

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Галузь знань _____ 12 – Інформаційні технології _____

Спеціальність _____ 123 –Комп'ютерна інженерія _____

на тему «Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону»

КвРКІП. 190197.22.01.40 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2М-22-1

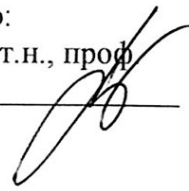
Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Підпис

Д.Ю. Ровінчук
Ініціали, прізвище

М.В. Капустян
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.
Т.О. Говорушенко
27 05 2024 р. 

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Ровінчуку Дмитру Юрійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону

Керівник проекту (роботи) Капустян М.В., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз відомих методів та рішень моніторингу радіаційного фону в навколишньому середовищі



Моделювання процесу моніторингу радіаційного фону

Метод моніторингу радіаційного фону

Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	01.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.02.2024	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.204	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист ДРМ	29.04.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 23.05.2024	

Студент


Підпис

Д.Ю. Ровінчук
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

М.В. Капустян
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону

Автор роботи: Д.Ю. Ровінчук

Керівник роботи: М.В. Капустян

Пояснювальна записка: 78 с., 53 рис., 5 табл., 4 дод., 61 джерел.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, РАДІАЦІЯ, МОНІТОРИНГ, АНАЛІЗ, ДОЗИМЕТР, ГЕОЛОКАЦІЯ

Об'єктом дослідження є процес моніторингу радіаційного фону навколишнього середовища в режимі реального часу.

Предметом дослідження є розробка кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону з використанням іонізаційної камери та мікроконтролерів, які забезпечують обробку та передачу даних у реальному часі.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка ефективної та економічно вигідної системи моніторингу радіаційного фону, яка забезпечує високу точність вимірювань, мобільність, зручність використання та можливість передачі даних у реальному часі.

Для розв'язання поставлених задач було здійснено:

1. Аналіз існуючих методів вимірювання радіації та систем моніторингу.
2. Вибір необхідної іонізаційної камери.
3. Вибір та програмування мікроконтролерів для обробки та передачі даних.
4. Розробка алгоритмів функціонування системи.
5. Створення мобільної передачі даних та механізмів геолокації.
6. Верифікація системи в реальних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів:

– набув подальшого розвитку метод моніторингу радіаційного фону за допомогою іонізаційних камер, що дозволяє здійснювати високоточні вимірювання з використанням мобільних пристроїв;

– набула подальшого розвитку інформаційна технологія обробки та передачі даних радіаційного моніторингу в реальному часі з використанням мікроконтролерів, що забезпечує інтеграцію з міським транспортом для покриття великих територій.

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону, що включає іонізаційні камери, мікроконтролери для обробки даних, та механізми для передачі даних в реальному часі через інтернет-мережі, забезпечуючи інтерактивне відображення на карті за допомогою сервісів Google Cloud.

Практична значимість отриманих результатів полягає у тому, що розроблена система є дешевшою за існуючі аналоги на ринку, забезпечує моніторинг радіаційного забруднення довкілля в реальному часі, та може бути використана для оперативного реагування на підвищення рівня радіації в різних точках міста.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ МОНИТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ	8
1.1 Пристрої для вимірювання іонізуючих випромінювань.....	8
1.2 Класифікація детекторів.....	9
1.2.1 Напівпровідниковий детектор	11
1.2.2 Іонізуючі камери	15
1.2.3 Газові лічильники.....	17
1.2.4 Сцинтиляційні детектори.....	19
1.3 Лічильник Гейгера	23
1.4 Огляд відомих систем моніторингу радіаційного фону	27
1.5 Висновки	29
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	30
2.1 Іонізаційна камера	30
2.2 Мобільна передача даних та геолокація.....	32
2.3 Мікроконтролер	35
2.4 Формат для обміну даними	49
2.5 Інструменти розробки серверної частини	51
2.6 Інструменти розробки клієнтської частини.....	55
2.7 Висновки	56
3 РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНИТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ	57

3.1	Визначення структури кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону	57
3.2	Розробка дозиметра	58
3.3	Розробка вбудованого програмного забезпечення.....	60
3.4	Розробка серверної частини	67
3.5	Розробка клієнської частини	69
3.6	Висновки	73
4	КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ .	75
4.1	Налаштування дозиметру системи моніторингу	75
4.2	Налаштування сервера системи моніторингу.....	76
4.3	Налаштування клієнта системи моніторингу.....	78
4.4	Матеріальні затрати.....	80
4.5	Висновки	81
	ВИСНОВКИ.....	83
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	85
	ДОДАТОК А Архітектура кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону	92
	ДОДАТОК Б Алгоритм роботи кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону	93
	ДОДАТОК В Сертифікат учасника всеукраїнської конференції	94
	ДОДАТОК Г Презентація роботи	95

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ФЕП - фотоелектронний помножувач

ВАХ - вольт-амперна характеристика

RTC - годинник реального часу

СКБД - система керування базами даних

ПЗ - програмне забезпечення

ВСТУП

Радіація становить загрозу через свою здатність завдавати значної шкоди організму та через те, що вона не має запаху чи смаку, і не може бути відчута органами чуття людини. Жоден зі звичайних органів чуття людини не може виявити наявності радіоактивного джерела у навколишньому середовищі. При виявленні підвищеного рівня радіації негайно необхідно визначити безпечну зону, щоб уникнути небезпеки для організму.

Іонізуюче випромінювання викликає іонізацію середовища, що проходить через нього. Це випромінювання відноситься до категорії космічного випромінювання. На Землі його природним джерелом є радіоактивний матеріал, поширений у геосфері. До джерел штучного іонізуючого випромінювання відносяться ядерні реактори, штучні радіоактивні ізотопи, ядерні вибухи, рентгенівська апаратура тощо.

Іонізуюча радіація впливає на тканини по-різному, в залежності від таких факторів, як доза опромінення, тривалість впливу, вид випромінювання та частина тіла, яка піддалася впливу. Симптоми можуть бути місцевими, наприклад, опіки, або системними, як у випадку гострої променевої хвороби. Діагностика базується на даних анамнезу щодо впливу радіації, симптомах і ознаках, а іноді й за допомогою обладнання для виявлення випромінювання, що допомагає локалізувати та визначити забруднення радіонуклідами. Осіб, які зазнали впливу радіації, можна розділити на групи низького та високого ризику залежно від ступеня нейтропенії та наявності супутніх захворювань.

Лікування зосереджується на супутніх травматичних ушкодженнях, деконтамінації, підтримуючих заходах та мінімізації впливу на медичних працівників. Пацієнтам із тяжкою гострою променевою хворобою призначають режим зворотної ізоляції, протимікробні та протизапальні засоби, а також терапію для підтримки функції кісткового мозку. Пацієнти з внутрішньою контамінацією специфічними радіонуклідами можуть отримувати поглинаючі інгібітори або хелатуючі агенти. Прогноз спочатку оцінюється за часом між опроміненням і

початком симптомів, тяжкістю цих симптомів та кількістю лімфоцитів протягом перших 24–72 годин після опромінення.

На сьогоднішній день значна частина електроенергії виробляється атомними станціями. Хоча багато країн світу прагнуть зменшити цю залежність, переходячи на використання вітрових, сонячних та інших альтернативних джерел енергії, процес заміни атомних електростанцій відбувається повільніше, ніж очікувалося. Тому на даний момент людство залишається залежними від атомної енергії. З іншого боку, спостерігаються значні зміни клімату зі зростанням екстремальних погодних умов, що становить загрозу для ядерної безпеки в багатьох регіонах. У таких умовах особливо важливою стає розробка доступних та мобільних інструментів для моніторингу іонізуючого випромінювання в навколишньому середовищі. Таким чином, розробка приладів і систем для радіаційного моніторингу є актуальним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є створення кіберфізичної системи моніторингу радіації в місті, яка за допомогою обмеженої кількості апаратних засобів спростить виявлення відхилень від звичайного рівня радіаційного фону.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

1.1 Пристрої для вимірювання іонізуючих випромінювань

З самого початку дослідження радіації такі вчені, як Вільгельм Конрад Рентген і Антуан Анрі Беккерель, прагнули виміряти та спостерігати випромінювання, що випромінюється матеріалами, з якими вони працювали. Одним із найперших методів збору даних про радіоактивність було використання фотопластинок. Вони розміщували пластину на шляху радіоактивного променя або поруч із матеріалом. Коли радіоактивні частинки проникали через пластину, вона змінювала свій стан і ставала брудною або туманною. Анрі Беккерель використовував подібний підхід для доказу радіації ще в 1896 році [1].

Іншим поширеним раннім детектором радіації був електроскоп. Пристрій складається з пари золотої фольги, які можуть заряджатися через іонізацію, спричинену випромінюванням, і відштовхуватися один від одного. Цей механізм забезпечував більш чутливий метод вимірювання радіації, ніж фотопластинки. Залежно від конструкції пристрою, електроскопи могли бути налаштовані на виявлення альфа- або бета-частинок. Вони виявились важливим інструментом для ранніх експериментів з радіоактивністю.

Цікавим раннім пристроєм для вимірювання окремих частинок або променів, випромінюваних радіоактивними речовинами, був спітарископ. Винайдений Вільямом Круксом, цей прилад став важливим інструментом для досліджень радіації. Він використовував сітку з сульфіду цинку на одному кінці трубки з невеликою кількістю радіоактивної речовини поруч та лінзу на іншому кінці. Сульфід цинку реагував з випромінюваними альфа-частинками, що призводило до невеликих спалахів світла. Цей ефект, відомий як люмінесценція, став важливим для подальших технологій виявлення радіації [1].

Ці ранні прилади, разом з іншими, такими як хмарні камери, відіграли важливу роль у розвитку нашого розуміння основних принципів випромінювання. Вони також сприяли проведенню ключових експериментів, що стали фундаментом

для майбутніх наукових відкриттів. Завдяки цим експериментам було створено нові типи детекторів випромінювання, багато з яких використовуються й до сьогодні. Серед них можна виділити трубки Гейгера-Мюллера, іонізаційні камери та сцинтилятори, які відіграють важливу роль у сучасних наукових дослідженнях і застосовуються у різних галузях, таких як ядерна фізика, медична діагностика та радіаційний моніторинг.

Система радіаційного моніторингу - це комплекс, який служить для вимірювання рівня радіації у навколишньому середовищі. Вона здійснює збір, зберігання та передачу даних про радіаційний стан, а також інші сигнали, що відображають цей стан. Завдяки цьому система може виявляти будь-які відхилення від норми радіації в об'єктах, групі об'єктів або взагалі у навколишньому середовищі. Системи радіаційного моніторингу відрізняються за своєю структурою, методами передачі інформації та способами вимірювання іонізуючого випромінювання.

Є системи, які забезпечують точне вимірювання дози радіації в конкретних точках. Серед них можна виділити персональні дозиметри, які призначені як для вимірювання дози на індивідуальному рівні, так і для виявлення або локалізації джерел радіації. Ці системи застосовуються у різних галузях, включаючи медицину, де вони використовуються для індивідуальної, клінічної та технічної дозиметрії. Крім того, існують системи, спрямовані на моніторинг радіаційної ситуації у навколишньому середовищі та промисловості.

1.2 Класифікація детекторів

Якщо потрібно акцентувати увагу на типі іонізуючого випромінювання, яке реєструється, до назви детектора можна додати термін, що позначає конкретний вид випромінювання. Наприклад: детектори бета-частинок, рентгенівські детектори, детектори нейтронів. Залежно від конструкції сповіщувачі можна розділити на прецизійні, лінійні та матричні.

За формою подання вимірювальної інформації детектори іонізуючого випромінювання можна розділити на аналогові та дискретні. За формою залежності вихідного сигналу детектора від вимірюваного значення фізичної величини вони можуть бути пропорційними і непропорційними.

За матеріальним станом чутливий елемент сповіщувача поділяється на твердий, рідкий і газоподібний.

Залежно від способу реєстрації іонізуючого випромінювання детектори (табл. 1.1) поділяються на:

- сцинтиляційні - радіолюмінісцентні детектори використовують спеціальні сцинтилюючі речовини, які під впливом іонізуючого випромінювання випромінюють світло. Це світло може бути спостережене безпосередньо або через світлодіод у поєднанні з фоточутливим пристроєм;
- іонізуючі - детектори, принцип дії яких заснований на використанні іонізації в речовинах фоточутливого елемента детектора;
- напівпровідникові - іонізуючі детектори використовують електричне поле для збору носіїв зарядів з різними знаками, які створюються іонізуючим випромінюванням у напівпровідниковому матеріалі чутливого елемента детектора. Ці детектори можуть бути охолоджуваними або неохолоджуваними [2].

Таблиця 1.1 – Ефекти іонізації, які використовуються при детектуванні і вимірюванні полів іонізуючого випромінювання

Речовина чутливого елемента об'єкту	Тип системи реєстрації	Ефекти іонізації
Газ	Іонізаційна камера	Електричний
Газ	Пропорційний лічильник	Електричний
Газ	Лічильник Гейгера-Мюллера	Електричний

Кінець таблиці 1.1 – Ефекти іонізації, які використовуються при детектуванні і вимірюванні полів іонізуючого випромінювання

Напівпровідник	Напівпровідниковий перетворювач	Електричний
Сцинтилятор	Сцинтиляційний перетворювач	Світловий
Фотоемульсії	Рентгенівська плівка	Хімічний
Амфорний кремній	Багаторазові пластини з фото-стимулюючою пам'яттю	Хімічний

1.2.1 Напівпровідниковий детектор

Напівпровідникові матеріали змінюють свої властивості під впливом іонізуючого випромінювання, що робить їх придатними для використання як детектори випромінювання. У сучасних технологіях детектори створюються з різних напівпровідникових матеріалів, таких як GaAs, SiC, CdTe, Si та Ge [3]. Серед напівпровідникових детекторів, що застосовуються в дозиметрії, виділяють декілька типів, зокрема дифузійні детектори з *p-n*-переходом, поверхнево-бар'єрні детектори та дифузійно-дрейфові детектори. Кожен з цих типів має свої переваги і використовується в різних додатках, включаючи ядерну медицину, контроль навколишнього середовища і наукові дослідження. Завдяки високій чутливості і точності, напівпровідникові детектори займають важливе місце в сучасній дозиметрії та радіаційному моніторингу.

Дифузійний детектор з *p-n*-переходом отримав свою назву від методу його виготовлення. При цьому методі на пластину напівпровідникового кристалу *p*-типу наносять шар домішок *n*-типу (наприклад, фосфору) на його поверхню так, щоб непрямо під поверхнею утворився *p-n*-перехід. Оскільки матеріал *n*-типу має надлишок електронів, при такій комбінації матеріалів електрони будуть

розміщуватися біля однієї сторони переходу, а дірки - біля іншої, що призводить до виникнення різниці потенціалів на переході.

При прикладанні до кристалу зовнішньої напруги з полярністю, яка перешкоджає нормальному руху електронів і дірок (зворотне зміщення), потенціальний бар'єр на переході збільшується, утворюючи зону, збіднену носіями заряду (рис.1.1).

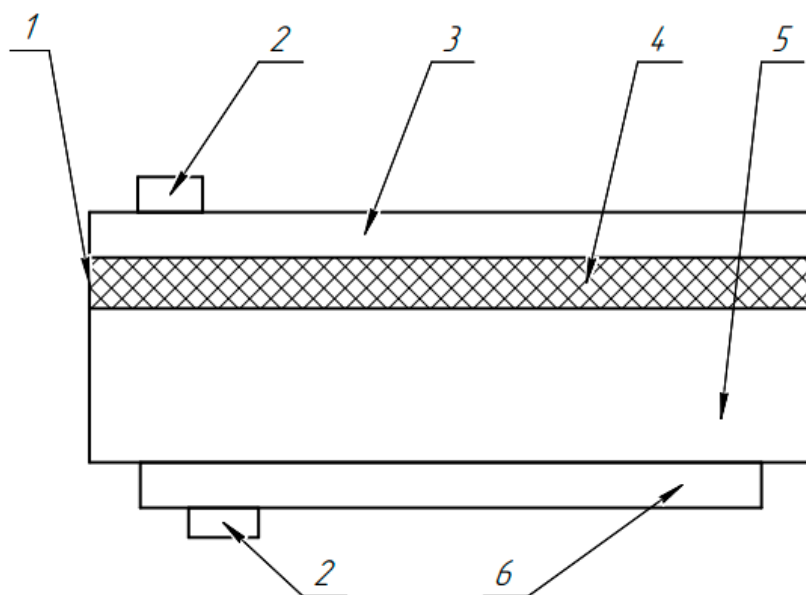


Рисунок 1.1 – Схематичний розріз дифузійного детектора з $p-n$ -переходом: 1 – збіднена зона; 2 – електричні контакти; 3 – вхід детектора; 4 – область n -типу; 5 – кремний p -типу; 6 – металевий електрод [4]

Ця збіднена область є чутливим елементом детектора, подібно до чутливого елемента газового іонізаційного детектора. Коли заряджені частинки потрапляють у збіднену зону, вони генерують електронно-діркові пари, аналогічні іонним парам, що утворюються в газонаповнених іонізаційних камерах. Оскільки в чутливому елементі напівпровідникового детектора присутнє електричне поле, це поле при взаємодії з іонізуючими частинками створює імпульс струму, пропорційний енергії, переданій частинкою чутливому елементу [4].

Принцип дії поверхнево-бар'єрних і дифузійно-дрейфових детекторів такий же, що і у $p-n$ -переходу: виникає збіднена зона, в якій існує електричне поле.

Робота поверхнево-бар'єрного детектора залежить від стану поверхні кристалів кремнію чи германію. На поверхні пластини без домішок утворюється електричне поле, яке містить як дірки, так і електрони в тонкому шарі біля поверхні. У кристалах *n*-типу це поле відштовхує вільні електрони. При з'єднанні кристала з металом, вільні електрони продовжують відштовхуватись, але під поверхнею концентруються дірки. Коли до такого контакту прикладається зовнішня зворотна напруга, утворюється збіднена зона (рис. 1.2).

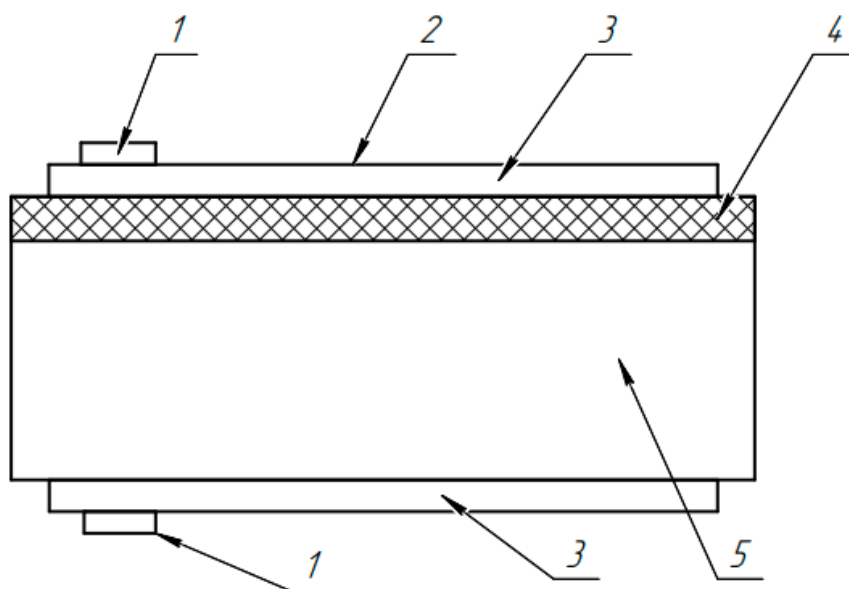


Рисунок 1.2 – Схематичний розріз поверхнево-бар'єрного детектора: 1– металевий електрод; 2 – вхід детектора; 3 – тонкий металевий електрод; 4 – збіднена область; 5 – кремній *p*-типу [4]

Порівняно з детекторами з *p-n*-переходом, поверхнево-бар'єрні детектори мають кращу роздільну здатність за енергією. Однак у детекторів з *p-n*-переходом зазвичай є широка збіднена зона, що дозволяє їм виявляти частинки з вищою енергією.

Дифузійно-дрейфові детектори виготовляються з кремнію *p*-типу з низьким опором. У таких детекторах використовується явище дрейфу. В глибині кристалу, наприклад, при температурі до 400°C розташовуються іони літію. При подачі зворотної напруги в декілька сотень вольт, під впливом електричного поля, іони

літію проникають вглиб кремнію і компенсують акцептори. Атоми акцептора, такі як тривалентні атоми індію чи галію, можуть заміщати атоми напівпровідника в кристалічній ґратці. Таким чином, створюється кристал, який має тільки власну провідність (рис. 1.3).

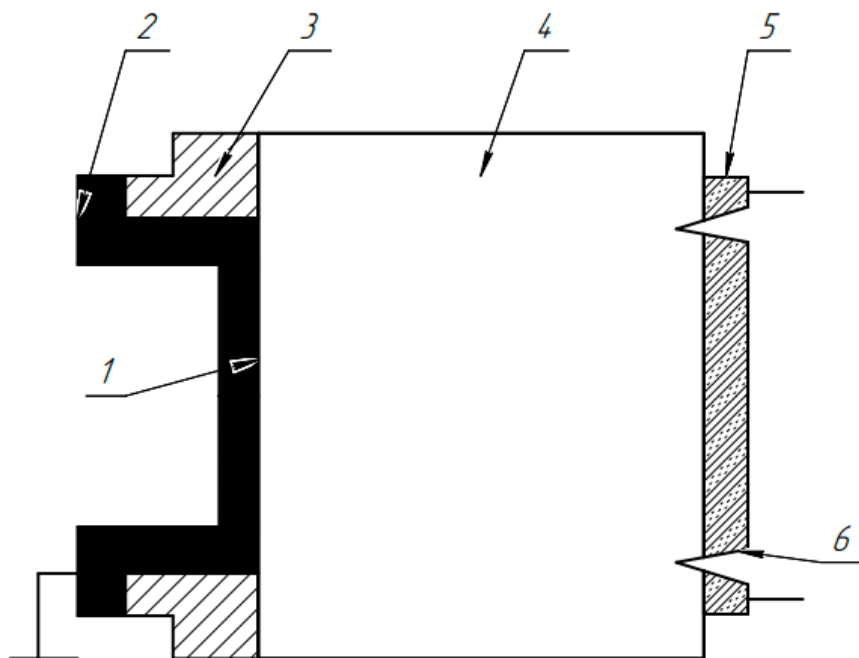


Рисунок 1.3 – Схематичний розріз дифузійно-дрейфового детектора:
 1 – вхід детектора; 2 – тонкий металевий електрод; 3 – некомпенсована область p -типу; 4 – шар кремнію, компенсований літієм; 5 – дифузійний шар літію; 6 – перехідне кільце [4]

Напівпровідникові лінійні та матричні детектори відкривають нові перспективи для розробки нових застосувань, які базуються на комп'ютерних технологіях. Ці технології та алгоритмічні розробки широко використовуються у нейрокомп'ютерних системах. Сучасні методи калібрування дозволяють практично повністю усунути власні шуми детектора. Такі можливості не доступні у плівкових системах та системах з фотостимульованою пам'яттю [4].

1.2.2 Іонізуючі камери

У дозиметричних приладах, іонізуюча камера використовується для вимірювання радіаційного впливу. Вона складається з двох електродів, між якими знаходиться газовий об'єм. Різниця потенціалів між електродами створює ефект іонізації у газі. Більшість дозиметричних приладів мають циліндричну форму іонізуючої камери, де газ розміщений у циліндричному катоді, а стрижневий анод розташований посередині в аксіальному напрямку (рис. 1.4).

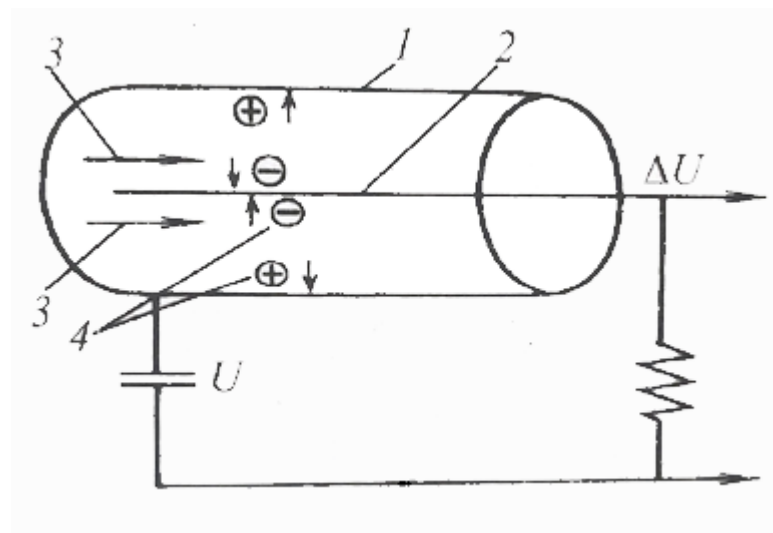


Рисунок 1.4 – Схема циліндричної іонної камери: 1 – катод; 2 – анод; 3 – іонізуюче випромінювання; 4 – електрони та іонний газ [4]

В основному застосовують полі-іонізаційні камери (рис. 1.5), скомпоновані у виді лінійних чи двомірних матриць.

Іонізуючі частинки проникають через чутливий об'єм камери і взаємодіють з газом, що міститься всередині. При прикладанні різниці потенціалів до електродів, іони починають рухатися вздовж ліній електричного поля, що створює іонізуючий струм. У звичайних умовах швидкість руху електронів дрейфу складає приблизно 104 метри за секунду, тоді як швидкість руху іонів набагато менша.

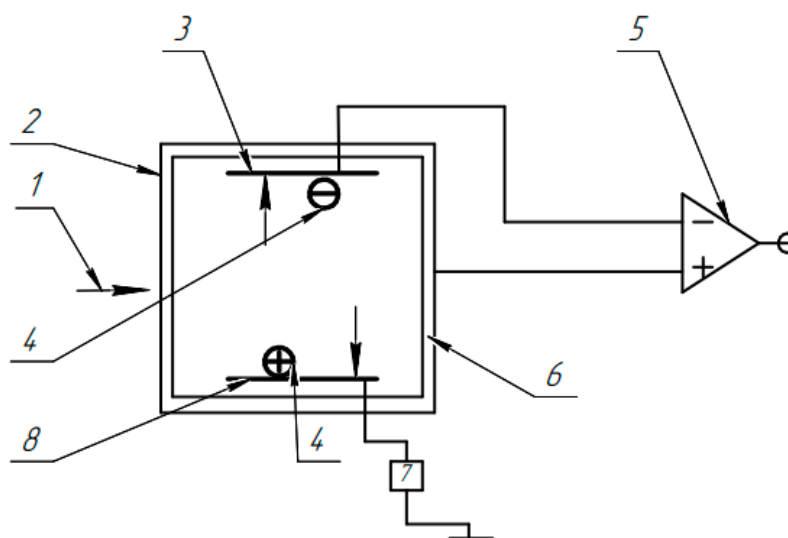


Рисунок 1.5 – Схема полі-іонізаційної камери: 1 – іонізуюче випромінювання; 2 – вхідне вікно; 3 – анод; 4 – електрони та іонний газ; 5 – попередній підсилювач; 6 – стінки камери; 7 – джерело живлення; 8 – катод [4]

Якщо різниця потенціалів поступово зростає від нуля, за умови постійної інтенсивності опромінення чутливого елемента, спостерігається, що струм у ланцюгу спочатку збільшується пропорційно збільшенню прикладеної напруги (рис. 1.6).

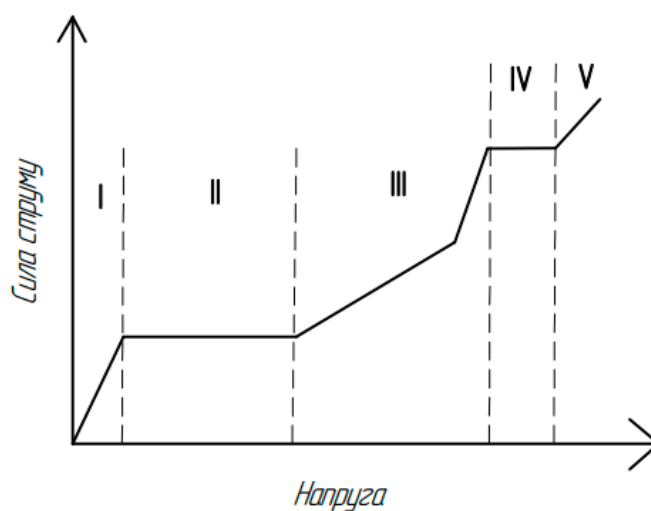


Рисунок 1.6 – Вольт-амперна характеристика газового розряду: 1 – область закону Ома; 2- область іонізаційної камери; 3- область пропорційності і обмеженої пропорційності; 4 – Область Гейгера-Мюллера; 5 – Область самостійного розряду [4]

Потім ріст сповільнюється, після чого його значення стає постійним, не дивлячись на підвищення різниці потенціалів.

Більшість іонів, що мають різні знаки, швидко утворюють пари, і їхні заряди нейтралізуються ще до досягнення ними електродів. Це призводить до низької ефективності камери для реєстрації випромінювання. У сильному електричному полі швидкість руху іонів збільшується, що призводить до зменшення таких пар, і всі утворені іони досягають електродів. У цьому випадку іонізований струм досягає насичення, і камера працює в режимі насичення. Сигнал з такої камери пропорційний енергії, тому вони широко використовуються для реєстрації доз випромінювання [4].

Іонізуючий струм утворюється в камері та вимірюється під час його проходження через зовнішній ланцюг. Цей струм зазвичай дуже слабкий і потребує підсилення для точного вимірювання. Описані камери призначені для вимірювання потужності доз іонізуючого випромінювання, тобто вони вказують на рівень випромінювання. У деяких камерах система з двох електродів підключена до конденсатора, який заряджається зовнішнім джерелом до початкової різниці потенціалів U_0 . У полі іонізуючого випромінювання різниця потенціалів зменшується через перенесення заряду іонами. Вимірювання різниці потенціалів між електродами камери використовується як показник дози опромінення. Камера відображає загальну дозу опромінення, яка накопичилася з моменту зарядження камери. Ці камери широко використовуються в індивідуальних дозиметрах.

1.2.3 Газові лічильники

Газовий лічильник ідентичний іонізаційній камері за своєю конструкцією, але відрізняється в тому, що використовує газовий розряд для посилення іонізаційного струму. Також, як і іонізаційні камери, він призначений для реєстрації іонізуючих частинок.

Залежно від характеру використовуваного газового розряду лічильники можна розділити на два типи:

- 1) пропорційні лічильники (з несамостійним розрядом);
- 2) лічильники Гейгера (з самостійним розрядом).

При правильному виборі газів і напруг пропорційний лічильник може виявляти α -частинки, β -частинки, а також високоенергетичні фотони з незначною кількістю менш енергетичних фотонів [4].

У області Гейгера-Мюллера сила струму вихідного імпульсу не залежить від початкової іонізації. Незалежно від типу іонізаційних частинок та їх енергій, всі імпульси при заданій напрузі мають однакову силу струму. Лічильники Гейгера-Мюллера є найпоширенішими універсальними приладами для дозиметричного контролю. Однак слід враховувати, що ці прилади реєструють імпульси і підраховують їх кількість за одиницю часу. Деякі моделі мають шкалу, проградуовану для випромінювання цезію-137 або іншого джерела. Тому перед використанням лічильника Гейгера-Мюллера необхідно уточнити залежність між зареєстрованою потужністю дози P_{01} та фактичною потужністю дози P_0 в залежності від енергії іонізуючих частинок, щоб забезпечити точність вимірювань.

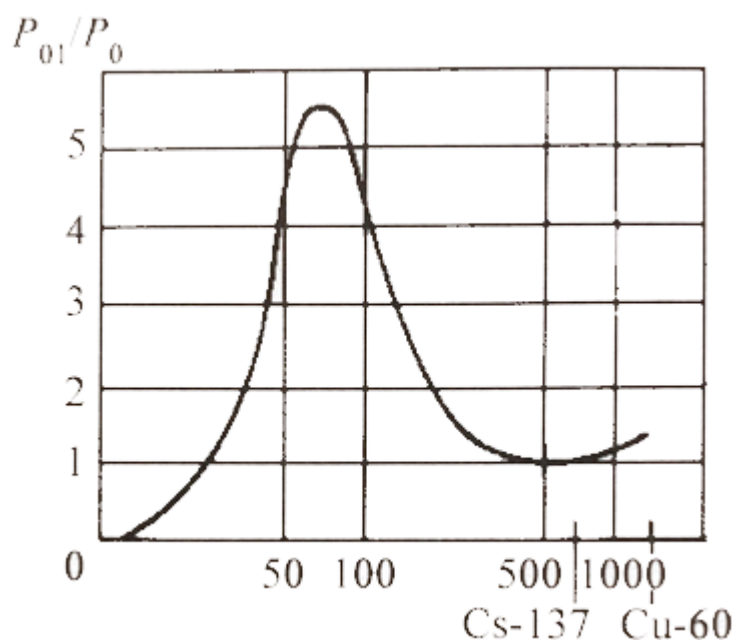


Рисунок 1.7 – Залежність відношення зареєстрованої потужності дози P_{01} до дійсної дози P_0 від енергій для лічильника Гейгера-Мюллера [4]

1.2.4 Сцинтиляційні детектори

Під час відкриття рентгенівського випромінювання було встановлено, що деякі речовини, взаємодіючи з іонізуючим випромінюванням, випромінюють фотони видимого світла. Ці фотони спостерігаються як спалахи, що свідчить про сцинтиляцію речовин. У приладах для дозиметричного та неруйнівного контролю широко використовуються тверді матеріали як сцинтилятори (люмінофори). Завдяки своїй щільності, тверді сцинтилятори мають значно вищу ефективність детектування порівняно з газами. Зокрема, ефективність детектування гамма-випромінювання у сцинтиляторах перевищує ефективність типових газонаповнених іонізаційних камер у 10^6 разів.

Таблиця 1.2 – Перелік широко застосовуваних сцинтиляторів

Найменування	Мімічна формула	Тип вимірюваних частинок
Йодид натрію	NI(Tl)	Фотони
Йодид цезію	Csl(Tl)	Фотони
Йодид цезію	Lil(Eu)	Фотони, нейтрони
Сульфід цинку	ZnS(Ag)	α -частинки
Германад вісмуту	ViGe3O12	Фотони
Фольфрамад кадмію	CdWO4	Фотони

Люмінесценцію, як фізичне явище, можна пояснити наступним чином. Коли випромінювання взаємодіє з речовиною, утворені електрони передають свою кінетичну енергію цій речовині. Це призводить до іонізації та збудження атомів речовини. Іонізація відбувається, коли електрон відокремлюється від атома, тоді як збудження пов'язане з підвищенням енергетичного рівня електрона в атомі.

Повернення збуджених електронів до низькоенергетичного стану, також відоме як релаксація, відбувається, коли люмінофори, збуджені іонізуючим

випромінюванням, швидко повертаються до свого основного стану з затримкою $\Delta t > 10^{-15}$ с ($\Delta t > \lambda/c$). Під час цього процесу вони випромінюють фотони видимого світла. Вимірювання цього світлового випромінювання від сцинтиляторів може бути використане для виявлення іонізуючого випромінювання [4].

Сцинтилюючі датчики можуть бути газоподібними, рідкими або твердими. Для їх виготовлення використовуються як органічні, так і неорганічні матеріали. Поширеними сцинтиляторами є органічні рідини та тверді речовини, а також неорганічні гази і тверді матеріали. Тверді органічні сцинтилятори можуть бути у формі кристалів, пластинок або гелів.

Неорганічні тверді сцинтилятори зазвичай виготовляються з кристалів галогенідів лужних металів. Люмінесцентний процес у цих матеріалах відбувається завдяки наявності невеликих домішок.

Наприкінці минулого століття було виявлено, що люмінесценція багатьох твердих матеріалів значно залежить від наявності в них невеликих кількостей домішок. Ці домішки, які впливають як на колір світіння, так і на здатність до люмінесценції, називаються активаторами. Тверді матеріали, що містять такі активатори, стали відомі як тверді розчини активатора в основній речовині [4].

Випромінювання відбувається в мікроскопічних утвореннях, що пов'язані з атомами активатора і називаються центрами світіння. Для використання в приладах неруйнівного контролю та дозиметрії, сцинтилятори повинні мати наступні властивості:

- високим поглинанням падаючого пучка проникаючого випромінювання;
- високою ефективністю перетворення енергії іонізуючих частинок в світлову енергію;
- високою просторовою роздільною здатністю;
- узгодженістю спектральної характеристики люмінофора зі спектральною характеристикою працюючого спільно з ним фотонного перетворювача;
- відтворюється технологією.

Оптимальний баланс між поглинанням і просторовим розширенням можна досягти лише за допомогою матеріалів, які включають атоми з високим атомним номером і мають велику щільність:

- узгодженістю спектральної характеристики люмінофора зі спектральною характеристикою працюючого спільно з ним фотонного перетворювача;
- відтворюється технологією.

Оптимального балансу між поглинанням та просторовою роздільною здатністю можна досягти, використовуючи матеріали, що містять атоми з високим атомним номером і високою щільністю.

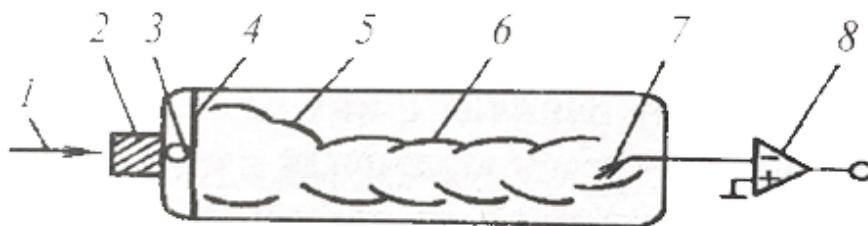


Рисунок 1.8 – Схема детектора сцинтилятор-ФЕУ: 1 – рентгенівське випромінювання; 2 – сцинтилятор; 3 – фотони рентгенолюмінісценції; 4 – фотокатод; 5 – фокусувальний електрод; 6 – діоди; 7 – анод; 8 – попередній підсилювач [4]

У процесі передачі даних про властивості іонізуючого випромінювання сцинтилятори зазвичай співпрацюють з фотонними перетворювачами, такими як фотоелектронний помножувач (ФЕП), фотодіоди, фотокатоди, рентгенівська плівка та інші.

До винайдення ФЕП облік спалахів у сцинтиляторах здійснювався візуально. У середині ХХ століття було розроблено ФЕП, що суттєво розширило можливості використання сцинтиляторів. ФЕП складається з фоточутливого шару, відомого як фотокатод, і ряду послідовно розташованих електронних помножувачів, званих діодами. Фотокатоди перетворюють фотони, які утворюються в сцинтиляційних спалахах, на фотоелектрони.

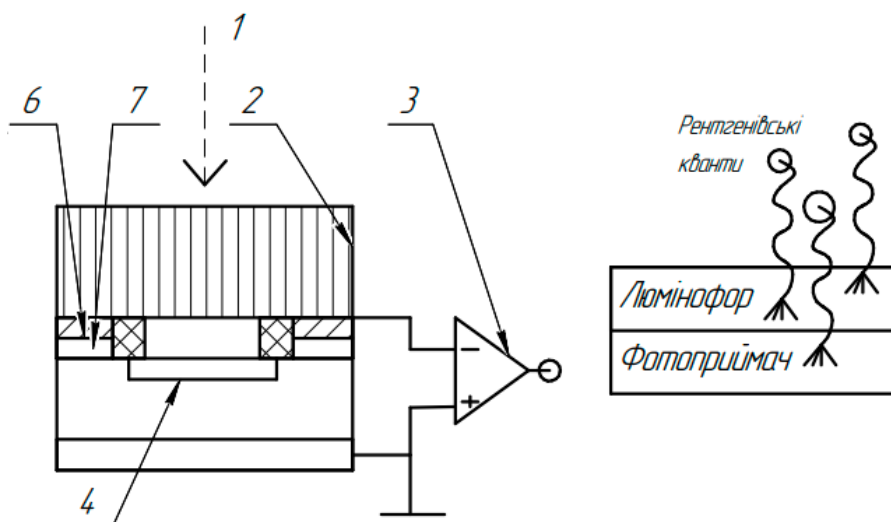


Рисунок 1.9 – Схема детектора сцинтилятор – фотодіод: 1 – рентгенівське випромінення; 2 – сцинтилятор; 3 – підсилювач; 4 – *p-n*-перехід; 5 – SiO₂; 6 – металевий контакт [4]

ФЕП спроектований таким чином, що фотоелектрони, випромінювані фотокатодом, спрямовуються до першого діноду, отримуючи додаткову енергію від електричного поля, що створене в самому ФЕП. Після цього вони взаємодіють з дінодом, що спричиняє вихід з нього більшої кількості електронів, ніж тих, які взаємодіють безпосередньо. Цей процес повторюється у кожному каскаді діодів. Фотодіод та катод знаходяться у скляній вакуумній оболонці. ФЕП може забезпечити електронне підсилення до 10^{10} на кожен фотоелектрон, що дозволяє зменшити втрати інформації під час подальшої обробки сигналів з ФЕП [4].

У сучасній радіаційній інтроскопії часто використовують лінійні дискретно-детекторні системи як радіаційні перетворювачі. Ці системи складаються з набору одиночних детекторів, які розташовані лінійно один за одним. В таких системах переважно використовуються три типи детекторів. Перший тип - це детектори на основі газової іонізаційної камери, які вимірюють струм. Другий тип - це детектори на основі сцинтиляційного кристалу, які поєднуються з ФЕП і працюють у режимі підрахунку імпульсів або виміру струму.

1.3 Лічильник Гейгера

Лічильник Гейгера, відомий також як трубка Гейгера-Мюллера, це пристрій, що використовується для виявлення та вимірювання різних типів випромінювання, таких як α -, β - та γ -випромінювання. Зазвичай він складається з пари електродів, що розташовані в газовому середовищі, оточеному високою напругою. Часто використовуваними газами є гелій або аргон. Коли радіоактивні частинки взаємодіють з трубкою, газ в середній частині трубки піддається іонізації. Створені іони та електрони притягуються до електродів, що призводить до генерації електричного струму. Лічильник підраховує імпульси струму, при цьому кожен отриманий імпульс вказує на те, що випромінювання іонізує газ.

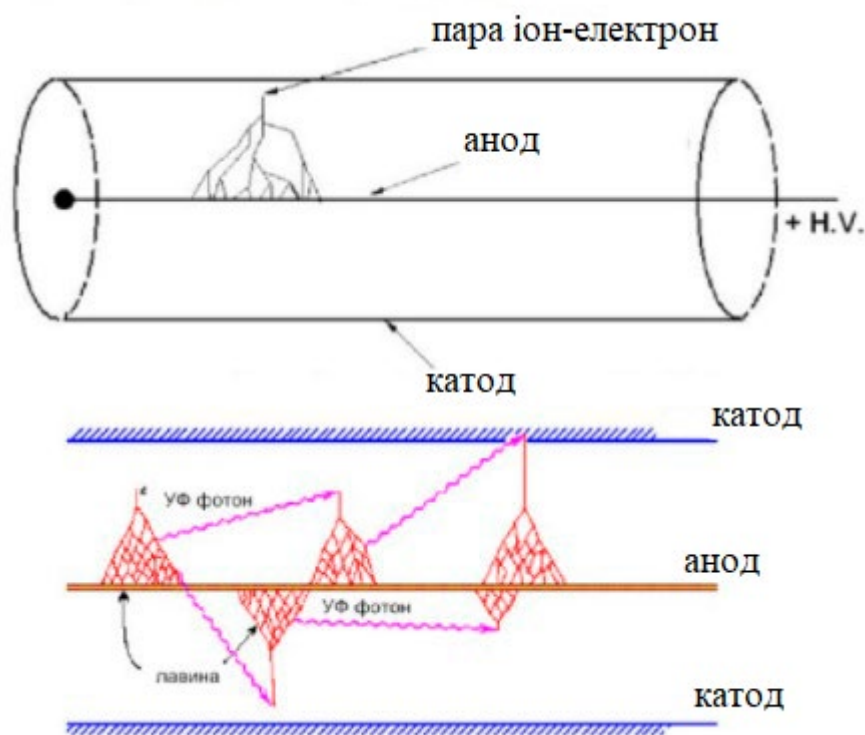


Рисунок 1.10 – Принцип дії газорозрядного лічильника [5]

Апарат складається з двох основних компонентів: трубки та лічильника, а також джерела живлення. Трубка Гейгера-Мюллера зазвичай має циліндричну

форму із дротом, що проходить по центру. Лічильник разом з джерелом живлення обладнані регуляторами напруги та можливістю налаштування таймера.

Коли іонізуюче випромінювання, таке як α -, β - чи γ - частинка, потрапляє в трубку, воно може іонізувати деякі молекули газу всередині трубки. Під час іонізації електрон вибивається з атома, що призводить до того, що атом стає позитивно зарядженим іоном. Під впливом високої напруги всередині трубки ці електрони та позитивно заряджені іони рухаються до відповідних електродів: електрони до позитивного електрода, а іони до негативного. Це створює струмовий імпульс у проводах, що з'єднують ці електроди. Потім ці імпульси підраховуються, заряджені іони нейтралізуються, і лічильник Гейгера готовий зафіксувати ще один імпульс [6].

Для швидкого відновлення лічильника Гейгера після впливу випромінювання в трубку додають газ. Правильне використання лічильника Гейгера передбачає належну напругу. Занадто низька напруга призводить до слабкого електричного поля в трубці, що в результаті дає низький імпульс струму, і лічильник не може порахувати імпульси. Занадто висока напруга може призвести до появи постійних розрядів всередині трубки, що може пошкодити її. Трубки з більшим діаметром вимагають більшої напруги для створення необхідного електричного поля всередині.

Діапазон напруги, в межах якого лічильник імпульсів струму працює стабільно, називається "діапазоном плато". Якщо напруга подається занадто високо, більше 400 В, це може призвести до безперервного розряду, що унеможливить правильне виявлення іонізуючого випромінювання. Найкраща ефективність детектора досягається, коли напруга перебуває в межах області плато кривої. Для досягнення оптимальної ефективності, напругу слід підбирати близько до порогового рівня, що відповідає першій чверті шляху в області плато [6]. На практиці, нахил кривої в цій області є показником якості лічильника Гейгера. Для ефективної роботи лічильника крива має зростати зі швидкістю менше 10% на 100 вольт (рис.1.11)

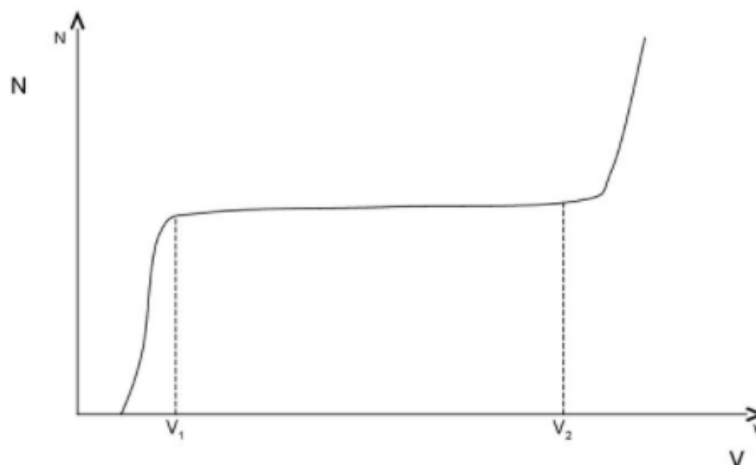


Рисунок 1.11 – Область плато [5]

Ефективність детектора задається відношенням:

$$\varepsilon = \frac{\text{кількість випромінюваних частинок, які виявлено}}{\text{кількість частинок випромінювання}}, \quad (1.1)$$

На практиці доведено, що лічильник Гейгера не є ефективним для всіх типів випромінювання і ось чому.

Обмежена ефективність трубки Гейгера для реєстрації α -частинок пояснюється тим, що для їх поглинання використовується газ. Бо α -частинки мають низьку енергію, вони не можуть пройти через зовнішню оболонку трубки і спричинити іонізацію. Таким чином, цей тип детектора не є дуже чутливим до α -частинок. У той час, β -частинки мають достатньо високу енергію, щоб пройти через оболонку трубки та викликати іонізацію, тому вони найефективніше реєструються. Лічильник Гейгера також не дуже чутливий до γ -променів через їх велику енергію, яка унеможливує швидку реакцію іонізації. Таким чином, хоча лічильник Гейгера може виявляти всі три типи випромінювання, він найбільш ефективний для реєстрації β -частинок і менш ефективний для γ -променів.

Деякі переваги використання лічильника Гейгера:

- дешевизна;
- довговічність та легка інтеграція;
- можливість виявлення всіх видів випромінювання.

Основні недоліки лічильника Гейгера:

- не можуть розрізнити, який тип випромінювання виявляється;
- не можуть бути використані для визначення точної енергії виявленого випромінювання.

Для вирішення необхідної задачі, яка включає вимірювання загального радіаційного фону, обчислення накопиченої дози, а також моніторинг змін радіаційного фону в часі, є дуже доцільним.

Після реєстрації та підрахунку імпульсу струму, трубці Гейгера потрібен певний час, щоб відновитися перед наступним підрахунком. Цей час відновлення, або "мертвий час" (T) детектора, означає період, коли детектор, так би мовити, "перезавантажується". Під час цього періоду вимірювання активних радіаційних частинок тимчасово припиняється. Якщо швидкість підрахунку є високою, то мертвий час грає важливу роль і може впливати на точність вимірювань. Спочатку розглянемо способи компенсації мертвого часу, а потім розглянемо методи вимірювання цього параметра.

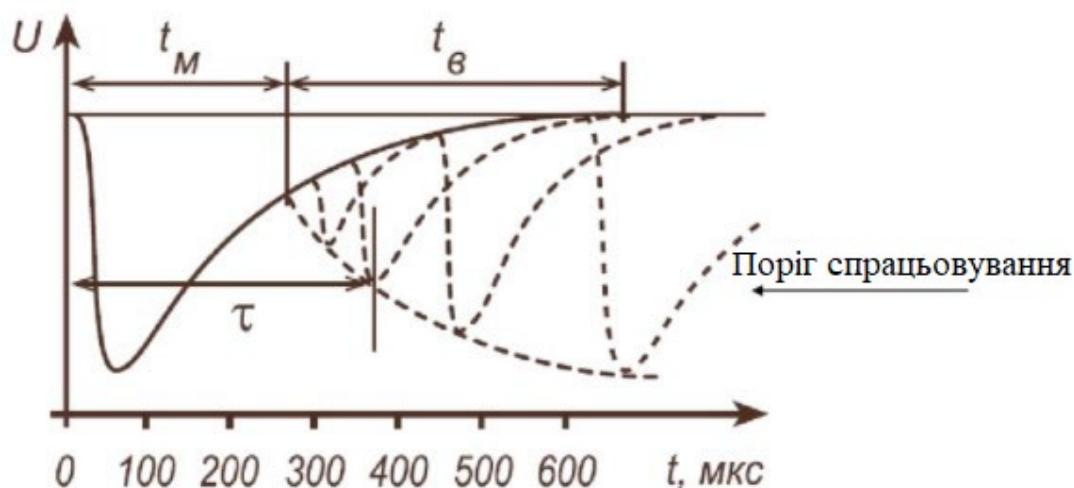


Рисунок 1.12 – Мертвий час газорозрядного лічильника [5]

1.4 Огляд відомих систем моніторингу радіаційного фону

Система RadAr є розподіленою дворівневою системою моніторингу радіаційного стану, розробленою для віддаленого контролю навколишнього середовища. Вона забезпечує отримання інформації в реальному часі про рівень радіації зі стаціонарних або рухомих точок моніторингу за допомогою спеціальних інтелектуальних блоків детектування або табло, що з'єднані з комп'ютером. Комп'ютер повинен мати доступ до Інтернету.

Система може бути адаптована до потреб замовника, оскільки кількість точок збору даних про радіацію необмежена. Центральний сервер постійно підключений до Інтернету через статичну IP-адресу та забезпечує постійне оновлення даних. За допомогою веб-браузера можна переглядати карту з даними про радіацію.

RadAr може бути використана для створення відомчих або державних систем автоматизованого контролю радіаційної обстановки. Також може бути використаний як стаціонарна або мобільна система або їх комбінація [7].

Основним недоліком такої системи можна вважати необхідність безпосереднього підключення кожного дозиметра до комп'ютера, зв'язаного з мережею Інтернет. Також недоліком можна вважати складність обслуговування великої кількості компонентів, що складають систему. Це може призвести до складнощів у підтримці та обслуговуванні, а також до можливості виникнення несправностей, які потребують регулярного технічного обслуговування.



Рисунок 1.13 – Компоненти системи RadAr [7]

RadSpace - унікальна система з дворівневою архітектурою клієнт-сервера, розробленою для віддаленого моніторингу радіаційного стану довкілля. На рівні сервера системи розташований серверний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням. Клієнтський рівень включає стаціонарні пункти моніторингу, до яких підключені блоки детектування. Ця система забезпечує отримання в реальному часі інформації про рівень радіації з пунктів моніторингу, які з'єднані з серверним комп'ютером за допомогою GPRS-каналу.

Максимальна кількість точок збору дозиметричної інформації досягає 5000, а можливість передачі даних залежить від покриття мобільного оператора, що робить систему RadSpace дуже гнучкою і дозволяє адаптувати її до потреб клієнта. Для використання функції віддаленого моніторингу радіації, серверний комп'ютер повинен мати доступ до Інтернету за допомогою статичної IP-адреси. Інформація, отримана від пунктів моніторингу, обробляється на серверному рівні, відображається і архівується у базу даних для подальшого аналізу, експорту в інші формати, складання звітів та їх друку [8].

Перевагою системи RadSpace є більша гнучкість завдяки використанню мобільної мережі. Проте, є кілька недоліків, таких як обмежена масштабованість, залежність від операторів мобільного зв'язку для передачі даних, а також потреба у вручному записі координат дозиметрів, оскільки система не підтримує вузли, що знаходяться у русі.

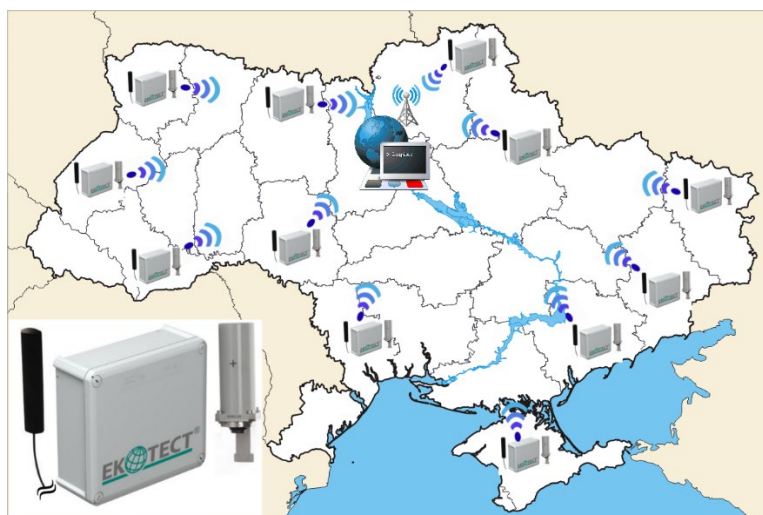


Рисунок 1.14 – Принцип роботи системи RadSpace [8]

Приклади систем, що розглядалися, мають спільну особливість - вони є клієнт-серверними та централізованими. Це означає, що існує центральний вузол, який збирає всю інформацію від інших вузлів, виступаючи сервером. Інші вузли, у свою чергу, діють як клієнти. Клієнт створює з'єднання з сервером, передає виміряні дані, а сервер відповідає за їх збір, зберігання та обробку.

1.5 Висновки

У першому розділі розглянуто різноманітні системи радіаційного моніторингу, кожна з яких має свої переваги і недоліки. Щоб забезпечити масштабованість цих систем, застосовуються технології мобільного зв'язку або використання розподілених систем з використанням мережі Інтернет.

Було розглянуті методи вимірювання дози випромінювання, але багато з них мають свої обмеження, такі як вузький діапазон лінійної залежності або низьку чутливість. Однак наявність іонізаційної трубки або лічильника Гейгера може розв'язати ці проблеми.

Для розробки ефективної системи радіаційного моніторингу ставляться такі завдання: використання технологій мобільного зв'язку для збільшення покриття, розподілена та централізована система, розробка спеціалізованого приладу для мінімізації зв'язків, здатного вимірювати дозу, передавати повідомлення через мобільний зв'язок та визначати власні координати за допомогою GPS.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Іонізаційна камера

У якості методу вимірювання дози радіації було вирішено використати іонізаційну камеру. В якості іонізаційної камери використовуються трубки Гейгера-Мюллера. Така камера може бути чутливою до альфа, бета, гамма випромінювання. Було обрано трубку М4011, що є чутливою до гамма та бета випромінювань [11]. Її вольт-амперна характеристика (ВАХ) показана на рис. 2.1

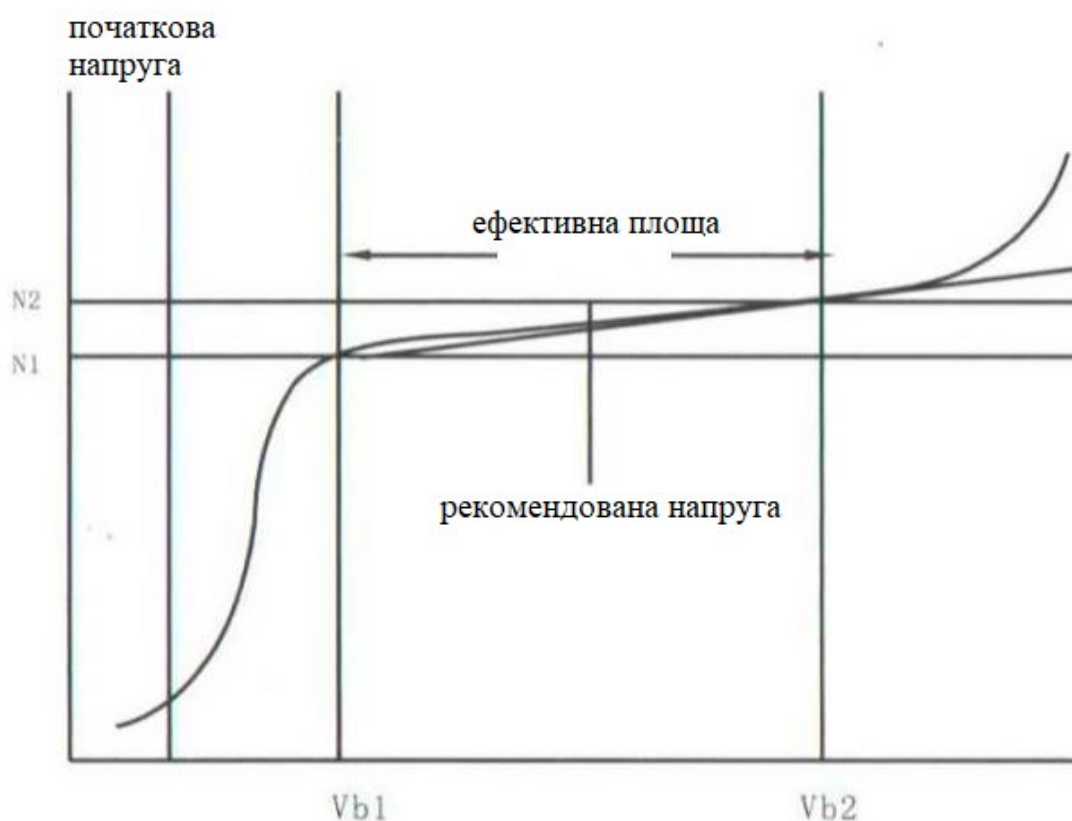


Рисунок 2.1 – ВАХ трубки М4011, $V_{b1} \leq 380$ В, $V_{b2} = 450$ В

Згідно з ВАХ іонізаційної камери, вона має такі властивості: для правильної роботи її напруга між електродами повинна бути у межах від V_{b1} до V_{b2} . Якщо напруга на електродах значно нижча за V_{b1} , то одна частинка з високою енергією, що пройшла через камеру, може бути недостатньою для іонізації газової суміші. З іншого боку, якщо напруга значно перевищує V_{b2} , може відбуватись самостійний

газовий розряд навіть без пролітаючих частинок, що постійно змінює склад газової суміші в камері [9].

При правильному режимі роботи, коли частинка високої енергії проходить через трубку, утворюється самостійний газовий розряд, який триває кілька мікросекунд. Це створює короткочасний сигнал, який можна виявити та підрахувати за одиницю часу. На схемі трубки, зображеній на рис. 2.1.2, анод підключений до позитивного виходу джерела високої напруги через струмообмежуючий резистор, щоб уникнути незворотніх змін у газовому складі трубки через великий струм. Анод трубки, через навантаження (інший резистор), з'єднаний з негативним виходом джерела. Якщо потрібно, сигнал з трубки може бути відфільтрований за допомогою конденсатора та підсилено, наприклад, біполярним транзистором.

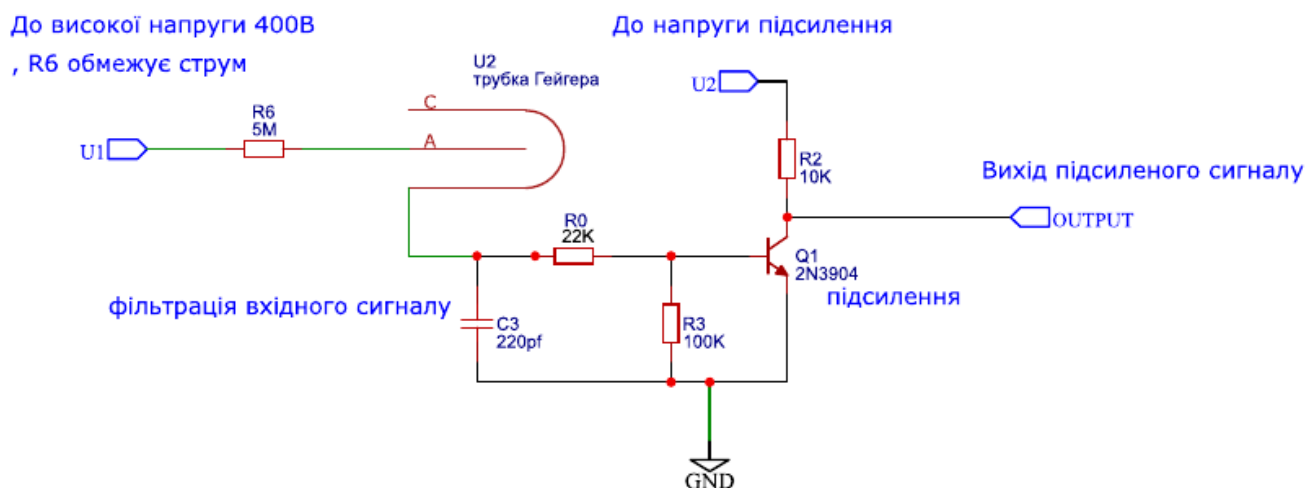


Рисунок 2.2 – Приклад схеми підключення трубки Гейгера до лічильника сигналів

Сигнали, які надходять на вихід підсилювача, можна зафіксувати за допомогою цифрових приладів. У випадку трубки М4011 кількість сигналів прямо пропорційна еквівалентній дозі випромінювання [11]. Шляхом вимірювання кількості сигналів за певний час можна обчислити еквівалентну дозу (Нт) в зівертах (Зв) на годину. У таких трубках є коефіцієнт (К) конвертації з одиниць СРМ (кількість

сигналів на секунду) в мікросіверти на годину. Для M4011 цей коефіцієнт становить 151. Конвертація відбувається за формулою:

$$Ht = \frac{CPM}{K}, \quad (2.1)$$

Відповідно потрібен лічильник сигналів, та годинник реального часу для вимірювання CPM.

2.2 Мобільна передача даних та геолокація

Існує велика кількість різних пристроїв для мобільного зв'язку, переважно мобільні телефони, універсальні модулі зв'язку та GSM сигналізація. Більшість з них ґрунтуються на схожих бездротових модулях. Існують також бездротові модулі M2M, які дозволяють побудувати Інтернет речей та підключити різні речі до мобільних та глобальних мереж Інтернету. Одним з провідних виробників таких модулів є компанія SIMCom, яка випускає модулі, що підтримують стандарти і технології 5G, 4G, 3G, LPWA, GSM, LTE, WCDMA, GPRS, GNSS [13].

Для використання в ролі приймача-передавача та модуля навігації для дозиметра був вибраний модуль SIM7600G від компанії SIMCom. Зовнішній вигляд цієї плати показано на рисунку 2.3



Рисунок 2.3 – Плата модуля SIM7600 [14]

Модуль має такі особливості та підтримує наступні технології [14]:

- 1) підтримує телефонні дзвінки, SMS, MMS, TCP, UDP;
- 2) містить вбудований модуль GNSS, що підтримує GPS, BeiDou;
- 3) вбудований USB інтерфейс;
- 4) вбудований USART інтерфейс;
- 5) підтримка SIM карт 1.8 В та 3В;
- 6) контроль за допомогою AT команд;
- 7) підтримує мобільні мережі LTE, WCDMA, EDGE, GSM.

Отже модуль дозволяє знаходити свої координати за допомогою GPS, а передавати дані він може згідно стандарту LTE, а також за допомогою попередніх стандартів. При чому максимальна швидкість передачі даних буде складати для LTE зв'язку 50 Мбіт/с, WCDMA зв'язку – 384 Кбіт/с, для EDGE зв'язку – 237 Кбіт/с, для GSM/GPRS – 85 Кбіт/с.

Пристрій SIM7600 включає в себе програмне забезпечення, яке дозволяє обмінюватися повідомленнями за допомогою так званих AT команд через USART інтерфейс. Особливість цього інтерфейсу полягає в тому, що команду легко створити та розібрати програмними засобами, що є важливою перевагою для комунікації в ембедованих системах. Формування AT команди відбувається наступним чином: послідовність символів "AT" відправляється, щоб сигналізувати пристрою почати приймати дані, після чого слідує тіло команди. Таким чином, найпростішим форматом AT команди є «AT<x><n>» або «AT&<x><n>», де <x> - назва команди, <n> - її параметри [15]. Також існують розширені команди [13]:

- 1) «AT+<NAME>=?» - команда перевірки наявності такої команди, тестування;
- 2) «AT+<NAME>?» - команда перевірки значення встановлюваних атрибутів, читання атрибутів;
- 3) «AT+<NAME>=<...>» - записати атрибути, команда запису;
- 4) «AT+<NAME>» - команда виконання певної операції, отримання результатів.

Цей модуль дозволяє встановлювати та налаштовувати TCP з'єднання шляхом використання AT команд. Процес ініціалізації TCP з'єднання у різних режимах зображений на рисунку 2.4 [16]:

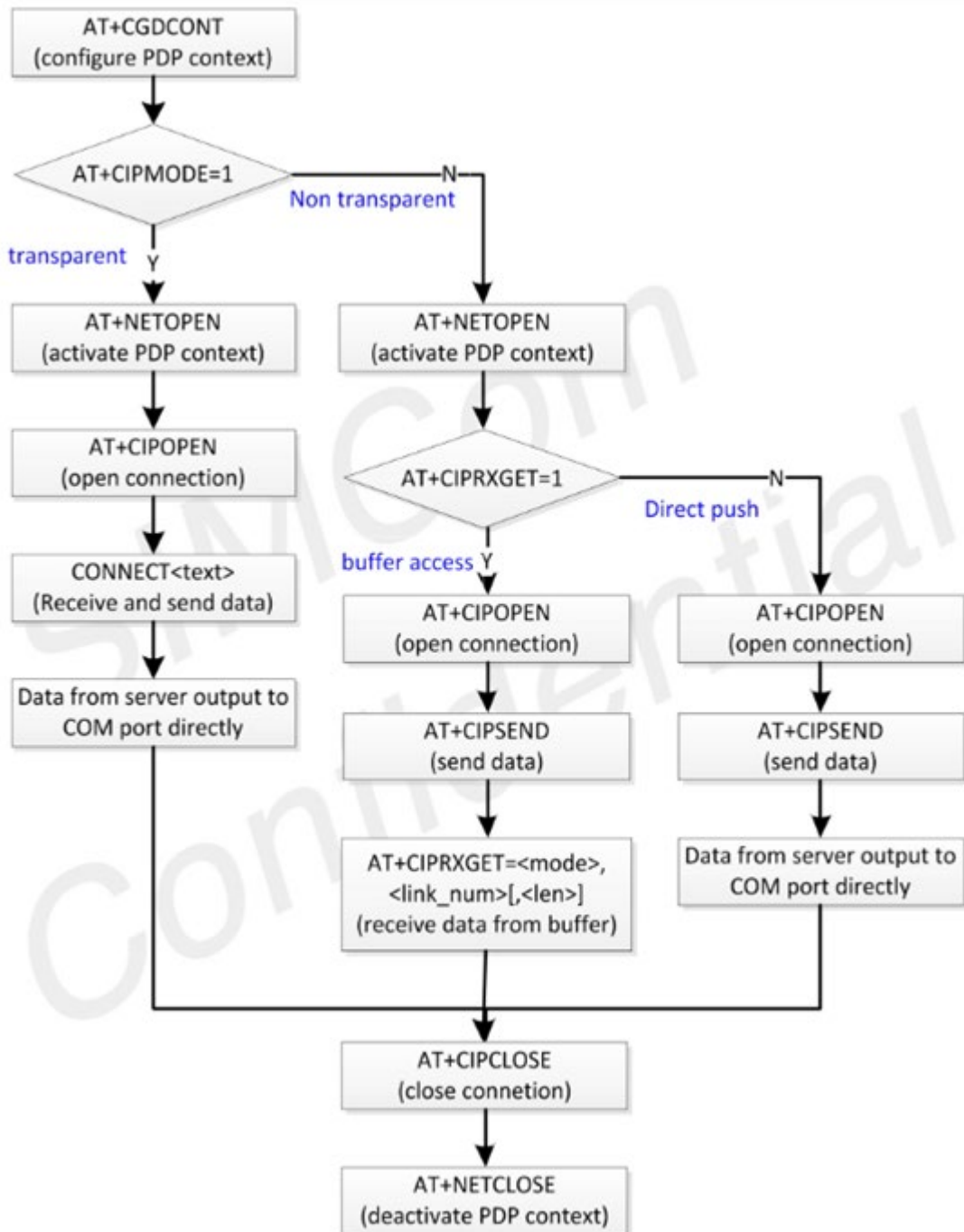


Рисунок 2.4 – Процес ініціалізації TCP з'єднання за допомогою AT команд

[16]

Так, модуль, який підключений до мережі, може працювати у двох режимах: прозорому і непрозорому. В непрозорому режимі він може функціонувати як режим прямого доступу або режим буферного доступу. У прозорому режимі пристрій не приймає команди AT; замість цього він використовує USART для обміну повідомленнями між вбудованою системою поряд з модулем та Інтернет мережею. У режимі буферного доступу модуль передає дані за допомогою команди AT+CIPSEND, зберігає отримані дані і виводить їх як відповідь на команду AT+CIPRXGET. У режимі прямого доступу передача здійснюється за допомогою команди AT+CIPSEND. Прийняті дані з мережі одразу передаються по USART у форматі «+RECV FROM:<IP ADDR> :<PORT><CR><LF>+IPD(data length)<CR><LF><data>» [16].

Модуль дозволяє отримувати свої координати через вбудований GPS модуль у SIM7600, використовуючи AT команди. Для активації або деактивації GPS використовується команда AT+CGPS. Наприклад, команда AT+CGPS=1 увімкне визначення координат за допомогою супутників. За допомогою команди AT+CGPSINFO можна отримати дані координат в реальному часі або встановити періодичне отримання координат. Команда AT+CGPSINFO=15 запустить потік, який буде надсилати координати пристрою кожні 15 секунд. Команда AT+CGPSINFO виведе останні збережені координати у встановленому форматі, який включає широту, північ/південь, довготу, схід/захід, дату, час UTC, висоту над рівнем моря, швидкість у вузлах та напрямок у градусах.

2.3 Мікроконтролер

Для управління периферією дозиметра було обрано мікроконтролер STM32F030C6T6. Він має вбудовану необхідну для проєкту периферію і є одним з найдешевших мікроконтролерів свого роду.

Ядро Cortex-M0 відрізняється надзвичайно малою площею на кристалі, низьким енергоспоживанням і дуже високою щільністю коду, що дозволяє досягати 32-бітної продуктивності за вартістю 8/16-бітних рішень.

Ось основні характеристики цього мікроконтролера [19]:

- flash-пам'ять об'ємом 32 Кбайт;
- SRAM об'ємом 4 Кбайт;
- 32-бітне ядро ARM Cortex M0;
- 4 16-бітних таймери загального призначення;
- 1 16-бітний таймер для вдосконаленого контролю;
- шина SPI;
- шина I2C;
- шина USART;
- 12-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- 39 портів вводу-виводу;
- частота ядра 48 МГц;
- модуль розрахунку CRC.

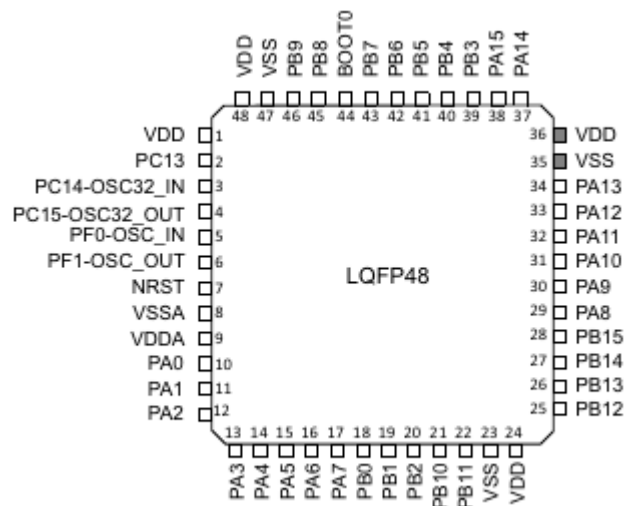


Рисунок 2.5 – Виводи мікроконтролера [19]

На рисунку 2.6 показано структуру та взаємозв'язок периферії серії STM32F030, яка включає розглянутий мікроконтролер. Ця структура ілюструє, як периферійні пристрої спілкуються з основним ядром мікроконтролера.

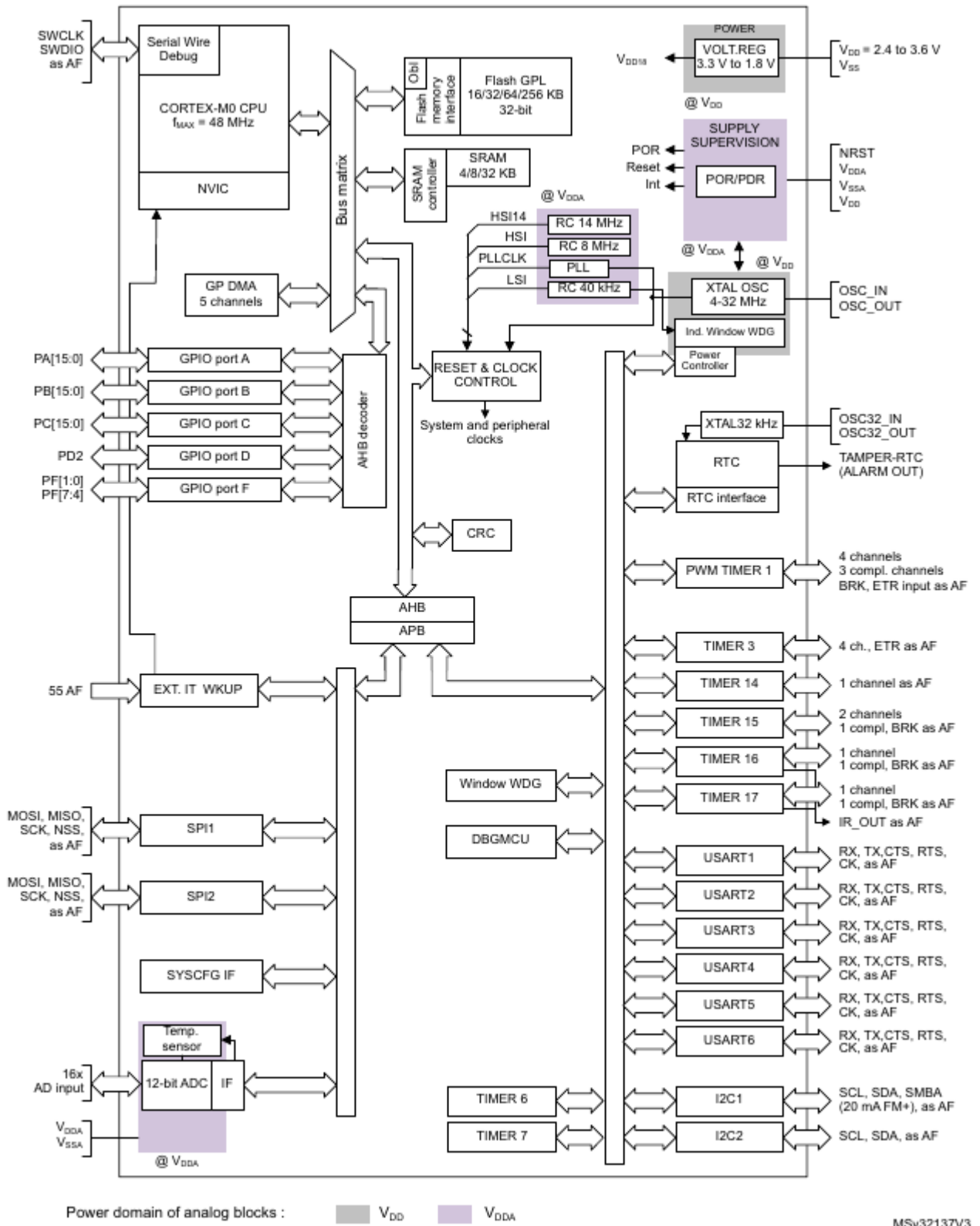


Рисунок 2.6 – Структура та взаємозв’язок периферії серії STM32F030 [19]

Мікроконтролер має дві шини: АНВ та АРВ. Це дозволяє периферійним пристроям високої продуктивності, таким як SRAM та флеш-пам'ять, працювати та

бути тактованими окремо від низькопродуктивних пристроїв, наприклад, USART та таймера. Такий підхід робить функціонал мікроконтролера гнучким і дозволяє забезпечити ефективну роботу. Частота роботи периферії налаштовується за допомогою дільників та множників частот від одного джерела - системної частоти (SYSCLK). SYSCLK зазвичай формується внутрішнім генератором HSI частотою 8 МГц, але також може бути програмно налаштований на зовнішній генератор з частотою до 32 МГц - HSE.

Для операцій дозиметра вирішено скористатися різними периферійними пристроями мікроконтролера. Наприклад, використовується USART для забезпечення взаємодії з модулем SIM7600G, таймер 1 для виконання певних завдань у визначений період часу, а також RTC для вимірювання кількості дози за одиницю часу і виконання інших завдань у встановлений період часу. Це дозволяє нам ефективно використовувати ресурси мікроконтролера та забезпечити надійну роботу дозиметра.

Шина USART може працювати у двох режимах: синхронному і асинхронному. Крім того, вона може використовуватися в якості RS-232, RS-485 інтерфейсів. Для роботи в асинхронному режимі потрібно 2 або 1 лінія (рис. 2.7) [20]. Згідно з рисунком 2.7, USART в асинхронному режимі може працювати як у повному дуплексному режимі, так і у напівдуплексному.

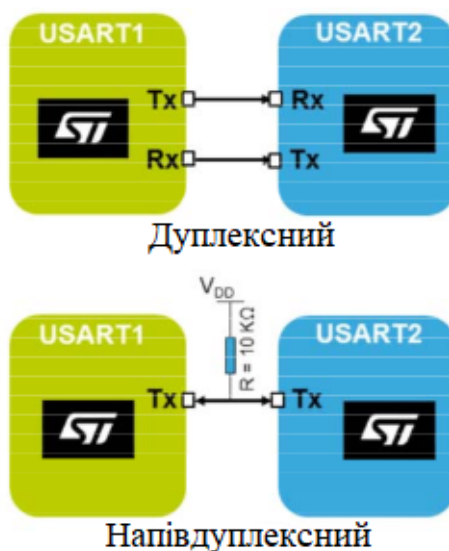


Рисунок 2.7 – Лінії асинхронного режиму USART [20]

USART підтримує повнодуплексний зв'язок, де лінії Tx та Rx відповідно підключені до ліній Rx та Tx іншого інтерфейсу. USART може бути налаштований на використання однопровідного напівдуплексного протоколу, де лінії Tx та Rx з'єднані внутрішньо. У цьому режимі зв'язку використовується лише пін Tx як для передачі, так і для отримання даних. Пін Tx завжди вивільняється, коли немає передачі даних, тому він працює як стандартний вхід/вихід у режимах очікування або прийому. Це означає, що вхід/вихід повинен бути налаштований так, щоб Tx був налаштований як альтернативна функція з відкритим дренажем із зовнішнім підтягуванням до плюсу [20]. Передача одного 8-бітного слова за допомогою USART в асинхронному повному дуплексному режимі зображена на рис. 2.8

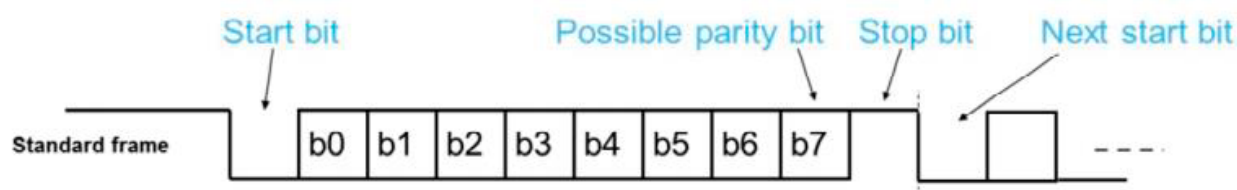


Рисунок 2.8 – Передача слова по асинхронній лінії USART [20]

Передача даних у системі USART починається зі стартового біту, який має значення "0", і завершується стоп-бітом, який має значення "1". В асинхронному режимі обидва пристрої повинні мати однакову швидкість передачі для успішного обміну даними. Тобто, швидкість передачі повинна бути однаковою як для передавача, так і для приймача, щоб забезпечити правильне сприйняття і передачу даних.

У синхронному режимі для передачі даних потрібні вже 3 лінії (рис. 2.9). Одна з цих ліній використовується для тактування, а дві інші - для прийому і передачі, так само, як і в асинхронному повнодуплексному режимі [20]. Однак, у синхронному режимі тільки один пристрій визначає швидкість передачі даних. Такий підхід дозволяє синхронізувати передачу і прийом даних за допомогою зовнішнього тактового сигналу.

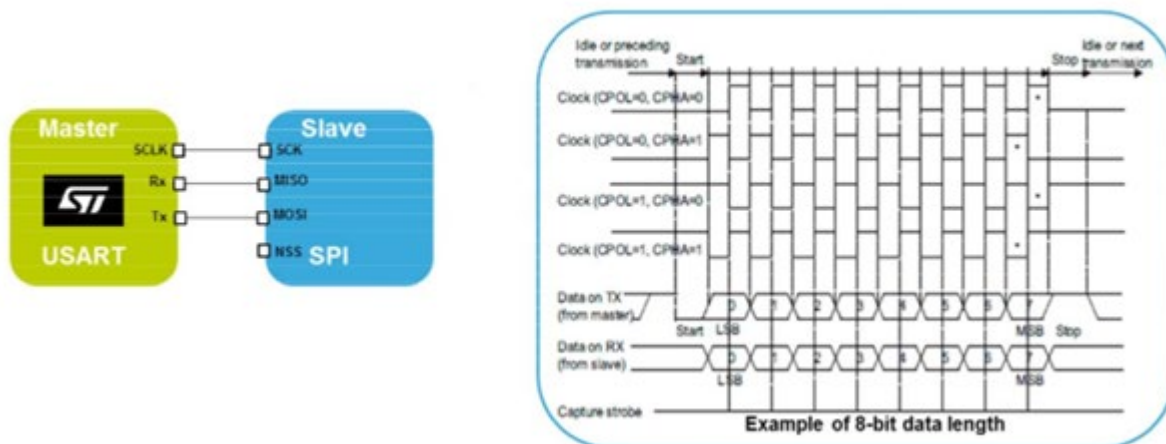


Рисунок 2.9 – Лінії та передача слова синхронного режиму USART [20]

Він може працювати як SPI в режимі майстра з програмованим положенням тактової синхронізації (CPOL) та фази (CPHA). Тактовий сигнал виводиться на пін SCLK. Під час стартового та стопового бітів тактові імпульси не надсилаються

Вбудовані системи для спілкування за допомогою AT команд переважно використовують асинхронні інтерфейси, такі як асинхронний USART в повністю дуплексному режимі. Модуль SIM7600G також використовує USART у повністю дуплексному режимі для забезпечення комунікації. Однак мікроконтролер STM32F030C6T6 має лише 1 USART периферію, що може бути обмеженням у випадку потреби у більшій кількості асинхронних з'єднань або паралельних комунікаційних інтерфейсів.

Для використання USART в мікроконтролерах STM32F0 потрібно активувати тактування шини APB, також включити тактування самого USART та його живлення. Для програмування мікроконтролерів STM32 мовами C або C++ зазвичай використовуються бібліотеки HAL рівня, які надають зручний інтерфейс для роботи з периферійними пристроями. На рисунку 2.10 показано приклад ініціалізації USART1 для мікроконтролера STM32F0 в повністю дуплексному асинхронному режимі з швидкістю 115200 за допомогою мови програмування C і використання HAL бібліотеки.

```

huart1.Instance = USART1;
huart1.Init.BaudRate = 115200;
huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
huart1.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
huart1.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

```

Рисунок 2.10 – Ініціалізація USART за допомогою HAL

USART в STM32F0 має такі регістри, необхідні для його роботи та налаштування [21]:

- 1) CR1, CR2, CR3 – регістри контролю і налаштування USART та переривань;
- 2) BRR – регістр встановлення швидкості передачі даних;
- 3) RQR – регістр запиту;
- 4) ISR – регістр індикації переривання та статусу роботи USART;
- 5) ICR – регістр очищення переривань;
- 6) RDR – регістр прийнятих даних, містить прийняте слово;
- 7) TDR – регістр переданих даних, в нього записується потрібне для передачі даних слово.

Бібліотека HAL від STMicroelectronics містить власний драйвер USART та інших периферійних пристроїв, який дозволяє просте та ефективно використання їх у програмах. Цей драйвер взаємодіє безпосередньо з регістрами периферії і надає набір функцій для введення та виведення даних через USART. Ці функції демонструються на рисунку 2.11.

```

/* IO operation functions *****/
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Transmit(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t Size, uint32_t Timeout);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Receive(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t Size, uint32_t Timeout);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Transmit_IT(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t Size);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Receive_IT(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t Size);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Transmit_DMA(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t Size);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Receive_DMA(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t Size);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_DMAPause(UART_HandleTypeDef *huart);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_DMAResume(UART_HandleTypeDef *huart);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_DMAStop(UART_HandleTypeDef *huart);
/* Transfer Abort functions */
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Abort(UART_HandleTypeDef *huart);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_AbortTransmit(UART_HandleTypeDef *huart);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_AbortReceive(UART_HandleTypeDef *huart);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Abort_IT(UART_HandleTypeDef *huart);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_AbortTransmit_IT(UART_HandleTypeDef *huart);
HAL_StatusTypeDef HAL_UART_AbortReceive_IT(UART_HandleTypeDef *huart);

```

Рисунок 2.11 – Функції HAL для вводу-виводу через USART

Таймер мікроконтролера використовується для вимірювання часу та створення задач, які повинні виконуватися через певний період. Це вбудований лічильник з програмованою швидкістю тактування, який може спричиняти переривання у випадку, коли значення лічильника співпадає з певним пороговим значенням або коли відбувається переповнення лічильника. Це потужний інструмент для виконання різноманітних завдань, таких як генерація точних інтервалів часу або керування режимами роботи пристроїв.

У мікроконтролерах STM32 використовуються 16-бітні таймери, частоту їх роботи можна налаштувати, поділивши тактову частоту шини APB на число від 1 до 65535 [21]. Лічильник таймера може працювати в режимі рахування угору або вниз до заданого програмно числа, а також може виконувати рахунок угору до певного значення, а потім вниз до 0. Використовуючи такі таймери, можна налаштовувати переривання ядра на кожному з етапів рахунку. Таймер містить різні регістри, які використовуються для налаштування його роботи та взаємодії з іншими периферійними пристроями [21]:

- 1) CNT – регістр лічильника, в ньому зберігається число, над яким робиться операція +1 чи -1;
- 2) PSC – регістр переддільника, в ньому зберігається число, на яке ділиться частота таймера відносно частоти шини;

3) ARR – реєстр, в якому зберігається число, до якого потрібно лічити, при цьому може бути налаштовано переривання по співпадінню значення в реєстрі ARR та CNT;

4) RCR – реєстр кількості повторів, в ньому записується значення кількості ітерацій лічби таймера, після яких потрібно визвати переривання.

Бібліотеки HAL містять драйвери, які автоматично налаштовують реєстри таймерів мікроконтролерів STM32. Ці драйвери дозволяють легко взаємодіяти з таймерами та налаштовувати їхню роботу за допомогою вбудованих функцій. Приклад базових функцій, що надаються драйвером таймера, можна побачити на рисунку 2.12:

```

- /** @addtogroup TIM_Exported_Functions_Group1 TIM Time Base functions
  * @brief Time Base functions
  * @{
  */
  /* Time Base functions *****/
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_Init(TIM_HandleTypeDef *htim);
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_DeInit(TIM_HandleTypeDef *htim);
  void HAL_TIM_Base_MspInit(TIM_HandleTypeDef *htim);
  void HAL_TIM_Base_MspDeInit(TIM_HandleTypeDef *htim);
  /* Blocking mode: Polling */
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_Start(TIM_HandleTypeDef *htim);
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_Stop(TIM_HandleTypeDef *htim);
  /* Non-Blocking mode: Interrupt */
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_Start_IT(TIM_HandleTypeDef *htim);
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_Stop_IT(TIM_HandleTypeDef *htim);
  /* Non-Blocking mode: DMA */
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_Start_DMA(TIM_HandleTypeDef *htim, uint32_t *pData, uint16_t Length);
  HAL_StatusTypeDef HAL_TIM_Base_Stop_DMA(TIM_HandleTypeDef *htim);

```

Рисунок 2.12 – Функції HAL для роботи з таймером STM32

RTC (годинник реального часу) має особливості у порівнянні з іншими периферійними пристроями мікроконтролера. Так, якщо всі інші пристрої отримують тактовий сигнал від системної тактової частоти або зовнішнього генератора, RTC має свій власний тактовий генератор. Внутрішній генератор RTC може працювати на частоті близько 40 кГц або використовувати зовнішній резонатор з точною частотою 32.768 кГц.

RTC має свій власний сигнал RESET, який не пов'язаний з сигналом RESET ядра мікроконтролера. Це означає, що RTC може продовжувати свою роботу навіть

коли мікроконтролер вимкнений. RTC може викликати переривання, які пробуджують мікроконтролер зі сплячого режиму [22].

RTC здатний точно відлікати час у секундах, генерувати переривання з періодом, кратним 1 секунді або в інший визначений час. Однією з особливостей RTC є те, що він має BCD лічильник з календарем, який може бути програмованим для виклику переривань в певні моменти часу.

RTC містить наступні регістри [23]:

- 1) TR – регістр часу, містить час у форматі BCD, дозволяє операцію інкременту на 1 секунду;
- 2) DR – регістр дати, містить дату у форматі BCD, дозволяє операцію інкременту на 1 добу;
- 3) CR – регістр контролю, дозволяє налаштовувати переривання, запис даних, дати, часу;
- 4) ISR - регістр ініціалізації;
- 5) PRER – регістр який змінює налаштування потрібної тактової частоти;
- 6) WUTR – регістр статусу сигналу переривання;
- 7) ALRMAR – регістр встановлення переривання на певний час, де містяться поля часу і дати, а також їх маски;
- 8) WPR – регістр заборони зміни стану RTC програмно.

У бібліотеках HAL також міститься драйвер RTC, який дозволяє просте використання реального часового годинника мікроконтролера STM32. Цей драйвер взаємодіє безпосередньо з регістрами RTC та забезпечує широкий набір функцій для роботи з RTC. Приклад базових функцій, які надаються драйвером для RTC, можна побачити на рисунку 2.13.

Для забезпечення коректної роботи генератора LSE та RTC, який використовує його як джерело потрібної частоти, необхідно використовувати зовнішній резонатор з власною частотою резонансу 32.768 кГц [21]. У якості такого резонатора часто використовується кварцовий резонатор, який широко застосовується у кварцових годинниках (рис. 2.14).

```

/* Initialization and de-initialization functions *****/
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_Init(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_DeInit(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
void HAL_RTC_MspInit(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
void HAL_RTC_MspDeInit(RTC_HandleTypeDef *hrtc);

/* Callbacks Register/UnRegister functions *****/
#if (USE_HAL_RTC_REGISTER_CALLBACKS == 1)
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_RegisterCallback(RTC_HandleTypeDef *hrtc, HAL_RTC_CallbackIDTypeDef CallbackID, RTC_CallbackTypeDef Callback);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_UnRegisterCallback(RTC_HandleTypeDef *hrtc, HAL_RTC_CallbackIDTypeDef CallbackID);
#endif /* USE_HAL_RTC_REGISTER_CALLBACKS */
/**

/** @defgroup RTC_Exported_Functions_Group2 RTC Time and Date functions
  *
  * RTC Time and Date functions *****/
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_SetTime(RTC_HandleTypeDef *hrtc, RTC_TimeTypeDef *sTime, uint32_t Format);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_GetTime(RTC_HandleTypeDef *hrtc, RTC_TimeTypeDef *sTime, uint32_t Format);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_SetDate(RTC_HandleTypeDef *hrtc, RTC_DateTypeDef *sDate, uint32_t Format);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_GetDate(RTC_HandleTypeDef *hrtc, RTC_DateTypeDef *sDate, uint32_t Format);

/* RTC Daylight Saving Time functions *****/
void HAL_RTC_DST_Add1Hour(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
void HAL_RTC_DST_Sub1Hour(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
void HAL_RTC_DST_SetStoreOperation(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
void HAL_RTC_DST_ClearStoreOperation(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
uint32_t HAL_RTC_DST_ReadStoreOperation(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
/**

/** @defgroup RTC_Exported_Functions_Group3 RTC Alarm functions
  *
  * RTC Alarm functions *****/
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_SetAlarm(RTC_HandleTypeDef *hrtc, RTC_AlarmTypeDef *sAlarm, uint32_t Format);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_SetAlarm_IT(RTC_HandleTypeDef *hrtc, RTC_AlarmTypeDef *sAlarm, uint32_t Format);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_DeactivateAlarm(RTC_HandleTypeDef *hrtc, uint32_t Alarm);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_GetAlarm(RTC_HandleTypeDef *hrtc, RTC_AlarmTypeDef *sAlarm, uint32_t Alarm, uint32_t *pAlarmStatus);
void HAL_RTC_AlarmIRQHandler(RTC_HandleTypeDef *hrtc);
HAL_StatusTypeDef HAL_RTC_PollForAlarmEvent(RTC_HandleTypeDef *hrtc, uint32_t Timeout);
void HAL_RTC_AlarmAEventCallback(RTC_HandleTypeDef *hrtc);

```

Рисунок 2.13 – Функції HAL для налаштування RTC



Рисунок 2.14 – Кварцовий резонатор кварц 32.768 кГц

У мікроконтролері STM32F030C6T6 виводи 3 (PC14-OSC32_IN) та 4 (PC15-OSC32_OUT) використовуються як входи для підключення резонатора. Схема підключення резонатора показана на рисунку 2.15. Згідно рекомендацій, для підключення конденсаторів C1 та C5, що забезпечують стабільну роботу

резонатора, рекомендується використовувати конденсатори з ємністю від 5 до 20 пФ.

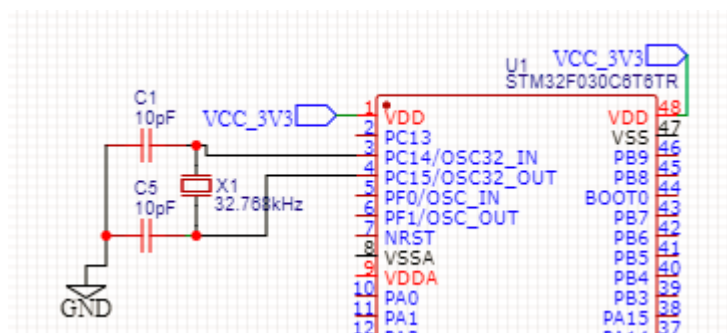


Рисунок 2.15 – Схема приєднання кварцу

У комп'ютерних системах, включаючи мікроконтролери, існують зовнішні та внутрішні переривання. Внутрішні переривання мікроконтролера включають в себе як переривання ядра, такі як винятки, так і переривання від внутрішньої периферії [24]. Винятком може бути, наприклад, відповідь процесорного ядра на неправильну інструкцію (невідомий код операції), або на спробу ділення на нуль, або на системний виклик. Перериванням внутрішньої периферії може бути сигнал від таймерів або від різних внутрішніх інтерфейсів. Зовнішні переривання - це переривання, що надходять на порти мікроконтролера ззовні.

Роботу з усіма перериваннями, включаючи їх маскування, встановлення пріоритетів, а також їх активацію та деактивацію, керує окремий пристрій, вбудований у ядро мікроконтролера STM32F0, відомий як NVIC (Nested Vectored Interrupt Controller). Контролер NVIC має 32 канали які можна маскувати (на відміну від 16 векторів переривань, які є частиною ядра ARM Cortex M0), 4 програмованих рівні пріоритетів і здатен обробляти переривання з низькою затримкою. Крім того, він дозволяє контролювати живлення мікроконтролера.

В адресному просторі мікроконтролера STM32F0 є таблиця векторів, що розпочинається з адреси 0x0000 0000, на яку може бути налаштована або внутрішня flash пам'ять, або внутрішня SRAM. Кожен вектор є 32-бітним та містить значення

вказівника на процедуру, яку слід виконати після обробки переривання. Кожна директива ".word" вставляє 32-бітне число, яке має бути адресою процедури або 0.

```

.section .isr_vector,"a",%progbits
.type g_pfnVectors, %object
.size g_pfnVectors, .-g_pfnVectors

g_pfnVectors:
.word _estack
.word Reset_Handler
.word NMI_Handler
.word HardFault_Handler
.word 0
.word 0
.word 0
.word 0
.word 0
.word 0
.word SVC_Handler
.word 0
.word 0
.word PendSV_Handler
.word SysTick_Handler
.word WWDG_IRQHandler          /* Window WatchDog          */
.word 0                       /* Reserved                  */
.word RTC_IRQHandler          /* RTC through the EXTI line */
.word FLASH_IRQHandler        /* FLASH                     */

```

Рисунок 2.16 – Фрагмент прикладу реалізації таблиці векторів переривань

Для взаємодії з перериваннями за допомогою контролера NVIC використовуються певні функції, які надає бібліотека HAL. Ці функції дозволяють налаштувати, активувати та обробляти переривання. Вони забезпечують зручний інтерфейс для роботи з системою переривань і дозволяють програмістам працювати з ними на вищому рівні абстракції, не займаючись напряму низькорівневими деталями архітектури мікроконтролера [21].

Виключення ядра, як правило, активуються за замовчуванням, тобто вони спрацьовують автоматично при виникненні певних подій, таких як поділ на нуль або виклик системного запиту. Щодо переривань внутрішньої периферії, їх слід налаштувати як під час налаштування самої периферії, так і під час налаштування контролера переривань. Щодо зовнішніх переривань, вони керуються окремими регістрами контролера NVIC, які утворюють розширений контролер переривань.

```

/* Initialization and de-initialization functions *****/
void HAL_NVIC_SetPriority(IRQn_Type IRQn, uint32_t PreemptPriority, uint32_t SubPriority);
void HAL_NVIC_EnableIRQ(IRQn_Type IRQn);
void HAL_NVIC_DisableIRQ(IRQn_Type IRQn);
void HAL_NVIC_SystemReset(void);
uint32_t HAL_SYSTICK_Config(uint32_t TicksNumb);
/**

/** @addtogroup CORTEX_Exported_Functions_Group2 Peripheral Control functions

/* Peripheral Control functions *****/
uint32_t HAL_NVIC_GetPriority(IRQn_Type IRQn);
uint32_t HAL_NVIC_GetPendingIRQ(IRQn_Type IRQn);
void HAL_NVIC_SetPendingIRQ(IRQn_Type IRQn);
void HAL_NVIC_ClearPendingIRQ(IRQn_Type IRQn);
void HAL_SYSTICK_CLKSourceConfig(uint32_t CLKSource);
void HAL_SYSTICK_IRQHandler(void);
void HAL_SYSTICK_Callback(void);

```

Рисунок 2.17 – Функції управління перериваннями за допомогою HAL

У випадку управління дозиметром необхідно отримувати дані через USART, отримуючи відповідь від модуля SIM7600G. Для цього можна скористатися внутрішніми перериваннями, які виникають від інтерфейсу USART. Щоб виміряти кількість сигналів від трубки Гейгера за одиницю часу, можна обчислити кількість зовнішніх переривань, які відбулися.

Для програмування мікроконтролера STM32F030C6T6 можна користуватися набором крос-компіляторів GCC, який підтримує архітектуру ARM Cortex M0. Цей компілятор використовується у таких середовищах розробки, як STM32CubeIDE, яке розроблене компанією STMicroelectronics. STM32CubeIDE базується на програмному середовищі Eclipse, яке є популярним середовищем для розробки вбудованих систем. Однією з особливостей STM32CubeIDE є можливість автоматично згенерувати початковий код для налаштування різних параметрів периферійних пристроїв, включаючи швидкість їх роботи [25].

Формат CSV (Comma-Separated Values) використовується для обміну даними між різними програмами. У CSV-файлах значення розділяються комами. Для збереження CSV-файлів можна використовувати різні програми, такі як Google Таблиці або LibreOffice Calc. Однак, варто зауважити, що CSV-файли, створені в Microsoft Excel, можуть не відповідати загальноприйнятому формату, оскільки вони можуть використовувати специфічне кодування операційної системи (наприклад, Windows-1251 замість UTF-8) та інші роздільники, такі як крапка з комою замість звичайної коми.

JSON (JavaScript Object Notation) та XML (eXtensible Markup Language) - це формати, які використовуються для зберігання структурованих даних у вигляді ієрархічних об'єктів або дерев. Вони часто використовуються для передачі даних в мережі Інтернет.

Наприклад, український портал spending.gov.ua надає доступ до звітності та договорів, які можна оприлюднити на data.gov.ua, і ці дані часто представлені у форматі JSON або XML. Такі ж формати використовуються у системах, які ведуть інформацію про закупівлі (наприклад, Prozorro), у Інспекційному порталі, а також у Єдиному державному реєстрі юридичних осіб, фізичних осіб-підприємців та громадських формувань.

API (Application Programming Interface) - це інтерфейс, який дозволяє програмам взаємодіяти одна з одною. У відкритих даних термін «API» вказує на спеціальні функції веб-сервісів, які дозволяють автоматично оприлюднювати набори даних без необхідності прямого втручання користувача [28].

Для отримання даних через API найчастіше використовуються запити у форматі гіперпосилань. Наприклад, щоб отримати перелік договорів Виконавчого комітету Запорізької міської ради з Єдиного веб-порталу використання публічних фінансів, можна скористатися відповідним посиланням.

Для реалізації обміну даними в проєкті найбільше підходить JSON або XML. Якщо планується зберігання різних типів даних з великою кількістю змінних, то XML є кращим варіантом. Мова XML ефективніше перевіряє помилки в складних даних, ніж формат JSON, оскільки XML спрямований на зберігання даних у

машинному вигляді. Крім того, у нього є більш розширений набір інструментів і бібліотек, і він може краще працювати з застарілими системами.

Проте JSON розроблений для обміну даними і забезпечує більш простий та лаконічний формат. Це також підвищує продуктивність та швидкість зв'язку. Зазвичай JSON краще підходить для API, мобільних додатків та сховищ даних, у той час як XML використовується для складних структур документів, які потребують обміну даними.

JSON є більш практичним форматом для використання в системі моніторингу радіації, оскільки він простіший у використанні, частіше використовується у вбудованих системах і дозволяє передавати дані з конкретним типом.

2.5 Інструменти розробки серверної частини

Серверна частина системи радіаційного моніторингу відповідає за збір та зберігання даних, а також може передавати їх клієнтській частині при необхідності. Зазвичай, коли маємо справу з великою кількістю пристроїв, краще використовувати чергу для обробки кожного повідомлення. Проте важливо забезпечувати ефективне керування цією чергою та намагатися зменшити її розмір.

Кожен пристрій, або дозиметр, є автономним, тому його живлення може здійснюватися за допомогою батареї. Однак, основні витрати енергії спрямовані на роботу з мережею та віддалене з'єднання з сервером для передачі повідомлень. Для максимально швидкого приєднання пристрою до сервера через TCP необхідно, щоб сервер реагував на запити на з'єднання миттєво. Тому сервер повинен бути максимально продуктивним, що означає, що код сервера має бути написаний ефективно та використовувати швидкодіючі бібліотеки.

Обрана мова програмування має підтримувати високошвидкісні операції з мережею, роботу з базами даних та операції зі складними структурами даних. Вибрані інструменти розробки повинні бути легко переносимі з однієї апаратної платформи на іншу, щоб забезпечити гнучкість системи.

При розробці серверної частини системи радіаційного моніторингу, бажано використовувати мову програмування, яка відповідає вимогам до ефективності, масштабованості та гнучкості. Одним з оптимальних варіантів для цього є мова C++, яка відома своєю високою продуктивністю та можливістю побудови масштабованих систем.

Мова програмування C++ дозволяє розробляти швидкодіючі додатки та використовувати різноманітні бібліотеки та інструменти для обробки та збереження інформації. Вона є популярною у сфері вбудованих систем, а також має широку підтримку на різних апаратних платформах, що робить її відмінним вибором для реалізації серверної частини системи радіаційного моніторингу [30].

Серед особливостей мови C++ слід виділити:

- висока продуктивність. C++ компілюється в машинний код, що забезпечує високу швидкість виконання програм. Це робить C++ ідеальним вибором для розробки системного програмного забезпечення, ігрових двигунів та інших ресурсомістких програм;
- контроль над пам'яттю. C++ надає ручний контроль над динамічною пам'яттю. Це дозволяє оптимізувати використання пам'яті та уникати витоків пам'яті, що є важливим для ресурсомістких програм;
- багатоплатформність. C++-код може бути компільований та виконуватися на різних операційних системах та апаратних платформах;
- гнучкість: C++ підтримує широкий спектр типів даних, операторів та бібліотек, що робить його гнучким інструментом для вирішення різних задач.

У пошуку найкращого інструменту для розробки дуже важливо знайти такий, який не лише задовольняє ваші поточні потреби, а й забезпечує можливість розвитку і масштабування вашого проекту. Існує значна кількість інструментів та фреймворків для розробки на мові програмування C++, і кожен з них має свої особливості та переваги.

Серед цих інструментів можна виділити такі, як WTL (Windows Template Library), Boost, Reason, Qt та LibU, кожен з яких має свій спектр можливостей та призначення. Для обрання найбільш підходящого інструменту варто провести

докладний аналіз їхніх характеристик та співвідношення з вимогами до серверної частини вашого проекту. Такий огляд можна знайти в таблиці 2.1, де наведено порівняння різних фреймворків з точки зору їхньої відповідності до визначених вимог [31].

Таблиця 2.1 – Огляд відомих фреймворків з підтримкою мови C++

	WTL	Boost	Reason	Qt	LibU
Кросплатформеність	-	+	+	+	+
Підтримка мережевих з'єднань	-	-	+	+	+
Робота з базами даних	-	-	+	+	-
Алгоритми і структури даних	+	+	+	+	+
Аналіз і формування JSON повідомлень	-	+	-	+	-
Власне середовище розробки	-	-	-	+	-

Для розробки серверної частини системи було обрано Qt як фреймворк. Qt - це кросплатформений інструмент для програмного забезпечення на мові C++, який володіє великим набором функцій та можливостей. Його бібліотеки дозволяють розробляти програми, які працюють на більшості сучасних операційних систем, забезпечуючи при цьому високу продуктивність і швидкість розробки.

Однією з переваг Qt є його потужне середовище розробки - Qt Creator, яке надає зручні інструменти для створення, налагодження та тестування програм. Це інтегроване середовище дозволяє ефективно працювати з проектами на основі Qt, забезпечуючи швидку розробку і зручний інтерфейс для програмістів.

У сучасних серверних системах, де великі обсяги складних даних вимагають керування, використовується Система Керування Базами Даних (СКБД) для оптимізації обробки цих даних. СКБД дозволяє ефективно керувати пошуком, сортуванням, збереженням та видачею інформації.

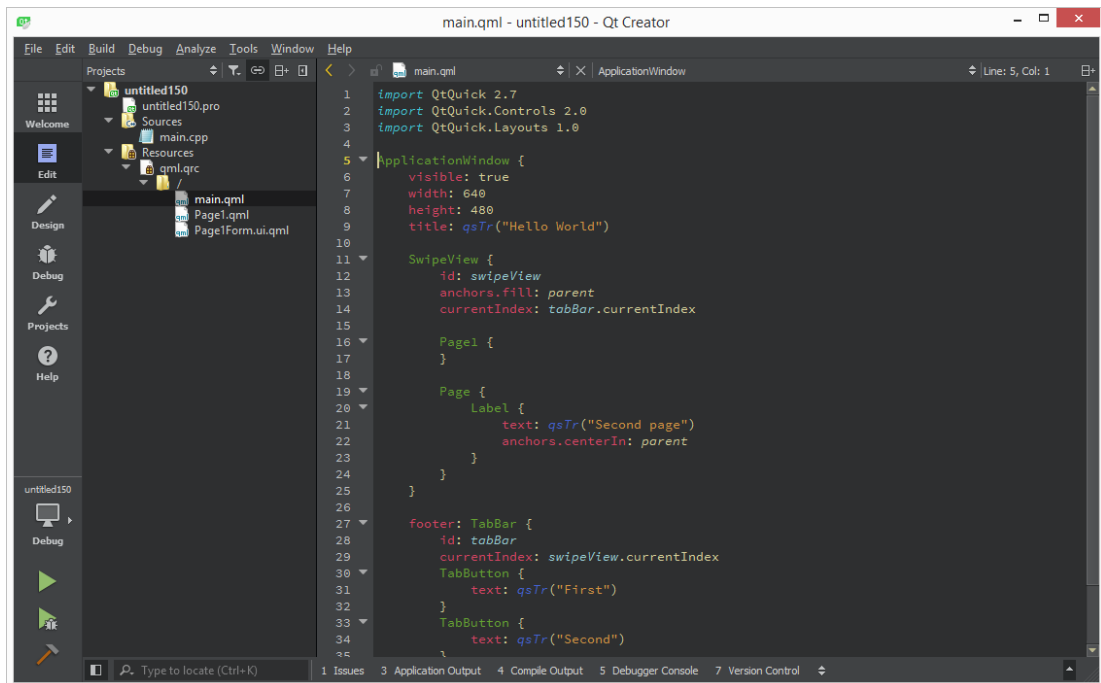


Рисунок 2.19 – Вікно інтерфейсу Qt Creator

Одним з найпоширеніших мов запитів для роботи з реляційними базами даних є мова структурних запитів (SQL). Використання SQL спрощує взаємодію з базою даних, дозволяючи виконувати різноманітні операції, такі як вибірка, вставка, оновлення та видалення даних. Оскільки більшість реляційних СКБД підтримують мову SQL, систему можна легко переносити з однієї СКБД на іншу, що робить вибір конкретної СКБД менш принциповим. Такий підхід дозволяє розробникам вибирати СКБД відповідно до конкретних потреб проекту чи умов.

У даному проєкті, де потрібно швидко зберігати дані з дозиметрів, проводити швидкий пошук за певним проміжком часу та відправляти ці дані для подальшої обробки та відображення клієнту, важливо мати ефективні можливості для роботи з базою даних. У зв'язку з цим обрання полегшеної СКБД, яка має обмежений, але достатній функціонал SQL, може бути доцільним варіантом. Такий підхід дозволить забезпечити швидку та ефективну роботу з даними, не перевантажуючи систему надмірним функціоналом бази даних.

Для серверної частини розробки обрано реляційну СКБД SQLite. Ця база даних відома своєю простотою та легкістю використання і втілена у вигляді бібліотеки, що інтегрується з багатьма відкритими проєктами. Більше того, SQLite

підтримується на рівні фреймворка Qt, що полегшує роботу з ним у контексті проєкту. Одним з важливих переваг SQLite є його ліцензія, яка дозволяє використовувати цю базу даних у будь-яких проєктах для будь-яких цілей безкоштовно, оскільки вона розповсюджується як суспільне надбання. Такий вибір забезпечить ефективну та надійну роботу серверної частини системи радіаційного моніторингу без значних витрат на ліцензії або складність впровадження.

2.6 Інструменти розробки клієнтської частини

В якості платформи для розробки клієнтської частини було обрано операційну систему та платформу Android. На момент написання цієї роботи, Android є однією з найпопулярніших операційних систем як в Україні, так і у всьому світі [32]. Основною мовою програмування для Android вважається Java, оскільки платформа надає віртуальну машину JVM для виконання користувацьких програм. Основною метою ОС Android є створення незалежного від апаратного забезпечення інтерфейсу взаємодії з пристроями та виконання програм на віртуальній машині. Також, для розробки на Android надаються різноманітні інструменти, включаючи набір компіляторів для JVM з бібліотеками, а також середовище розробки Android Studio, інтерфейс якого зображено на рисунку 2.20. Саме ці інструменти було обрано для використання у даній роботі.

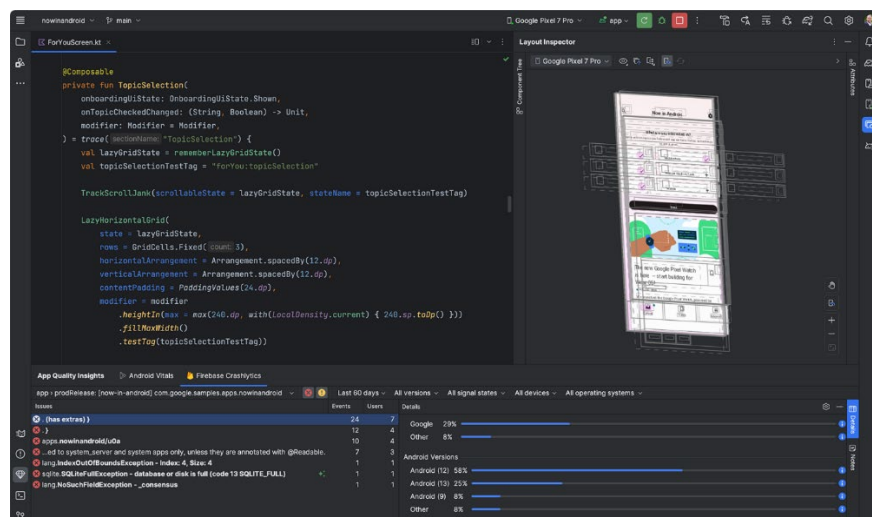


Рисунок 2.20 – Вікно інтерфейсу Android Studio

2.7 Висновки

У даному розділі проведено огляд та аналіз компонентів, методів та існуючих рішень, необхідних для успішної реалізації дипломного проєкту. Розглянуті наступні завдання:

- обрано метод, за допомогою якого слід проводити дозиметричні вимірювання;
- був проведений аналіз засобів мобільного зв'язку, та було обрано модуль мобільної передачі даних SIM7600G. Цей модуль може використовуватися для забезпечення зв'язку з сервером, а також для отримання координат пристроїв;
- був проведений ретельний аналіз можливостей модуля SIM7600G та розглянуто методи, які слід використовувати для роботи з ним;
- на основі аналізів і вимог до функціональності, необхідної для управління модулем SIM7600G та роботи з іонізаційною камерою, був обраний мікроконтролер STM32F030C6T6 з необхідною периферією;
- після аналізу необхідної периферії мікроконтролера, механізмів роботи з нею та її налаштувань, були обрані необхідні програмні засоби для взаємодії, зокрема, бібліотеки HAL, розроблені компанією STMicroelectronics;
- проведено аналіз інструментів розробки серверної частини, обрано фреймворк Qt для розробки серверної частини;
- обрано реляційну СКБД SQLite для маніпуляції даними;
- обрано платформу, для якої розробляти клієнтський додаток, та засоби розробки для нього;
- було зібрано необхідні дані для створення прототипу системи радіаційного моніторингу, включаючи дані щодо вимог до апаратної та програмної частини системи, аналіз можливих рішень та вибір оптимальних компонентів.

3 РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

3.1 Визначення структури кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону

Під час огляду було зібрано всю необхідну інформацію про технології, методи та інструменти, які можуть бути використані в системах радіаційного моніторингу. На основі цього аналізу було обрано відповідні компоненти для реалізації системи.

Метою проекту є розробка масштабованої системи радіаційного моніторингу, яка дозволить проводити мобільні дозиметричні вимірювання. Цю систему можна буде легко інтегрувати в інфраструктуру сучасного міста з мінімальними витратами.

За вибраними технологіями та інструментами було розроблено структурну схему системи, яку можна переглянути у Додатку 1. Основна структура системи базується на трьох компонентах: дозиметрі, серверній та клієнтській частинах.

Дозиметр використовує лічильник Гейгера з іонізаційною камерою для вимірювання дози. Він також взаємодіє з Інтернетом через модуль SIM7600G, щоб отримувати координати та передавати дані. Дозиметр генерує дані у форматі JSON, який часто використовується в еMBEDованих системах для передачі інформації. Сервер отримує дані в форматі JSON через TCP з'єднання від дозиметра та зберігає їх у вигляді SQL-структури у базі даних, яка працює на СКБД SQLite. На запити клієнта сервер формує відповідь з даними з бази даних, які також надсилаються у форматі JSON. Клієнт використовує отримані дані - координати, дозу та час - для відображення їх на карті. Карта формується за допомогою сервісів Google Cloud, що дозволяє інтерактивно відображати роботу системи.

3.2 Розробка дозиметра

Відповідно до архітектури системи, представленої в Додатку А, дозиметр складається з модуля SIM7600G, мікроконтролера STM32F030C6T6 та трубки Гейгера. Усі ці компоненти повинні взаємодіяти між собою через різні шини передачі даних. Для забезпечення їх коректної взаємодії було розроблено принципову електричну схему дозиметра.

На електричній принциповій схемі знаходиться акумулятор U5, який забезпечує живлення дозиметра. Акумулятор можна заряджати від зовнішнього джерела живлення DD2 через USB шину. Живлення від акумулятора подається на мікросхему DA1 (MIC5205), яка виконує функцію регулятора напруги для мікроконтролера U1 (STM32F030C6T6). MIC5205 є високоефективним лінійним регулятором напруги з низьким рівнем шуму, розробленим для живлення різних пристроїв від акумуляторів [35]. У цьому проєкті використовується модифікація MIC5205 під назвою MIC5205-3.3YM5-TR, яка забезпечує вихідну напругу 3.3 В при живленні від літій-іонного акумулятора, що необхідно для живлення мікроконтролера [35]. Конденсатори C4 та C6 встановлюються відповідно до рекомендацій документації на MIC5205.

Також для функціонування плати необхідно забезпечити напругу 400 В для трубки Гейгера [11]. Для цього використовується блок живлення, що складається з генератора та підвищувального трансформатора. Для проміжного підвищення напруги від акумулятора до 5 В використовується boost-конвертер U4.

Boost-конвертер - це пристрій комутаційного режиму, який підвищує напругу. Він складається з генератора імпульсів, транзисторного ключа та котушки. Конвертер використовує енергію, яка зберігається у магнітному полі котушки під час проходження через неї імпульсного струму. При зміні струму в котушці виникає магнітне поле, зміна якого породжує електричний струм самоіндукції з вищою напругою, яка накопичується на конденсаторі. Рисунки 3.1 та 3.2 ілюструють процес роботи boost-конвертера.

Зазвичай Boost-конвертери розробляються таким чином, щоб на вході приймати нестабільну напругу акумулятора, а на виході видавати стабільну напругу 5В [36]. У цьому проєкті Boost-конвертер використовується як проміжний пристрій, що підвищує напругу до 5В. Для подальшого підвищення стабільної напруги 5В до 400В використовується інший конвертер з подібним механізмом, але з додатковим принципом збудження індукції у вторинній обмотці трансформатора. Завдяки різним індуктивностям обмоток (різній кількості витків) у трансформаторі досягається значне збільшення напруги [37]. Усі підвищуючі напругу пристрої для реалізації цього проєкту було вирішено використовувати готовими.

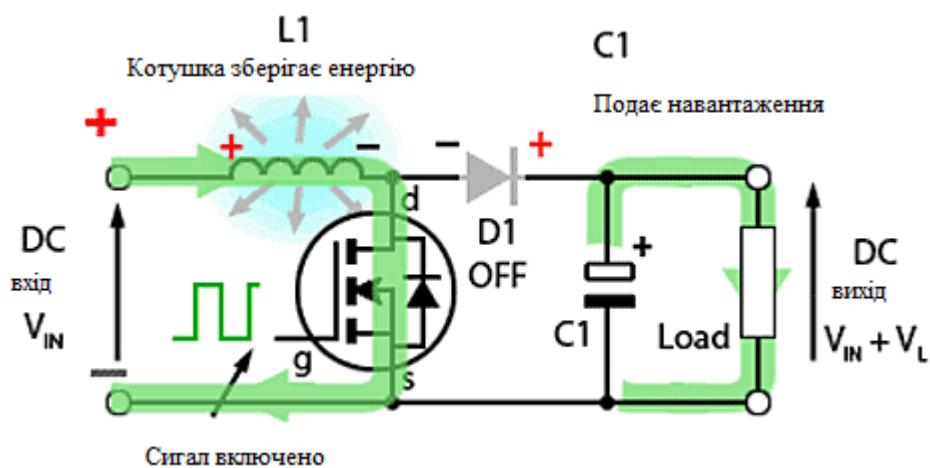


Рисунок 3.1 – Boost конвертер, подача імпульсу [36]

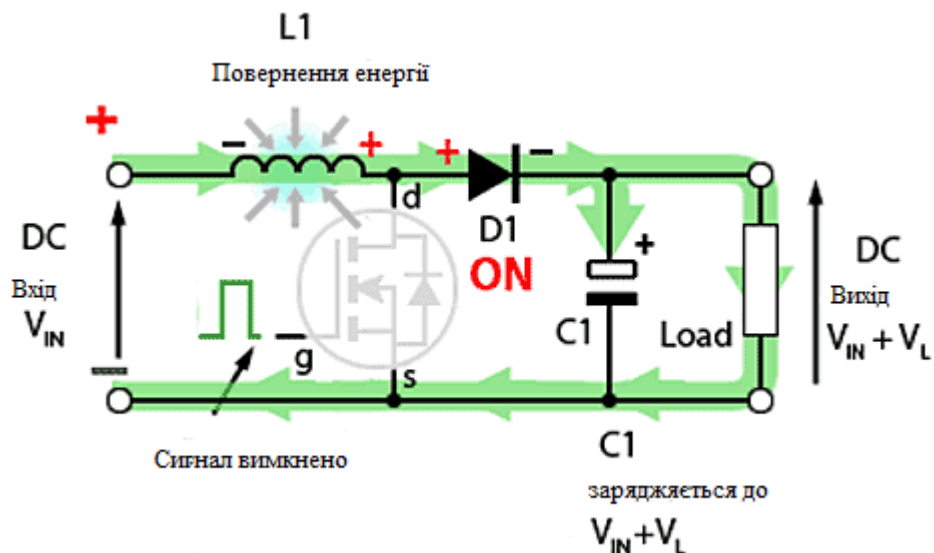


Рисунок 3.2 – Boost конвертер, подача імпульсу вимкнена [36]

Таким чином, на електричній принциповій схемі є елемент U4 - Boost-конвертер, який живить конвертер U3 DC-DC. На виході цього конвертера отримується напруга 400В, що є блоком живлення для трубки Гейгера. Струм виходу живлення трубки обмежується резистором R5, щоб уникнути зміни складу газової суміші через великий струм. Цей резистор підключений до аноду трубки. Результуючий сигнал надходить з катоду трубки, коли газова суміш іонізується і створюється самостійний газовий розряд. Для фільтрації сигналу від короткочасних перешкод, таких як радіосигнали або сигнали від інших частин схеми, використовується конденсатор C3. Сигнал на виході з C3, що проходить через резистор R4, є занадто слабким для виявлення мікроконтролером, тому його підсилює транзистор Q1. Резистори R4 і R3 розряджають конденсатор C3 у відсутності сигналу. Резистор R3 утримує транзистор у закритому положенні за замовчуванням. В результаті, сигнал з трубки надходить на лінію PB0 мікроконтролера U1 (STM32F030C6T6).

Для розрахунку дози необхідно визначити тривалість, протягом якої було зафіксовано певну кількість сигналів. Для вимірювання цієї тривалості використовується вбудований в мікроконтролер годинник реального часу. Для його коректної роботи застосовується годинниковий кварцовий резонатор X1 та конденсатори C1 і C5 .

Модуль SIM7600G підключається до роз'єму P1 і отримує живлення безпосередньо від акумулятора. Для зв'язку з модулем використовується шина USART, позначена на схемі лініями SIMMODULE_TX та SIMMODULE_RX. До шини PB1 також підключено світлодіод для індикації різних сигналів, зокрема сигналів від трубки Гейгера.

3.3 Розробка вбудованого програмного забезпечення

Для розробки вбудованого програмного забезпечення (ПЗ) було налаштовано інструмент STM32CubeIDE, який використовується для генерації коду завантажувача, векторів переривань та ініціалізації внутрішньої периферії

мікроконтролера. У конфігураторі інструменту було встановлено виводи мікроконтролера, які використовуються для керування зовнішньою периферією, як показано на рисунку 3.3

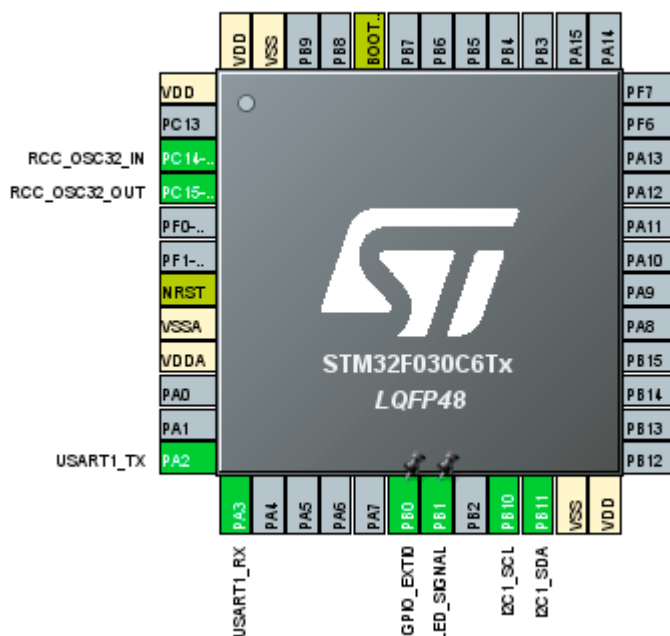


Рисунок 3.3 – Налаштування необхідних виводів мікроконтролера

Для роботи внутрішньої периферії необхідно активувати її тактування. За замовчуванням в мікроконтролерах STM32 працюють лише пам'ять та ядро для економії енергії. Тактування периферії було налаштовано відповідно до схеми на рисунку 3.4

Налаштовано тактування годинника реального часу (RTC) від генератора на 32.768 КГц із зовнішнім резонатором, підключеним до плати мікроконтролера. Уся інша периферія налаштована на роботу від внутрішнього генератора з частотою 8 МГц. Таким чином, шина APB та внутрішня периферія, а також шина ANB і ядро мікроконтролера тактуються з частотою 8 МГц.

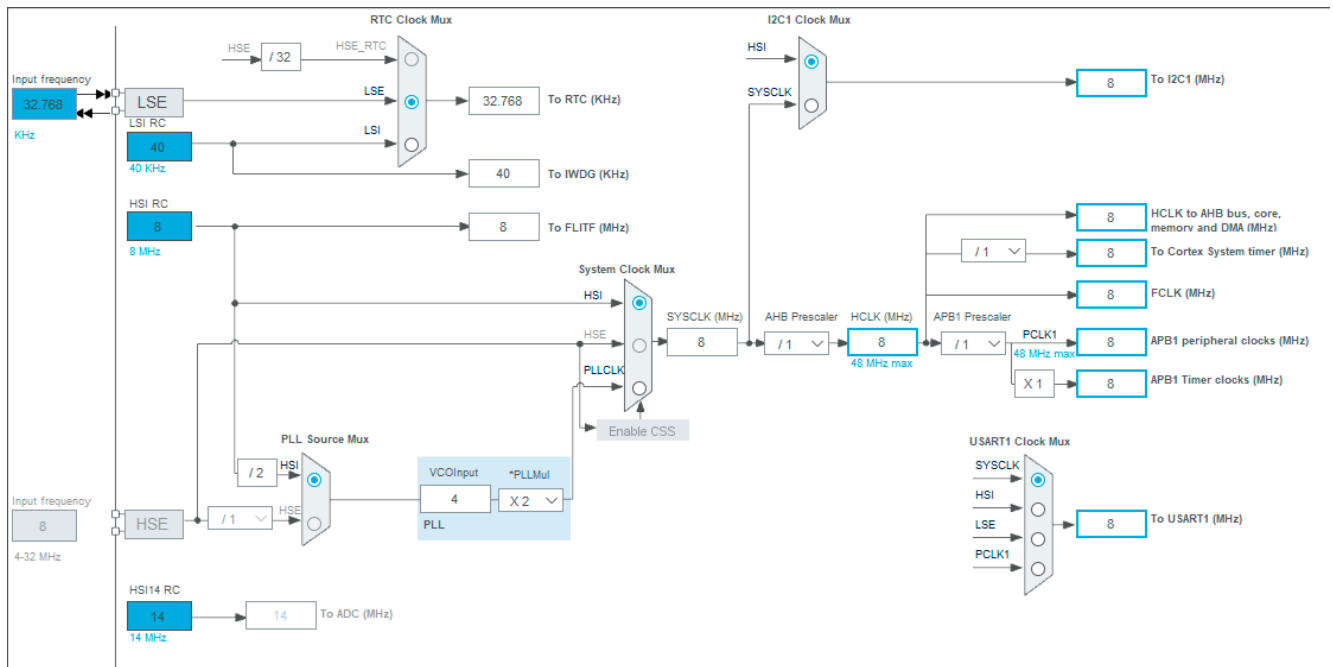


Рисунок 3.4 – Налаштування тактування периферії

Створено програмний код, який відслідковує сигнали з трубки Гейгера. Були ініціалізовані відповідні лінії зв'язку, як це продемонстровано на рисунку 3.5. Один з цих каналів управляє світлодіодом, а інший - приймає сигнали від трубки Гейгера.

```

/*Configure GPIO pin Output Level */
HAL_GPIO_WritePin(LED_SIGNAL_GPIO_Port, LED_SIGNAL_Pin, GPIO_PIN_RESET);

/*Configure GPIO pin : PB0 */
GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_0;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_IT_RISING;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);

/*Configure GPIO pin : PtPin */
GPIO_InitStruct.Pin = LED_SIGNAL_Pin;
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
HAL_GPIO_Init(LED_SIGNAL_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);

/* EXTI interrupt init*/
HAL_NVIC_SetPriority(EXTI0_1_IRQn, 0, 0);
HAL_NVIC_EnableIRQ(EXTI0_1_IRQn);

```

Рисунок 3.5 – Налаштування переривання з трубки Гейгера та виводу сигналу

Коли виникає переривання від трубки Гейгера, спрацьовує вектор таблиці переривань, який має назву EXTI0_1_IRQHandler. Цей вектор переривань викликає функцію бібліотеки HAL, яка, у свою чергу, викликає функцію HAL_GPIO_EXTI_Callback та передає номер зовнішнього переривання, як показано на рисунку 3.6. Функція HAL_GPIO_EXTI_Callback викликає код для лічильника Гейгера, де збільшується значення лічильника під час переривання, а також виконуються інші операції, такі як розрахунок дози за визначеним за допомогою RTC часом.

```

/**
 * @brief EXTI line detection callback.
 * @param GPIO_Pin Specifies the port pin connected to corresponding EXTI line.
 * @retval None
 */
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
    if(GPIO_Pin == GPIO_PIN_0) {
        // geiger counter
        geiger_counter_int_callback();
        signal_geiger_counter_int = true;
    }
}

```

Рисунок 3.6 – Переривання EXTI визиває функцію HAL_GPIO_EXTI_Callback

Був розроблений драйвер для модуля SIM7600G, для чого було налаштовано шину USART на необхідну швидкість та інші параметри, що відповідають налаштуванням USART модуля SIM7600G, а також виведено її на потрібні лінії зв'язку, як показано на рисунку 3.7. Для передачі даних по USART використовувався DMA контролер, що дозволяє периферії USART отримувати прямий доступ до пам'яті мікроконтролера. Це дозволяє передачі даних по USART відбуватися одночасно з виконанням інших завдань ядра мікроконтролера. Налаштування DMA контролера для передачі по USART та налаштування переривання USART для отримання даних також показано на рисунку 3.7. Для отримання даних по USART використовуються переривання і обробка безпосередньо ядром, оскільки довжина отриманого повідомлення заздалегідь

невідомо. На рисунку 3.7 також показана ініціалізація переривання USART за допомогою контролера NVIC. USART1_IRQHandler вектор слугує для обробки цього переривання. Завдяки йому отримується повідомлення про те, що було отримано 8-бітове повідомлення. Прапор USART_ISR_RXNE в регістрі статусу можна перевірити в цьому випадку, а отримані дані записуються в регістр RDR і можуть бути зчитані у масив.

```

huart1.Instance = USART1;
huart1.Init.BaudRate = 115200;
huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
huart1.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
huart1.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
.....

/* USART1_TX Init */
hdma_usart1_tx.Instance = DMA1_Channel2;
hdma_usart1_tx.Init.Direction = DMA_MEMORY_TO_PERIPH;
hdma_usart1_tx.Init.PeriphInc = DMA_PINC_DISABLE;
hdma_usart1_tx.Init.MemInc = DMA_MINC_ENABLE;
hdma_usart1_tx.Init.PeriphDataAlignment = DMA_PDATAALIGN_BYTE;
hdma_usart1_tx.Init.MemDataAlignment = DMA_MDATAALIGN_BYTE;
hdma_usart1_tx.Init.Mode = DMA_NORMAL;
hdma_usart1_tx.Init.Priority = DMA_PRIORITY_LOW;
if (HAL_DMA_Init(&hdma_usart1_tx) != HAL_OK)

.....

/* USART1 interrupt Init */
HAL_NVIC_SetPriority(USART1_IRQn, 0, 0);
HAL_NVIC_EnableIRQ(USART1_IRQn);

```

Рисунок 3.7 – Налаштування USART для зв'язку з модулем SIM7600G

Розроблений драйвер для SIM модуля взаємодіє з функціями HAL шини USART, відправляючи команди в SIM модуль та обробляючи отримані відповіді через всі можливі переривання шини USART. Управління цим драйвером здійснюється, як показано на рисунку 3.8

```

// verify if SIM CARD is ready
SIMC("AT+CPIN?");
SIM_NOVALUE("READY") {
    // not ready
    return false;
}
// verify NET registration
SIMC("AT+CREG?");
SIM_NOVALUE("CREG") {
    // should be +CREG: 0,1
    return false;
},

```

Рисунок 3.8 – Інтерфейс зв'язку з модулем SIM7600G

Розроблене ПЗ для керування дозиметром не використовує операційну систему для планування виконання задач. Натомість вона використовує метод мультипрограмування, що передбачає одночасне виконання операцій вводу-виводу (через обробників переривань) та користувацької програми (драйверів). Для планування завдань використовується RTC та його переривання для розрахунку необхідного часу, а також власний код, що управляє режимами роботи мікроконтролера.

За замовчуванням код переводить мікроконтролер у сплячий режим для енергозбереження, і лише в разі отримання переривання від RTC розраховує проміжки часу. По завершенню певного проміжку він запускає виконання конкретного завдання. RTC налаштований таким чином, щоб видавати переривання кожну секунду, як показано на рисунку 3.9

```

sAlarm.AlarmTime.Hours = 0;
sAlarm.AlarmTime.Minutes = 0;
sAlarm.AlarmTime.Seconds = 0;
sAlarm.AlarmTime.SubSeconds = 0;
sAlarm.AlarmTime.DayLightSaving = RTC_DAYLIGHTSAVING_NONE;
sAlarm.AlarmTime.StoreOperation = RTC_STOREOPERATION_RESET;
sAlarm.AlarmMask = RTC_ALARMMASK_ALL;
sAlarm.AlarmSubSecondMask = RTC_ALARMSUBSECONDMASK_ALL;
sAlarm.AlarmDateWeekDaySel = RTC_ALARMDATEWEEKDAYSEL_DATE;
sAlarm.AlarmDateWeekDay = 1;
sAlarm.Alarm = RTC_ALARM_A;
if (HAL_RTC_SetAlarm_IT(&hrtc, &sAlarm, RTC_FORMAT_BIN) != HAL_OK)
    .....

/* USER CODE END RTC_MspInit 0 */
/* RTC clock enable */
__HAL_RCC_RTC_ENABLE();

/* RTC interrupt Init */
HAL_NVIC_SetPriority(RTC_IRQn, 0, 0);
HAL_NVIC_EnableIRQ(RTC_IRQn);

```

Рисунок 3.9 – Налаштування RTC для забезпечення переривання щосекунди

Основна програма використовує RTC для вимірювання відрізків часу. Кожні 40 секунд вона обчислює дозу радіації за хвилину в нормалізованих одиницях за годину (НЗв/год). Щонайменше кожні 60 секунд дозиметр встановлює з'єднання з сервером і передає дані, які конвертуються у формат JSON. Інформація, яка передається на сервер, систематизується у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані, що дозиметр передає на сервер

Дані	Тип даних	Назва даних
Назва пристрою	рядок	dev_id
Дані GPS	рядок	GPS
Виміряна остання доза (НЗв/год)	ціле число	NanoSv
Час роботи дозиметра в секундах	ціле число	uptime_s
Тип клієнту	перелік	client
Чи потрібне збереження в БД	логічний	Dbsave

Алгоритм роботи ПЗ наступний:

- 1) запуск периферії;
- 2) отримання інформації про сервер з внутрішньої пам'яті;
- 3) перевірка наявності SIM карти;
- 4) реєстрація в мобільній мережі;
- 5) налаштування GPS;
- 6) відключити ядро та чекати сигналу від RTC;
- 7) якщо пройшло 40 секунд – запуск 9;
- 8) якщо пройшло 60 секунд – запуск 10 інакше повернутись на 6;
- 9) розрахунок дози, повернутись до 6;
- 10) сформувані дані у JSON;
- 11) з'єднання з сервером;
- 12) передача даних;

- 13) від'єднатись від сервера;
- 14) повернутись на б.

3.4 Розробка серверної частини

Для розробки серверної частини було налаштовано інструмент Qt Creator. Використано можливості інструмента Qt та його бібліотек. Інструментарій Qt сумісний з багатьма операційними системами, що дозволяє виконувати розроблений код на різних платформах та архітектурах. Крім того, він замінює багато системних бібліотек та містить багатий функціонал. Завдяки цьому розроблену серверну частину можна запускати на різних платформах з такими ОС, як різні дистрибутиви Linux, Windows, NetBSD, FreeBSD та інші.

Було розроблено сервер TCP, який підтримує одночасне підключення багатьох клієнтів. Для цього використано бібліотеку QTcpServer та можливості мови C++. Qt застосовує механізм сигналів та слотів для забезпечення функціонування клієнт-серверної програми [38]. Цей механізм дозволяє обробляти системні сигнали (наприклад, POSIX сигнали) через власні сигнали та слоти. Сигнал – це виклик певної функції у відповідь на системний сигнал, а слот – це функція, яка виконується у відповідь на цей виклик. Для забезпечення коректного функціонування сигналів у Qt кожен сигнал має бути пов'язаний зі слотом за допомогою функції connect, як показано на рис. 3.10. Цей підхід дозволяє ефективно обробляти кілька з'єднань одночасно, забезпечуючи масштабованість та надійність серверної частини системи [39].

```
inline QObject::Connection QObject::connect(const QObject *sender, const char *asignal,
                                           const char *amember, Qt::ConnectionType atype) const
{ return connect(sender, asignal, this, amember, atype); }
```

Рисунок 3.10 – Функція connect, що зв'язує сигнали Qt зі слотами

Для забезпечення функціонування TCP сервера програма використовує сигнали `newConnection` – сигнал приєднання нового клієнта, `readyRead` – сигнал готовності читання даних з клієнта.

Після запуску сервер викликає функцію `listen` з бібліотеки Qt, щоб очікувати підключення з будь-якої адреси на визначений у налаштуваннях порт. Після отримання сигналу про підключення сервер зберігає дані, зокрема сокет клієнта, що дозволяє підтримувати одночасне підключення декількох клієнтів. Далі сервер обробляє дані, отримані у форматі JSON.

Подальші дії сервера залежать від отриманих даних. Він може зберігати їх у базу даних або не зберігати, відповідати на запити клієнта або залишати їх без відповіді. Поведінка сервера визначається параметрами у JSON даних, такими як "client" та "DBsave". Для аналізу JSON даних використовуються бібліотеки `QJsonDocument` та `QJsonObject`, які дозволяють створювати, редагувати, читати та записувати дані у форматі JSON. Це забезпечує гнучкість у роботі з різними типами запитів та даних, дозволяючи серверу адаптувати свою поведінку відповідно до потреб клієнтів та отриманих команд [40].

Сервер має можливість зберігати дані у базі даних, яка формується за допомогою СКБД SQLite. Для цього використовується бібліотека `QtSQL`, яка дозволяє здійснювати підключення до будь-якої СКБД за допомогою функції `addDatabase`, керувати запитамі та виконувати їх мовою SQL за допомогою функції `exec` [41].

Сервер створює базу даних за допомогою запиту `CREATE`, який описаний на рисунку 3.11. Це дозволяє створювати структуру бази даних, включаючи таблиці та їхні поля, які потім можна заповнювати та зчитувати з використанням мови SQL. Використання SQLite спрощує роботу з базою даних, оскільки вона є легкою в налаштуванні та має невеликий розмір, що робить її ідеальним варіантом для використання у вбудованих системах та застосунках з невеликим обсягом даних [44].

```

QString s = "CREATE TABLE %1 ("
            "timestamp integer PRIMARY KEY NOT NULL, "
            "json VARCHAR(511), "
            "dev_id VARCHAR(32) NOT NULL,"
            "GPS VARCHAR(256),"
            "NanoSv integer NOT NULL,"
            "uptime_s integer"
            ");" ;

```

Рисунок 3.11 – Створення бази даних дозиметрів

Сервер записує дані в базу даних, які відповідають формату, представленому у таблиці 3.1, якщо клієнтом є дозиметр (операція INSERT). Крім самих даних, сервер також зберігає в базі час приходу повідомлення, щоб мати можливість відстежувати, коли ці дані були отримані. Ця позначка часу (timestamp) дозволяє клієнту, який запитує дані, вказати, з якого моменту він хоче отримати дані дозиметрів. В такому випадку сервер витягує дані з бази за допомогою запиту SELECT, вказавши необхідний період часу.

Алгоритм роботи серверу наступний:

- 1) створення або відкриття БД;
- 2) очікування з'єднання;
- 3) якщо відбулося з'єднання, перейти до 4;
- 4) отримання даних;
- 5) аналіз даних;
- 6) клієнт – дозиметр, перейти до 7, інакше до 8;
- 7) зберегти дані в БД разом з часовим параметром;
- 8) клієнт запитує на отримання даних, якщо так перейти до 9 інакше – 2;
- 9) відправити дані клієнту, перейти до 2.

3.5 Розробка клієнтської частини

Клієнтська частина програми була розроблена за допомогою мови програмування Java та середовища розробки Android Studio. Для візуалізації даних на карті використовувався Google Maps API, яке дозволяє виводити координати, де

проводилися вимірювання доз, разом з самими вимірними дозами. Додаток був створений для платформи Android і забезпечує можливість з'єднання з сервером, вибір необхідних даних і їх інтерактивний вивід на карті [42].

Для інтеграції Google Maps у додаток для платформи Android використовувався набір бібліотек `com.google.android.gms.maps`, який реалізує Google Maps API. У рамках розробки був створений клас `MapsActivity`, який відповідає за відображення вікна додатку та взаємодію з картою. Цей клас є головним у програмі і встановлює логіку роботи додатку. Згідно з документацією, для коректної роботи з картою клас `MapsActivity` має реалізувати інтерфейс `OnMapReadyCallback`, який містить метод `onMapReady(GoogleMap googleMap)`. Цей метод викликається Google Maps API, коли карта готова до використання, і передає посилання на карту, яке клас `MapsActivity` може використовувати для подальших операцій [48]. У класі `MapsActivity` також реалізована функція `addMarker`, яка додає маркер з певним повідомленням та координатами на карту.

Маркери на мапі відображають дані конкретного дозиметра за певний час із визначеними координатами. За допомогою середовища Android Studio можна створювати та розміщувати маркери на мапі, як показано на рисунку 3.12.

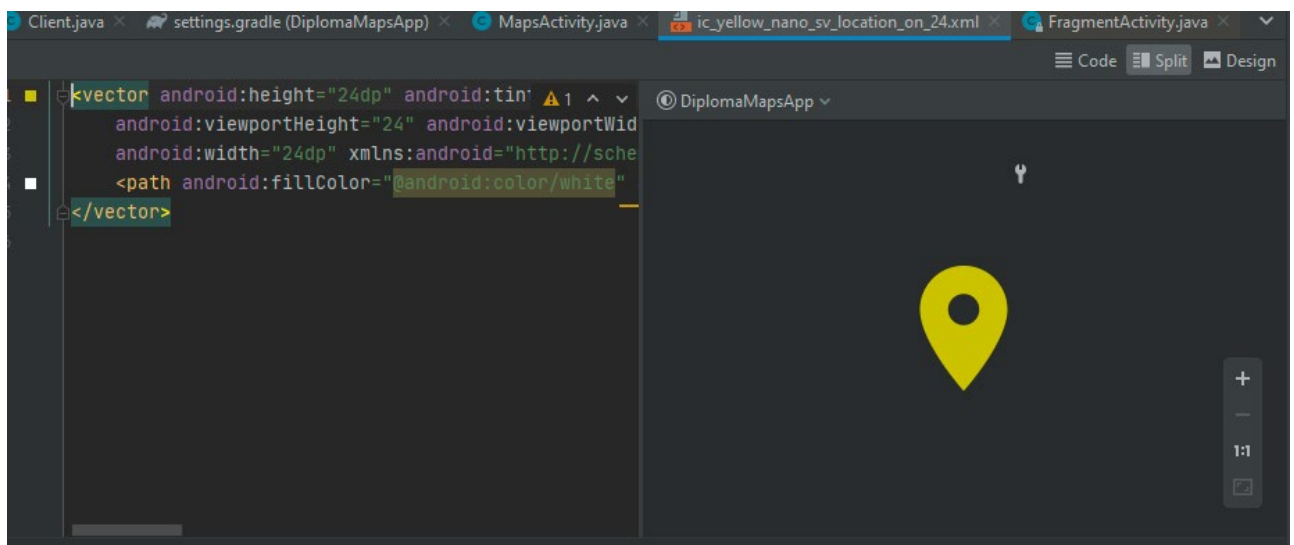


Рисунок 3.12 – Створений маркер в Android Studio

Ці маркери відображаються як графічні елементи на мапі та стають інтерактивними завдяки використанню Google Maps API. Приклад встановлення таких маркерів показано на рисунку 3.13. За допомогою API також можна надати маркерам час та текстові значення, як це зображено на рисунку.

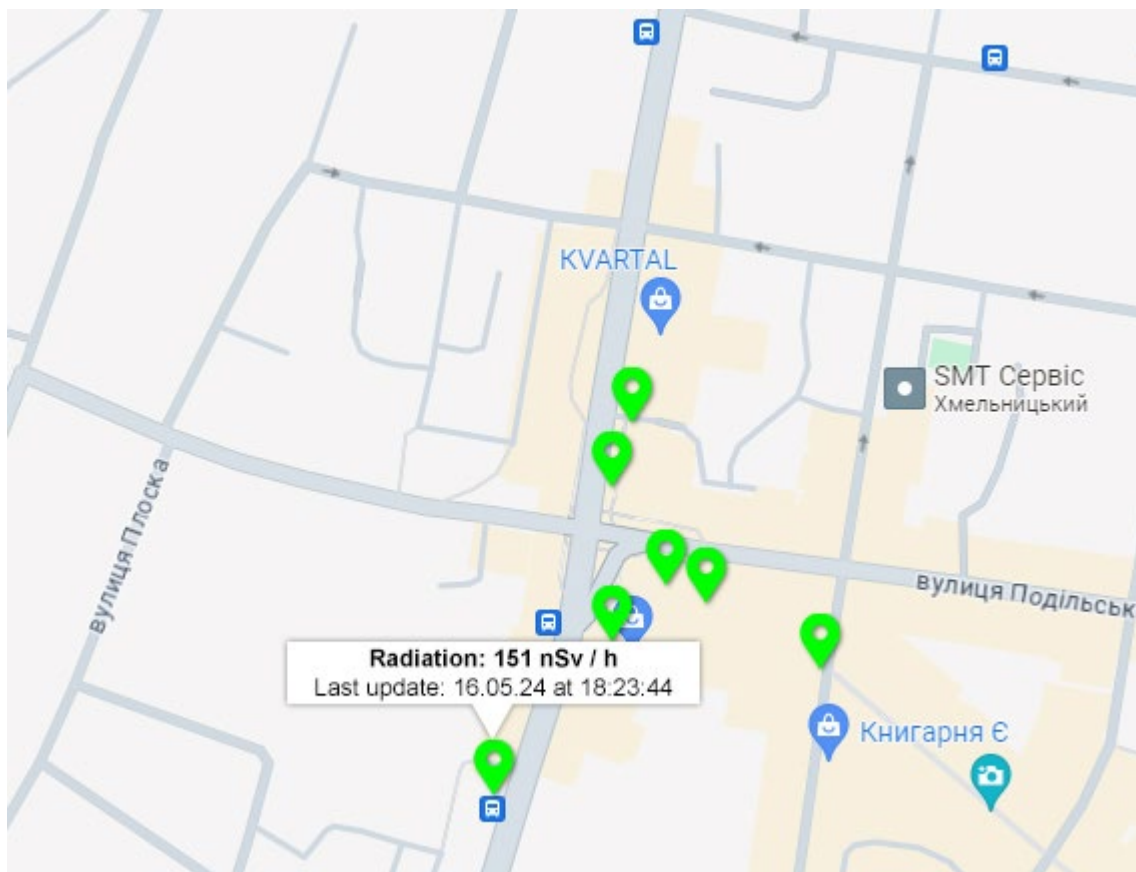


Рисунок 3.13 – Маркери, якими позначаються координати на мапі

Клас MapsActivity відповідає за обробку даних, отриманих від серверу. Він аналізує ці дані, які надходять у форматі JSON, та витягує з них інформацію про GPS. Потім з цієї інформації витягуються довгота і широта, які використовуються для створення маркера на карті. Для впорядкування цього функціоналу був створений окремий клас - MyMarker. Цей клас отримує дані від певного дозиметра за певний час і формує з них об'єкт маркера. Метод addMarker відповідає за додавання цього маркера на карту та перетворення даних з об'єкта маркера у формат, прийнятий Google Maps API.

Клас `MapsActivity` створює асинхронний потік під назвою `ReadDataTask`, який працює паралельно з іншою інтерактивною частиною програми. Поки користувач взаємодіє з іншими елементами додатку, цей потік виконується. Основна мета цього потоку - забезпечити зв'язок з сервером та зчитування даних. Він надсилає запити на сервер у форматі JSON, де вказується, що він є клієнтом додатку (`client = app`), та запитує дані (`mode = get_data`). Також вказується час, з якого моменту потрібно оновити дані або отримати всі дані з бази даних. Для формування запиту у форматі JSON та встановлення та відключення з'єднання з сервером використовується об'єкт класу `Client`, для якого вводяться адреса та порт сервера, введені користувачем.

Були створені маркери трьох кольорів - зеленого, жовтого та червоного, які використовуються для показу різних рівнів радіації. Допустиме значення рівня радіаційного фону згідно Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) - 300 нЗв/год, 300-1200 нЗв/год - це вже шкідливий для здоров'я підвищений радіаційний фон. Понад 1200 нЗв/год - небезпечний радіаційний фон. При рівні радіації 1500-4000 нЗв/год розвивається променева хвороба. [49] Відповідно до цього були обрані еталонні значення доз: 300 нЗв/год та 1200 нЗв/год. Додаток порівнює значення отриманих доз з цими еталонними значеннями. Якщо показники датчика менше 300 нЗв/год, то рівень радіації оцінюється як безпечний і на мапі використовується зелений маркер. Якщо значення дози більше 300 нЗв/год, але менше за 1200 нЗв/год - рівень радіації оцінюється як підвищений, тому використовується жовтий маркер. Якщо значення дози перевищує 1200 нЗв/год, використовується червоний маркер, що означатиме що в цьому місці небезпечний радіаційний фон. На рисунку 3.14 показано приклад роботи додатку та відображення маркерів різних кольорів.

Алгоритм роботи клієнтської частини наступний:

- 1) налаштування;
- 2) з'єднання з Google cloud;
- 3) відображення мапи;
- 4) якщо кнопка «оновити» натиснута перейти до 6, інакше до 5;

- 5) спробувати приєднатися до сервера, якщо не вдається то перейти до 3;
- 6) з'єднання з сервером;
- 7) запит на отримання даних;
- 8) отримання даних;
- 9) аналіз даних;
- 10) виведення даних на мапу, перейти до 3.

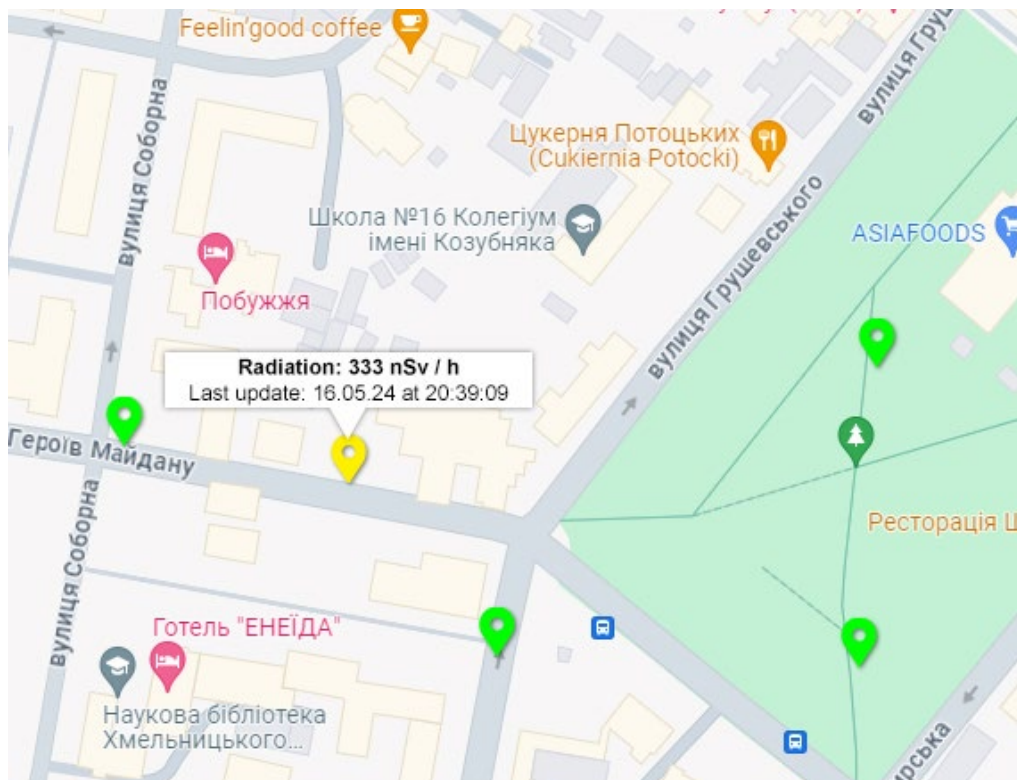


Рисунок 3.14 – Відображення маркерів різного кольору у додатку

3.6 Висновки

У цьому розділі описано процес проєктування і розробки трьох основних компонентів системи радіаційного моніторингу: дозиметра, серверного програмного забезпечення та клієнтської частини.

Було розроблено принципову електричну схему дозиметра, на основі якої створено друковану плату, що стала основою для макета пристрою. Крім того,

розроблено прошивку для дозиметра, яка забезпечує керування його периферійними компонентами.

Також було спроектовано і створено серверну частину системи, яка збирає дані з усіх дозиметрів і зберігає їх у базі даних.

Клієнтська частина системи реалізована у вигляді інтерактивного додатку, що забезпечує доступ до даних дозиметрів, зібраних сервером.

Завдяки розробці цих трьох компонентів систему радіаційного моніторингу можна легко налаштувати для використання в місті з мінімальними витратами.

4 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

4.1 Налаштування дозиметру системи моніторингу

Перед налаштуванням дозиметра необхідно мати статичну адресу сервера і вибрати порт, на якому працюватиме сервер.

Під час запуску дозиметр зчитує свої налаштування з останньої сторінки Flash пам'яті мікроконтролера. Ці налаштування включають його назву, номер мобільного телефону для критичних повідомлень, адресу сервера і порт. Записати ці налаштування до пам'яті можна за допомогою програматора мікроконтролера або спеціальної прошивки, яка записує значення у постійну пам'ять. Приклад такої програми наведено на рис. 4.1. Цей процес забезпечує автоматичне зчитування і застосування налаштувань під час кожного запуску дозиметра, що зменшує потребу у ручному втручанні та підвищує надійність роботи системи. Це особливо важливо для забезпечення стабільного зв'язку дозиметра з сервером і своєчасного отримання критичних повідомлень.

Крім запису налаштувань в мікроконтролер в дозиметр вставляються всі необхідні компоненти, включаючи антени LTE та GPS, акумулятор і трубку Гейгера, перевіряється його працездатність.

На екран для відлагодження дозиметра буде виводитися інформація про кількість сигналів, отриманих від трубки Гейгера за 40 секунд. Якщо лічильник Гейгера працює правильно, це значення завжди буде більше нуля. Також на екран виводитиметься інформація про стан з'єднання з сервером. У разі неможливості підключення до сервера, пристрій виводить повідомлення про помилку.

Додаткова інформація на екрані включає індикатори поточного стану системи, такі як рівень заряду батареї, поточний режим роботи (наприклад, активний чи сплячий), та час останнього успішного з'єднання з сервером. Це дозволяє користувачам та технічним спеціалістам швидко оцінити стан пристрою і вжити необхідних заходів для усунення несправностей.

```

// MOBILE PHONE FOR DIAGNOSTICS
#define CONF_MOBILE_PHONE "+380950000000"
// MAIN SERVER TRANSFER JSON DATA TO
#define CONF_SERVER0_ADDR "00.00.100.002"
// SPARE SERVER
#define CONF_SERVER1_ADDR "1.3.3.4"
// PORT OF SERVER APPLICATION
#define CONF_PORT "41"
// DEVICE IDENTIFIER NAME STRING (30 CHARACTERS MAX)
#define CONF_DEVICE_ID "device_name01"

void flash_mng_wr_default_values(void)
{
    // erase
    flash_mng_erase();
    // create struct with def values
    strncpy(fdata.mobile_phone, CONF_MOBILE_PHONE, sizeof fdata.mobile_phone);
    strncpy(fdata.server0_addr, CONF_SERVER0_ADDR, sizeof fdata.server0_addr);
    strncpy(fdata.server1_addr, CONF_SERVER1_ADDR, sizeof fdata.server1_addr);
    strncpy(fdata.device_id, CONF_DEVICE_ID, sizeof fdata.device_id);
    strncpy(fdata.port, CONF_PORT, sizeof fdata.port);
    // write
    flash_mng_write();
}

```

Рисунок 4.1 – Код, що записує налаштування дозиметра в останню сторінку постійної пам'яті

Для максимальної ефективності системи радіаційного моніторингу, дозиметри повинні не лише фіксувати дані з певною періодичністю, але й переміщуватись у просторі, охоплюючи різні території міста. Це можна забезпечити розміщенням дозиметрів у міському транспорті, такому як автобуси або тролейбуси, що регулярно проходять по різних маршрутах. Такий підхід дозволить забезпечити широке покриття міста моніторингом радіації за допомогою обмеженої кількості дозиметрів.

Використання міського транспорту для розміщення дозиметрів є вигідним в міських умовах, де присутній широкий доступ до мережі стільникового зв'язку та наявність розвинутої міської інфраструктури. Це дозволяє ефективно використовувати існуючі ресурси та забезпечує швидке реагування на зміни в рівнях радіації у різних частинах міста.

4.2 Налаштування сервера системи моніторингу

Сервер може бути зібраний з вихідних кодів для різних операційних систем серверного типу, включаючи Windows Server, різні дистрибутиви Linux і UNIX-сервери.

Для налаштування сервера розробленої системи використовується власний командний рядок. Аргументи передаються до команди сервера, серед яких «help» виводить документацію до інших доступних команд. Наприклад, для отримання документації можна ввести аргумент «--help», як показано на рисунку 4.2

```
[ curdir_build]$ ./RadiationMonitoringServer --help
Usage: ./RadiationMonitoringServer [options]
RadiationMonitoringServer це сервер, що є частиною системи радіаційного моніторингу

Options:
  -h, --help                Displays help on commandline options.
  --help-all               Displays help including Qt specific options.
  -v, --version             Displays version information.
  -p, --port <значення>   порт
  -l, --logfile <значення> файл log
  -d, --sqlbd <значення>  файл bd
```

Рисунок 4.2 – Аргументи для налаштування сервера

Параметр «--port» визначає номер порту, за допомогою якого сервер буде отримувати запити. Параметр «--logfile» вказує шлях до файлу, де будуть зберігатися дані для відладки та повідомлення про помилки. Параметр «--sqlbd» встановлює шлях до файлу, де буде зберігатися база даних.

За замовчуванням сервер записує відлагоджувальні дані у файл з назвою RadiationMonitoringServer_LOG.log, працює з базою даних у файлі RadiationMonitoringServer.db та використовує порт 19999.

Приклад командного рядка для запуску сервера з такими параметрами показано на рисунку 4.3, разом із результатом його виконання. Щоб сервер був доступний ззовні, потрібно налаштувати маршрутизатор, до якого підключений сервер.

```
[ curdir_build]$ ./RadiationMonitoringServer -p 19999 --logfile RadiationMonitoringServer_LOG.log --sqlbd RadiationMonitoringServer.db
Сервер чекає на клієнтів, порт: 19999
db: приєднання
table dosimeter_table found
█
```

Рисунок 4.3 – Запуск серверу

При кожному підключенні будь-якого клієнта сервер реєструє відлагоджувальну інформацію у файлі, яка зазвичай включає прийняті JSON дані. Додатково до цих даних сервер записує час відносно початку Unix епохи, що дозволяє встановити точний час отримання даних. На рисунку 4.4 показано приклад таких даних, які включають як прийняті від дозиметра дані, так і дані, отримані від додатку.

```
{
  "DBsave": "true",
  "GPS": "+CGPSINF0: 5029.256870,N,03035.729986,E,010521,150202.0,120.7,0.0,13.1",
  "NanoSv": 105,
  "client": "sensor",
  "dev_id": "KYIV.DNIPRO.1",
  "timestamp": 1619881333,
  "uptime_s": 23656
}
{
  "timestamp": 1620114955
}
{
  "timestamp": 1620114973
}
{
  "timestamp": 1620114975
}
{
  "timestamp": 1620114977
}
{
  "client": "app",
  "mode": "get_data_all",
  "timestamp": 1620115058
}
```

Рисунок 4.4 – Відлагоджувальні дані сервера

4.3 Налаштування клієнта системи моніторингу

Клієнтська програма може бути зібрана для пристроїв, сумісних з платформою Android. Зібраний додаток для Android представляє собою стиснуту і

упаковану у ZIP-архів структуру коду, яка містить каталоги метаданих, сертифікат програми для ідентифікації застосунку, файл маніфесту з інформацією про всі компоненти додатку, файли бібліотек і машинозалежного коду для різних архітектур, а також машинезалежні файли для виконання на JVM .

Цей додаток необхідно встановити і відкрити на пристрої з можливістю підключення до Інтернету. В інтерфейсі застосунку є інтерактивна мапа, що синхронізується з хмарними сервісами Google. Якщо Інтернет-з'єднання доступне, мапа відкриється після запуску застосунку.

На мапі відображаються поля для введення адреси сервера та його порта, а також кнопка для оновлення даних. Після введення коректних даних клієнт підключається до сервера, запитує і отримує дані, після чого оновлює мапу з усіма прийнятими даними. Інформація оновлюється кожного разу при натисканні кнопки "оновити".

Кожен маркер на мапі містить інформацію про отриману дозу в певному місці і час останнього оновлення. Колір маркера відображає рівень отриманої дози: зелений маркер означає дозу не більше 300 нЗв/г, жовтий – не більше 1200 нЗв/г, червоний – більше 1200 нЗв/г. Ці значення обрані виключно для демонстрації роботи системи.

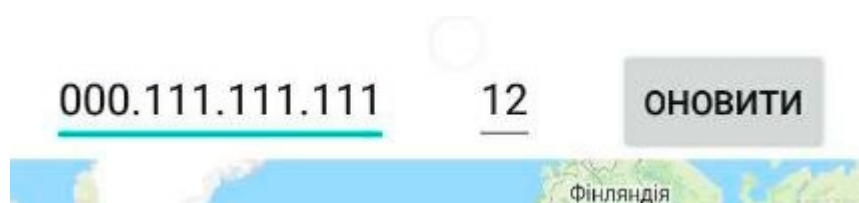


Рисунок 4.5 – Поля для введення адреси і порта клієнта, кнопка оновлення мапи

Приклад роботи застосунку наведено на рис. 4.6. Він демонструє рух одного дозиметра в транспорті з одного району міста Хмельницький в інший, відображаючи радіаційний фон протягом всього маршруту. Застосунок показує, як змінювався рівень радіації в різних точках цього маршруту, дозволяючи

користувачам спостерігати за динамікою радіаційного фону в реальному часі. Це корисно не лише для моніторингу, але й для швидкого реагування на будь-які підвищення рівня радіації.



Рисунок 4.6 – Демонстрація роботи застосунку системи моніторингу

4.4 Матеріальні затрати

При розробці кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону було куплено мікроконтролер STM32F030C6T6 та комплектуючі (таблиця 4.1). В загальну суму не входять пристрої виведення інформації. Також в ціну не входять вартість розробки системи та її обслуговування. Ціни приведено у гривнях та були заявлені на 21.05.2024.

Таблиця 4.1 – Матеріальні затрати

Назва комплектуючої	Ціна в грн
МК STM32F030C6T6	50
Макетна плата STM32F F03xC	40
Модуль SIM7600G	2500
Дисплей LCD	370
Трубка Гейгера M4011	950
Boost конвертер 400V	250
Boost конвертер 5V	20
Акумулятори Li-Ion 3200мАч x4	800
Стабілізатор MIC5205	20
Модуль заряду розряду Li-Ion TP4056	40
Матеріали	400
РАЗОМ	5440

Таким чином було проведено аналіз затрат на обладнання яке необхідне для створення та організації кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону. За результатами проведеного підрахунку встановлено що повна вартість складає 5440 грн. Отже, розроблена кіберфізична система моніторингу має значно нижчу вартість порівняно з аналогами, які є на ринку.

4.5 Висновки

У четвертому розділі продемонстровано роботу трьох складових розробленої кіберфізичної системи радіаційного моніторингу в реальних умовах. Було показано, як дозиметр переміщуючись у просторі та у часі, може здійснювати вимірювання рівня радіації. Сервер отримує і аналізує ці дані, а клієнтська частина, оперуючи даними від сервера, відображає їх інтерактивно на мапі у застосунку.

Було також наведено приклад роботи застосунку, де продемонстровано рух дозиметра в транспорті з одного району міста Хмельницький в інший, відображаючи радіаційний фон на всьому маршруті. Клієнтська програма для платформи Android показала свою ефективність у візуалізації даних, отриманих з дозиметра, з використанням Google Maps API. Інтерактивні мапи наочно показують рівні радіації в різних точках міста, що дає змогу швидко реагувати на будь-які підвищення радіаційного фону.

Проведений аналіз затрат на комплектуючі продемонстрував що готова кіберфізична система дешевша за аналоги які знаходяться на ринку.

Система виявилася працездатною і готовою для використання в містах, оскільки надає можливість вести моніторинг радіаційного забруднення довкілля в реальному часі. Завдяки мобільності дозиметрів та інтеграції з міським транспортом, система дозволяє охоплювати великі території з використанням відносно невеликої кількості пристроїв.

ВИСНОВКИ

У рамках дипломної роботи була проведена значна дослідницька робота, що включала аналіз існуючих методів вимірювання радіації, розробку власної системи моніторингу, а також перевірку її ефективності в реальних умовах.

Перш за все, було проведено детальний аналіз різних типів детекторів іонізуючого випромінювання. Особливу увагу приділили лічильнику Гейгера, який зарекомендував себе як надійний і точний інструмент для вимірювання радіаційного фону. Вивчення існуючих систем моніторингу дозволило визначити ключові вимоги до нової системи, такі як висока точність вимірювань, можливість передачі даних у реальному часі та зручність використання.

Були обрані мікроконтролери, які забезпечують обробку та передачу даних від датчиків до серверної частини системи. Важливою складовою проекту стала розробка механізмів мобільної передачі даних та геолокації, що дозволяють точно визначати місце вимірювання радіаційного фону.

Процес розробки системи включав створення алгоритму її функціонування, який охоплює всі етапи – від збору даних до їх відображення на інтерактивній мапі. Структурна схема пристрою була розроблена таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність взаємодії всіх компонентів. Проведені розрахунки та розроблена принципова електрична схема підтвердили життєздатність обраних рішень.

Практичні випробування системи показали її високу ефективність. Встановлені на міському транспорті дозиметри змогли здійснювати безперервний моніторинг радіаційного фону під час руху по місту. Це дозволило отримувати актуальні дані про рівень радіації в різних частинах міста та оперативно реагувати на можливі загрози. Візуалізація даних за допомогою інтерактивних мап зробила систему зручною у використанні та доступною для широкого кола користувачів.

Одним з важливих аспектів проекту стала економічна ефективність розробленої системи. Аналіз витрат на компоненти показав, що запропоноване

рішення є значно дешевшим за аналоги, представлені на ринку. Це відкриває можливості для масового впровадження системи в різних регіонах.

Інтеграція дозиметрів з міським транспортом виявилася надзвичайно вдалою ідеєю, оскільки дозволила охопити великі території з використанням відносно невеликої кількості пристроїв. Це значно підвищило рівень моніторингу радіаційного фону в реальному часі і зробило систему важливим інструментом для забезпечення екологічної безпеки населення.

Таким чином, розроблена кіберфізична система моніторингу радіаційного фону є інноваційним та ефективним рішенням, яке поєднує високу точність вимірювань, оперативність передачі даних та економічну вигідність. Вона може бути успішно використана для забезпечення безпеки в міських умовах та на інших територіях, де існує ризик підвищення радіаційного фону.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження радіоактивності. URL: <https://naurok.com.ua/doslidzhennya-radioaktivnosti-389839.html> (дата звернення: 15.03.2024).
2. ДСТУ 9046:2020 Детектори іонізуючого випромінювання. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2021. (Інформація та документація).
3. List of semiconductor materials. URL: <https://www.elprocus.com/semiconductor-material/> (дата звернення: 15.03.2024).
4. Мельник А. Автоматизований прилад дозиметричного контролю іонізуючого випромінювання: дипл. проєкт. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. С. 12-30.
5. Газорозрядний лічильник (лічильник Гейгера-мюллера) URL: <https://ppt-online.org/57074> (дата звернення: 16.03.2024).
6. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement, 4th Edition. Wiley, 2010. pp. 207-220.
7. RadAr Автоматизована система розподіленого радіаційного моніторингу. URL: <https://ecotest.ua/products/automated-system-of-distributed-radiation-monitoring/> (дата звернення: 18.03.2024).
8. RadSpace Автоматизована система віддаленого радіаційного моніторингу. URL: <https://ecotest.ua/products/radspace/> (дата звернення: 18.03.2024)
9. Tubo Geiger Muller. URL: <https://morresi.wordpress.com/tag/tubo-geiger-muller/> (дата звернення: 18.03.2024).
10. Iatsyshyn A.V., Ivaschenko T.G., Matvieieva I.V., Zakharchenko J.V Lahoiko A.M. Development of recommendations for improving the radiation monitoring system of Ukraine. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1254. 2023. P. 1-15. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012109.

11. M4011 Geiger Tube Specification. URL: <http://cholla.mmtto.org/electronics/geiger/banggood/M4011.pdf> (дата звернення: 19.03.2024).
12. Silva R. P., Souza E. M., Ferreira A. C. Data Transmission via Mobile Telephony Network for an Environmental Radiation Monitoring System. *Brazilian congress on ionizing radiation metrology*. 2023. Pp. 5-8.
13. SIMCom. URL: <https://www.simcom.com/about.html/> (дата звернення: 19.03.2024).
14. SIM7600E-H 4G HAT User Manual. URL: <https://www.waveshare.com/w/upload/6/6d/SIM7600E-H-4G-HAT-Manual-EN.pdf> (дата звернення: 19.03.2024).
15. SIM7500 SIM7600 Series AT CommandManual. URL: https://microchip.ua/simcom/LTE/SIM7500_SIM7600/SIM7500_SIM7600%20Series_AT%20Command%20Manual_V3.00.pdf (дата звернення: 20.03.2024).
16. SIMCom SIM7500/SIM7600/SIM7800-series TCPIP AT Command Manual. URL: <https://techship.com/downloads/simcom-sim7500-sim7600-sim7800-series-tcpip-at-command-manual/> (дата звернення: 20.03.2024).
17. J. -W. Lee, K. -H. Jeong, J. -I. Kim and C. -W. Im, The development of remote wireless radiation dose monitoring system. *2015 4th International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA)*. Lisbon, Portugal, 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/ANIMMA.2015.7465285.
18. C. -D. Tomescu, A. -M. Bădescu. A software platform for monitoring radiation detection systems. *2020 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*. Bucharest, Romania, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ECAI50035.2020.9223171.
19. STM32F030x4 STM32F030x6 STM32F030x8 STM32F030xC URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00088500.pdf> (дата звернення: 25.03.2024).
20. STM32L4-USART Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter Interface. URL:

https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/4f/cc/bb/f7/04/99/41/66/STM32L4_Peripheral_USART.pdf/files/STM32L4_Peripheral_USART.pdf/jcr:content/translations/en.STM32L4_Peripheral_USART.pdf (дата звернення: 25.03.2024).

21. RM0091 Reference manual STM32F0x1/STM32F0x2/STM32F0x8 advanced Arm-based 32-bit MCUs. URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031936-stm32f0x1stm32f0x2stm32f0x8-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf (дата звернення: 27.03.2024).

22. Real-time clock (RTC) ICs. URL: <https://www.st.com/en/clocks-and-timers/real-time-clock-rtc-ics.html> (дата звернення: 27.03.2024).

23. RTC Registers. URL: https://libopenm3.org/docs/latest/stm3211/html/group__rtc__registers.html (дата звернення: 27.03.2024).

24. Wang X., Wang Z., Xu L., Chen D., Zhan Y. Research on Wireless Communications Radiation Monitoring System. *Proceedings of 2011 6th International Forum on Strategic Technology*. 2011. Pp. 773-776 DOI: 10.1109/IFOST.2011.6021136.

25. STM32CubeIDE. URL: https://www.st.com/content/st_com/en/stm32cubeide.html (дата звернення: 27.03.2024).

26. A. Holovatyy, V. Teslyuk, M. Lobur, Y. Sokolovsky, S. Pobereyko. Development of Background Radiation Monitoring System Based on Arduino Platform. *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Lviv, Ukraine, 2018, pp. 121-124, doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526696.

27. M. -Ş. Nicolae, I. -D. Nicolae, R. -C. Presură Nicolae, P. -M. Nicolae. Remote Monitoring of Environment Radiation with Arduino Wemos and Geiger Counter Sensors. *2023 Power Quality and Electromagnetic Compatibility at Low Frequency (PQEMC-LF)*. Craiova, Romania, 2023, pp. 77-80, doi: 10.1109/PQEMC-LF58184.2023.10211935.

28. Типи та формати даних. URL: <https://diia.data.gov.ua/info-center/dataformat> (дата звернення: 15.04.2024).
29. K. Saleem, A. A. Alajroosh, R. Ouni, W. Mansoor, A. Gawanmeh. Smart and Secure IoT based Remote Real-Time Radiation Detection and Measurement System. *2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)*. Jeddah, Saudi Arabia, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICAISC56366.2023.10085583.
30. K. Fukuoka, S. Awai, S. Markon. A mobile cloud-based radiation monitoring system for citizens. *2015 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*. Cebu, Philippines, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/R10-HTC.2015.7391857.
31. H. M. Park, H. S. Hong, J. H. Kim, K. S. Joo. Development of a Portable Device Based Wireless Medical Radiation Monitoring System. *Journal of Radiation Protection*, Vol. 39. No. 3. 2014. pp. 150–158.
32. Market share of mobile operating systems in Ukraine from 2010 to 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/669506/market-share-mobile-operating-systems-ukraine/> (дата звернення: 07.04.2024).
33. B. Bilki, Y. Onel. Design, Construction and Commissioning of the Upgrade Radiation Damage Monitoring System of the CMS Hadron Forward Calorimeters. *2018 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Proceedings (NSS/MIC)*. Sydney, NSW, Australia, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/NSSMIC.2018.8824611.
34. M. Altayeb, M. Mekki, O. Abdallah, A. B. Mustafa, S. Abdalla. Automobile and fixed wireless sensor network for radiation detection. *2015 International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE)*. Khartoum, Sudan, 2015, pp. 199-202, doi: 10.1109/ICCNEEE.2015.7381361.
35. MIC5205 150 mA Low-Noise LDO Regulator. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005785A.pdf> (дата звернення: 07.04.2024).
36. Boost Converters. URL: <https://learnabout-electronics.org/PSU/psu32.php> (дата звернення: 08.04.2024).

37. Z. Wang, Q. Luo, Y. Wei, D. Mou, X. Lu and P. Sun. Topology Analysis and Review of Three-Port DC–DC Converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 35, no. 11, pp. 11783-11800, Nov. 2020. doi: 10.1109/TPEL.2020.2985287.
38. Signals & Slots Qt Documentation. URL: <https://doc.qt.io/qt-5/signalsandslots.html> (дата звернення: 08.04.2024).
39. Blanchette J. C++ GUI Programming with Qt 4. Summerfield., 2008. С. 752
40. QObject Class Qt Documentation. URL: <https://doc.qt.io/qt-5/qjsonobject.html> (дата звернення: 10.04.2024).
41. SQL Programming Qt Documentation. URL: <https://doc.qt.io/qt-5/sql-programming.html> (дата звернення: 12.04.2024).
42. S. Hariharasudhan, P. Ajithraj, R. Rathna. Web enabled monitoring system for harmful radiation detection. *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. Chennai, India, 2017, pp. 1468-1472, doi: 10.1109/ICCSP.2017.8286629.
43. W. J. Keeler, J. Wolfer. A Raspberry PI cluster and Geiger counter supporting random number acquisition in the CS Operating Systems class. *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. Madrid, Spain, 2016, pp. 353-354, doi: 10.1109/REV.2016.7444500.
44. Мулеса О. Ю. Основи мови запитів SQL. Ужгород: Ужгородський національний університет, 2015. с. 48.
45. Kashif S., Azam A., Ridha O., Wathiq M., Amjad G. Smart and Secure IoT based Remote Real-Time Radiation Detection and Measurement System. *1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)*. 2023. doi: 10.1109/ICAISC56366.2023.10085583.
46. R. Diachok, H. Klym, I. Vasylchyshyn. Real-time Mobile-Based Platform for Determining Level and Location of Radiation Background. *2021 22nd International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*. Hrádek u Sušice, Czech Republic, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/CPEE54040.2021.9585271.

47. V.A. Kulikova, V.V. Yakovlev, A.Y. Tumanov, V. A Tumanov, A.V. Kulinkovich. Remote radiation monitoring device. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1614, no. 1, 2020.

48. Android application packages – A complete guide on APK files. URL: <https://www.appmysite.com/blog/what-is-apk/> (дата звернення: 21.04.2024).

49. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text> (дата звернення: 02.05.2024).

50. S. M. Brennan, A. M. Mielke, D. C. Torney, A. B. Maccabe. Radiation detection with distributed sensor networks. *Computer*, vol. 37, no. 8, pp. 57-59, Aug. 2004, doi: 10.1109/MC.2004.103.

51. Y. Matsumoto, M. Satoh. Tablet-type GPS tracking radiation detection system and viewer software. *SENSORS, 2014 IEEE*, Valencia, Spain, 2014, pp. 229-232, doi: 10.1109/ICSENS.2014.6984975.

52. C. Cai, B. Carter, M. Srivastava, J. Tsung, J. Vahedi-Faridi, C. Wiley. Designing a radiation sensing UAV system. *2016 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, Charlottesville, VA, USA, 2016, pp. 165-169, doi: 10.1109/SIEDS.2016.7489292.

53. Y. Sui, T. Li. A wireless-enabled sensor system for distributed radiation detection on Android cellphones. *SENSORS, 2013 IEEE*, Baltimore, MD, USA, 2013, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSENS.2013.6688532.

54. P. Sambhare, S. R. Devi, J. R. Kumar, A. M. R. V, N. Priyanka, L. N. Jayanthi. Utilizing IOT for Radiation Monitoring and Warning. *2024 2nd International Conference on Disruptive Technologies (ICDT)*, Greater Noida, India, 2024, pp. 660-663, doi: 10.1109/ICDT61202.2024.10489038.

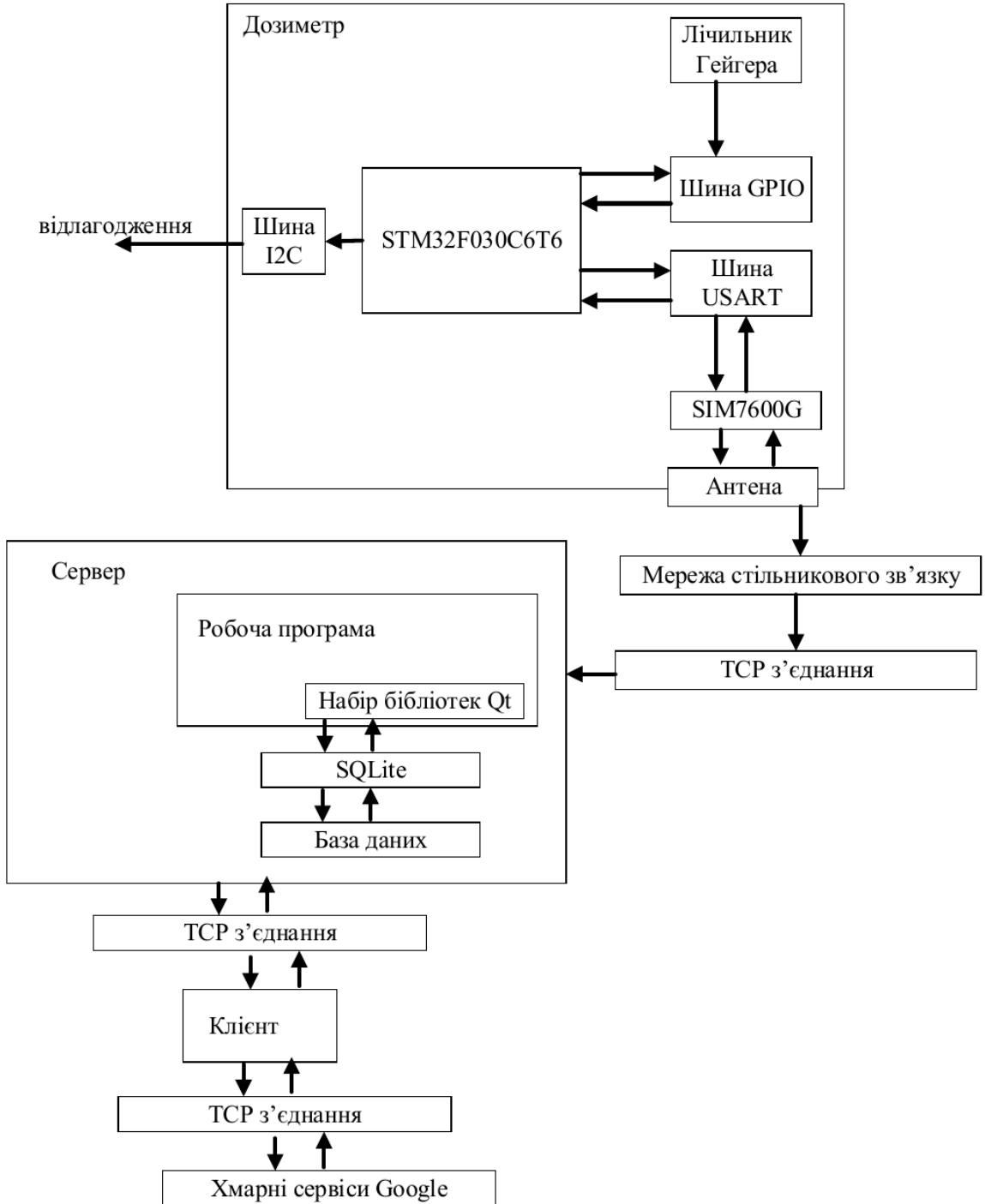
55. Hernández-Gutiérrez C.A., Delgado-del-Carpio M., Zebadúa-Chavarría, L.A., Hernández-de-León H.R., Escobar-Gómez E.N., Quevedo-López M. IoT-Enabled System for Detection, Monitoring, and Tracking of Nuclear Materials. *Electronics* 2023, 12, 3042. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12143042>.

56. Y. Ishigaki, Y. Matsumoto, R. Ichimiya, K. Tanaka. Development of Mobile Radiation Monitoring System Utilizing Smartphone and Its Field Tests in Fukushima. *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 10, pp. 3520-3526, Oct. 2013, doi: 10.1109/JSEN.2013.2272734.
57. K.A. Pradeep Kumar, G.A. Shanmugha Sundaram, B.K. Sharma, S. Venkatesh, R. Thiruvengadathan. Advances in gamma radiation detection systems for emergency radiation monitoring. *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 52, October 2020, pp. 2151-216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.03.014>.
58. R.D. Penny, W.E. Hood, R.M. Polichar, F.H. Cardone, L.G. Chavez, S.G. Grubbs, B.P. Huntley, R.A. Kuharski, R.T. Shyffer, L. Fabris, K.P. Ziock, S.E. Labov, K. Nelson. A dual-sided coded-aperture radiation detection system. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 652, October 2011, pp. 578-581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2011.01.161>.
59. Zabulonov, Y., Popov, O., Burtniak, V., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Iatsyshyn, A. Innovative Developments to Solve Major Aspects of Environmental and Radiation Safety of Ukraine. *Zaporozhets, A., Artemchuk, V. (eds) Systems, Decision and Control in Energy II. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 346. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-69189-9_16.
60. S. Pettinato, S. Salvator. Diamond-based detection systems for tomorrow's precision dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. vol. 1059, February 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168974>.
61. Збірник тез XV Всеукраїнської науково практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН 2023» URL: <https://kn.khmnmu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/18/apkn-2023-corpuspaper.pdf> (дата звернення: 11.05.2024).

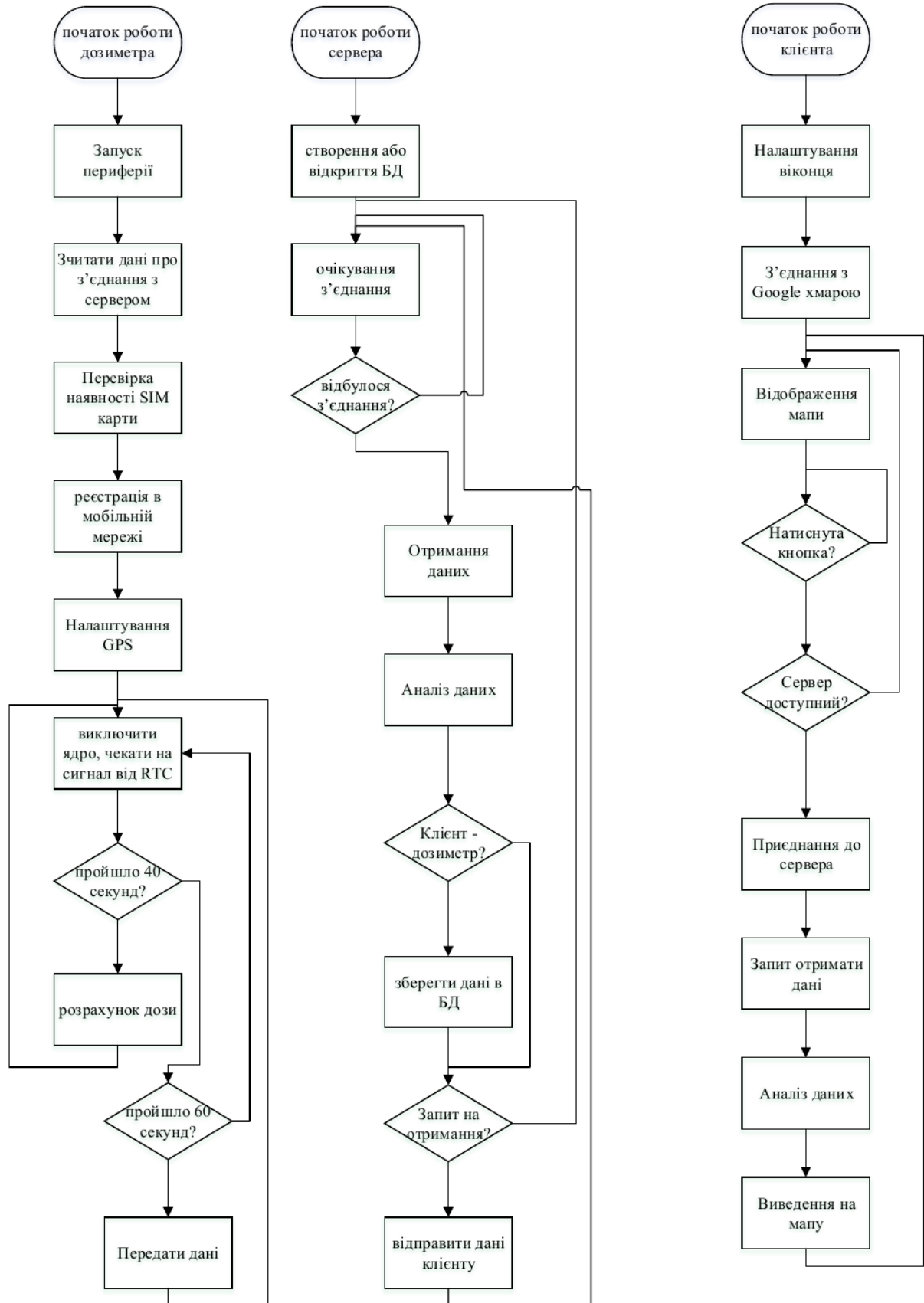
ДОДАТОК А

АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ



ДОДАТОК Б

АЛГОРИТМ РОБОТИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ
РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

ДОДАТОК В

СЕРТИФІКАТ УЧАСНИКА ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Сертифікат № 2023-020-1



Міністерство освіти і науки України
Хмельницький національний університет



СЕРТИФІКАТ

Ровінчук Дмитро Юрійович

учасник XV Всеукраїнської науково-практичної конференції
«Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023»
24 години участі (0,8 ECTS credits)

Голова оргкомітету АПКН-2023

СИНЮК Олег Миколайович
проректор Хмельницького національного
університету з наукової роботи,
доктор технічних наук, професор

м. Хмельницький
17-18 листопада 2023

E-mail: apkt.khnu@gmail.com

ДОДАТОК Г

ПРЕЗЕНТАЦІЯ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону

Студент Ровінчук Дмитро
Науковий керівник к.т.н., доцент Капустян М.В.

Хмельницький - 2024

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка ефективної та економічно вигідної системи моніторингу радіаційного фону, яка забезпечує високу точність вимірювань, мобільність, зручність використання та можливість передачі даних у реальному часі.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу радіаційного фону навколишнього середовища в режимі реального часу.

Предметом дослідження є розробка кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону з використанням іонізаційної камери та мікроконтролерів, які забезпечують обробку та передачу даних у реальному часі.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

- набув подальшого розвитку метод моніторингу радіаційного фону за допомогою іонізаційних камер, що дозволяє здійснювати високоточні вимірювання з використанням мобільних пристроїв;
- набула подальшого розвитку інформаційна технологія обробки та передачі даних радіаційного моніторингу в реальному часі з використанням мікроконтролерів, що забезпечує інтеграцію з міським транспортом для покриття великих територій.

ПРАКТИЧНА ЗНАЧИМІСТЬ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Практична значимість отриманих результатів полягає у тому, що розроблена система є дешевшою за існуючі аналоги на ринку, забезпечує моніторинг радіаційного забруднення довкілля в реальному часі, та може бути використана для оперативного реагування на підвищення рівня радіації в різних точках міста.

ПУБЛІКАЦІЯ

Опубліковано публікацію у Збірнику наукових праць за матеріалами XV Всеукраїнської науково-практичної конференції “Актуальні проблеми комп’ютерних наук АПКН-2023” (Хмельницький – 2023. – С. 257-259

Радіація становить загрозу через свою здатність завдавати значної шкоди організму та через те, що вона не має запаху чи смаку, і не може бути відчута органами чуття людини. Жоден зі звичайних органів чуття людини не може виявити наявність радіоактивного джерела у навколишньому середовищі. При виявленні підвищеного рівня радіації негайно необхідно визначити безпечну зону, щоб уникнути небезпеки для організму.

Сьогоднішні реалії знову активізували проблему радіаційної небезпеки що потребує постійного моніторингу радіаційного фону у різних куточках країни задля збереження життя громадян.



ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ



Трубка Гейгера-Мюллера M4011



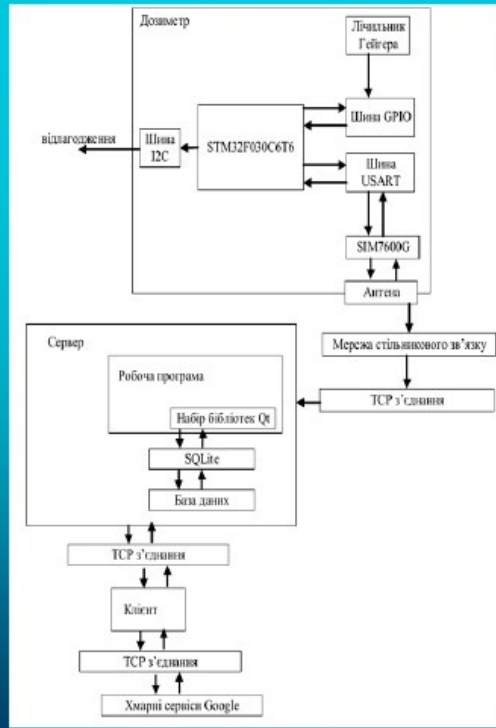
Модуль зв'язку SIM7600



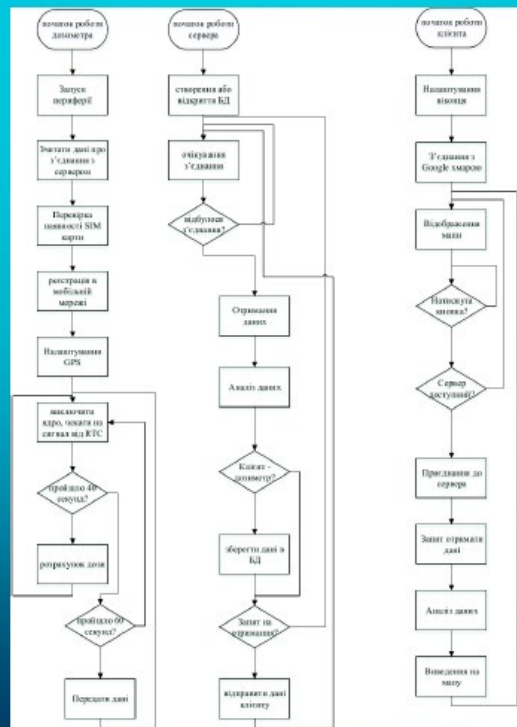
МК: STM32F030C6T6



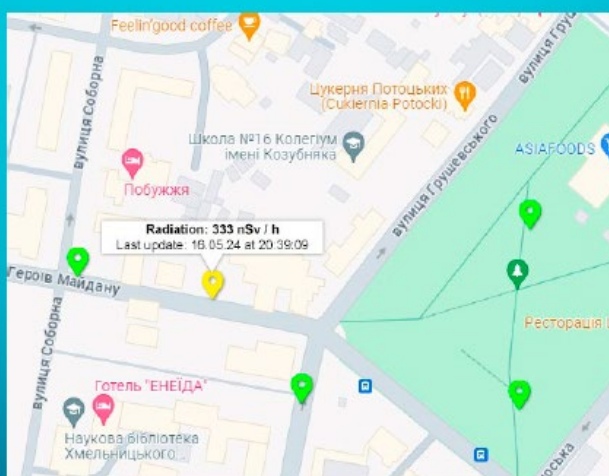
АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЇ



АЛГОРИТМ РОБОТИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ



Допустиме значення рівня радіаційного фону згідно Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) - 300 нЗв/год, 300-1200 нЗв/год - це вже шкідливий для здоров'я підвищений радіаційний фон. Понад 1200 нЗв/год - небезпечний радіаційний фон. При рівні радіації 1500-4000 нЗв/год розвивається променева хвороба. Відповідно до цього були обрані еталонні значення доз: 300 нЗв/год та 1200 нЗв/год. Додаток порівнює значення отриманих доз з цими еталонними значеннями. Якщо показники датчика менше 300 нЗв/год, то рівень радіації оцінюється як безпечний і на мапі використовується зелений маркер. Якщо значення дози більше 300 нЗв/год, але менше за 1200 нЗв/год - рівень радіації оцінюється як підвищений, тому використовується жовтий маркер. Якщо значення дози перевищує 1200 нЗв/год, використовується червоний маркер, що означатиме що в цьому місці небезпечний радіаційний фон



ВИСНОВКИ

У рамках дипломної роботи була проведена значна дослідницька робота, що включала аналіз існуючих методів вимірювання радіації, розробку власної системи моніторингу, а також перевірку її ефективності в реальних умовах.

Перш за все, було проведено детальний аналіз різних типів детекторів іонізуючого випромінювання. Особливу увагу приділили лічильнику Гейгера, який зарекомендував себе як надійний і точний інструмент для вимірювання радіаційного фону. Вивчення існуючих систем моніторингу дозволило визначити ключові вимоги до нової системи, такі як висока точність вимірювань, можливість передачі даних у реальному часі та зручність використання.

Були обрані мікроконтролери, які забезпечують обробку та передачу даних від датчиків до серверної частини системи. Важливою складовою проекту стала розробка механізмів мобільної передачі даних та геолокації, що дозволяють точно визначати місце вимірювання радіаційного фону.

Процес розробки системи включав створення алгоритму її функціонування, який охоплює всі етапи – від збору даних до їх відображення на інтерактивній мапі. Структурна схема пристрою була розроблена таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність взаємодії всіх компонентів. Проведені розрахунки та розроблена принципова електрична схема підтвердили життєздатність обраних рішень.

Практичні випробування системи показали її високу ефективність. Встановлені на міському транспорті дозиметри змогли здійснювати безперервний моніторинг радіаційного фону під час руху по місту. Це дозволило отримувати актуальні дані про рівень радіації в різних частинах міста та оперативно реагувати на можливі загрози. Візуалізація даних за допомогою інтерактивних мап зробила систему зручною у використанні та доступною для широкого кола користувачів.

Одним з важливих аспектів проекту стала економічна ефективність розробленої системи. Аналіз витрат на компоненти показав, що запропоноване рішення є значно дешевшим за аналоги, представлені на ринку. Це відкриває можливості для масового впровадження системи в різних регіонах.

Таким чином, розроблена кіберфізична система моніторингу радіаційного фону є інноваційним та ефективним рішенням, яке поєднує високу точність вимірювань, оперативність передачі даних та економічну вигідність. Вона може бути успішно використана для забезпечення безпеки в міських умовах та на інших територіях, де існує ризик підвищення радіаційного фону.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1016294043

Дата перевірки:
29.05.2024 11:55:47 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
29.05.2024 16:09:53 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Ровінчук_Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону

Кількість сторінок: 95 Кількість слів: 15001 Кількість символів: 116755 Розмір файлу: 3.49 MB ID файлу: 1016088550

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

16.6% Схожість

Найбільша схожість: 9.62% з Інтернет-джерелом (https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41732/1/Muraviov_bakalavr.pdf).

16.4% Джерела з Інтернету

195

Сторінка 97

0.85% Джерела з Бібліотеки

77

Сторінка 98

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Посилання

1

Сторінка 98

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

12

Підозріле форматування

18
сторінок

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 9%

ID: 127627 Назва: МКР Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону Додано в БД: 2024-05-29 Автора: Д.Ю. Ровінчук Керівники: М.В. Капустян Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	99739	893	827 (1%)	11 (1%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ровінчук Дмитро Юрійович

Тема: Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 78

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка ефективної та економічно вигідної системи моніторингу радіаційного фону, яка забезпечує високу точність вимірювань, мобільність, зручність використання та можливість передачі даних у реальному часі.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: Проведено огляд різних систем виявлення та моніторингу радіаційного фону. Кожна система має свої переваги та недоліки, які потрібно враховувати при виборі оптимального рішення для конкретної кіберфізичної системи. Зокрема, система моніторингу RadAr, забезпечує високу точність, але не може працювати автономно та не мобільна. З іншого боку, система моніторингу RadSpace має ці характеристики, але передає дані по повільному каналу зв'язку. Враховуючи специфіку конкретного застосування та наявні обмеження, вибір оптимальної кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону потребує уважного аналізу та експериментів.

Проведено огляд та порівняльний аналіз потенційних апаратних платформ для реалізації кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону. Було виявлено, що мікроконтролер STM32F030C6T6 є оптимальним вибором для даної системи, забезпечуючи контроль потужності обчислювальних

...ів, стабільну роботу та гнучкість налаштування під конкретні вимоги проекту. Тому використання STM32F030C6T6 у системі розпізнавання світлових сигналів регульованих засобів дорожнього руху є обґрунтованим та перспективним рішенням, яке забезпечить ефективне функціонування кіберфізичної системи моніторингу радіаційного фону.

В результаті дослідження та порівняльного аналізу було вирішено надати перевагу Google Maps API, яке дозволяє виводити координати, де проводилися вимірювання доз, разом з самими виміряними дозами у кіберфізичній системі моніторингу радіаційного фону. Цей API демонструє високу ефективність при обмежених обчислювальних ресурсах, забезпечуючи при цьому достатню точність відображення радіаційних показників на карті. Крім того, він має низьку обчислювальну складність, що дозволяє збільшити швидкість процесу та знизити витрати енергії. Це робить його ідеальним вибором для вбудованих систем моніторингу, де швидкість реакції та ефективне використання обчислювальних ресурсів є важливими факторами. Такий підхід дозволяє забезпечити надійне та ефективне функціонування системи в різних умовах навколишнього середовища, забезпечуючи безпеку та комфорт населення.

4. Позитивні сторони роботи: отримання наукової новизни.
5. Негативні сторони роботи:
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно з діючими стандартами оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____
9. Оцінка дипломної роботи: 3 / E

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) д.т.н, професор, зав. кафе. АКІТ Мартинюк
Валерій Володимирович

"13" травня 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІПС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Ровінчука Дмитра Юрійовича

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповішений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

22 квітня 2023 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система моніторингу радіаційного фону

Автор: Ровінчук Дмитро Юрійович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Капустян Марія Вікторівна, к.т.н., доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріплення запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості Unicheck, складає 16.6% і адресується до 272 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



М. В. Капустян

О. С. Савенко

Т. О. Говорущенко