методів, зазначених у статті, є обмежена автономність роботи БПЛА через енергетичні потреби, що обмежує час їхнього використання без підзарядки. Також відзначено проблеми зв'язку, особливо у віддалених зонах, і залежність від погодних умов, які можуть впливати на точність даних. Недоліком запропонованих рішень також є обмежена інтеграція даних із хмарними платформами для автоматизованого оброблення і оперативного реагування, що може впливати на своєчасність отримання інформації.

Автори статті [8] описують новий портативний аналізатор для пошуку та ідентифікації джерел радіації (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Структурна схема аналізатора джерел радіації [8]

Аналізатор розроблений для роботи в режимі реального часу та включає модуль GPS для фіксації географічних координат, що дозволяє точно визначати місцезнаходження джерел випромінювання. Система включає детектор для реєстрації гамма-випромінювання, фотоелектронний помножувач, мікропроцесорний блок і модуль для зберігання даних. Основною особливістю є здатність пристрою до швидкої обробки даних та передавання інформації по бездротовому зв'язку в центр управління. Прилад має автоматичний режим роботи, що дозволяє оперативно реагувати на зміни рівня радіації, та здатен працювати у важких кліматичних умовах. Серед переваг системи автори відзначають її високу точність, мобільність та здатність автоматично фільтрувати дані, забезпечуючи надійні результати. Однак у статті не розглядаються питання інтеграції з хмарними платформами, що було б корисно для збереження й обробки даних великих обсягів та оперативного оповіщення. Це обмежує можливості аналізатора для моніторингу в режимі реального часу з доступом до даних з різних пристроїв, що є важливим аспектом для сучасних IoT-систем дистанційного моніторингу.

Стаття [9] пропонує рішення для вимірювання іонізуючого випромінювання в лікарняних умовах. Основна мета дослідження полягає у створенні доступної, портативної системи моніторингу на основі відкритого коду, яка дозволяє вимірювати радіаційне опромінення медичного персоналу та пацієнтів у реальному часі. У статті зазначається, що сучасні системи вимірювання, такі як персональні дозиметри та стаціонарні вимірювачі, мають низку обмежень, включаючи високу вартість, низьку гнучкість, відсутність обробки даних у реальному часі та обмежену точність. Запропонована система базується на використанні комерційного лічильника Гейгера-Мюллера, що забезпечує збір даних про радіаційне опромінення. Інформація автоматично передається на віддалену базу даних, де зберігаються для подальшого аналізу. Крім того, інформація доступна медичному персоналу через додаток для смартфонів, що дозволяє в реальному часі контролювати накопичену дозу опромінення та отримувати попередження у разі перевищення допустимих рівнів (рис. 1.2).

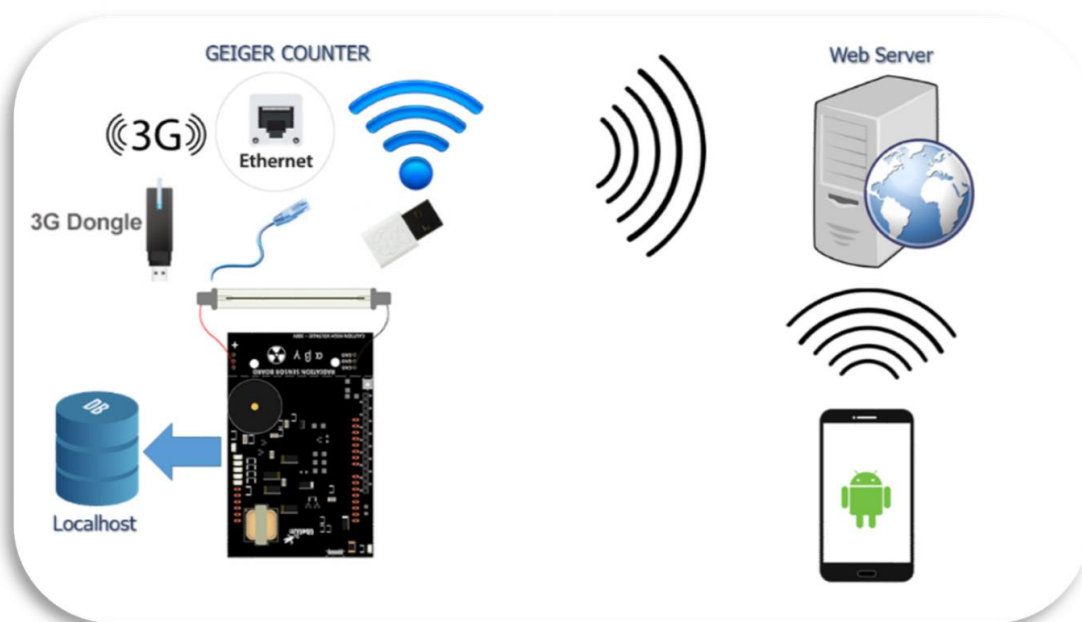


Рис. 1.2. Система моніторингу радіаційного опромінення медичного персоналу та пацієнтів [9]

Переваги цієї системи включають низьку вартість, можливість використання як персонального дозиметра та як стаціонарного дозиметра для приміщень, високу гнучкість завдяки підтримці 3G, WiFi та Ethernet-з'єднань. Система може автоматично зберігати дані на локальному сервері при відсутності інтернет-з'єднання, що гарантує надійність роботи. Всі компоненти системи, включаючи базу даних і додаток, побудовані на основі відкритих технологій, що спрощує їх адаптацію.

Недоліками запропонованого рішення є потенційна залежність від якості підключення до мережі, що може вплинути на своєчасність отримання даних. Одним із обмежень є те, що система не повністю інтегрована з хмарними платформами для складнішого аналізу даних та автоматизованої візуалізації, що є важливим аспектом для масштабованих IoT-систем.

У статті [10] розглянуто метод дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання на основі технології GSM. Основна ідея статті полягає в побудові системи раннього попередження для виявлення підвищеного рівня радіації, яка б використовувала наявну інфраструктуру GSM для передачі даних з віддалених сенсорних станцій до центрального контрольного пункту. Система складається з

кількох віддалених станцій моніторингу, кожна з яких оснащена різними датчиками для виявлення іонізуючого випромінювання, а також температурними сенсорами для контролю умов навколишнього середовища.

Запропонована система використовує GSM-модеми для зв'язку між віддаленими станціями та центральною станцією (рис. 1.3). У нормальних умовах дані передаються через SMS або MMS з певною періодичністю, але при виявленні аномальних значень радіації система автоматично переключється на високошвидкісний режим передачі даних, що дозволяє оперативніше реагувати на потенційно небезпечні ситуації. Це рішення є економічно ефективним, оскільки використовує існуючу мережу GSM і не вимагає побудови нової інфраструктури.

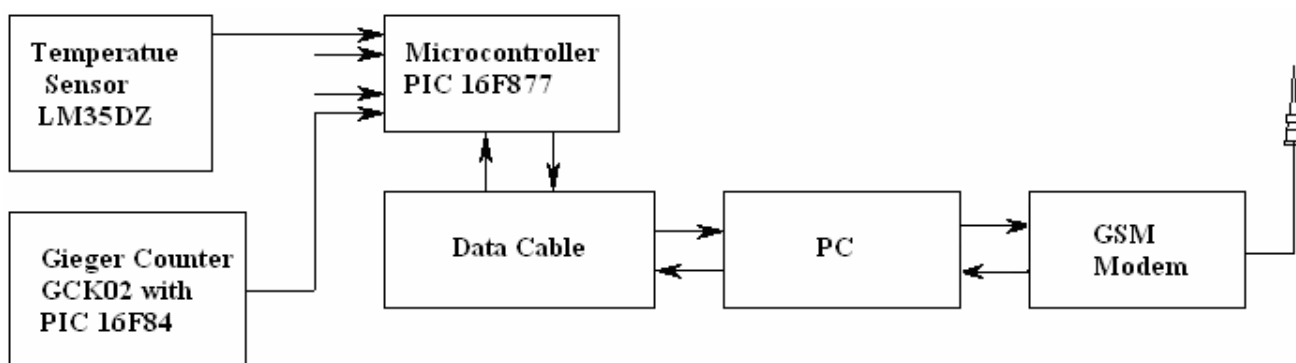


Рис. 1.3. Структура системи моніторингу іонізуючого випромінювання на основі технології GSM [10]

До переваг системи віднесено відсутність обмежень по території моніторингу, високу надійність та порівняно низькі витрати на обслуговування. Додатково запропоновано можливість інтеграції GPS для точного визначення місцезнаходження сенсорів, що є корисним для стратегічних об'єктів. Однак система має деякі обмеження, зокрема, залежність від покриття GSM та наявність проблем з передачею великих обсягів даних при високошвидкісних режимах. Одним із недоліків є відсутність інтеграції з хмарними платформами, що обмежує можливості візуалізації та зберігання даних. Крім того, система не забезпечує автоматичну обробку даних у реальному часі, що може бути критичним для швидкого реагування на радіаційні загрози.

Автори статті [11] досліджують вплив іонізуючого випромінювання на модулі, що використовуються в бездротових системах моніторингу. Дослідники проводять експериментальне випробування різних компонентів, включаючи аналогові схеми обробки сигналів, АЦП, мікроконтролери та модулі бездротового зв'язку, піддаючи їх випромінюванню в лабораторії ядерного реактора (рис. 1.4). Для оцінки надійності та стійкості модулів до радіаційного впливу обрано комерційно доступні компоненти (CMOS), які тестуються під дозою випромінювання, що є стандартом для випробувань на радіаційну стійкість.



Рис. 1.4. Архітектура бездротової системи моніторингу іонізуючого випромінювання [11]

Основний фокус дослідження спрямований на оцінку продуктивності цих модулів під час і після впливу високих доз радіації. Експерименти показали, що деякі компоненти, особливо мікроконтролери та модулі бездротового зв'язку, схильні до пошкоджень при підвищенні дози. Дослідники виявили, що модулі на основі CMOS і BiCMOS технологій показали нижчу стійкість до іонізуючого випромінювання, ніж аналоги, побудовані на основі біполярних напівпровідників. Також встановлено, що для досягнення високої стійкості до випромінювання можна використовувати захисні екрани та різноманітні компоненти, що значно знижує вплив радіації на модулі системи. Серед недоліків запропонованих методів є обмеженість випробувань лише за одним типом радіаційного пошкодження (тотальна іонізаційна доза), тоді як інші фактори, як-от одноразові події, залишаються без уваги. Важливо зазначити, що запропоновані в статті компоненти не інтегруються з хмарними платформами для обробки даних, що обмежує можливості для їх використання у системах, де необхідний моніторинг в реальному часі та дистанційний доступ до результатів вимірювань.

Стаття [12] описує сучасні технології моніторингу іонізуючого випромінювання, зокрема, можливості та перспективи застосування технологій Інтернету речей у цій сфері. Стаття фокусується на еволюції технологій від традиційних ручних вимірювачів до автоматизованих IoT-рішень. Серед ключових компонентів, що розглядаються, є різні типи сенсорів, включаючи газонаповнені, сцинтиляційні та напівпровідникові детектори. Особлива увага приділяється бездротовим сенсорним мережам (WSN) та використанню БПЛА для моніторингу в умовах обмеженого доступу. Запропоновані рішення включають розробку IoT-архітектур з використанням технологій LoRa та MQTT, що дозволяють передачу даних на великі відстані з мінімальним енергоспоживанням (рис. 1.5).

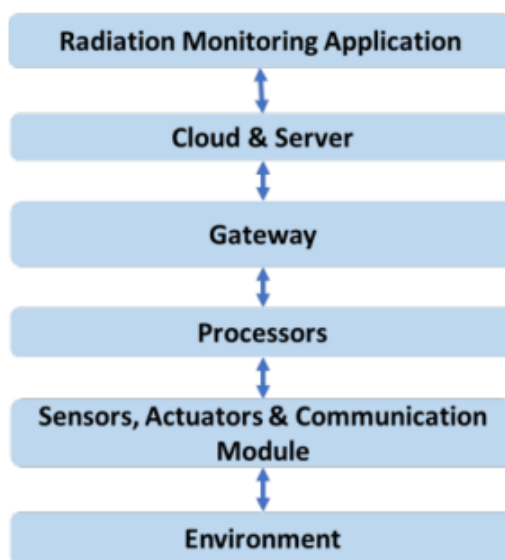


Рис. 1.5. Рівні архітектури IoT для моніторингу іонізуючого випромінювання [12]

Розглянуто також можливості застосування БПЛА, обладнаних радіаційними сенсорами, для моніторингу у важкодоступних або небезпечних для людини зонах. Це дозволяє значно знизити ризики для операторів і забезпечити точні вимірювання на значних територіях. Стаття підкреслює ефективність використання хмарних платформ для аналізу та оперативного реагування у разі виявлення підвищених рівнів радіації. Незважаючи на значні переваги запропонованих технологій, стаття також акцентує увагу на кілька невирішених проблем. Однією з основних є обмеженість обчислювальних ресурсів на сенсорних

вузлах, що ускладнює обробку даних на місці. Система не забезпечує достатньої інтеграції з інструментами автоматизованого управління оповіщеннями, що може знизити ефективність оперативного реагування на аварійні ситуації.

У статті [13] розглядаються основні методи використання хмарних технологій у поєднанні з технологіями Інтернету речей для радіаційно-екологічного моніторингу. Авторами запропоновано перспективний підхід, який передбачає інтеграцію локальних вимірювальних засобів із хмарними сервісами, зокрема за допомогою технологій M2M та IoT, для дистанційного збору й обробки даних (рис. 1.6).

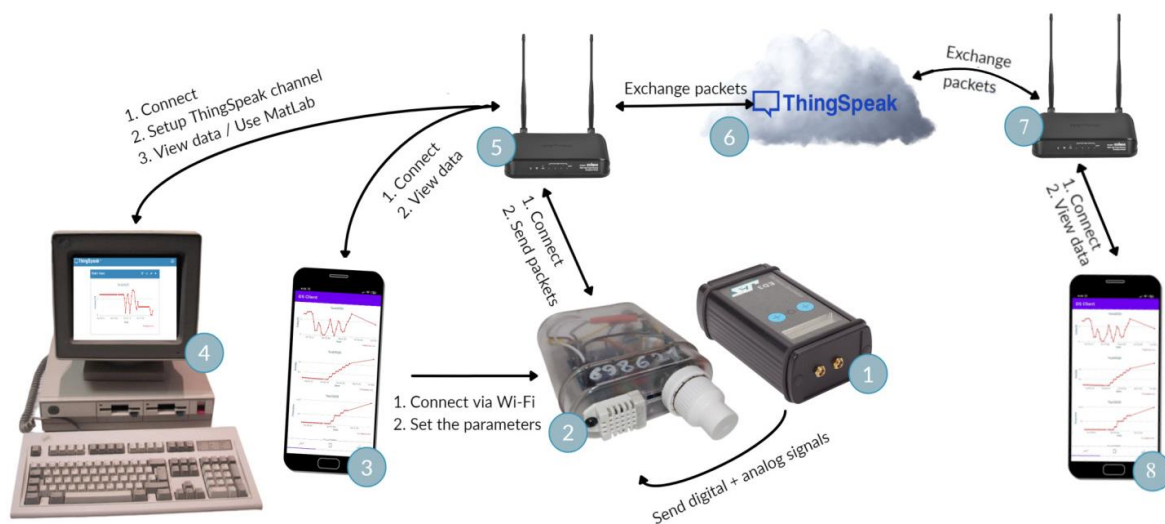


Рис. 1.6. Схема взаємодії компонентів системи радіаційного моніторингу [13]

Автори пропонують використовувати протоколи Wi-Fi, що дозволяє контролювати сенсорну мережу з мобільних пристроїв і відправляти інформацію до хмарного сервісу. Така архітектура дозволяє сенсорним мережам розгортатися у віддалених та важкодоступних місцях. Автори підкреслюють надійність та відмовостійкість системи, а також її здатність до автоматичного переналаштування.

Проте, можна відзначити обмеженість запропонованого підходу, оскільки він не передбачає механізмів для швидкого реагування на критичні зміни рівнів випромінювання, що є важливим для оперативного моніторингу іонізуючого випромінювання.

Загалом, наукові дослідження у сфері моніторингу іонізуючого випромінювання охоплюють широкий спектр технологічних, методологічних та етичних аспектів, спрямованих на підвищення точності, надійності та доступності систем моніторингу.

1.4. Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто основні сфери застосування систем моніторингу іонізуючого випромінювання, зокрема в ядерній енергетиці, медицині, екології та зоні ліквідації наслідків аварій. Здійснено класифікацію сучасних засобів моніторингу іонізуючого випромінювання. Виокремлено стаціонарні системи, мобільні пристрої, переносні детектори, а також засоби моніторингу на основі безпілотних літальних апаратів. Поведено огляд сучасних наукових досліджень у сфері моніторингу іонізуючого випромінювання, що дозволило визначити ключові аспекти розробки ефективних систем для контролю радіаційного фону. Виділено необхідність забезпечення оперативності та надійності збору даних, особливо в критичних умовах.

Аналіз наукових досліджень дав змогу визначити сучасні тенденції та проблеми у розробці систем моніторингу іонізуючого випромінювання. Отримані результати слугують базою для обґрунтування вибору методів і засобів, які будуть використані у створенні комп'ютеризованої IoT-системи для оперативного моніторингу радіаційного фону.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

2.1. Аналіз фізичних принципів вимірювання іонізуючого випромінювання

Іонізуюче випромінювання є однією з основних загроз для здоров'я людей і стану навколишнього середовища, оскільки воно може викликати різні форми пошкодження біологічних тканин. Для його контролю використовуються спеціальні методи та прилади, які базуються на фізичних принципах взаємодії випромінювання з речовиною.

Іонізуюче випромінювання включає кілька різних типів, основними з яких є альфа-, бета-, гамма- та рентгенівське випромінювання. Визначення рівнів іонізуючого випромінювання базується на використанні різних фізичних принципів, таких як іонізація газів, люмінесценція, нагрівання або зміна провідності матеріалів під дією випромінювання. Одним із найпоширеніших приладів для вимірювання є лічильник Гейгера-Мюллера, який реєструє частинки, що іонізують газ у детекторі. Іншим важливим приладом є сцинтиляційний детектор, який використовує люмінесцентний матеріал для перетворення енергії випромінювання на світлові спалахи, що потім реєструються фотодетектором. Напівпровідникові детектори використовують зміну провідності в напівпровідниковому матеріалі під дією випромінювання і можуть мати високу точність вимірювань. Крім того, існують дозиметри, які вимірюють загальну дозу отриманого випромінювання за певний період, що важливо для оцінки впливу на людину в умовах тривалого опромінення.

Моніторинг радіаційного фону є важливим як у повітрі, так і у воді, ґрунті та на поверхнях різних матеріалів. Відмінності в середовищах впливають на розповсюдження та поглинання іонізуючого випромінювання, що вимагає використання різних методів вимірювання. У повітрі гамма-випромінювання має найбільшу проникаючу здатність і легко виявляється на великій відстані від

джерела. У водному середовищі радіація поглинається значно інтенсивніше, тому для контролю рівня випромінювання у воді потрібні прилади, що розміщуються безпосередньо у середовищі вимірювання. У ґрунті контроль здійснюється для виявлення радіоактивних елементів, які можуть проникати на різну глибину залежно від їх типу та властивостей ґрунту. Особливу увагу приділяють моніторингу поверхонь у промислових або медичних установах, де можливе забруднення обладнання радіоактивними матеріалами. Це вимагає використання портативних детекторів, здатних виявляти мінімальні рівні радіації на складних поверхнях.

Різні види іонізуючого випромінювання потребують використання спеціалізованих приладів та методів вимірювання, а їхній моніторинг в різних середовищах вимагає урахування особливостей розповсюдження радіації та поглинання випромінювання.

2.2. Огляд методів дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання

Дистанційний моніторинг іонізуючого випромінювання є важливим напрямком у забезпеченні радіаційної безпеки, оскільки дозволяє ефективно контролювати рівень радіації на великих територіях та в реальному часі. Використання дистанційних методів має на меті забезпечення безперервного збору даних про радіаційний фон та оперативне реагування на підвищення рівнів випромінювання. Сучасні методи дистанційного моніторингу охоплюють різні технології та підходи, що дозволяють отримувати дані з використанням стаціонарних, мобільних та автоматизованих систем.

Основними принципами дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання є безконтактне вимірювання рівня радіації, передача даних на віддалені сервери для їхньої обробки та зберігання, а також можливість інтеграції отриманих даних у централізовані системи управління. Ці системи забезпечують безперервний контроль стану радіаційного фону без необхідності присутності людини в небезпечних зонах, що значно підвищує рівень безпеки та мінімізує

ризика впливу радіації на операторів. Основним елементом таких систем є давачі або детектори, які фіксують рівні іонізуючого випромінювання та передають ці дані через бездротові або дротові мережі до центрального вузла.

Дистанційні методи вимірювання радіаційного фону можуть включати використання різних типів давачів, таких як іонізаційні камери, детектори або напівпровідникові сенсори. Сучасні системи моніторингу можуть бути стаціонарними, мобільними або переносними, що дозволяє використовувати їх як для довготривалого спостереження на фіксованій території, так і для оперативного вимірювання радіаційного фону у віддалених або важкодоступних місцях. Наприклад, мобільні системи можуть бути встановлені на безпілотні літальні апарати, які здатні швидко обстежувати великі території, або на спеціалізовані автомобілі для моніторингу зони відчуження. Інші варіанти включають використання дронів або повітряних зондів, які можуть оперативно вимірювати радіаційний фон у важкодоступних регіонах.

Основними перевагами дистанційного моніторингу є можливість оперативного отримання даних без необхідності постійного перебування людини в небезпечних умовах, а також висока ефективність у контролі великих територій. Дистанційні системи дозволяють здійснювати моніторинг в реальному часі, що є важливим для швидкої реакції на надзвичайні ситуації, такі як аварії на атомних електростанціях або виявлення джерел радіаційного забруднення. Можливість інтеграції з іншими системами відкриває можливості для автоматизації процесів збору даних.

Незважаючи на значний прогрес у розробці систем моніторингу іонізуючого випромінювання, сучасні методи та засоби мають певні недоліки, які обмежують їх ефективність і застосовність. Основні проблеми стосуються точності та надійності вимірювань, особливостей роботи в складних умовах, а також недостатнього рівня автоматизації й інтеграції з іншими інформаційними системами. Ці недоліки можуть впливати на своєчасність реагування на підвищені рівні радіації та на якість даних, що збираються.

Одним із головних недоліків сучасних систем моніторингу є проблема забезпечення точності вимірювань. Багато приладів та систем, що використовуються для контролю рівнів іонізуючого випромінювання, мають обмежену точність через особливості їхньої конструкції, калібрування чи сенсорів. Ця проблема може призводити до отримання некоректних даних, що, у свою чергу, негативно впливає на прийняття рішень щодо безпеки. Крім того, деякі системи можуть мати недостатню надійність через залежність від зовнішніх умов, що можуть викликати збої в роботі або помилкові спрацювання.

Моніторинг іонізуючого випромінювання в умовах віддалених або важкодоступних територій залишається ще однією суттєвою проблемою. Багато приладів не призначені для тривалої роботи в екстремальних умовах, таких як надто низькі або високі температури, підвищена вологість, або сильна радіація. Крім того, у віддалених регіонах часто виникають проблеми з підключенням до мережі передачі даних, що обмежує можливості збору та передачі інформації в реальному часі. Це значно ускладнює контроль рівнів випромінювання, особливо в регіонах, де існує потенційна загроза радіаційного забруднення, наприклад, у зоні відчуження або на атомних станціях.

Отже, існуючі методи та засоби моніторингу іонізуючого випромінювання потребують подальшого вдосконалення для підвищення точності та надійності вимірювань, забезпечення ефективної роботи в складних умовах. Вирішення цих проблем дозволить створити більш надійні та ефективні системи для захисту населення та довкілля від наслідків радіаційного впливу.

2.3. Аналіз існуючих систем збору та обробки даних про рівень іонізуючого випромінювання у реальному часі

Системи збору та обробки даних про рівень іонізуючого випромінювання у реальному часі відіграють важливу роль в забезпеченні радіаційної безпеки. Такі системи забезпечують постійний моніторинг радіаційного фону, оперативну обробку отриманих даних та своєчасне інформування про зміни рівня іонізуючого

випромінювання. Для цього використовуються сучасні архітектури систем, хмарні технології для зберігання та обробки даних, а також спеціальні алгоритми для автоматизованого реагування на аномальні рівні радіації.

Архітектура систем моніторингу радіаційного фону зазвичай включає кілька основних компонентів: давачі для вимірювання рівня іонізуючого випромінювання, мережу для передачі даних, сервери для їх обробки та зберігання, а також інтерфейси для взаємодії з користувачем (рис. 2.1).

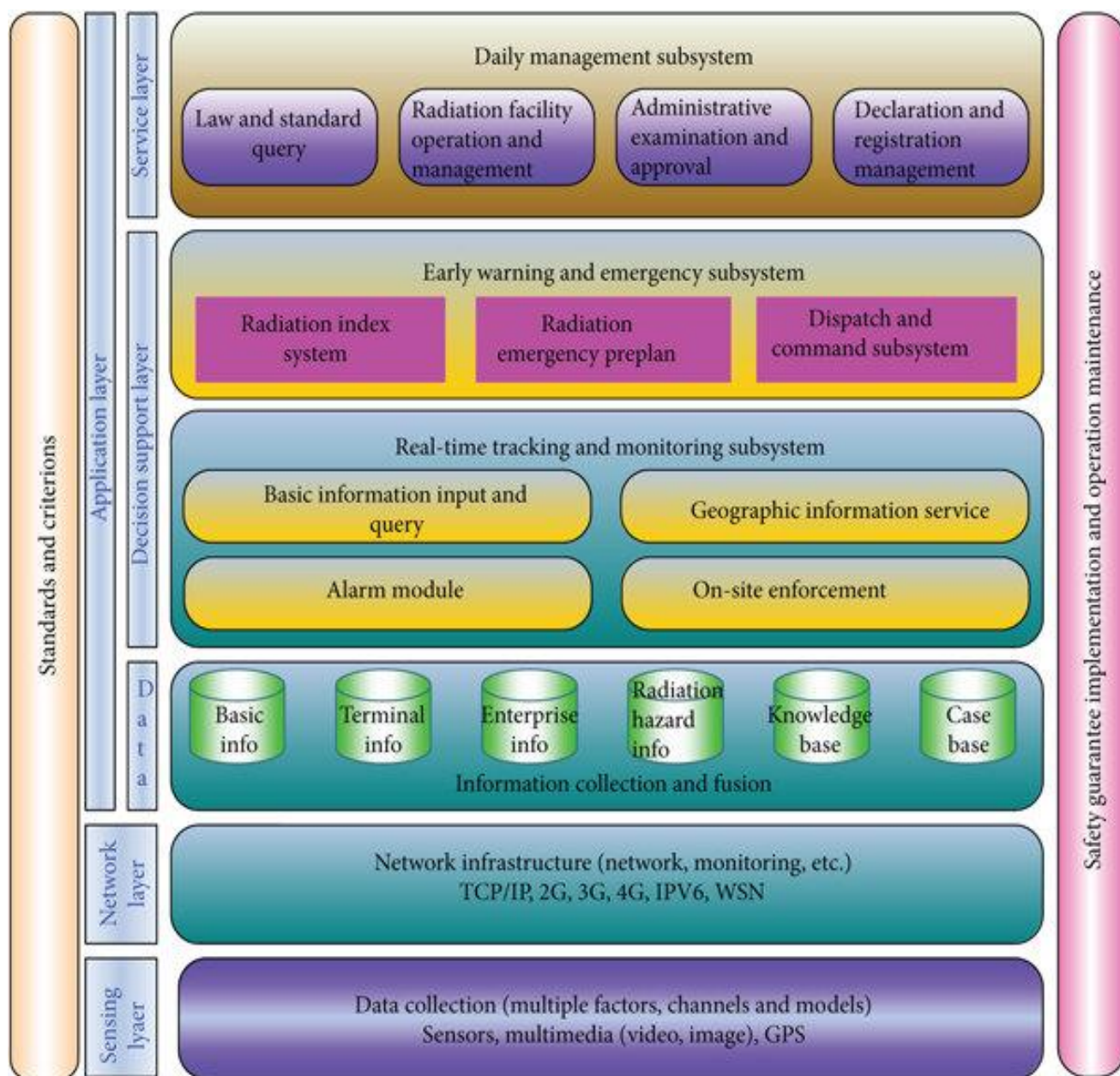


Рис. 2.1. Типова архітектура систем моніторингу радіаційного фону

Сучасні системи зазвичай мають модульну структуру, що дозволяє легко додавати нові компоненти або оновлювати існуючі. Наприклад, давачі можуть бути стаціонарними або мобільними, підключеними через провідні або бездротові мережі, а обробка даних може здійснюватися як на локальних серверах, так і в хмарі. Однією з ключових характеристик таких систем є їхня здатність до масштабування, що дозволяє розширювати мережу давачів без значних витрат на інфраструктуру.

Хмарні сервіси відіграють ключову роль у сучасних системах збору та обробки даних про рівень іонізуючого випромінювання. Ці сервіси дозволяють не лише зберігати дані, але й надавати інструменти для їхньої візуалізації, обробки та аналізу. Застосування хмарних технологій також знижує потребу в дорогому апаратному забезпеченні та дозволяє системам автоматично адаптуватися до змін навантаження, забезпечуючи надійну роботу навіть у випадках пікових навантажень під час кризових ситуацій.

Для того щоб системи моніторингу могли швидко та точно реагувати на підвищені рівні іонізуючого випромінювання, використовуються спеціалізовані алгоритми обробки даних. Такі алгоритми можуть здійснювати попередній аналіз даних, фільтрувати шуми та визначати аномальні зміни рівня радіації. Вони також здатні в реальному часі формувати повідомлення про небезпечні ситуації та відправляти їх до відповідних органів або на пристрої користувачів. Наприклад, алгоритми можуть використовувати правила на основі порогових значень для миттєвого сповіщення про перевищення допустимих рівнів випромінювання. Важливою характеристикою таких алгоритмів є їхня здатність працювати автономно, без необхідності постійного втручання людини, що дозволяє значно підвищити ефективність та швидкість реагування на радіаційні загрози.

Системи збору та обробки даних про рівень іонізуючого випромінювання у реальному часі сприяють підвищенню безпеки завдяки застосуванню передових архітектур, хмарних технологій та інтелектуальних алгоритмів. Вони дозволяють здійснювати безперервний моніторинг радіаційного фону та оперативно реагувати

на небезпечні зміни, що є надзвичайно важливим для захисту населення та навколишнього середовища.

2.4. Застосування технологій Інтернету речей для моніторингу іонізуючого випромінювання

Технології Інтернету речей активно розвиваються в багатьох галузях, включаючи екологічний моніторинг та контроль рівня іонізуючого випромінювання. Інтеграція IoT у системи радіаційного моніторингу відкриває нові перспективи для автоматизації процесів збору, обробки та аналізу даних, а також підвищення безпеки та оперативного реагування на загрози радіаційного характеру.

Основною перевагою застосування IoT у радіаційному моніторингу є автоматизація процесу збору та обробки даних, що значно зменшує необхідність участі людини. Системи на основі IoT здатні безперервно збирати інформацію про рівні іонізуючого випромінювання, аналізувати її в режимі реального часу та передавати результати на центральні сервери для подальшої обробки. Завдяки цьому забезпечується оперативність у виявленні підвищених рівнів радіації, що критично важливо для своєчасного реагування на небезпеки. Іншими перевагами є можливість віддаленого доступу до даних через інтернет, що допомагає здійснювати контроль за віддаленими або небезпечними об'єктами, а також масштабованість системи, оскільки нові сенсори можуть бути легко додані до існуючої мережі без значних змін у структурі.

У світовій практиці є кілька успішних прикладів використання IoT для радіаційного моніторингу. Одним із найвідоміших проєктів є система Safecast, яка була розроблена після аварії на Фукусімській АЕС в Японії. Safecast використовує портативні дозиметри, підключені до інтернету, що дозволяє збирати та передавати дані про радіаційний фон в реальному часі на загальнодоступну онлайн-карту (рис. 2.2).

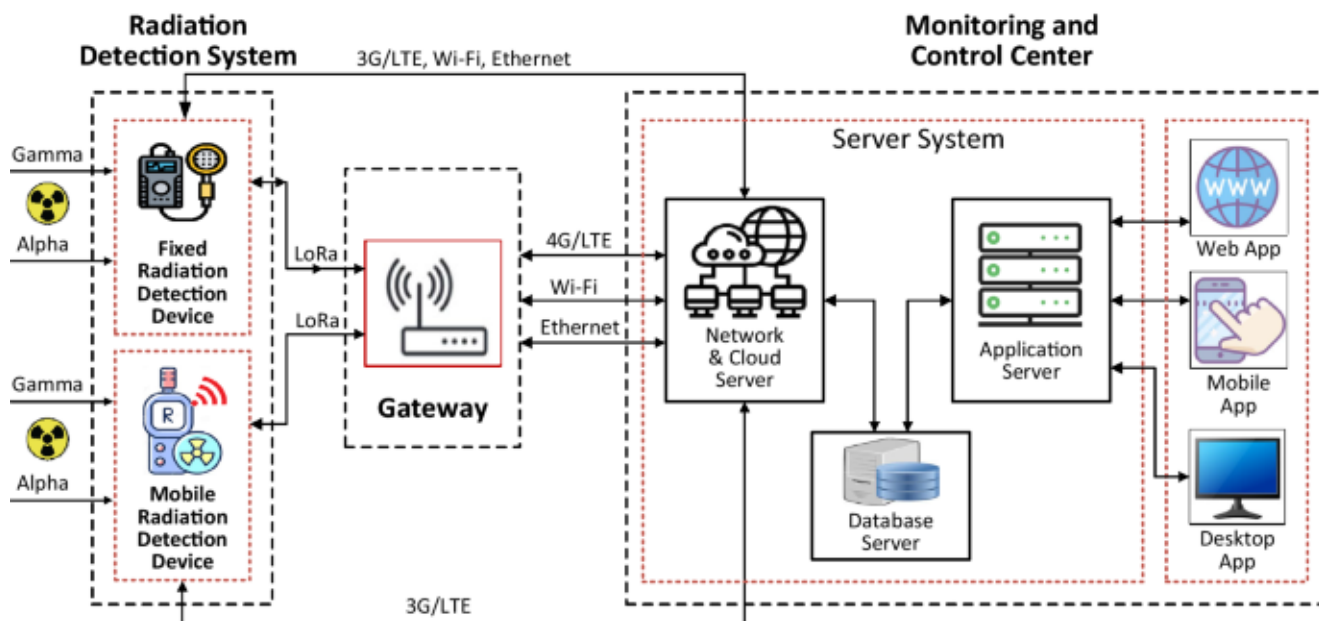


Рис. 2.2. Структура системи на основі IoT для радіаційного моніторингу

Ще один приклад – це проект радіаційного моніторингу в Україні, де в зоні ЧАЕС встановлено сенсори, що передають інформацію через IoT-технології для постійного контролю рівнів радіації в регіоні. Такі проекти демонструють, що IoT дозволяє створити масштабовані та ефективні системи для моніторингу радіації, які можуть бути застосовані як для оперативного контролю, так і для тривалого спостереження.

Незважаючи на численні переваги, інтеграція IoT в системи радіаційного моніторингу має певні проблеми та виклики. По-перше, це питання безпеки даних, оскільки системи IoT є вразливими до кіберзагроз, що може спричинити викривлення даних або навіть повної втрати контролю над системою. По-друге, складнощі можуть виникати через нестабільне або відсутнє інтернет-підключення у віддалених регіонах, де необхідно здійснювати моніторинг радіаційного фону. Третя проблема полягає у необхідності забезпечення енергетичної автономності давачів та приладів, оскільки багато сенсорів працюють у віддалених або важкодоступних місцях, де неможливо легко підключитися до електромережі. Також слід враховувати питання стандартизації, оскільки різні IoT-платформи можуть використовувати несумісні технології для обміну даними, що ускладнює інтеграцію різних систем у єдину мережу.

Отже, технології IoT відкривають нові можливості для автоматизації та покращення процесу моніторингу іонізуючого випромінювання, однак для їх успішної інтеграції необхідно враховувати технічні та інфраструктурні виклики.

2.5. Огляд сенсорів для вимірювання іонізуючого випромінювання

Вибір сенсорів для вимірювання іонізуючого випромінювання є одним із ключових етапів при розробці систем дистанційного моніторингу. Сенсори мають забезпечувати точність і надійність збору даних, бути енергоефективними та легко інтегруватися в автоматизовані системи.

Одним із найпоширеніших типів сенсорів для вимірювання іонізуючого випромінювання є лічильники Гейгера-Мюллера. Вони працюють за принципом іонізації газу, яка відбувається під впливом випромінювання. Лічильники Гейгера-Мюллера використовуються для виявлення альфа, бета та гамма випромінювання і є досить чутливими, хоча їх основним недоліком є невисока точність при вимірюванні кількісних показників радіаційного фону.

Сцинтиляційні детектори використовують матеріали, що світяться при взаємодії з іонізуючим випромінюванням. Це випромінювання реєструється фотодетекторами, що дозволяє точно визначати енергію іонізуючих частинок. Сцинтиляційні детектори мають високу чутливість і можуть забезпечувати точні вимірювання, однак вони потребують більш складної електроніки для обробки сигналів.

Напівпровідникові сенсори, такі як детектори на основі кремнію або германію, працюють за принципом генерації електронно-діркових пар у напівпровіднику під дією іонізуючого випромінювання. Ці сенсори забезпечують високу точність і роздільну здатність при вимірюванні радіаційного фону, проте їх вартість може бути значно вищою у порівнянні з іншими типами сенсорів.

При виборі сенсорів для дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання важливо враховувати кілька ключових критеріїв. Перш за все, це чутливість сенсора, яка визначає його здатність виявляти навіть невеликі рівні

радіації. Для систем раннього попередження чи постійного моніторингу важливо обирати сенсори з високою чутливістю, оскільки це дозволить швидко реагувати на зміни радіаційного фону.

Другим важливим критерієм є точність вимірювань. В залежності від задачі, сенсори можуть вимірювати лише факт наявності радіації або ж точний рівень іонізуючого випромінювання. Висока точність важлива для систем, що працюють у зоні підвищеного радіаційного ризику, наприклад, на атомних станціях або в зонах відчуження.

Енергоефективність є ще одним важливим аспектом. Оскільки дистанційні системи моніторингу часто використовують автономні джерела живлення, наприклад, сонячні батареї або акумулятори, сенсори мають бути енергоощадними, щоб забезпечити тривалу роботу без необхідності частого обслуговування.

Інтеграція сенсорів у автоматизовані системи моніторингу є важливим аспектом при створенні ефективної та надійної системи збору та обробки даних про рівень іонізуючого випромінювання. Один із ключових аспектів цієї інтеграції полягає в забезпеченні можливості безперервної передачі даних з сенсорів на центральні сервери або в хмарні системи для подальшої обробки та зберігання. Це може бути реалізовано через різні канали зв'язку, включаючи бездротові мережі (Wi-Fi, LoRa, ZigBee) або дротові підключення.

Важливим є також питання сумісності сенсорів із програмними платформами, які використовуються для обробки даних. Вибрані сенсори мають легко інтегруватися з системами управління даними та підтримувати стандартизовані протоколи передачі інформації. Крім того, сенсори повинні бути здатними до калібрування та автоматичної перевірки справності, щоб уникнути необхідності частого ручного втручання.

Отже, вибір сенсорів для систем моніторингу іонізуючого випромінювання має базуватися на вимогах до точності, чутливості та енергоефективності, а їхня інтеграція повинна забезпечувати надійний та безперервний процес збору й обробки даних.

2.6. Алгоритми обробки та аналізу даних у системах дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання

Алгоритми обробки даних є ключовими елементами в системах дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання, оскільки від них залежить точність, швидкість реагування та ефективність виявлення небезпечних ситуацій. Ці алгоритми забезпечують аналіз зібраної інформації в режимі реального часу, допомагають ідентифікувати відхилення в рівнях випромінювання та автоматично інформують користувачів про критичні зміни.

Одним із основних завдань систем дистанційного моніторингу є виявлення небезпечних рівнів іонізуючого випромінювання. Для цього використовуються методи обробки даних, що включають аналіз вхідних сигналів із сенсорів та порівняння їх із встановленими пороговими значеннями. Алгоритми можуть використовувати пороговий метод, коли перевищення певного рівня випромінювання автоматично активує попереджувальні системи. Крім того, застосовуються статистичні методи для аналізу динаміки зміни радіаційного фону, що дозволяє виявляти аномальні ситуації навіть при незначних відхиленнях.

Для покращення точності визначення небезпечних рівнів випромінювання можуть використовуватись адаптивні алгоритми, які враховують історичні дані та особливості середовища. Такі алгоритми здатні автоматично налаштовувати порогові значення відповідно до поточних умов, що забезпечує більш точний контроль за радіаційним фоном.

Зібрані радіаційні дані часто потребують фільтрації для усунення шумів та помилок, які можуть виникати через зовнішні фактори або несправності сенсорів. Для цього використовуються алгоритми фільтрації, такі як методи середнього арифметичного або калманівські фільтри, що дозволяють згладжувати дані та підвищувати їх точність. Також важливою задачею є класифікація отриманих даних, яка допомагає визначати тип іонізуючого випромінювання (альфа, бета, гамма) та його джерело.

Візуалізація даних є важливою процесі моніторингу, оскільки дозволяє користувачам легко інтерпретувати отримані результати. Для цього використовуються різні методи, включаючи побудову графіків, карт теплових точок (heat maps) та інтерактивні панелі для відстеження змін у реальному часі. Візуалізація також може включати накладання даних про радіаційний фон на географічні карти, що дозволяє точно визначати місця з підвищеним рівнем випромінювання.

Оперативне інформування користувачів є критичним аспектом у системах моніторингу іонізуючого випромінювання. Для цього використовуються алгоритми сповіщення, які автоматично надсилають попередження в разі перевищення встановлених порогових значень радіації. Сповіщення можуть бути реалізовані у вигляді SMS, електронних листів, push-сповіщень або звукових сигналів, що негайно інформують користувача про загрозу.

Алгоритми також можуть включати механізми пріоритизації, що дозволяють розподіляти сповіщення за рівнем важливості. Наприклад, незначне підвищення рівня випромінювання може ініціювати сповіщення з низьким пріоритетом, тоді як значні відхилення викликатимуть термінові сповіщення з високим рівнем пріоритету та відповідними інструкціями для реагування.

Ефективні алгоритми обробки та аналізу даних у системах дистанційного моніторингу є основою для виявлення небезпечних рівнів випромінювання, точного фільтрування та візуалізації даних, а також своєчасного інформування користувачів про можливі загрози.

2.7. Метод дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій Інтернету речей

Для реалізації системи дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання запропоновано використати метод імпульсного підрахунку з використанням датчика радіації (лічильника Гейгера-Мюллера) та його інтеграції в IoT-інфраструктуру для збору, обробки, передачі та відображення даних.

На першому етапі відбувається реєстрація іонізуючого випромінювання. Давач іонізуючого випромінювання генерує імпульси, кожен із яких відповідає взаємодії іонізуючої частинки із сенсором. Підрахунок кількості імпульсів N здійснюється за визначений часовий інтервал T . Частота імпульсів f розраховується за формулою:

$$f = \frac{N}{T}, \quad (1)$$

де N — кількість зареєстрованих імпульсів, T — час підрахунку (у секундах).

Отримане значення частоти f перетворюється у рівень іонізуючого випромінювання R в мікросівертах на годину ($\mu Sv/h$) за допомогою коефіцієнта перетворення k , який визначається калібруванням сенсора:

$$R = f \cdot k, \quad (2)$$

Коефіцієнт k залежить від характеристик лічильника Гейгера-Мюллера і типу реєстрованого випромінювання (альфа-, бета- або гамма-частинки). Наприклад, якщо сенсор реєструє 1 імпульс за секунду при рівні радіації $0,0057 \mu Sv/h$, то $k = 0,0057$.

Розраховане значення R виводиться на дисплей у вигляді числового значення, що дозволяє оператору отримувати інформацію в реальному часі. Якщо значення R перевищує допустимий поріг R_{crit} , генерується звуковий сигнал:

if $R > R_{crit}$, то активувати сигналізацію

Для прив'язки вимірювання до місця розташування система використовує GPS модуль, який надає географічні координати (lat, lon). Ці дані додаються до інформаційного пакету:

$$Data = \{R, lat, lon, T\}. \quad (3)$$

Сформовані дані передаються через Wi-Fi на хмарну платформу для подальшого зберігання, аналізу та візуалізації. Передача здійснюється за допомогою протоколу MQTT у форматі JSON:

JSON-package={ "radiation" : R , "latitude" : lat , "longitude" : lon , "timestamp" : T }.

На хмарній платформі виконується аналіз даних у реальному часі. Якщо значення R перевищує критичне R_{crit} , система автоматично надсилає сповіщення оператору:

if $R > R_{crit}$, то надіслати сповіщення.

Дані про рівень радіації, отримані від кількох сенсорів, агрегуються на хмарній платформі для побудови графіків, відображення історії змін та забезпечення централізованого доступу. Графік рівня радіації формується за формулою:

$$R(t) = R_1, R_2, \dots, R_n, \quad (4)$$

де $R(t)$ — залежність рівня радіації від часу, R_i — значення радіації в момент t_i .

Описаний метод забезпечує автоматизацію процесу моніторингу іонізуючого випромінювання, зменшує ризики для персоналу, дозволяє отримувати точні дані в реальному часі, а також спрощує їхній аналіз завдяки інтеграції з хмарними сервісами.

2.8. Висновки до розділу 2

У другому розділі проведено всебічний аналіз методів і засобів дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання. Проаналізовано фізичні принципи вимірювання радіаційного фону. Виокремлено основні види

випромінювання, принципи їх реєстрації та типи сенсорів, що забезпечують точність і надійність вимірювання.

В результаті огляду методів дистанційного моніторингу виокремлено переваги імпульсного підрахунку у поєднанні з технологіями передачі даних у реальному часі. Аналіз існуючих підходів підтвердив доцільність використання Інтернету речей для автоматизації збору та обробки інформації.

Розглянуто сучасні системи збору та обробки даних про радіаційний фон. Показано, що поєднання хмарних платформ із сенсорними мережами дозволяє не лише накопичувати дані, але й забезпечувати їх оперативну обробку, прогнозування та сповіщення у разі перевищення допустимих рівнів випромінювання.

Виконано огляд сенсорів для вимірювання радіації. Це дозволило обґрунтувати вибір лічильника Гейгера-Мюллера як базового сенсора для розроблюваної системи завдяки його простоті, доступності та достатній чутливості для завдань моніторингу.

Проаналізовано алгоритми обробки та аналізу даних. Виділено методи фільтрації шумів, прогнозування рівнів радіації та автоматизованої класифікації аномалій. Використання таких алгоритмів підвищує точність і надійність системи.

Запропоновано метод дистанційного моніторингу із застосуванням IoT, що включає використання лічильника Гейгера-Мюллера, мікроконтролера, GPS модуля та хмарної платформи для збору, обробки й відображення даних. Метод враховує особливості дистанційного моніторингу, включаючи роботу у віддалених зонах та потребу в автоматичному сповіщенні про небезпечні рівні радіації.

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ
СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

3.1. Апаратна реалізація системи дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання

3.1.1. На структурній схемі (рис. 3.1) зображено ключові компоненти системи дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій Інтернету речей.

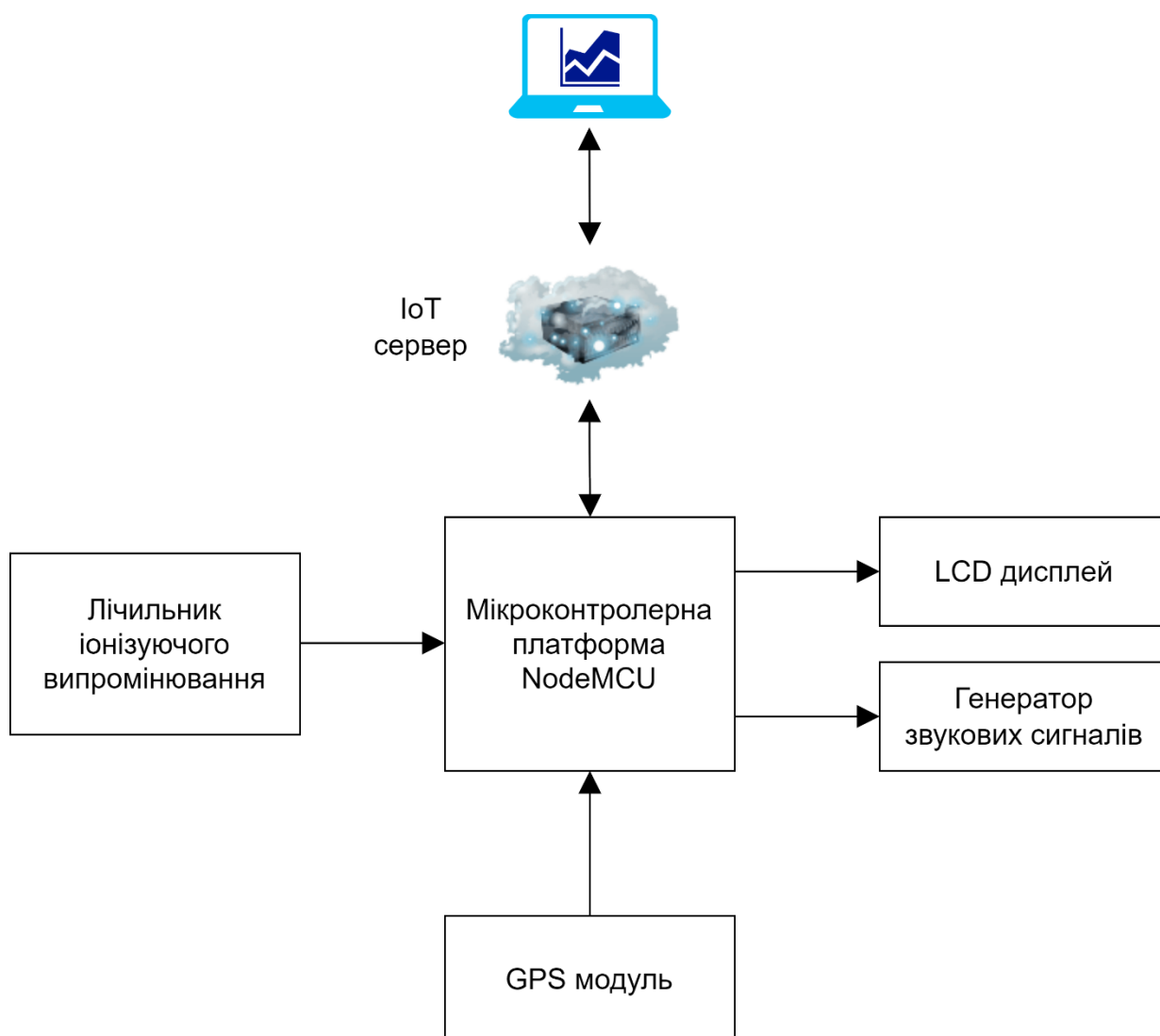


Рис. 3.1. Структурна схема системи дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій інтернету речей

Схема ілюструє взаємодію компонентів для забезпечення інформування користувачів про рівень випромінювання. Всі компоненти працюють як єдиний комплекс, що забезпечує зчитування даних, їх локальне відображення, передачу на хмарну платформу для обробки та доступ до результатів через ноутбук або інші пристрої.

Лічильник іонізуючого випромінювання виконує основну функцію реєстрації рівня радіації. Він генерує імпульси при взаємодії з іонізуючими частинками, які передаються до мікроконтролера NodeMCU для подальшої обробки.

Платформа NodeMCU на базі ESP8266 є ядром системи. Мікроконтролер обробляє імпульси від сенсора, обчислює рівень випромінювання у мікрозівертах на годину ($\mu\text{Sv/h}$), керує LCD дисплеєм і отримує дані з GPS модуля, а також передає дані на хмарну платформу. Крім цього, мікроконтролер генерує команди для звукового сигналізатора у разі перевищення допустимого рівня радіації.

LCD дисплей використовується для локального відображення рівня випромінювання у режимі реального часу. На дисплеї також відображаються додаткові повідомлення, наприклад, попередження про перевищення порогового рівня випромінювання. Генератор звукових сигналів забезпечує звукове сповіщення у разі перевищення допустимого рівня випромінювання.

GPS модуль інтегровано для визначення географічних координат місця вимірювання. NodeMCU отримує координати з GPS модуля та включає їх у пакет даних, які передаються на хмарну платформу.

NodeMCU передає оброблені дані на IoT сервер через Wi-Fi з використанням протоколів HTTP або MQTT. Платформа забезпечує зберігання, візуалізацію та аналіз даних.

3.1.2. NodeMCU – це зручний і популярний модуль, що поєднує в собі можливості контролера та WiFi модуля на основі мікроконтролера ESP8266 (рис. 3.2). Він забезпечує як обробку, так і передачу даних, що робить його оптимальним вибором для створення систем дистанційного моніторингу в різних IoT проєктах, включаючи контроль рівня іонізуючого випромінювання.



Рис. 3.2. Модуль NodeMCU

NodeMCU побудований на базі мікроконтролера ESP8266 з 32-бітною архітектурою Tensilica L106 і працює на тактовій частоті до 160 МГц. Він має 11 цифрових GPIO-портів з підтримкою PWM. Для взаємодії з іншими компонентами підтримуються інтерфейси UART, SPI та I²C, що забезпечує гнучкість під час інтеграції зовнішніх пристроїв (рис. 3.3). Модуль також оснащений вбудованим стабілізатором живлення, який дозволяє працювати з різними джерелами живлення.

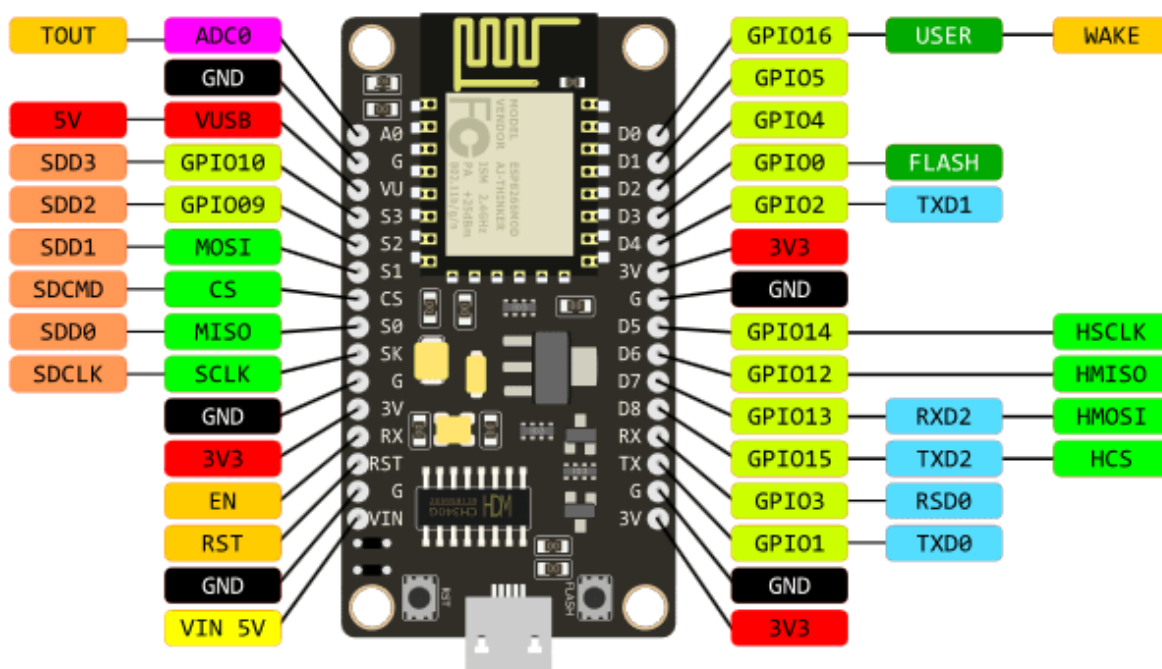


Рис. 3.3. Виводи модуля NodeMCU

Модуль NodeMCU містить прошивку, що базується на мові програмування Lua, а також USB-порт для зручності програмування, що забезпечує його підключення до ПК або іншого контролера. Структура модуля дозволяє його швидко програмувати та конфігурувати для обміну даними з використанням WiFi. Інтегрована підтримка протоколів HTTP та MQTT робить NodeMCU гнучким для застосування у віддалених системах моніторингу, оскільки ці протоколи широко використовуються для з'єднання з хмарними сервісами.

NodeMCU може працювати в режимі точки доступу (AP), клієнта (STA) або одночасно в обох режимах. Ця особливість дозволяє використовувати його як частину локальної мережі IoT або налаштувати для прямої передачі даних на сервер. Модуль також підтримує шифрування WPA/WPA2, що забезпечує захист даних під час їх передавання.

Модуль NodeMCU є оптимальним вибором для проєктованої системи моніторингу іонізуючого випромінювання завдяки підтримці WiFi. Можливість одночасної обробки та передачі даних робить його придатним для створення віддалених систем моніторингу, які вимагають швидкої реакції на зміни рівня радіації. Вбудовані GPIO порти забезпечують просте підключення сенсорів і мінімізують потребу у додаткових модулях, що зменшує енергоспоживання та покращує надійність системи.

NodeMCU також підтримує різноманітні протоколи зв'язку, що дозволяє швидко інтегрувати модуль у хмарні платформи або локальні сервери для зберігання і обробки даних. Це спрощує побудову структури IoT-системи та забезпечує доступність даних для подальшого аналізу. Завдяки високій швидкості роботи з мережею та підтримці шифрування, NodeMCU забезпечує надійний та захищений обмін даними.

3.1.3. Лічильник іонізуючого випромінювання Гейгера є високочутливим давачем, здатним виявляти альфа-, бета- і гамма-випромінювання, що робить його придатним для застосування в системах екологічного та промислового моніторингу (рис. 3.4). Цей модуль легко інтегрується з мікроконтролерами та IoT-

платформами, що забезпечує його популярність у проєктах, пов'язаних із радіаційною безпекою.

Geiger Counter побудований на основі трубки Гейгера-Мюллера типу M4011, яка має високий рівень чутливості та дозволяє виявляти навіть незначні рівні іонізуючого випромінювання. Модуль здатний реєструвати частоту імпульсів від іонізуючих частинок у діапазоні від 0,05 до 20 мікросівертів на годину ($\mu\text{Sv/h}$), що робить його придатним для моніторингу фонових рівнів радіації та екологічних вимірювань. Робоча напруга модуля становить 5 В, що дозволяє легко підключати його до більшості популярних мікроконтролерів.

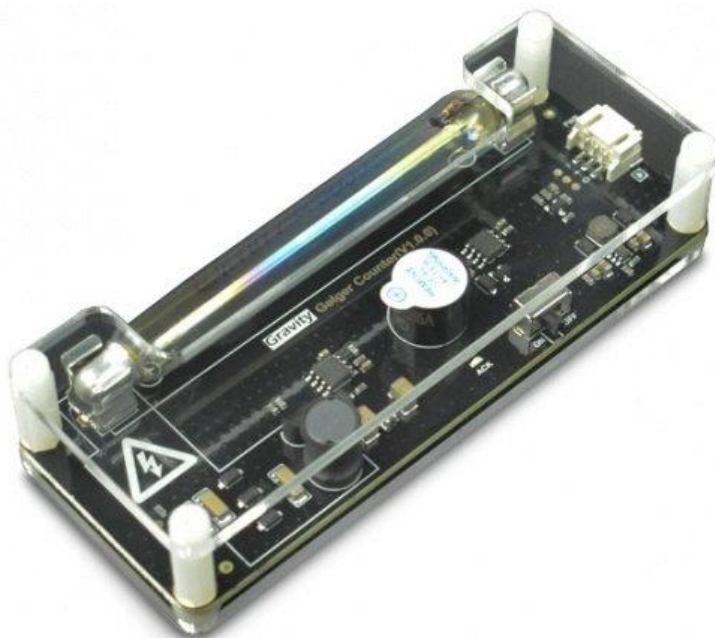


Рис. 3.4. Детектор іонізуючого випромінювання з модулем лічильника Гейгера

Основною частиною модуля є трубка Гейгера-Мюллера, яка генерує імпульси під час взаємодії з іонізуючими частинками. У комплекті модуля також є високоомний резистор і схема підсилення сигналу, що дозволяє передавати імпульси на мікроконтролер для подальшої обробки. Лічильник оснащений цифровим виходом, що дозволяє отримувати імпульси для кожного випадку взаємодії з частинкою, забезпечуючи точне та швидке виявлення рівнів випромінювання. Сигнал легко піддається програмній обробці для перетворення на

кількість імпульсів за одиницю часу, що дозволяє визначати поточний рівень радіації у вигляді стандартних одиниць — мікрозівертів на годину ($\mu\text{Sv/h}$).

Geiger Counter є компактним і портативним, що дає змогу використовувати його в мобільних системах і навіть у переносних пристроях. Він також має роз'єми для безпосереднього підключення до інших сенсорних модулів або обчислювальних платформ. Важливою характеристикою є його енергоефективність — модуль споживає мінімальну кількість енергії, що є критично важливим для тривалого використання в умовах обмеженого живлення, наприклад, у віддалених місцевостях.

Лічильник Гейгера від DFRobot є оптимальним рішенням для реалізації проєктованої системи дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання через його точність, простоту інтеграції та компактність. Висока чутливість до альфа-, бета- і гамма-випромінювання дозволяє забезпечити повний спектр моніторингу, необхідний для точного відстеження радіаційного фону. Підключення через стандартні цифрові інтерфейси дозволяє легко інтегрувати модуль з мікроконтролерними платформами на кшталт NodeMCU, що використовується для передачі даних на хмарну платформу.

Можливість модуля працювати при низькому енергоспоживанні є ще однією важливою перевагою, що дозволяє використовувати його в автономних і мобільних системах. Завдяки цій характеристиці модуль можна застосовувати в умовах, де важкодоступні джерела живлення або є вимоги до тривалого безперервного моніторингу.

3.1.4. Схеми електричних з'єднань системи, яка зображена на рис. 3.5, демонструє взаємозв'язок основних компонентів, які забезпечують зчитування, обробку, передачу та відображення даних про рівень іонізуючого випромінювання в реальному часі. Система складається з лічильника Гейгера-Мюллера, мікроконтролерної платформи NodeMCU з комунікаційним модулем Wi-Fi, LCD дисплея, GPS модуля, п'єзодинаміка для звукових сповіщень.

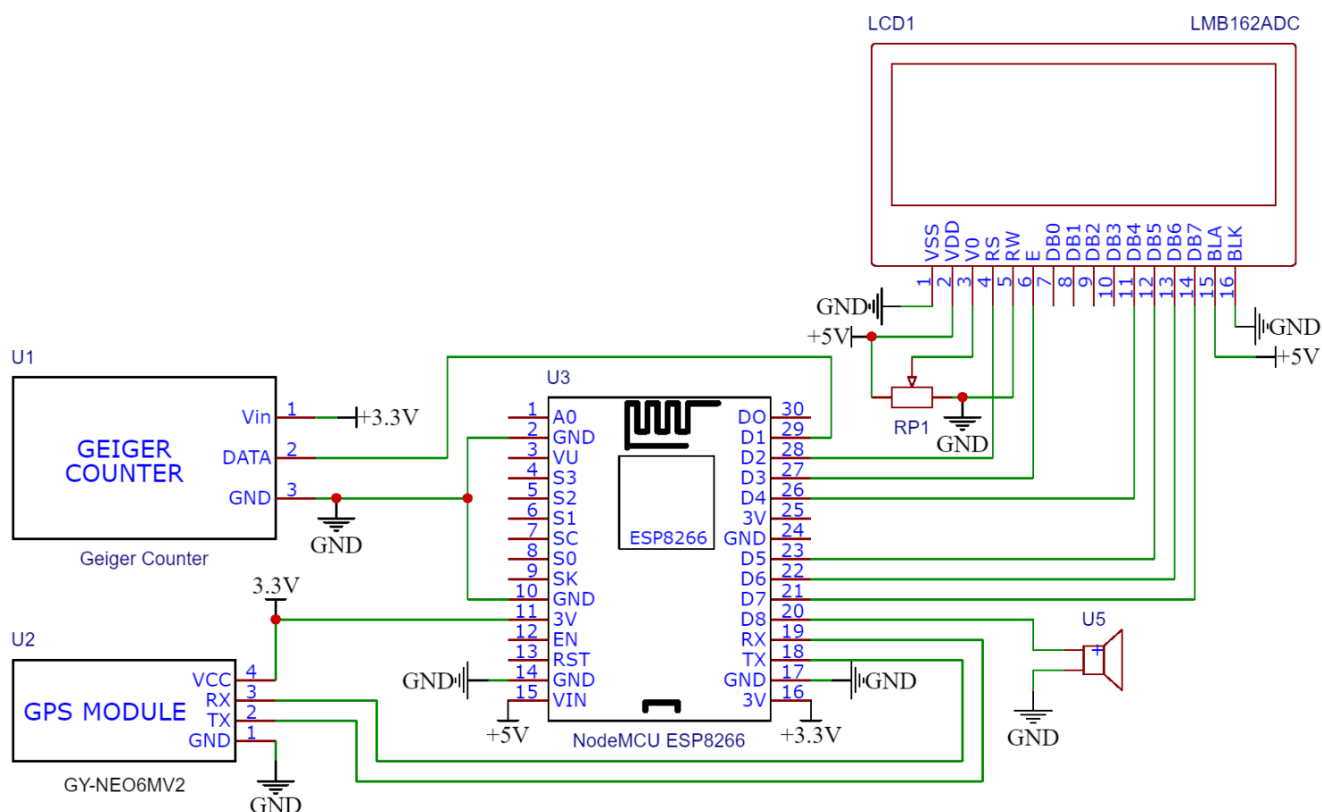


Рис. 3.5. Схема електричних з'єднань пристрою для дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання

Лічильник Гейгера-Мюллера (U1) є основним сенсором для вимірювання іонізуючого випромінювання. Він генерує електричні імпульси при взаємодії з іонізуючими частинками. Лічильник підключений до високовольтного перетворювача, який забезпечує стабільну напругу живлення для його роботи. Вихідний сигнал з лічильника передається до входу NodeMCU, де обробляється для обчислення рівня радіації.

NodeMCU на базі мікроконтролера ESP8266 є центральним вузлом системи. Він зчитує імпульси від сенсора, обробляє їх для визначення рівня випромінювання у мікросівртах на годину ($\mu\text{Sv/h}$) і передає результати до інших компонентів. NodeMCU також забезпечує управління LCD дисплеєм, GPS модулем і п'єзодинаміком. Крім того, він передає дані через вбудований Wi-Fi модуль на хмарну платформу, використовуючи протоколи MQTT або HTTP.

LCD дисплей (LCD1), підключений безпосередньо до GPIO-пінів NodeMCU, використовується для локального відображення рівня радіації. На дисплеї

відображаються поточні значення випромінювання та попереджувальні повідомлення у разі перевищення допустимих рівнів. Регулятор яскравості дисплея налаштований через змінний резистор RP1, що дозволяє підлаштовувати підсвічування під різні умови освітлення.

GPS модуль NEO-6M забезпечує визначення географічних координат місця вимірювання. Він підключений до NodeMCU через інтерфейс UART і передає координати, які додаються до пакету даних для передачі на хмарну платформу.

П'єзодинамік підключений до цифрового виходу D8 NodeMCU. Його основна функція — генерація звукових сигналів при перевищенні критичних рівнів випромінювання. Коли обчислений рівень перевищує встановлений поріг, мікроконтролер активує п'єзодинамік, створюючи звукове попередження для привернення уваги.

Ця електрична схема забезпечує ефективну взаємодію всіх компонентів, дозволяючи реалізувати автоматизований процес збору, обробки, локального і віддаленого відображення даних, а також забезпечує своєчасне сповіщення про критичні рівні випромінювання.

3.2. Алгоритмічне та програмне забезпечення системи

3.2.1. Алгоритм програми для мікроконтролера ESP8266, який зображений на рис. 3.6, реалізує функції зчитування даних від лічильника Гейгера-Мюллера, обчислення рівня іонізуючого випромінювання, відображення результатів на LCD дисплеї, визначення географічних координат за допомогою GPS модуля, передачі інформації на хмарну платформу та звукового сповіщення через п'єзодинамік у разі перевищення допустимого рівня радіації.

Після запуску програми мікроконтролер ініціалізує всі підключені компоненти: встановлює порти для зчитування даних від лічильника Гейгера-Мюллера, налаштовує GPIO-піни для роботи з LCD дисплеєм та п'єзодинаміком, а також UART для зв'язку з GPS модулем. Паралельно з цим мікроконтролер

підключається до Wi-Fi мережі. У разі успішного підключення встановлюється зв'язок із хмарною платформою через протокол MQTT або HTTP.

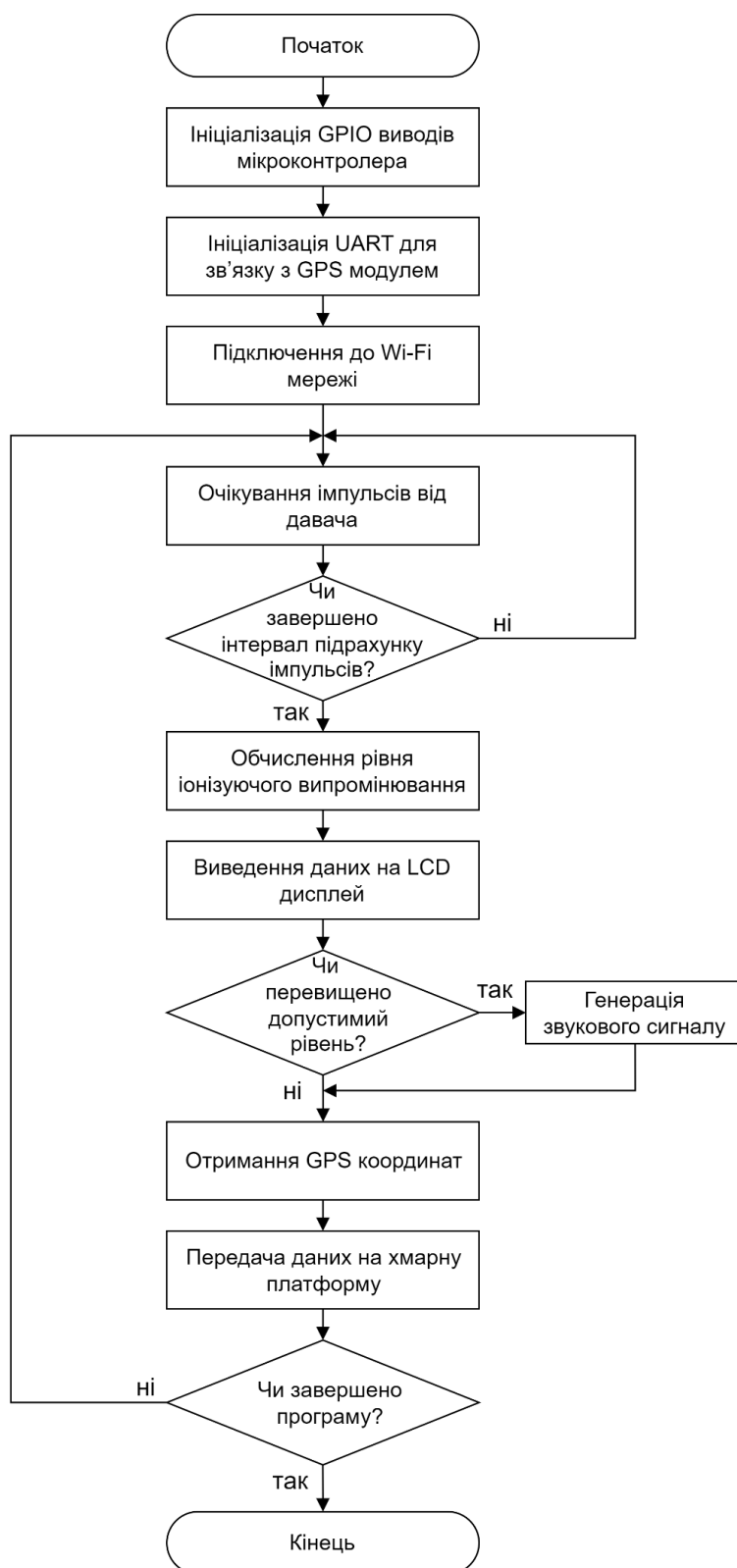


Рис. 3.6. Блок-схема алгоритму

Програма працює в циклі. Кожен імпульс, який надходить від лічильника Гейгера-Мюллера, обробляється функцією переривання, яка збільшує лічильник імпульсів. Через встановлений інтервал часу програма підраховує кількість імпульсів і обчислює рівень радіації у мікросівертах на годину ($\mu\text{Sv/h}$) за допомогою відповідного коефіцієнта перетворення. Після обчислення лічильник імпульсів обнуляється, і цикл розпочинається знову.

Поточний рівень випромінювання виводиться на LCD дисплей для локального відображення. Якщо рівень радіації перевищує встановлений поріг, на дисплеї з'являється попереджувальне повідомлення, а програма активує п'єзодинамік для генерації звукового сигналу. Звуковий сигнал триває до моменту повернення рівня випромінювання до нормального значення.

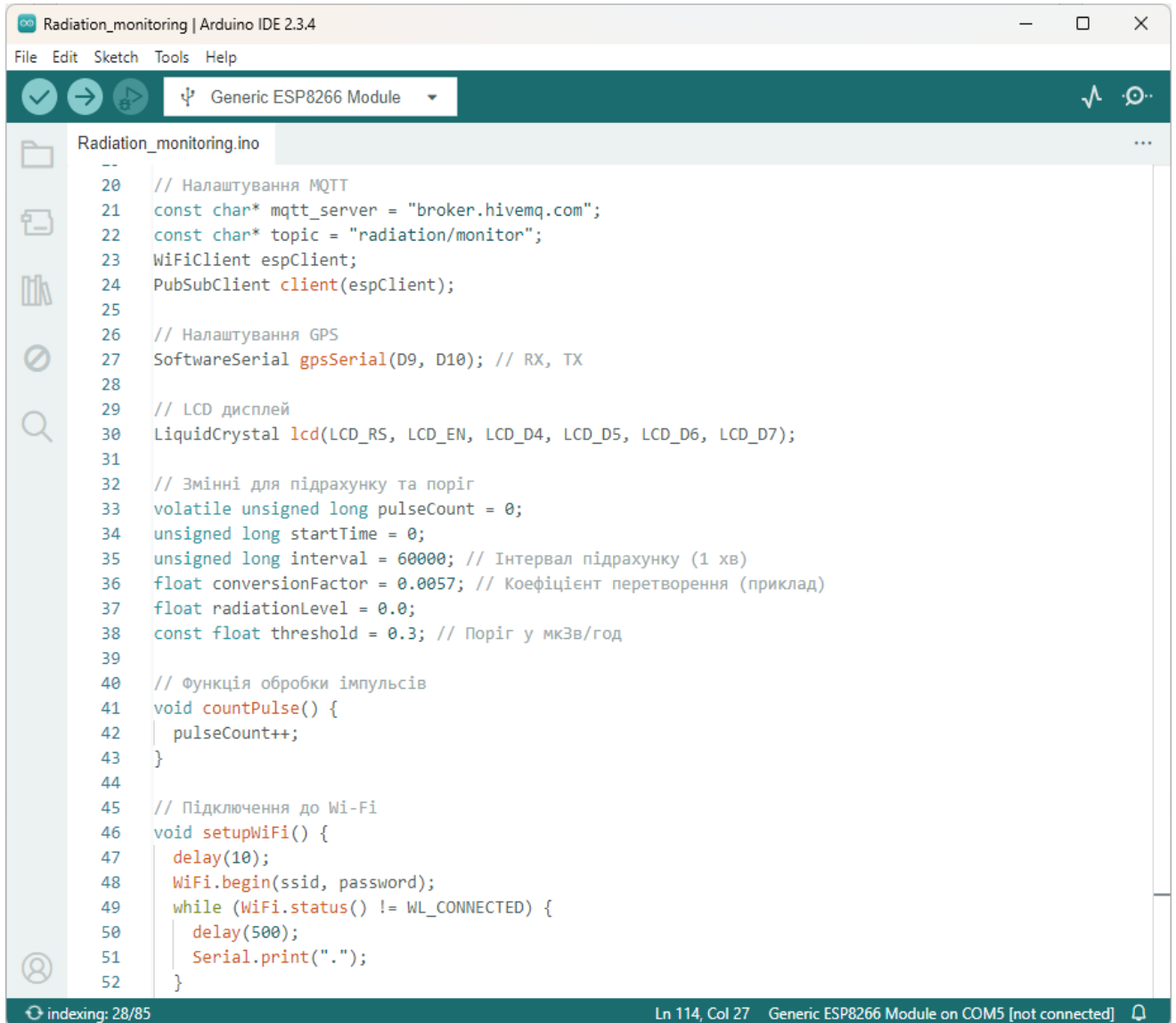
Паралельно з цим NodeMCU зчитує координати через модуль GPS, отримуючи дані про точне місцезнаходження. Поточний рівень випромінювання разом із географічними координатами та часом вимірювання формуються у пакет даних, який передається на хмарну платформу. Якщо з'єднання з хмарою тимчасово недоступне, дані зберігаються у буфері для передачі після відновлення з'єднання.

У разі перевищення критичних значень хмарна платформа надсилає попередження користувачам, що налаштовується за допомогою тригерів на платформі. Після завершення циклу програма очікує наступний інтервал, протягом якого продовжує приймати імпульси від сенсора.

Цей алгоритм забезпечує безперервну роботу системи в реальному часі, дозволяючи виконувати автоматизований моніторинг рівня радіації, забезпечувати локальне та дистанційне інформування, а також своєчасно реагувати на потенційно небезпечні ситуації завдяки звуковим і візуальним сповіщенням.

3.2.2. Arduino IDE – це зручне та потужне програмне середовище, призначене для розробки, компіляції та завантаження програмного забезпечення на мікроконтролери платформи Arduino та сумісні пристрої, такі як NodeMCU (на базі ESP8266). Arduino IDE широко використовується для створення IoT-рішень завдяки своїй простоті, відкритому коду та широкому набору бібліотек.

Arduino IDE має простий та зрозумілий інтерфейс, що складається з основних компонентів: редактора коду, консолі повідомлень, панелі налаштувань та кнопок для компіляції і завантаження (рис. 3.7).



```
Arduino IDE 2.3.4 - Radiation_monitoring | Generic ESP8266 Module
File Edit Sketch Tools Help
Radiation_monitoring.ino
--
20 // Налаштування MQTT
21 const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";
22 const char* topic = "radiation/monitor";
23 WiFiClient espClient;
24 PubSubClient client(espClient);
25
26 // Налаштування GPS
27 SoftwareSerial gpsSerial(D9, D10); // RX, TX
28
29 // LCD дисплей
30 LiquidCrystal lcd(LCD_RS, LCD_EN, LCD_D4, LCD_D5, LCD_D6, LCD_D7);
31
32 // Змінні для підрахунку та поріг
33 volatile unsigned long pulseCount = 0;
34 unsigned long startTime = 0;
35 unsigned long interval = 60000; // Інтервал підрахунку (1 хв)
36 float conversionFactor = 0.0057; // Коефіцієнт перетворення (приклад)
37 float radiationLevel = 0.0;
38 const float threshold = 0.3; // Поріг у мкЗв/год
39
40 // Функція обробки імпульсів
41 void countPulse() {
42   pulseCount++;
43 }
44
45 // Підключення до Wi-Fi
46 void setupWiFi() {
47   delay(10);
48   WiFi.begin(ssid, password);
49   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
50     delay(500);
51     Serial.print(".");
52   }

```

indexing: 28/85 Ln 114, Col 27 Generic ESP8266 Module on COM5 [not connected]

Рис. 3.7. Arduino IDE

Середовище Arduino IDE повністю підтримує модуль NodeMCU (ESP8266), який використовується в цій системі, забезпечуючи доступ до всіх функцій мікроконтролера, зокрема Wi-Fi-модуля, необхідного для передачі даних на IoT-платформу.

Бібліотеки для роботи з Wi-Fi, LCD дисплеями, лічильником Гейгера-Мюллера та хмарними сервісами дозволяють значно скоротити час на розробку та

інтеграцію компонентів системи. Середовище Arduino IDE дозволяє легко масштабувати проєкт, додаючи нові модулі чи функції, завдяки чому система може бути адаптована до змін у вимогах.

Arduino IDE забезпечує всі необхідні інструменти для розробки програмного забезпечення для проєктованої IoT-системи. Простота у використанні, велика кількість бібліотек і підтримка NodeMCU (ESP8266) роблять це середовище найкращим вибором для реалізації проєкту дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання.

3.2.3. Програма для мікроконтролера NodeMCU (ESP8266), яка розроблена в середовищі Arduino IDE, виконує функції зчитування даних із лічильника Гейгера-Мюллера, їх обробки, відображення на LCD дисплеї, визначення географічних координат за допомогою GPS модуля та передачі інформації на хмарну платформу.

На початковому етапі програма налаштовує порти для роботи з лічильником Гейгера-Мюллера, LCD дисплеєм і GPS модулем (рис.3.8).

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

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Initializing...");

  pinMode(GEIGER_PIN, INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GEIGER_PIN), countPulse, FALLING);

  pinMode(PIEZO_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(PIEZO_PIN, LOW);

  setupWiFi();
  client.setServer(mqtt_server, 1883);

  startTime = millis();
}
```

Рис. 3.8. Лістинг функції setup()

Крім того відбувається зчитування налаштувань мережі (SSID і пароль) і підключення до Wi-Fi (рис. 3.9).

```

// Підключення до Wi-Fi
void setupWiFi() {
  delay(10);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("WiFi connected");
}

```

Рис. 3.9. Лістинг функції setupWiFi()

У разі успішного з'єднання встановлюється зв'язок із хмарною платформою через MQTT (рис. 3.10).

```

// Підключення до MQTT
void reconnect() {
  while (!client.connected()) {
    if (client.connect("ESP8266Client")) {
      Serial.println("Connected to MQTT broker");
    } else {
      delay(5000);
    }
  }
}

```

Рис. 3.10. Лістинг функції reconnect()

Після цього ініціалізуються змінні для підрахунку імпульсів, обчислення рівня радіації та зберігання координат. На LCD дисплеї виводиться повідомлення про готовність системи.

Лічильник Гейгера-Мюллера генерує імпульси, які обробляються через переривання. Кожен імпульс збільшує лічильник імпульсів. Програма підраховує кількість імпульсів за певний період і переводить це значення в рівень випромінювання ($\mu\text{Sv/h}$) з використанням відповідного коефіцієнта перетворення. Після обчислення лічильник імпульсів обнуляється, і цикл підрахунку розпочинається знову (рис. 3.11).

```
// Перевірка інтервалу
if (millis() - startTime >= interval) {
  // Обчислення рівня радіації
  radiationLevel = pulseCount * conversionFactor;
  pulseCount = 0;
  startTime = millis();
}
```

Рис. 3.11. Фрагмент коду для підрахунку кількості імпульсів від давача

Обчислений рівень випромінювання виводиться на LCD дисплей. Якщо рівень радіації перевищує встановлений поріг, на дисплеї з'являється попередження та генерується звуковий сигнал (рис. 3.12).

```
// Виведення на LCD
lcd.clear();
lcd.print("Radiation: ");
lcd.print(radiationLevel);
lcd.print(" uSv/h");

// Звуковий сигнал при перевищенні порогу
if (radiationLevel > threshold) {
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("ALERT!");
  tone(PIEZO_PIN, 1000, 500); // Генерація звуку
} else {
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Normal");
}
}
```

Рис. 3.12. Фрагмент коду для виведення інформації на дисплей та звукового сповіщення

NodeMCU через UART-з'єднання зчитує дані про географічні координати від GPS модуля. Програма перевіряє коректність отриманих координат і зберігає їх у змінній для передачі разом із даними про рівень радіації (рис. 3.13).

```
// Отримання координат GPS
String gpsData = "0.0000,0.0000"; // Заглушка, поки немає реальних даних
if (gpsSerial.available()) {
  gpsData = gpsSerial.readStringUntil('\n');
}
}
```

Рис. 3.13. Фрагмент коду для зчитування даних про географічні координати

MQTT, HTTP та TCP/UDP, що полегшує підключення різних сенсорів і контролерів, таких як NodeMCU. Ubidots дозволяє створювати віртуальні змінні, куди передаються дані з пристроїв, і автоматично обробляти ці дані для подальшого аналізу або візуалізації.

Однією з найбільш цінних можливостей платформи є інструменти для візуалізації даних. Користувачі можуть створювати інтерактивні графіки, таблиці та віджети, що дозволяє наочно представляти зібрані дані. Для автоматичного реагування на підвищені рівні випромінювання платформа Ubidots надає функціонал «тригери», який дозволяє налаштувати відправлення сповіщень у разі перевищення порогових значень.

Платформа також підтримує API та інтеграцію з іншими сервісами, що дозволяє гнучко адаптувати систему до вимог конкретного проекту та забезпечити сумісність з іншими хмарними системами.

Ubidots є оптимальним вибором для проєктованої системи дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання завдяки її зручності в роботі з сенсорами та простоті налаштування даних у реальному часі. Вона забезпечує стабільний і безпечний канал для передачі даних, що критично важливо для моніторингу радіаційних рівнів. Інструменти для візуалізації і відстеження даних дозволяють швидко аналізувати інформацію і наочно представляти результати вимірювань.

Крім того, можливість створення тригерів на основі змінних значень і налаштування сповіщень про критичні рівні випромінювання дозволяє оперативно інформувати користувачів про потенційно небезпечні ситуації. Це робить Ubidots зручним інструментом для використання в екологічних та безпекових проєктах, де важлива оперативність реагування.

Загалом, Ubidots є надійним рішенням для побудови IoT-системи моніторингу завдяки можливостям інтеграції, гнучкості в роботі з різними протоколами та потужним інструментам візуалізації та оповіщення.

Процес налаштування IoT платформи Ubidots для реалізації відображення результатів дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання включав

кілька кроків, які забезпечили збереження, обробку та візуалізацію даних у режимі реального часу.

Після реєстрації в системі був створений новий пристрій з назвою "RadiationMonitoring", що дозволило структурувати дані для конкретного сенсора і підвищити зручність перегляду інформації.

Кожен пристрій в Ubidots містить змінні (variables), які використовуються для зберігання даних. У пристрої "RadiationMonitor" було створено кілька змінних, які відображатимуть різні параметри:

- radiation_level – змінна для збереження поточного рівня іонізуючого випромінювання (у $\mu\text{Sv/h}$);
- timestamp – змінна для збереження часу зчитування.

Для кожної змінної створено унікальний ідентифікатор, який буде використовуватися для надсилання даних з NodeMCU на платформу (рис. 3.15).

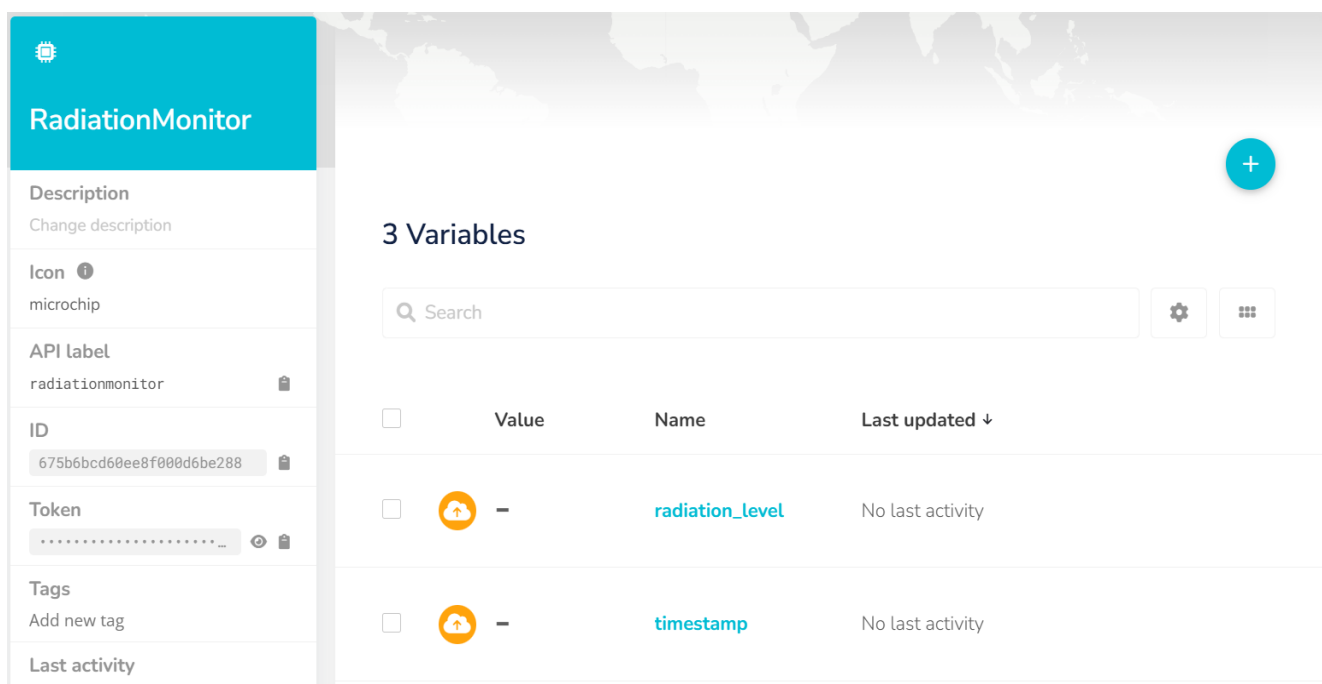


Рис. 3.15. Створення змінних для пристрою на платформі Ubidots

Щоб передавати дані з мікроконтролера NodeMCU на платформу Ubidots, необхідно налаштувати доступ до API Ubidots. В Ubidots надається токен безпеки

(API Token), який дозволяє передавати дані на платформу. Цей токен потрібно зберегти та використовувати в програмному коді NodeMCU для автентифікації запитів до сервісу. Дані надсилаються через протокол MQTT, що дозволяє зберігати інформацію в реальному часі у відповідних змінних пристрою "RadiationMonitor".

Для зручного перегляду даних створена панель візуалізації (Dashboard) "Radiation Monitoring". На цій панелі розміщені різні віджети для графічного відображення отриманих даних. Зокрема, Gauge – для відображення поточного рівня радіації, що полегшує швидке оцінювання стану та Line Chart – для відображення рівня іонізуючого випромінювання з часом (рис. 3.16). Ці віджети були підключені до змінної "radiation_level" і показують зміну радіаційного фону.



Рис. 3.16. Налаштування панелі візуалізації на платформі Ubidots

Для оперативного інформування про перевищення допустимих рівнів випромінювання були налаштовані тригери та сповіщення (рис. 3.17). У розділі Events створено новий тригер, який спрацюватиме, якщо значення змінної "radiation_level" перевищить заданий поріг (наприклад, 0.3 $\mu\text{Sv/h}$). За умов спрацювання тригера платформа буде автоматично надсилати повідомлення на вказаний контакт. Це дозволить оперативно повідомляти відповідальних осіб про необхідність відповідного реагування.

The screenshot shows the 'Create new event' window in Ubidots. It has three tabs: 'TRIGGERS', 'ACTIONS', and 'SETTINGS'. The 'TRIGGERS' tab is selected. The trigger configuration is as follows:

- Variable: radiationlevel
- Condition: Greater than
- Trigger value: 0.3
- Trigger after: 1 minutes

Below the 'Trigger after' field, there is a note: 'If conditions continue to be true after this time.'

Рис. 3.17. Налаштування тригера для надсилання повідомлення

Отже, процес налаштування платформи Ubidots для моніторингу іонізуючого випромінювання включав реєстрацію пристрою, створення змінних для зберігання даних, налаштування API для передачі інформації, формування панелі візуалізації та налаштування сповіщень. Завдяки цьому була створена ефективна та наочна система для дистанційного моніторингу рівня радіації, яка надає можливість швидкого реагування на критичні зміни рівня іонізуючого випромінювання.

3.4. Результати роботи системи

Тестування прототипу системи дистанційного моніторингу іонізуючого випромінювання проводилося для перевірки функціональності всіх основних компонентів, програмного забезпечення та взаємодії з хмарною платформою. У процесі тестування замість лічильника іонізуючого випромінювання використовувався імітатор, який генерував електричні імпульси, що імітують сигнали, характерні для роботи лічильника Гейгера-Мюллера. Це дозволило оцінити роботу системи без наявності реального сенсора радіації.

Імітатор був підключений до мікроконтролера NodeMCU через вхідний пін, налаштований на обробку імпульсів. Частота генерації імпульсів змінювалася вручну для симуляції різних рівнів випромінювання. NodeMCU успішно зчитувало імпульси, підраховувало їх кількість за заданий інтервал часу та обчислювало

еквівалентний рівень радіації у мікросівертах на годину ($\mu\text{Sv/h}$) з використанням програмно заданого коефіцієнта перетворення.

На LCD дисплеї система коректно відображала поточний рівень радіації. Для значень, що перевищували встановлений поріг, на екрані з'являлося попередження, а система активувала п'єзодинамік, який генерував звуковий сигнал. Частота сигналу змінювалася залежно від величини перевищення, що забезпечувало додаткову індикацію рівня небезпеки.

GPS модуль забезпечував отримання географічних координат, які разом із рівнем іонізуючого випромінювання та часом вимірювання включалися у пакет даних для передачі на хмарну платформу. Передача даних на Ubidots здійснювалася через Wi-Fi, використовуючи протокол MQTT. Дані в реальному часі з'являлися у веб-інтерфейсі платформи, де вони були представлені у вигляді графіка та цифрового індикатора.

Для перевірки тригерів та сповіщень на платформі було налаштовано автоматичне надсилання повідомлень у разі перевищення порогу. Під час тестування ці сповіщення спрацьовували коректно, інформуючи про критичні зміни "рівня випромінювання".

Результати тестування підтвердили коректність роботи всіх функцій системи, включаючи зчитування, обробку, локальне відображення, звукове сповіщення, передачу даних на хмарну платформу та генерацію тригерів. Використання імітатора замість реального лічильника іонізуючого випромінювання дозволило перевірити алгоритм роботи та стабільність системи. Надалі, після інтеграції реального сенсора, очікується повна сумісність та готовність системи до роботи у реальних умовах.

3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі представлено практичну реалізацію системи дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання на основі запропонованих методів. Реалізовано апаратну частину системи, алгоритмічне та

програмне забезпечення, а також інтеграцію із хмарною IoT-платформою, що забезпечило повноцінну функціональність системи.

Детально описано апаратну реалізацію, яка включає використання лічильника іонізуючого випромінювання (імітатора під час тестування), мікроконтролерної платформи NodeMCU, GPS модуля для географічного позиціонування, LCD дисплея для локального відображення результатів і п'єзодинаміка для звукових сповіщень. Вибір компонентів був обґрунтований їхньою доступністю, надійністю та відповідністю поставленим завданням.

Розроблено алгоритми роботи системи, які забезпечують обчислення рівня випромінювання, зчитування географічних координат, обробку даних та їх виведення на дисплей і передачу у хмару. Програмне забезпечення було створено в середовищі Arduino IDE, а алгоритми протестовано з використанням імітатора для перевірки коректності роботи системи.

Реалізовано інтеграцію системи з хмарною IoT-платформою Ubidots, яка дозволяє зберігати, аналізувати та візуалізувати дані у реальному часі. Дані передаються через протокол MQTT у форматі JSON, що забезпечує високу швидкість і надійність передачі.

Описано результати роботи системи. Вона продемонструвала здатність реєструвати дані про рівень випромінювання, автоматично генерувати сповіщення при перевищенні порогових значень, а також забезпечувати доступ до даних через веб-інтерфейс.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

У кваліфікаційній роботі магістра спроектовано систему дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій інтернету речей. Під час розв'язання задач дослідження, особливо практичної реалізації системи, враховано вимоги з охорони праці і техніки безпеки, пожежної та електробезпеки.

Виконання як теоретичної частини роботи, так і практичної, передбачає використання комп'ютерної техніки та обладнання з низькими напругами і силою струму. Зокрема, в якості блоку живлення плати ESP8266, використовувалась напруга живлення, яка становить 5 В. На платі використовуються можливі номінали напруги на рівні 5 В і 3,3 В, що не становить небезпеки для користувачів та розробника системи.

В якості регламентуючого документа з пожежної безпеки перед початком роботи над комп'ютерною системою моніторингу рівня іонізуючого випромінювання використано вимоги «Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України», які є діючим на даний час і затверджені постановою Кабінету міністрів України від 26 червня 2013 р. № 444.

Для організації захисту від негативного впливу екранів дотримано вимог Закону України "Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями" та НПАОП 0.00-7.15-18, який затверджений наказом Міністерства соціальної політики України 14.02.2018 N207. Робоче місце під час виконання кваліфікаційної роботи та проектування комп'ютерної системи облаштовано згідно наведених вимог та відповідає організаційним, ергономічним та вимогам з пожежної безпеки.

Електробезпеку робочого місця регламентують Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, які затверджені наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 N 4, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10.02.98 за N 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98). Електромережа, яка використовувалася при виконанні кваліфікаційної роботи магістра, відповідає правилам [37]:

- живлення електромережі проєктовано, як окрему групову трьох провідну мережу з використанням фази, робочого «нуля» та захисного «нуля»;
- захисний «нуль» застосовано для реалізації заземлення електропристроїв;
- усі електричні та електронні пристрої мають захист від короткого замикання та непередбачуваних аварійних ситуацій;
- монтаж та експлуатація електромережі задовольняють вимогам щодо унеможливлення виникнення джерела загоряння через коротке замикання та перевантаження;
- усі лінії електроживлення виконанні не з легкозаймистого матеріалу або з негорючою ізоляцією;
- електричне устаткування підключено до мережі лише за допомогою справних штепсельних з'єднань і розеток заводського виготовлення;
- у розетках і штепселях передбачено контакти заземлення.

Вимоги електробезпеки при проєктуванні компонентів комп'ютерної системи моніторингу рівня іонізуючого випромінювання дотримано двома шляхами: використання безпроводних технологій передавання даних і напруги живлення в діапазоні 3,3 В і 5 В, що дозволяє зменшити можливість ураження струмом при виникненні контакту з мережею чи в аварійних ситуаціях.

Щодо пожежної безпеки будівлі, де виконувався проєкт, то дотримано вимоги державних будівельних норм "Пожежна безпека об'єктів будівництва", які затверджені наказом Держбуду України від 03.12.2002 N 88, а також вимоги правил пожежної безпеки України, затвердженими наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 19.10.2004 N 126.

У приміщеннях, де розташовуються робочі місця користувачів ПК потрібно забезпечити відповідність вимогам санітарних норм і правил наведених у ДСанПіН 3.3.2-007-98 [37]. Крім цього, на робочих місцях, обладнаних комп'ютерами і периферійною технікою забезпечено оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, руху повітря та відносної вологості, у відповідності до вимог нормативних документів.

Щодо освітлення, то приміщення де експлуатуються ПК, повинно бути обладнаним джерелами штучного освітлення та мати природне освітлення. Нормативний документ, який регламентує вимоги до рівнів природного і штучного освітлення – ДБН В.2.5-28-2018. Природне освітлення забезпечують прозорі вікна та інші світлові прорізи, що знаходяться на півночі або північному сході. У приміщеннях коефіцієнт природного освітлення повинен бути не нижче ніж 1,5 %. Розрахунок коефіцієнта природного освітлення виконують відповідно до методики, яка наведена у ДБН В.2.5-28-2018.

Штучне освітлення у приміщеннях з ПК забезпечується за допомогою системи загального освітлення, переважно рівномірного. В якості штучного джерела світла застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ.

При використанні ПК для розробки проекту комп'ютерної системи моніторингу рівня іонізуючого випромінювання на основі технологій інтернету речей було дотримано наступних вимог з техніки безпеки [38]:

- не виконувався самостійний ремонт ПК і периферійних пристроїв;
- не вносились конструктивні чи інші зміни в апаратне забезпечення комп'ютера;
- використовувались тільки ті матеріали та предмети, які стосувались розробки комп'ютерної системи моніторингу рівня іонізуючого випромінювання.

Для забезпечення вимог щодо безпечної експлуатації інформаційних технологій та мереж дотримано вимог СТУ EN 60950-1:2015 «Обладнання інформаційних технологій. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги» (ДСТУ EN 60950-1:2015). Усі ці правила і вимоги були враховані під час розробки системи моніторингу рівня іонізуючого випромінювання.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Захист працівників від впливу іонізуючого випромінювання у разі погіршення радіаційної обстановки. Працівники, які виконують роботи з радіоактивними речовинами, повинні перебувати під постійним медичним наглядом, використовувати засоби індивідуального захисту від радіації та прилади індивідуального дозиметричного контролю (універсальні радіометри) для своєчасного виявлення і вимірювання рівня випромінювання [39].

Захищаючись від зовнішнього іонізуючого опромінювання при роботах із закритими джерелами випромінювання, тобто такими, які виключають можливість потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище, перш за все необхідно не допустити переопромінення працівників.

Основним способами захисту від цього є:

- зменшення активності джерела, з яким контактують працівники під час конкретного технологічного процесу – досягається шляхом використання речовин із меншою активністю;
- зменшення часу контакту з джерелом випромінювання – досягається шляхом вдосконалення організації робіт і технологічного виробничого процесу та проведення попередніх тренінгів працівників;
- збільшення відстані між людиною і джерелом – використовується, як правило, при контакті з точковим джерелом випромінювання шляхом використання дистанційних універсальних маніпуляторів та інших автоматизованих пристроїв;
- розташування між людиною і джерелом захисного екрану (стаціонарного, пересувного, розбірного, настільного тощо), тобто пристрою, який зменшує інтенсивність випромінювання до безпечного рівня [39].

Для виготовлення екранів, а також для захисту працівників в стаціонарних спорудах, використовується бетон, чавун, сталь, алюміній, скло, свинець та інші матеріали.

Від дії рентгенівських променів застосовують екрани зі сталевого листа товщиною 0,5-1 мм або алюмінію товщиною 3 мм, спеціальної гуми. Оглядові вікна виконують з плексигласу товщиною 30 мм або з покритого оловом скла товщиною 9 мм.

Для захисту шкіри від забруднень радіоактивними речовинами та запобігання їх попаданню всередину організму, захисту від альфа і бета-випромінювання передусім застосовуються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) від радіації.

Отже, засоби захисту від радіації використовуються у тих випадках, коли інші заходи недостатньо ефективні: при переході через зони збільшеної інтенсивності випромінювання, при ремонтних та налагоджувальних роботах у аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення.

З урахуванням зазначеного прогнозу на території області може виникнути складна радіаційна обстановка наслідки якої вимагатимуть від органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання, на які покладено виконання завдань щодо захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, оперативного реагування та дій [40].

Місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання здійснюють для забезпечення захисту людей від впливу іонізуючих випромінювань наступні заходи:

- приймають згідно з законодавством України рішення щодо застосування на підвідомчій території заходів втручання у разі радіаційних аварій;
- організують проведення в установленому порядку щорічні обстеження з метою оцінки стану захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань та ведення екологічного паспорта підвідомчої території;
- здійснюють організаційне керівництво системою обліку та контролю доз опромінення населення на підвідомчій території;
- організують контроль за виконанням заходів щодо захисту людини від впливу радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах;

- затверджують відповідні плани щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;
- забезпечують постійну готовність засобів оповіщення населення на підвідомчій території про виникнення радіаційної аварії;
- організовують контроль за виконанням заходів щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;
- забезпечують населення, в місцях його проживання, інформацією щодо рівнів опромінення людини та заходів захисту від впливу іонізуючих випромінювань, що виконуються на підвідомчій території;
- розроблюють та впроваджують програми захисту людей від впливу іонізуючих випромінювання;
- здійснюють оповіщення населення у разі виникнення радіаційної аварії та інформування про рятувальні та профілактичні заходи у зв'язку з цим.

Для виконання вищезазначених заходів залучаються органи управління, сили і засоби обласної територіальної та функціональних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту (далі – ЄДС ЦЗ), порядок дій яких визначено Планом реагування на надзвичайні ситуації, пов'язаних з викидом радіоактивних речовин.

Режими захисту робітників і службовців на суб'єктах господарювання вводяться в дію рішенням керівників об'єктів. Незалежно від місця розміщення суб'єкту господарювання (в населеному пункті або за його межами) на його території вводиться в дію свій режим захисту з урахуванням рівнів радіації, виміряних на об'єкті, і реального ступеню захисту працівників і службовців.

При виникненні комунальної радіаційної аварії окрім термінових робіт щодо стабілізації радіаційного стану (включаючи відновлення контролю над джерелом) місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання одночасно здійснюють заходи, спрямовані на:

- зведення до мінімуму кількості осіб з населення, які зазнають аварійного опромінення;
- запобігання чи зниження індивідуальних і колективних доз опромінення населення;

– запобігання чи зниження рівнів радіоактивного забруднення продуктів харчування, питної води, сільськогосподарської сировини і сільгоспугідь, об'єктів довкілля (повітря, води, ґрунту, рослин тощо), а також будівель і споруд.

Для населення, робітників та службовців суб'єктів господарювання, які можуть потрапити в зону випадіння радіоактивних опадів, доцільно завчасно, виходячи з конкретних місцевих умов, розрахувати варіанти режимів радіаційного захисту [41].

З урахуванням вищезазначеного, режими радіаційного захисту вводяться в дію місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання з метою захисту людей від впливу іонізуючого випромінювання у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з радіаційними аваріями.

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, розглянуте питання щодо захисту працівників від впливу іонізуючого випромінювання у разі погіршення радіаційної обстановки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено поставлені завдання, які дозволили реалізувати методи та засоби дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання із застосуванням технологій Інтернету речей. Основні результати роботи:

1. Проведено огляд наукової літератури, сучасних методів і засобів моніторингу іонізуючого випромінювання, визначено основні тенденції розвитку систем моніторингу, виявлено ключові проблеми, такі як висока вартість обладнання, складність інтеграції сенсорів і недостатня оперативність передачі даних.

2. Розроблено метод дистанційного моніторингу рівня іонізуючого випромінювання, що передбачає використання сенсорних мереж, мікроконтролера та хмарної платформи для автоматизації збору, обробки та передачі даних, який враховує вимоги до енергоефективності, швидкості передачі даних і точності вимірювань.

3. Реалізовано апаратну частину системи, яка включає мікроконтролер NodeMCU, сенсор іонізуючого випромінювання, GPS модуль, LCD дисплей і п'єзодинамік, обґрунтовано вибір компонентів, які забезпечують високу точність і надійність системи.

4. Розроблено алгоритмічне забезпечення для обробки даних, зокрема підрахунку імпульсів, обчислення рівня радіації, генерації сповіщень у разі перевищення порогу та інтеграції з хмарною платформою.

5. Створено програмне забезпечення для мікроконтролера NodeMCU, яке забезпечує зчитування даних із сенсорів, обробку інформації, передачу на хмарну платформу через MQTT і відображення результатів на локальному LCD дисплеї.

Впровадження розробленої IoT-системи дозволяє підвищити точність моніторингу, оперативність реагування та доступність інформації, що робить систему перспективною для використання у сфері екологічного моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вергун О., Паламар А. IoT-технології у системах екологічного моніторингу: інтеграція сенсорних мереж і хмарних платформ. Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції учених та студентів «Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 28-29 листопада 2024 року), Тернопіль: ТНТУ, 2024. С. 138-139.

2. Паламар А., Вергун О., Франків М. Комп'ютеризована IoT-система для моніторингу іонізуючого випромінювання. 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. 418.

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. Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю. Радіоекологічний моніторинг: навчальний посібник.К.: Олді-Плюс, 2018. 194 с.

7. Попов О., Яцишин А., Власенко О., Коцюбинський А., Кандзьоба О. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів для контролю та

моніторингу радіаційної обстановки в Україні. Інформаційні технології та суспільство, 2024. Вип. 2 (13). С. 78-88.

8. Алексєєва О.В., Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Буртняк В.М., Одукалець Л.А. Багатофункціональний аналізатор для ефективного пошуку та локалізації прихованих джерел іонізуючого випромінювання з визначенням їх географічних координат в режимі реального часу. Наука та інновації, 2013. Т. 9. № 5. С. 40-47.

9. Garcia-Sanchez A.J., Garcia Angosto E.A., Moreno Riquelme P.A., Serna Berna A., Ramos-Amores D. Ionizing radiation measurement solution in a hospital environment. *Sensors*, 2018. 18(2). P. 510.

10. Alshamali A. GSM based remote ionized radiation monitoring system. In *International Conference on Advances in Electronics and Micro-electronics*. 2008. P. 155-158.

11. Huang Q., Jian J., Deng Y.Q. Evaluation of ionizing radiation effects on device modules used in wireless-based monitoring systems. *Journal of Electronic Testing*, 2020. 36(4). P. 499-508.

12. Ahmad M.I., Ab. Rahim M.H., Nordin R., Mohamed F., Abu-Samah A., Abdullah N.F. Ionizing radiation monitoring technology at the verge of internet of things. *Sensors*, 2021. 21(22). P. 7629.

13. Терьохін В.Л., Стервоєдов М.Г., Рідозуб О.В. Застосування технологій IoT та хмарних сервісів для радіаційного моніторингу. Системи керування та комп'ютери, 2021. №2-3. С. 60-68.

14. Vasylykivskiy 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.

15. 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.

16. Palamar A., Karpinskyy M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. 7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011), June 1-3, 2011. P. 173–177.

17. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

18. Palamar A., Karpinskyy M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

19. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

20. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

21. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

22. 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.

23. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

24. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. *Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine*, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. 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.

30. 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.

31. Palamar M., Yavorska M., Palamar A., Strembitskyi M. Modeling and Research of Satellite Antenna Adjustment Process for Earth Remote Sensing. *2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, Kharkiv, Ukraine, November 14-18, 2022*. P. 317-320.

32. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851. P. 6-16.

33. 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.

34. 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.

35. 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.

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

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

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

39. 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.

40. 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.

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

Додаток А
Тези конференцій

Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, Україна
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна
Вінницький національний аграрний університет, Україна
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця, Україна
Донецький національний університет імені Василя Стуса, Україна
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка, Україна
Аграрний університет ім. Гуго Коллонтая (Краків, Польща)
Економічний університет в Кракові, Польща
Варшавський Політехнічний Університет, Польща
Ягеллонський університет (Краків, Польща)
Вища школа бізнесу (Домброва Гурніча, Польща)

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

V міжнародної науково-практичної конференції
учених та студентів
«ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА ЯК ФАКТОР
ІННОВАЦІЙ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ
СУСПІЛЬСТВА»

28-29 листопада 2024 року



ТЕРНОПІЛЬ, УКРАЇНА 2024

О. О. Гарматюк, В. М. Карп СИСТЕМА ЕЛЕКТРОННИХ ПЛАТЕЖІВ 4.0: МИТЄВІСТЬ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ІННОВАЦІЇ	123
Й.Р. Кравець; В.Б. Савків РОБОТИЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ЗАГРОЗИ	126
А.С. Луговий, Є.Б. Тиш ВЕЛИКІ ДАНІ В ЛОГІСТИЦІ	127
В.А. Бражніков ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ БІЗНЕСУ	129
Т. Щур, Г.М. Осухівська ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ В ІНТЕРНЕТІ РЕЧЕЙ	131
Т.І. Патральський СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ СИСТЕМИ	132
Н.М. Головецький, Д.В. Дмитрів ІНТЕРНЕТ-РЕЧЕЙ В УПРАВЛІННІ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАЧАННЯ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ	134
М. В. Гаврилов ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ В ІОТ ПРИСТРОЯХ: ВИКЛИКИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ	136
О. Р. Вергун, А. М. Паламар ІОТ-ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ: ІНТЕГРАЦІЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ І ХМАРНИХ ПЛАТФОРМ	138
М.І. Пащенко, М.В. Боляк ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОДОЛАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ВИКЛИКІВ ПІД ЧАС ВІЙНИ В УКРАЇНІ	140
О.В.Бурденюк, О.А.Ковальчик ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГУ	143
В.О.Суховерша СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗВИТКУ СТАЛОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ	146
N. Gavkalova, Y.Lola BOOSTING IT INNOVATIONS IN PUBLIC SECTOR OF UKRAINE	149
Н.Ю. Мариненко, А.П. Яворський ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ	152
О.В. Крайник, М.В. Приймак СУЧАСНІ УКРАЇНСЬКІ ХМАРНІ СЕРВІСИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ	154
А.О. Демиденко ВИКОРИСТАННЯ ШІ В АНАЛІТИЦІ БІЗНЕСУ	156

УДК 681.518.3

О. Р. Вергун, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти

А. М. Паламар, канд. техн. наук, доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ІОТ-ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ: ІНТЕГРАЦІЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ І ХМАРНИХ ПЛАТФОРМ

O. Verhun, the 2nd (master's) level of higher education applicant

A. Palamar, Ph.D., Assoc. Prof.

Тernopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

IOT TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS: INTEGRATION OF SENSOR NETWORKS AND CLOUD PLATFORMS

Сучасні виклики екологічної безпеки, які пов'язані зі зростанням рівня забруднення, зокрема радіаційного фону, вимагають ефективних рішень для моніторингу іонізуючого випромінювання. Традиційні методи часто є недостатньо оперативними та залежать від ручного збору даних, що ускладнює реагування на аномалії, особливо у важкодоступних місцях. Використання ІоТ-технологій дозволяє автоматизувати процеси збору, обробки й передачі інформації [1], підвищуючи ефективність екологічного моніторингу [2].

У цьому дослідженні представлено ІоТ-систему, яка поєднує сенсорну мережу, мікроконтролер, GPS-модуль та хмарну платформу для моніторингу іонізуючого випромінювання. Лічильник Гейгера-Мюллера, що входить до складу сенсорної мережі, реєструє імпульси, які обробляються мікроконтролером. Дані про рівень радіації розраховуються у мікросвівертах на годину доповнюються координатами, отриманими через GPS-модуль.

Інформація передається на хмарну платформу через Wi-Fi за допомогою протоколу MQTT, що забезпечує швидкість і надійність передачі. На платформі дані зберігаються та візуалізуються у вигляді графіків і таблиць, доступних через веб-інтерфейс. Система може бути інтегрована у логістичні застосунки для моніторингу великих територій. Це робить систему масштабованою та ефективною для різних умов експлуатації.

Серед основних переваг системи – автоматизація моніторингу, оперативний збір даних у реальному часі, масштабованість, точне визначення місця вимірювання та інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс. Таке рішення знижує залежність від людського фактору, підвищує точність і оперативність обробки інформації.

Запропонована ІоТ-система значно покращує можливості екологічного моніторингу, сприяє швидкому реагуванню на зміни радіаційного фону та забезпечує інтеграцію сучасних цифрових рішень у сферу екологічної безпеки. Її застосування для задач екологічного моніторингу створює нові можливості для управління територіями, підвищуючи рівень сталого розвитку суспільства.

Література

1. Лилик І.В., Паламар А.М. Комп'ютерна система дистанційного контролю інтенсивності ультрафіолетового випромінювання. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 426.

2. 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 (ITAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

3. ZTU Repository. (2020). Архітектура Інтернету речей. URL: <https://eztuir.ztu.edu.ua/handle/123456789/8093>(дата звернення 1.11.2024р.)

4. Державний університет інфраструктури та технологій. (2023). Інтернет речей: перспективи розвитку та можливості використання. URL: <https://duikt.edu.ua/ua/news-1-0-11324-internet-rechey-perspektivi-rozvitku-ta-mozhливosti-vikoristannya>(дата звернення 1.11.2024р.)

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

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



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2024

11. **Nadiia SKLIAROVA, Tymophii LANEVYCH** **408**
 DEVELOPMENT AND MANAGEMENT STRATEGIES FOR THE ADMIN WEBSITE
12. **А. В. Островський, Р. І. Королюк** **409**
 ДОСЛІДЖЕННЯ ДАВАЧІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ РОЄВОГО СТАНУ
 БДЖОЛОСІМ'І
13. **А. Луцків, А. Люлька** **410**
 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БЕЗПЕРЕРВНОГО ХЕШУВАННЯ У ПЛАНУВАННІ
 ВИКОНАННЯ ПОСЛІДОВНИХ ПРОЦЕСІВ
14. **А.В. Зінченко** **411**
 ТЕЛЕРАДІОЛОГІЯ ЯК НЕВІДЄМНА СКЛАДОВА ТЕЛЕМЕДИЦИНИ
15. **А.С. Олексяк; В.М. Семисюк, В.В. Левицький** **413**
 ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ
16. **А.М. Ковтко; В.Б. Савків, І.Р. Козбур** **415**
 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ МОДУЛЬНИХ ТЕСТІВ НА ОСНОВІ
 ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА МУТАЦІЙНОГО ТЕСТУВАННЯ
17. **А.М. Паламар, І.І. Куляс, Ю.О. Тимошенко** **417**
 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ БЕЗПЕКИ
 ЛЮДЕЙ ПОХИЛОГО ВІКУ
18. **А.М. Паламар, О.Р. Вергун, М.Р. Франків** **418**
 КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ІОТ-СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГУ ІОНІЗУЮЧОГО
 ВИПРОМІНЮВАННЯ
19. **О.В. Палка** **419**
 ІНФОРМАЦІЙНІ ПАНЕЛІ ЯК ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ
 ДЛЯ ВІДСТЕЖЕННЯ КРІ У РОЗУМНОМУ МІСТІ
20. **А.С. Луговий, Є.В. Тиш** **420**
 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОБОТИ ETL-ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ ВИСОКИХ
 НАВАНТАЖЕНЬ
21. **Башняк В.Т., Дунець В.Л** **421**
 ДОСЯГНЕННЯ ТА ВИКЛИКИ ВИЯВЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ БЕЗПЛОТНИКІВ
22. **В.А. Готович, Д.В. Граб** **424**
 АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ МОДУЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ
 УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЄКТАМИ
23. **В.А. Готович, В.С. Бондаренко** **426**
 АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ ДОДАТКУ ВІДЕОТРАНСЛЯЦІЇ ПІД
 МОБІЛЬНІ ПРИСТРОЇ НА БАЗІ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID
24. **В.А. Лабчук** **428**
 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРАЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ У PLINQ В
 ПОРІВНЯННІ З LINQ ДЛЯ РІЗНИХ РОЗМІРІВ ВХІДНИХ ДАНИХ
25. **В.Г. Хомишин** **430**
 ЗАХИСТ ASP.NET CORE ВЕБ-ДОДАТКІВ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ SQL-КОДУ
26. **В.З. Шеремета, Р.О. Жаровський** **432**
 МЕТОДИ І ІНСТРУМЕНТИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕБ-ДОДАТКІВ З
 ВИКОРИСТАННЯМ SPRING BOOT
27. **В.З. Шеремета, Р.О. Жаровський** **434**
 ВИКОРИСТАННЯ SPRING BOOT ТА ІНТЕГРАЦІЯ ДРУГОРЯДНИХ
 ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ ВЕБ-ДОДАТКІВ

УДК 681.518.3

А.М. Паламар, канд. техн. наук, доц.; О.Р. Вергун; М.Р. Франків
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ІОТ-СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

А.М. Palamar, Ph.D, Assoc. Prof.; O.R. Verhun; M.R. Frankiv
COMPUTERIZED IOT SYSTEM FOR MONITORING OF IONIZING RADIATION

Сучасні екологічні виклики, зокрема підвищення рівня іонізуючого випромінювання у певних регіонах, потребують ефективних технологічних рішень для забезпечення безпеки людей і навколишнього середовища. Традиційні методи моніторингу часто є недостатньо оперативними, дорогими та не забезпечують доступу до даних у реальному часі. Це створює значні перешкоди для швидкого реагування на аномальні ситуації, особливо в умовах раптових техногенних чи природних катастроф.

Актуальність цієї роботи зумовлена необхідністю автоматизації збору, передачі та аналізу інформації про рівень радіації для оперативного інформування користувачів і прийняття рішень. Метою дослідження є розробка комп'ютеризованої ІоТ-системи, яка дозволяє дистанційно моніторити рівень іонізуючого випромінювання, використовуючи сенсорні мережі, мікроконтролери та хмарні технології.

Пропонована система містить лічильник іонізуючого випромінювання, підключеного до мікроконтролера, GPS модуля і хмарної платформи для зберігання та аналізу даних. Лічильники реєструють рівень випромінювання, дані обробляються мікроконтролером і передаються на хмарну платформу. У функціональній схемі, яка зображена на рис. 1, представлено основні компоненти системи та їх взаємодію.

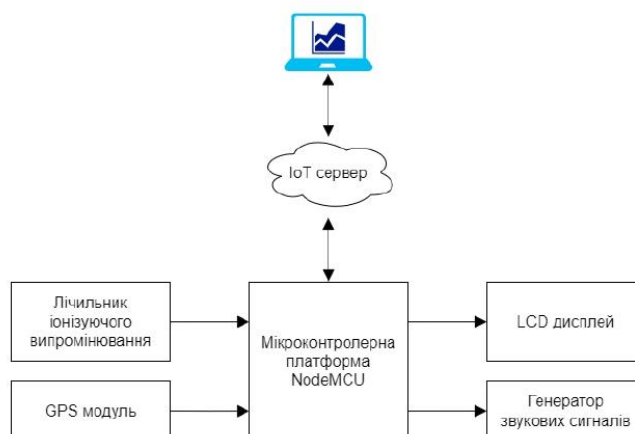


Рисунок 1. Функціональна схема системи

Система надає користувачам доступ до даних через веб-інтерфейс, де вони представлені у вигляді графіків і інтерактивних мап. Платформа надсилає сповіщення при перевищенні допустимого рівня радіації, що дозволяє швидко реагувати на потенційні загрози.

Серед переваг системи – автоматизація моніторингу, висока точність вимірювань, інтеграція з хмарними платформами, можливість масштабування та швидкий доступ до даних. Запропонована ІоТ-система є перспективним рішенням для забезпечення екологічної безпеки.