

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«___» _____ 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизований прилад дозиметричного контролю іонізуючого випромінювання»

Виконав:

Студент IV курсу, групи ПК-71

Мельник Андрій Вікторович _____

Керівник:

К.т.н.,

Лисенко Юлія Юріївна _____

Консультант з графічного розділу:

Старший викладач, к.т.н.,

Богдан Галина Анатоліївна _____

Консультант з розробки електричної системи:

Доцент, к.т.н.,

Баженов Віктор Григорович _____

Рецензент:

К.т.н., доцент

Мокійчук Валентин Михайлович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту на тему: Автоматизований
прилад дозиметричного контролю іонізуючого
випромінювання**

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Мельник Андрій Вікторович

1. Тема проєкту «Автоматизований прилад дозиметричного контролю іонізуючого випромінювання», керівник проєкту Лисенко Юлія Юріївна, к.т.н., затверджені наказом по університету від «26» травня 2020 р. №1347-с

2. Термін подання студентом проєкту 02.06.2021

3. Вихідні дані до проєкту: спроектувати автоматизований прилад дозиметричного контролю іонізуючого випромінювання

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналітичний огляд

Висновок до теоретичної частини

2. Розрахунок датчика

3. Розробка структурної та функціональної схеми

4. Підбір та обґрунтування елементів принципової схеми

Висновок

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

1)Схема електрична принципова.

2)Схема функціональна.

3)Схема структурна.

4)Алгоритм роботи.

5) Складальне креслення

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічний	Богдан Г. А.		
Електричний	Баженов В. Г.		

7. Дата видачі завдання 11.11.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Формулювання завдання проєкту	12.03.2021	
2	Проведення аналітичного огляду	18.04.2021	
3	Розрахунок компонентів	15.05.2021	
4	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2021	
5	Розробка схем	03.06.2021	

Студент

Андрій МЕЛЬНИК

Керівник

Юлія ЛИСЕНКО

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

Анотація

Дипломний проєкт складається із анотації, вступу, аналітичного огляду, розрахунків датчику, наведення структурної та функціональної схем, підбору компонентів та висновків.

Загальний об'єм пояснювальної записки становить 50 сторінок, включає: 28 ілюстрацій, 8 таблиць, 4 кресленика, 20 посилань та 10 формул.

Тема дипломного проєкту пов'язана з визначенням якості навколишнього середовища, що напряду впливає на якість життя. Відомо, що основними факторами, що вимагають постійного моніторингу, є рівень радіації. Вплив радіації може проявлятися не відразу, а через десятиліття у майбутніх поколінь. Даний прояв може бути у вигляді раку, генетичних мутацій, тощо.

Поява радіометрів та дозиметрів у вільному продажу дозволила забезпечити хорошу радіаційну безпеку громадян. Також із впровадженням нових технологій є змога удосконалювати існуючі системи, робити їх більш доступними по вартості, зменшити габарити до прийнятних для щоденного використання. Даний проєкт присвячено розробці приладу на базі мікроконтролера, що призначений для моніторингу іонізуючих частинок. Пристрій може реєструвати випромінювання, передавати дані на мобільний пристрій та обробляти їх. Спроектвана система визначає накопичену дозу опромінення за певний період, а також дає сигнали тривоги, коли потужність еквівалентної дози перевищена. Висока надійність цієї системи забезпечується оперативним реагуванням на надзвичайні ситуації.

Ключові слова: контроль радіації, смартфон, трубка СБМ-20, мікроконтролер, датчик.

Annotation

The diploma project consists of annotations, introduction, analytical review, sensor calculations, presentation of structural and functional schemes, selection of components and conclusions.

The total length of the explanatory note is 50 pages, including: 28 illustrations, 8 tables, 4 drawings, 20 references and 10 formulas.

The topic of the diploma project is related to determining the quality of the environment, which directly affects the quality of life. It is known that the main factors that require constant monitoring are the level of radiation. The effects of radiation may not appear immediately, but decades later in future generations. This manifestation can be in the form of cancer, genetic mutations, etc.

The appearance of radiometers and dosimeters in free sale allowed to ensure good radiation safety of citizens. Also with the introduction of new technologies there is an opportunity to improve existing systems, make them more affordable, reduce the size to acceptable for everyday use. This project is dedicated to the development of a device based on a microcontroller designed to monitor ionizing particles. This device can record radiation, transmit data to a mobile device, and process it. The designed system determines the accumulated radiation dose for a certain period, and also gives alarm signals when the power of the equivalent dose is exceeded. High reliability of this system is provided by operative response to emergency situations.

Keywords: Radiation control, smartphone, SBM-20 handset, microcontroller, sensor.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	10
1.1.Перші детектори радіації.....	10
1.2.Реєстрація іонізуючого випромінювання	11
1.2.1.Терміни та визначення.....	11
1.3. Класифікація детекторів.....	12
1.3.1.Напівпровідниковий детектор.	14
1.3.2.Іонізуючі камери	17
1.3.3. Газові лічильники.....	20
1.3.4.Сцинтиляційні детектори	21
1.4.Опис роботи лічильника Гейгера	26
1.4.1.Ефективність лічильника Гейгера.....	29
1.4.2.Час відновлення (мертвий час).....	30
1.4.3.Корекція для часу відновлення:.....	31
1.5.Аналіз існуючих пристроїв дозиметричного контролю	32
1.5.1. Radiation Monitor Zive.....	33
1.5.2. Pokeya.....	34
1.5.3. Pocket PM2.5	35
1.5.4 Atom Tag	36
ВИСНОВОК ДО ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ.....	37

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мельник А.В.			<i>Автоматизований пристрій дозиметричного контролю іонізуючого випромінювання</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		ЛисенкоЮ.Ю.					7	58
Н. Контр.						<i>ПБФ, ПК-71</i>		
Затверд.		ЛисенкоЮ.Ю.						

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКИ ДАТЧИКА	39
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА АЛГОРИТМІВ РОБОТИ ПРИБОРУ	42
РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ ПРИБОРУ	46
Вибір датчика	46
Вибір мікроконтролера.....	47
Вибір способу відображення інформації.....	48
Вибір п'єзоелемента	49
Вибір діоду для індикації.....	49
Вибір способу живлення системи	50
Вибір модулятора.....	52
Вибір Bluetooth модулю	54
ВИСНОВОК.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

Додаток А

Структурна схема спроектованої системи

Додаток Б

Функціональна схема, спроектованої системи

Додаток В

Схема електрична принципова

					<i>ПК71.17.0000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Радіація небезпечна через нанесення великої шкоди, а також через те, що вона не сприймається органами чуття людини. Жоден з органів чуття людини не в змозі виявити присутність поблизу радіоактивного джерела. Встановивши підвищений рівень радіації, необхідно негайно визначити безпечну зону, щоб не отримувати нищівних пошкоджень для організму. Для цього потрібен радіометр-дозиметр.

В даний час значна частина світової електроенергії виробляється атомними станціями. Більшість країн світу намагаються зменшити цю частку, замінивши її вітровими чи сонячними станціями або іншою альтернативою. У той же час, не зважаючи на дуже великі інвестиції у відновлювані джерела енергії та зеленої енергетику, процес заміни атомних електростанцій на такі альтернативи відбувається набагато повільніше, ніж світове співтовариство очікує. Тому найближчим часом ми змушені використовувати атомні електростанції. З іншої сторони, ми спостерігаємо масштабні зміни клімату Землі з екстремальними умовами, які загрожують ядерній безпеці у багатьох частинах земної кулі. У таких умовах недорогі та мобільні інструменти потрібні, як ніколи для моніторингу іонізуючого випромінювання навколишнього середовища. Тому розробка приладів і систем для радіаційного моніторингу є актуальним завданням [1].

Іонізуюче випромінювання - це будь-яке випромінювання, яке викликає іонізуюче середовище. Іонізуюче випромінювання належить до космічного випромінювання, а його природними джерелами на Землі є радіоактивні речовини, розподілені в геосфері. Штучними джерелами іонізуючого випромінювання є ядерні реактори, штучні радіоактивні ізотопи, ядерні вибухи, рентгенівське обладнання тощо [2].

Дозиметр іонізуючого випромінювання - це прилад або система, що вимірює або безпосередньо чи опосередковано оцінює кількість випромінювання, потужність поглинутої або еквівалентної дози.

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		8

Результат вимірювання - значення дозиметричної величини виражене, як числове значення та відповідна одиниця.

Щоб прилад функціонував як радіаційний дозиметр, він повинен мати принаймні одну фізичну властивість, яка є функцією вимірюваної дозиметричної величини і це може бути використано для вимірювання з належним калібруванням. В порядку, щоб бути корисними, радіаційні дозиметри повинні мати кілька бажаних характеристик.

Очевидно, що не всі дозиметри можуть задовольнити необхідні характеристики одночасно. Тому підбір компонентів має бути виконано розсудливо, з урахуванням вимоги до ситуації вимірювання, наприклад: для контролю ситуації навколишнього середовища в повсякденному житті використовують автоматизований прилад дозиметричного контролю іонізуючого випромінювання, який не має надвисокої точності, але здатен реагувати та реєструвати зміну фонового рівня радіації. Даний пристрій повинен бути сучасним, автономним, енергоефективним та інформативним, оскільки він має повідомляти громадянам стан навколишнього середовища.

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

РОЗДІЛ 1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1.Перші детектори радіації

З перших днів радіаційних випробувань вчені Вільгельм Конрад Рентген та Антуан Анрі Беккерель шукали шляхи вимірювання та спостереження випромінювання, яке виділяли матеріали, з якими вони працювали. Одним із ранніх засобів збору будь-яких даних від радіоактивності була фотопластина. Її розміщували на шляху радіоактивного променя або матеріалу. Коли пластину пронизували радіоактивні частинки, вона покривалася плямами, так би мовити, запотівала. Анрі Беккерель використав метод, подібний до цього, щоб продемонструвати існування радіації в 1896 році [3].

Ще одним поширеним раннім детектором був електроскоп. В ньому застосовувались пари золотих листочків, які могли б зарядитися від іонізації, спричиненої випромінюванням, і відштовхувати один одного. Це забезпечило засіб вимірювання випромінювання з кращим рівнем чутливості, ніж можна було визначити за допомогою фотопластин. Залежно від розташування приладу, вони могли бути реалізовані для вимірювання α - або β -частинок і були цінним інструментом для ранніх експериментів, що включали радіоактивність.

Цікавим раннім пристроєм, що базувався на бажанні виміряти фактичні окремі частинки або промені, що випромінюються радіоактивною речовиною, на відміну від більш грубих вимірів радіоактивного поля, був спінтарископ. Розроблений Вільямом Круксом, який також винайшов трубку Крукса, саме її Вільгельм Рентген використовував для відкриття рентгенівських променів. Він використовував сітку сульфід цинку в кінці трубки з невеликою кількістю радіоактивної речовини поблизу, а лінзу на іншому кінці. Сульфід цинку реагував би з випромінюваними α -частинками, і кожна взаємодія призвела б до крихітного спалаху світла. Ця тенденція деяких матеріалів видавати світло під впливом випромінювання також виявиться цінною для майбутніх технологій виявлення радіації [1].

Ці ранні пристрої та багато інших, такі як хмарні камери, були цінними

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		10

для розуміння основних принципів випромінювання та проведення важливих експериментів, що створили основу для подальших розробок. Це включало розробку нових типів детекторів випромінювання, багато з яких використовуються і сьогодні, таких як трубки Гейгера-Мюллера, іонні камери та сцинтилятори.

1.2. Реєстрація іонізуючого випромінювання

1.2.1. Терміни та визначення

Іонізуюче випромінювання можна виявити по взаємодії його із середовищем, що призведе до створення іонів різних знаків. Фотонне випромінювання взаємодіє з речовиною шляхом фотоелектричного поглинання, комптонівського розсіювання та утворення пар. Кожен із цих процесів породжує електрони та іони, які можуть бути визначені та виміряні. Відношення числа іонів одного знаку (dN), створених іонізуючою частиною на елементарному шляху (dl), до цього шляху, називають **лінійною іонізацією** і позначають $R = dN / dl$. На лінійну іонізацію впливають енергія зарядженої частинки чи фотону і характер іонізуючої речовини.

Детектором іонізуючого випромінювання називають чутливий елемент засобу вимірювання, призначений для перетворення енергії іонізуючого випромінювання в інший вид енергії, зручний для реєстрації чи вимірювання однієї чи кількох величин, яка характеризує вплив на детектор випромінювання. Ідеальний детектор повинен реєструвати кожну іонізуючу частинку, яка взаємодіє з ним і давати точну інформацію про її положення, енергію і час взаємодії. Він також повинен забезпечувати обробку достатньо великої кількості фотонів. Існуючі детектори не задовольняють усім цим потребам: не всі фотони, які потрапили на детектор, взаємодіють з ним, не обов'язково усі частинки взаємодіють ефективно [4].

Величину Q – долю падаючих на детектор випромінюючих частинок, які утворюють величину, яку можна виміряти (імпульс струму, фотоелектрон,

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		11

почорніння плівки і т.д.), що дають внесок у вихідний сигнал, називають **квантовим ходом детектора**.

Значення квантового виходу, рівне одиниці, необов'язково відноситься до ідеального детектора. Розглянемо наприклад два сцинтиляційних детектора:

I – ідеальний та Р – реальний, вихідні сигнали яких формуються шляхом інтегрування світла. Детектор I має значення квантового виходу, рівне одиниці, і конструйований так, що кожна сцинтиляція дає чітко однаковий світловий вихід. За допомогою такого детектора можна точно визначити, скільки було поглинуто первинних фотонів. Детектор Р також має наявний квантовий вихід, рівний одиниці, і світловий вихід кожній сцинтиляції в середньому такий же як і детектор I, але який коливається навколо середнього значення. Інтегрування таких сцинтиляцій не дозволяє точно визначити число зафіксованих первинних фотонів, хоча можна дати оцінку числа їх загального параметра, оцінюючого якість детекторів, *узагальненого квантового виходу системи реєстрації*, який визначається відношенням.

$$QD = [\text{ВСШ}_{\text{вих}} / \text{ВСШ}_{\text{вх}}]^2 \quad (1.2.1)$$

Де $\text{ВСШ}_{\text{вих}}$ – відношення сигнал-шум на виході системи реєстрації;

$\text{ВСШ}_{\text{вх}}$ – відношення сигнал-шум на вході системи реєстрації.

1.3. Класифікація детекторів

При необхідності підкреслити вид реєструючого іонізуючого випромінення, найменування детектора будують з додаванням терміну цього елемента, який вказує на види випромінення. Наприклад: детектор бета-частин, детектор рентгенівського випромінення, детектор нейтронів.

По конструкції детектори можна розділити на точні лінійні та матричні.

По формі представлення вимірювальної інформації детектори іонізуючого випромінювання можна розділити на аналогові та дискретні, а по формі залежності вихідного сигналу детектор від значення вимірюваної фізичної величини, характеризують випромінення на пропорційні та не пропорційні.

По стану речовини чутливого елемента детектора підрозділяють на

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		12

твердо-тілі, рідинні і газові.

По методам реєстрації іонізуючого випромінення детектори (табл. 1.3) поділяють на:

сцинтиляційні — радіолюмінісцентні детектори, в яких використовують сцинтилюючу речовину, яка випромінює кванти світла під дією іонізуючого випромінення. Воно оптично пов'язано, безпосередньо або через світлодіод з фоточутливим приладом.

Іонізуючі — детектори, принцип дії яких заснований на використанні іонізації в речовинах фоточутливого елемента детектора.

Напівпровідникові — іонізуючі детектори, в яких використовують електричне поле для збору носіїв зарядів з різними знаками, створених іонізуючим випромінюванням в напівпровідниковому матеріалі чутливого елемента детектора. Вони в свою чергу поділяються на охолоджувані та не охолоджувані [1].

Табл.1.3. 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
Напівпровідник	Напівпровідниковий перетворювач	Електричний
Сцинтилятор	Сцинтиляційний перетворювач	Світловий
Фотоемульсії	Рентгенівська плівка	Хімічний
Аморфний кремній	Багаторазові пластини з фото-стимулюючою пам'яттю	Хімічний

Одиночний детектор представляє собою інформацію про інтенсивність

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		13

випромінювання. Для отримання інформації про розповсюдження інтенсивності випромінювання в просторі детектори об'єднуються в так звані лінійки чи матриці. В такому випадку вони перетворюють радіаційне зображення в зображення іншого виду, що називається радіаційними перетворювачами. Якщо радіаційне зображення перетворилося в оптичне, то кажуть, що це радіаційно-оптичний перетворювач. Зображення також можуть бути отримані за допомогою одиничних детекторів сканування. Детектор переміщується в просторі радіаційного зображення і дані запам'ятовуються послідовно в усіх точках. Таке отримання даних виключає можливість отримання в радіаційних зображеннях динамічних похибок.

1.3.1.Напівпровідниковий детектор

Напівпровідники під дією іонізуючого випромінювання міняють свої властивості і можуть використовуватись в якості детекторів випромінювання. В даний час, детектори виготовляють з використанням GaAs, SiC, CdTe, Si та Ge. До застосованих в дозиметрії напівпровідникових пристроїв відноситься дифузійні детектор з *p-n*-переходом(рис. 1.3.1), поверхнево-бар'єрні(рис. 1.3.2) і дифузійної-дрейфові детектори(рис. 1.3.3)

Дифузійний детектор з *p-n*-переходом отримав свою назву за технологію його виготовлення. Пластину напівпровідникового кристалу *p*-типу з нанесеним на її поверхню шаром домішків, (наприклад: фосфору) *n*-типу, називають так, щоб безпосередньо під поверхнею утворився *p-n*-перехід. Оскільки матеріал *n*-типу має надлишок електронів, при вказаній комбінації матеріалів електрони будуть прагнути розміститися на одній із сторін переходу, а дірки — на іншу, тобто на переході виникне різниця потенціалів [5].

При положенні до кристалу зовнішньої напруги такої полярності, щоб вона перешкоджала нормальному переміщенню електронів і дірок (зворотне зміщення), потенціальний бар'єр на переході збільшується і виникає збіднена носіями заряду зона (рис.1.3.1).

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		14

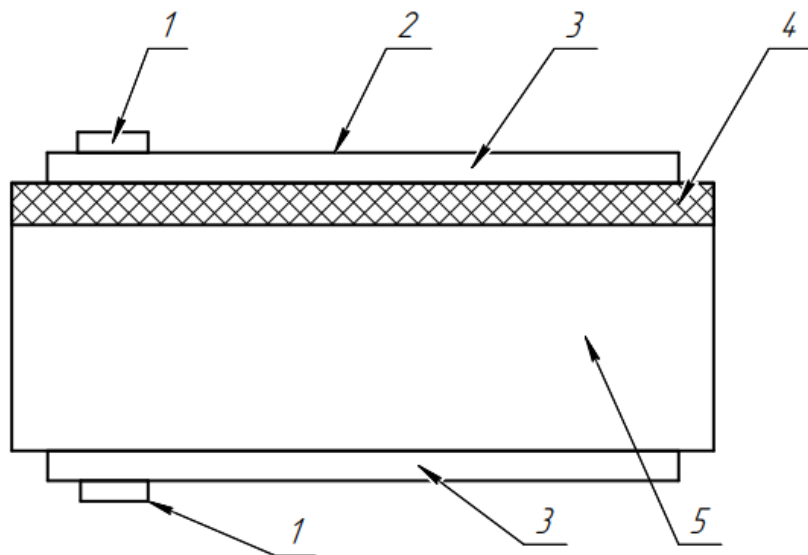


Рис.1.3.2 Схематичний розріз поверхнево-бар'єрного детектора:
 1 – металевий електрод; 2 – вхід детектора; 3 – тонкий металевий електрод; 4 – збіднена область; 5 – кремній *p*-типу

Поверхнево-бар'єрні детектори в порівнянні з детекторами *p-n*-переходу, дають кращу роздільну здатність по енергії, але у детекторів з *p-n*-переходом, більш широка збіднена зона, що дозволяє їм детектувати частинки з більш високою енергією.

Дифузійно-дрейфові детектори виготовляють із кремнію *p*-типу з низьким пороговим опором, в такому випадку використовується явище дрейф, а в глибині кристалу, наприклад, іонів літію в глибині кристалу при температурі до 400°C при подачі зворотної напруги в декілька сотень вольт. Під дією електричного поля іони літію проникають в глибину кремнію і компенсують акцептор. Атоми акцептора, наприклад, трьохвалентні атоми індію чи галію, можуть заміщати в кристалічних ґратці атоми напівпровідника. Таким чином, створюється кристал, який має тільки власну провідність (рис. 1.3.3).

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

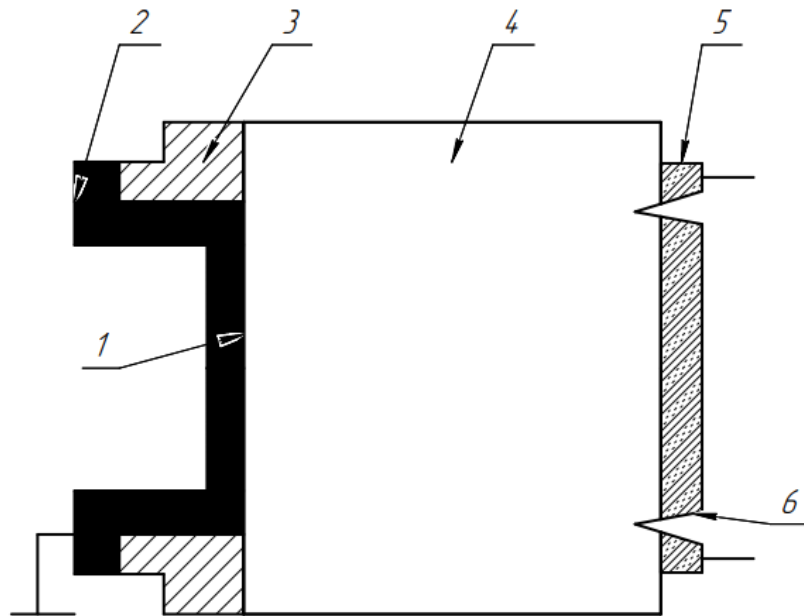


Рис.1.3.3 Схематичний розріз дифузійно-дрейфового детектора:

- 1 – вхід детектора; 2 – тонкий металевий електрод; 3 – некомпенсована область p -типу; 4 – шар кремнію, компенсований літієм; 5 – дифузійний шар літію; 6 – перехідне кільце

Напівпровідникові лінійні і матричні детектори дозволяють розвинути нові, основані на комп'ютерних технологіях, додатки. Ці технології і алгоритмічні розробки застосовуються в НК. Нові технології калібровки дозволяють практично повністю позбавитися від власних шумів детектора. Такі можливості відсутні в плівкових системах і системах з фотостимулюючою пам'яттю [5].

1.3.2.Іонізуючі камери

В іонізуючій камері до об'єму газу між двома електродами прикладається різниця потенціалів. В дозиметричних приладах камера часто має циліндричну форму: газ закупорений в циліндричному катоді, через який проходить аксіально розташований стрижневий анод (рис 1.3.2.1)

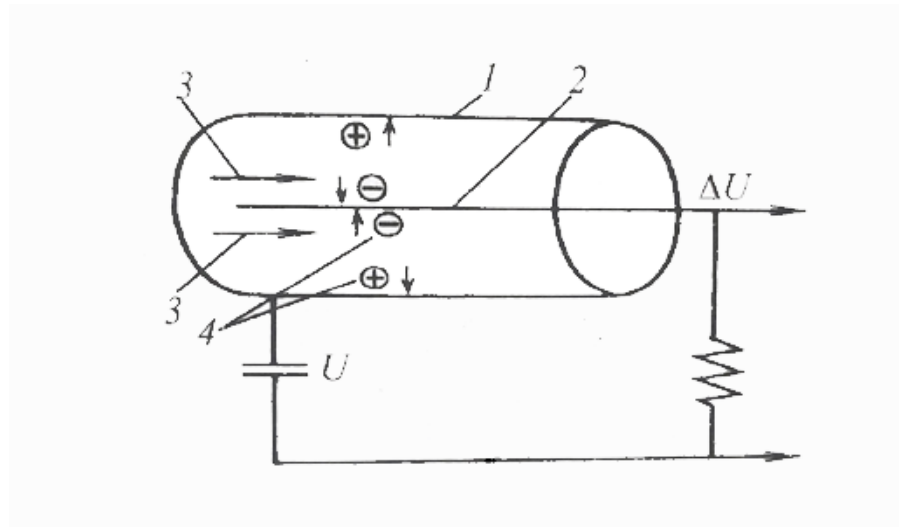


Рис.1.3.2.1 Схема циліндричної іонної камери:
 1 – катод; 2 – анод; 3 – іонізуюче випромінювання; 4 – електрони та іонний газ

В основному застосовують полі-іонізаційні камери (рис. 1.3.2.2), скомпоновані у виді лінійних чи двомірних матриць.

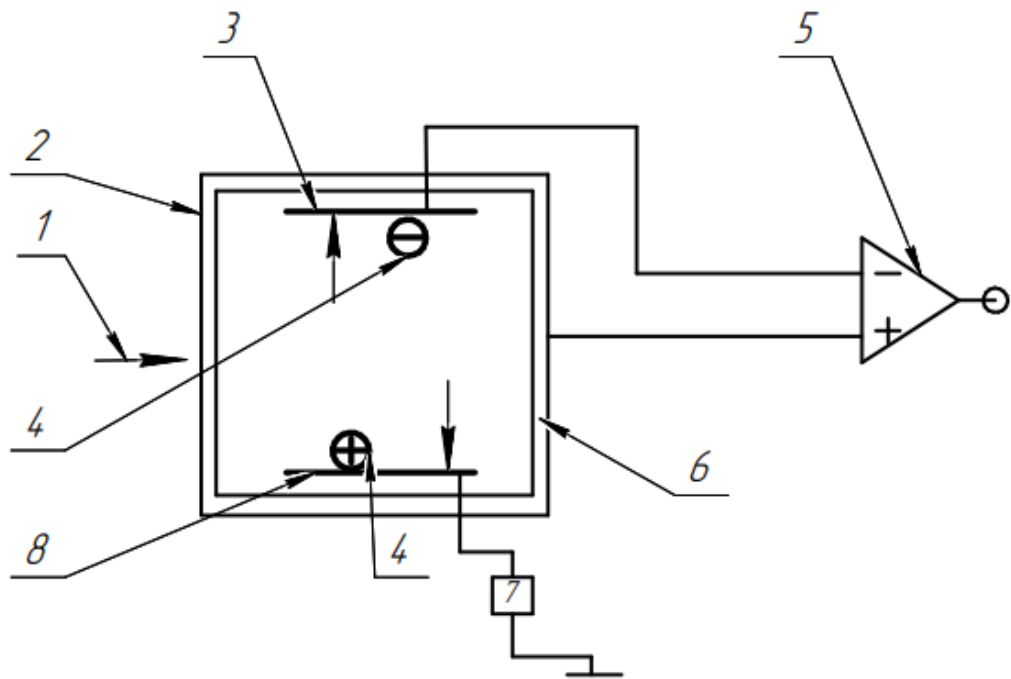


Рис.1.3.2.2 Схема полі іонізаційної камери:
 1 – іонізуюче випромінювання; 2 – вхідне вікно; 3 – анод; 4 – електрони та іонний газ; 5 – попередній підсилювач; 6 – стінки камери; 7 –джерело живлення; 8 – катод

Іонізуючі частинки проходять через чутливий об'єм камери та іонізує газ, що знаходиться всередині. При прикладанні до електродів різниці потенціалів

Сигнал такої камери пропорційний енергії і тому вони широко використовуються для реєстрації доз випромінення [5].

Іонізуючий струм виникає в камері та вимірюється при його проходженні через зовнішній ланцюг. Сила такого струму дуже мала і потребує підсилення при його вимірюванні. Описані вище камери вимірюють потужність доз іонізованих випромінювань, тобто вони показують рівень випромінення. В деяких камерах система із двох електродів підключається до конденсатору, заряджається зовнішнім джерелом до початкової різниці потенціалів U_0 . В полі іонізуючого випромінення різниця потенціалів зменшується в результаті переносу заряду іонами. Вимірювання різниці потенціалів в електродах камери слугує мірою дози опромінення. Камера показує загальну дозу опромінення, яка накопичилася із моменту закінчення заряду камери. Ці камери застосовуються в індивідуальних дозиметрах.

1.3.3. Газові лічильники

Газовий лічильник являє собою датчик (по конструкції аналогічний іонізаційній камері), призначений для реєстрації іонізуючих частинок. На відміну від іонізаційних камер в газові лічильники для посилення іонізаційного струму використовується газовий розряд.

Залежно від характеру використовуваного газового розряду (див рис. 1) лічильники можна розділити на два типи:

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

При правильному підборі газів, напруг пропорційний лічильник і може виявити α -частинки та β -частинки або високоенергетичні фотони з невеликою кількістю більш низькоенергетичних [5].

В області Гейгера-Мюллера (див. Рис. 1.3.2.3) сила струму вихідного імпульсу абсолютно не залежить від значень початкової іонізації. Всі імпульси при заданій напрузі не залежно від роду іонізаційних частинок та енергій мають однакове значення сили струму. Лічильники Гейгера-Мюллера є найбільш

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		20

широко вживаними універсальними приладами для дозиметричного контролю. Необхідно пам'ятати, що лічильники Гейгера-Мюллера, на відміну від типових іонізаційних камер, зчитують імпульси та реєструють їх число за одиницю часу. Деякі прилади мають шкалу, проградуовану по випромінюванню цезію-137 або будь-якого іншого джерела. Тому, перш ніж проводити вимірювання лічильником Гейгера-Мюллера, необхідно уточнити залежність відносини зареєстрованої потужності дози P_{01} до дійсної потужності дози P_0 в залежності від енергії іонізуючих частинок (рис. 1.3.3.1), щоб вимірювання було ефективним.

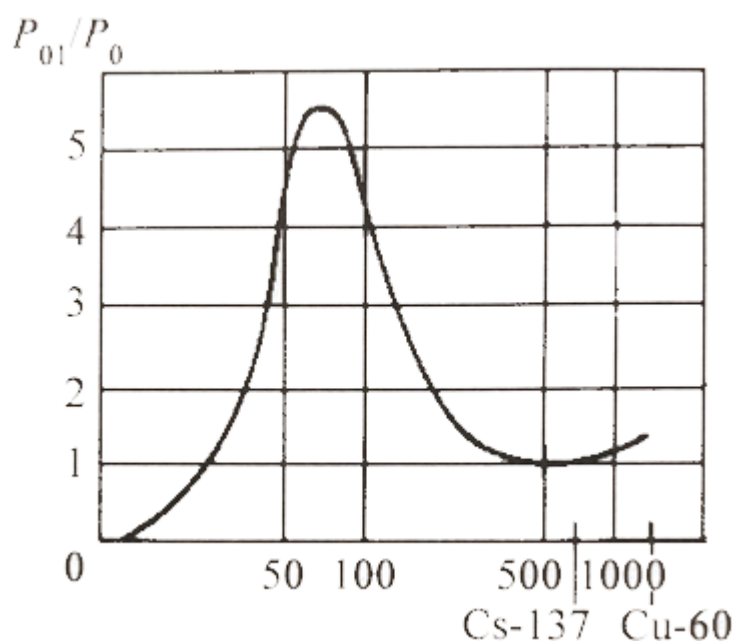


Рис. 1.3.3.1 Залежність відношення зареєстрованої потужності дози P_{01} до дійсної дози P_0 від енергій для лічильника Гейгера-Мюллера.

1.3.4.Сцинтиляційні детектори

Безпосередньо в процесі відкриття рентгенівського випромінювання було помічено, що деякі речовини після взаємодії з іонізуючим випромінюванням випускають фотони видимого світла. Ці світлові фотони проявляються у вигляді спалахів і в цьому випадку говорять, що речовини сцинтилюють. В якості сцинтиляторів (люмінофорів) в приладах для дозиметричного і неруйнівного контролю широко застосовують тверді матеріали. Будучи більш

випускають у вигляді кристалів, пластинок і гелів.

Неорганічні тверді скінтілятори зазвичай представляють собою кристали галогенних лужних металів. Люмінесцентний процес в неорганічних матеріалах вимагає присутності в них невеликих кількостей домішок [7].

Ще в кінці минулого століття було встановлено, що люмінесценція багатьох твердих тіл сильно залежить від наявності в них незначних домішок, які впливають як на колір світіння, так і на здатність до люмінесценції. Ці домішки називають активаторами, а люмінофори, які їх містять, почали називати, як тверді розчини активатора в основній речовині [5].

Випромінювання відбувається в мікроскопічних утвореннях, пов'язаних з атомами активатора і отримали найменування центрів світіння. Для використання в приладах НК і дозиметрії скінтілятори повинні володіти більшістю з перерахованих нижче властивостей:

- 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.

Найкращий компроміс між поглинанням і просторовим розширенням може бути отриманий тільки із застосуванням матеріалів, що містять атоми з високим атомним номером і мають високу щільність:

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

Найкращий компроміс між поглинанням і просторовою роздільною здатністю може бути отриманий тільки із застосуванням матеріалів, що містять атоми з високим атомним номером і мають високу щільність. (рис.1.3.4.1, рис.1.3.4.2)

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

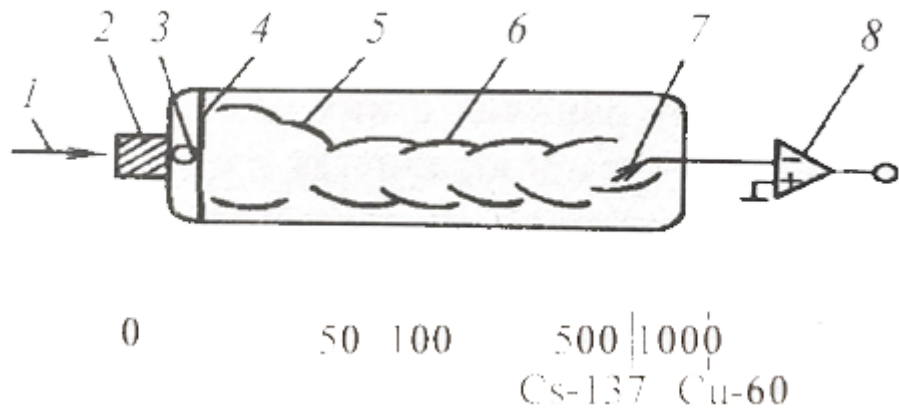


Рис.1.3.4.1 Схема детектора сцинтилятор-ФЕУ:

- 1 – рентгенівське випромінення; 2 – сцинтилятор; 3 – фотони рентгенолюмінісценції;
 4 – фотокатод; 5 – фокусуєчий електрод; 6 – діоди;
 7 – анод; 8 – попередній підсилювач

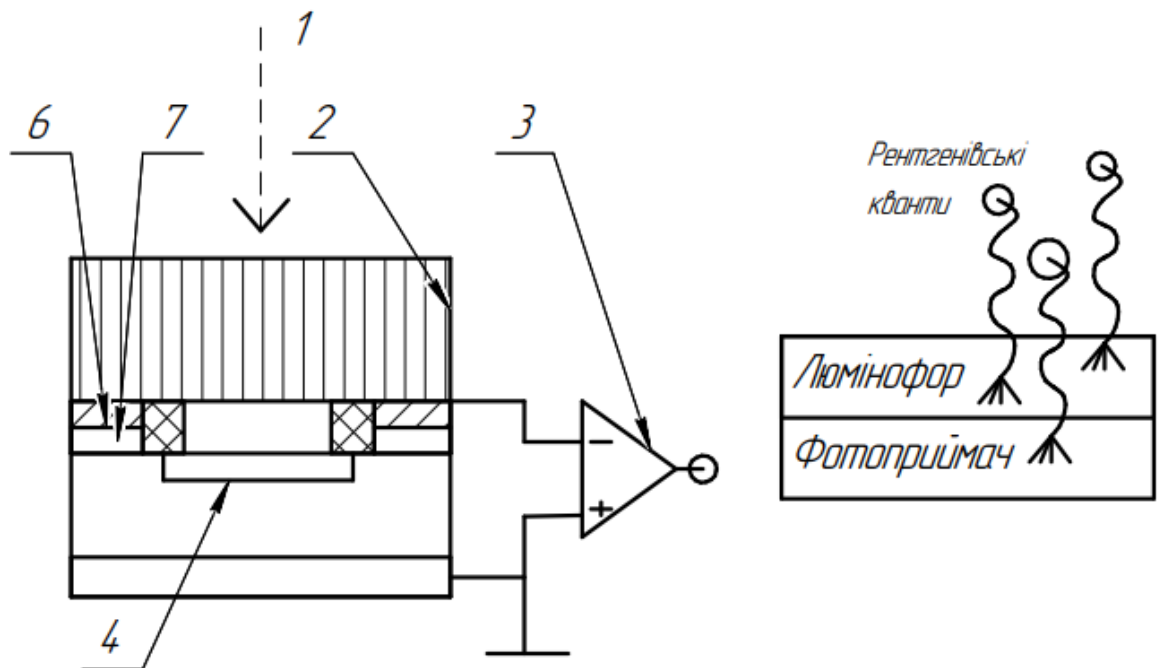


Рис.1.3.4.2 Схема детектора сцинтилятор – фотодіод:

- 1 – рентгенівське випромінення; 2 – сцинтилятор; 3 – підсилювач; 4 – *p-n*-перехід;
 5 – SiO₂; 6 – металевий контакт

В ланцюгу передачі даних про характеристики іонізуючого випромінювання сцинтилятори зазвичай інформаційно пов'язані з фотонними перетворювачами: фотоелектронним помножувачем (ФЕП), фотодіодами, фотокатодами, рентгенівською плівкою і т.д.

До появи ФЕП спалахи підраховувались візуально. В середині ХХ ст. було створено ФЕП, завдяки йому різко розширилась область використання сцинтиляторів. ФЕП складаються із фоточутливого шару, який називається фотокатодом, і ряду електронних помножувачів, які називаються діодами. Фотокатоли перетворюють фотони в сцинтиляційних спалахах у фотоелектрони [5].

ФЕП сконструйований так, що фотоелектрони, які випромінює фотокатод, фокусуються по напрямленню до першого діоду, отримуючи при цьому додаткову енергію з електричного поля, створено в ФЕП, і взаємодіє з діодом, за рахунок другорядної електричної емісії стимулює вихід із нього великої кількості електронів, ніж з ним взаємодіють. Даний процес повторюється в кожному діодному каскаді. Фотодіод і катод розташовуються в скляній вакуумній оболонці. ФЕП може дати електронне підсилення до 10^{10} на кожен випромінюваний фотоелектрон, що призводить до зменшення втрат інформації при подальшій обробці сигналів з ФЕП [5].

В сучасній радіаційній інтроскопії в якості радіаційних перетворювачів широко використовуються лінійні дискретно-детекторні системи, які являють собою набір лінійно розташованих один за одним одиночних детекторів.

В даний час в цих системах в основному використовуються детектори трьох типів: на основі газової іонізаційної камери, яка працює в режимі виміру струму; на основі сцинтиляційного кристалу, який з'єднаний з ФЕП (рис.1.3.4.1), який працює в режимі підрахунку імпульсів чи виміру струму. Характеристики детекторів вказаних типів наведені в (табл. .1.3.4)

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		25

газ: гелій або аргон. Коли радіоактивні частинки діють на трубку, то газ, що в середині може вступати в реакцію іонізації. Іони (і електрони) притягуються до електродів і виробляється електричний струм. Лічильник підраховує імпульси струму, і кожен отриманий імпульс означає, що випромінювання іонізує газ. (рис.1.4.1)

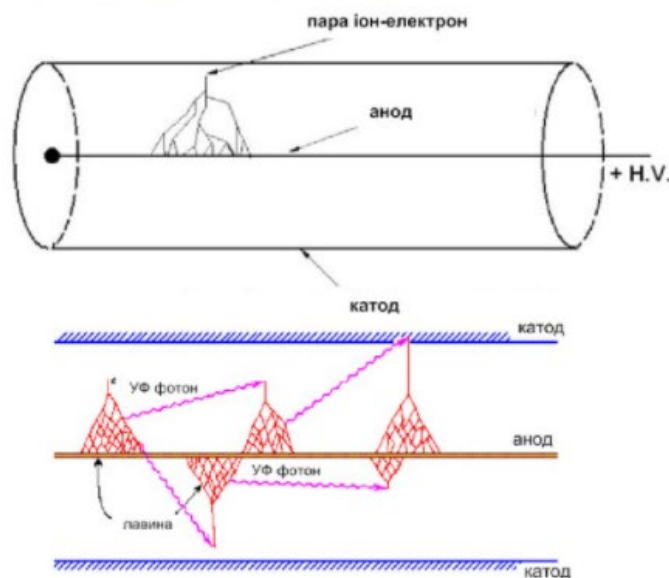


Рис.1.4.1 Принцип дії газорозрядного лічильника

Апарат складається з двох частин, трубки та лічильник + джерело живлення. Трубка Гейгера-Мюллера, як правило, циліндрична, з дротом по центру. Лічильник + джерело живлення мають регулятори напруги та опції таймера.

Коли іонізуюче випромінювання, таке як α -, β - чи γ - частинка, потрапляє в трубку, він може іонізувати деякі молекули газу в трубці. В процесі іонізації електрон вибивається з атома, тому атом стає позитивно зарядженим іоном. Висока напруга створює електричне поле всередині трубки. Електрони, які були вибиті з атома, притягуються до позитивного електрода, а позитивно заряджені іони притягуються до негативного електрода. Це створює імпульс струму в проводах, що з'єднують електроди. Після чого ці імпульси підраховуються, заряджені іони нейтралізуються, а лічильник Гейгера -готовий записати ще один імпульс [8].

Для того, щоб лічильник Гейгера відновився швидко в початковий стан після вступу випромінювання, в трубку додають газ. Для правильного використання лічильника Гейгера потрібно мати відповідну напругу. Якщо напруга занадто низька, то електричне поле в трубці занадто слабе, що призведе до низького імпульсу струму, тому лічильник його не зможе порахувати. Якщо напруга занадто висока, то всередині трубки розряди можуть виникати безупинно, і трубка може бути пошкоджена. Трубки більшого діаметру вимагають більшої напруги для отримання необхідного електричного поля всередині.

Діапазон напруги, при якому швидкість реєстрації лічильником імпульсів струму вийде на стабільний рівень - називається "діапазон плато". Якщо подавати занадто високу напругу, більше 400В, то в результаті буде безперервний розряд, що унеможливить детектування іонізуючого випромінювання, оскільки результати будуть некоректними. Правильна робота детектора - це коли напруга знаходиться в області плато кривої. Для найкращої роботи, напругу слід вибирати досить близько до порогової напруги, тобто в першій 1/4 шляху області плато. Насправді, нахил кривої в районі плато - це показник якості лічильника Гейгера. Для хорошого лічильника, крива повинна зростати зі швидкістю менше 10% на 100 вольт. (рис.1.4.2)

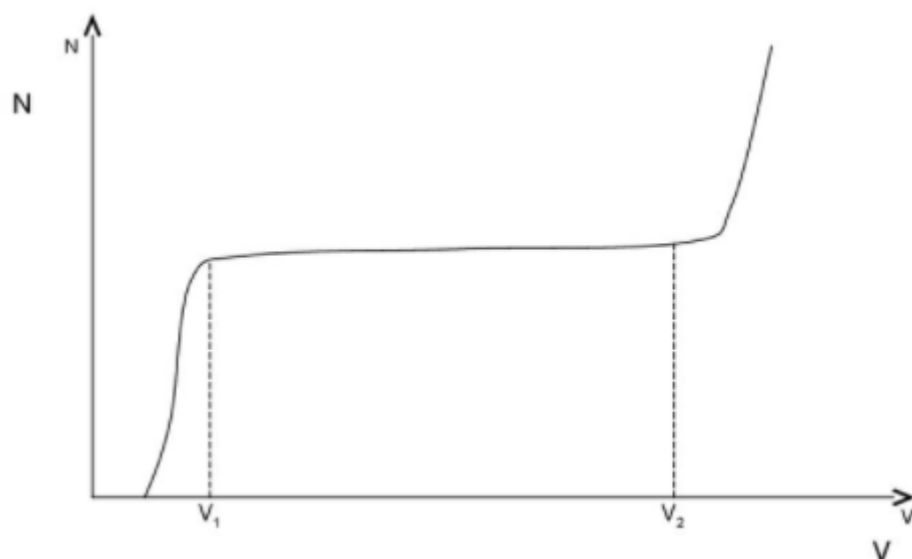


Рис.1.4.2. Область плато

$$\frac{N(V_2) - N(V_1)}{\frac{(N(V_2) + N(V_1))/2}{V_2 - V_1}} * 100\% \quad (1.4)$$

Це, для зміни на 100 вольт ((швидкість підрахунку) / (середня швидкість підрахунку) повинна бути меншою ніж 0,1. Ідеальна трубка Гейгера повинна мати нахил кривої в області плато до 3% на 100 вольт [8].

1.4.1.Ефективність лічильника Гейгера:

Ефективність детектора задається відношенням:

$$\varepsilon = \frac{\text{кількість випромінюваних частинок, які виявлено}}{\text{кількість частинок випромінювання}} \quad (1.4.1.1)$$

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

Причина того, що ефективність для трубки-ГМ мала для реєстрації α -частинок полягає в тому, що для поглинання енергії використовується газ.. Оскільки α -частинки є не дуже енергійними, то вони просто не зможуть пройти крізь зовнішню оболонку трубки, яка містить в собі газ, та вступити в реакцію іонізації. Тому такий чутливий елемент не є достатньо чутливим для α -частинок. А ось β -частинки є достатньо енергійними, тому проходять крізь зовнішню оболонку і потрапляють у трубку, вони мають найбільший шанс викликати іонізацію. Лічильник Гейгера теж не надто чутливий до γ -променів, оскільки вони занадто енергійні та навіть не встигають вступити в реакцію іонізації.

Отже, хоча лічильник Гейгера може виявити всі три типи випромінювання, але найбільш ефективний для β -частинок і не дуже ефективний для γ -променів.

Деякі переваги використання лічильника Гейгера:

- А) Вони відносно недорогі;
- б) Довговічні та легко інтегруються;
- в) Вони можуть виявляти всі види випромінювання.

Основні недоліки лічильника Гейгера:

- а) Вони не можуть розрізнити, який тип випромінювання виявляється;
- б) Вони не можуть бути використані для визначення точної енергії виявленого випромінювання;

Але для реалізації розв'язку необхідної задачі: вимірювання загального фону навколишнього середовища, підрахунку накопиченої дози, моніторингу зміни радіаційного фону в часі – від дуже доречний.

1.4.2. Час відновлення (мертвий час)

Після того, як імпульс струму був зареєстрований та підрахований, трубці ГМ потрібний певний час, щоб перезапустити себе, так сказати, приготуватися до наступного підрахунку. Час відновлення або «мертвий час» - T , детектора - це час, необхідний для того, щоб детектор сам «перезавантажився». Оскільки детектор «не працює» під час його скидання, вимірювання активних радіаційних частинок, так би мовити, припиняється на певний період. Якщо швидкість підрахунку досягає досить високих значень, то мертвий час відіграє велику роль і тим самим впливає на похибку вимірювань. Спочатку обговоримо, як компенсувати мертвий час, а потім обговоримо, як можна виміряти, що це таке. (рис.1.4.2.1) [9]

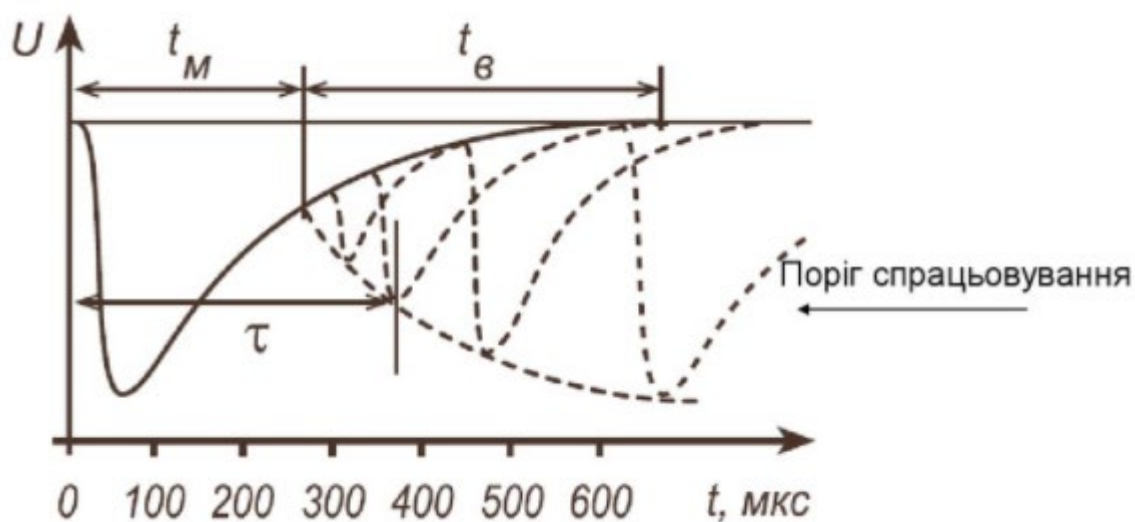


Рис.1.4.2.1 Мертвий час газорозрядного лічильника

1.4.3.Корекція для часу відновлення

Визначимо такі змінні:

t_m = час відновлення або мертвий час детектора.

t_r = реальний час роботи детектора. Це фактичний час, коли детектор увімкнено. Фактично це час підрахунку. t_r не залежить від мертвого часу детектора.

t_b = час, за який детектор виконує реєстрацію радіоактивних частинок. Це час, за який детектор здатний записувати підрахунок. t_b залежить від мертвого часу детектора.

C = загальна кількість підрахунків, які реєструються.

n = виміряна швидкість підрахунку,

$$n = \frac{C}{t_r} \quad (1.4.2.1)$$

N = справжня швидкість підрахунку,

$$N = \frac{C}{t_b} \quad (1.4.2.2)$$

Зверніть увагу, що співвідношення $\frac{n}{N}$ дорівнює:

$$\frac{n}{N} = \frac{C/t_r}{C/t_b} = \frac{t_b}{t_r} \quad (1.4.2.3)$$

Це означає, що частка відліків, який фіксується, є співвідношенням «часу роботи» до „ часу реєстрації ”. Це співвідношення і є тією частиною часу, за яку детектор виконує функцію запуску підрахунку. Ключовий взаємозв'язок, який нам потрібен, - це час, за який детектор виконує реєстрацію частинок, загальний час роботи детектора та мертвий час. Довго аналізувавши те, як лічильник Гейгера виконує вимірювання, було виведено апроксимаційний вираз:

$$t_b = t_r - C * t_m \quad (1.4.2.4)$$

Це вірно, оскільки $C * T$ - це загальний час, протягом якого детектор не може вести підрахунок. Можна виразити N через n і T , комбінуючи два рівняння вище. Спочатку поділимо друге рівняння на t_r :

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

недостатніми.

4. Atom Tag – дозиметр радіації для смартфона.

Станом на сьогоднішній день, всі ми носимо у своїх кишенях складний пристрій для моніторингу навколишнього середовища - смартфон. Зараз за допомогою смартфона можна реалізувати чимало неймовірно корисних проєктів. Однозначно, вони могли б зіграти важливу роль у мінімізації обладнання в рішеннях для моніторингу ризиків, орієнтованих на громадян, в ситуаціях екологічної катастрофи. Реалізація мобільного моніторингу навколишнього середовища, дозволивши самій громадськості отримати доступ до живої інформації та визначити ризик на ранніх стадіях.

Взаємодія фізичних та соціальних технологій, саме цю зв'язку використовують пристрої вимірювання іонізуючого випромінювання на базі смартфона для розширення можливостей звичайних громадян контролювати навколишнє середовище, моніторити ризики та взяти на себе відповідальність за своє здоров'я.

1.5.1. Radiation Monitor Zive

Zive – побутовий детектор іонізуючого випромінювання, реалізований з дотриманням інтерфейсу Bluetooth 2.0, створений для вимірювання потужності дози гамма-випромінювання та важких β -частинок. Основна задумка - шукати та локалізувати джерела випромінювання, контролювати повсякденне фонове випромінювання в приміщенні та на відкритому повітрі, вмикає режим тривоги, якщо рівень випромінювання перевищив безпечне значення. Час роботи такого дозиметра від акумулятора – 20 годин, що є не надто вражаючим показником. Власна відносна похибка такого пристрою становить $\pm 20\%$

Цін такого пристрою для громадян становить 500\$(рис.1.5.1)

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33



Рис. 1.5.1 Zive – побутовий детектор іонізуючого випромінювання

1.5.2. Pokega

Pokega – мобільний детектор випромінювання. Дана розробка втілилася у світ через підвищену нестабільну ситуацію на території Японії. Станом на сьогодні виготовлено чимало таких датчиків, і вони будують так звану екосистему, вони обмінюються інформацією про радіаційне забруднення і формують зображення радіаційного фону на місцевості, в якій використовуються. Взаємодіє детектора із смартфоном відбувається за допомогою інтерфейсу AUX, що є не дуже зручним, оскільки наявний провід, що сковує переміщення користувача. (рис.1.5.2)



Рис. 1.5.2. Pokera – мобільний детектор випромінювання

1.5.3. Pocket PM2.5

Третім вирішеним рішенням є датчик Pocket PM2.5, пристрій, який можна підключити до смартфонів для контролю забруднення повітря. Як показує обговорення, пристрій має особливий потенціал у країнах, що розвиваються, де забруднення повітря спричиняє мільйони передчасних смертей щороку. Цей пристрій застосовують у польових дослідженнях, які проводяться в Руанді, та досліджують потенціал для підвищення обізнаності про забруднення повітря у домогосподарствах та громадських місцях. (рис.1.5.3)



Рис. 1.5.3 Датчик Pocket PM2.5

1.5.4 Atom Tag

Atom Tag – датчик реалізований на лічильнику Гейгера, трубка СБМ-20. З'єднання із смартфоном відбувається через інтерфейс Bluetooth. Смартфон являється обчислювальною машиною і дисплеєм, на який виводиться інформація, яка надходить з датчика. В режимі «локатора» протягом 10 секунд можна визначити чи являється фон шкідливим для людини, чи знаходиться в межах норми. Лічильник накопиченої дози - підраховує загальну набрану індивідуальну дозу опромінення з моменту включення. Ціна даного рішення для громадян становить - 280\$ (рис.1.5.4) [10].



Рис. 1.5.4 Atom Tag – дозиметр радіації для смартфона

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		36

ВИСНОВОК ДО ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ

В даний час існує постійна глобальна загроза для пересічних громадян та природного середовища. Контроль ситуації за допомогою таких компактних і багатофункціональних датчиків на базі смартфона є дуже зручним і доречним.

У традиційних оцінках ризику, вважається, що управління та розв'язок визначається шляхом експертного обговорення та прийняття рішень. На мою думку, моніторинг ситуації пересічними громадянами - ключ до ефективного прогнозування, запобігання та реагування на катастрофи пов'язані не тільки із іонізуючим випромінюванням, але й в цілому. Тому реалізація таких пристроїв має велику доцільність і має бути рентабельною.

Задача, яку необхідно вирішити – реалізувати недорогий, компактний пристрій дозиметричного контролю іонізуючого випромінювання, який буде сповіщати про ситуацію, яка створюється навколо. Проаналізувавши чимало літератури, було визначено, що реалізація такого пристрою на базі трубки СБМ-20 – є доцільним рішенням для досягнення необхідного результату. Якщо виникає якась радіаційна загроза, або просто підвищення фонового значення, нам не сильно важливе значення чи реакція на назькоенергетичні α -частинки, оскільки від них не надто велика шкода і захиститися дуже легко. А от вплив від важкої β – частинок та γ -променів є дуже суттєвим і саме це діапазони випромінювання необхідно контролювати. Лічильник Гейгера підходить для вирішення задачі, коли необхідно реагувати на підвищення радіаційного фону, при перших потребах евакуації чи прийнятті необхідних рішень. Програмним способом можна зменшити кількість шумів і компенсувати мертвий час лічильника, що в свою чергу призведе до зменшення величини похибки і вимірені значення будуть релевантними. Також за допомогою програмних рішень можна створити різні обмеження, підрахунки накопиченої дози, прогнозувати подальший розвиток ситуації чи передбачити вплив на людину. Вхідних даних для реалізації таких алгоритмів достатньо.

В подальшому можна доукомплектувати датчик ще однією трубкою

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		37

Гейгера або сцинтиляційним датчиком, щоб збільшити діапазон та точність вимірювань. Наступним кроком може бути інтегрування глобальної системи позиціонування (GPS), завдяки якій можна буде робити карти зображені іонізуючого випромінювання в тих місцях, де знаходиться датчик. При глобальному розповсюдженні, таке рішення може допомогти скласти карти для цілих міст і користувачі зможуть спостерігати за змінами іонізуючого випромінювання не лише в тій місцевості, де вони знаходяться, але й там, куди вони планують поїхати. Дуже корисний прилад виявиться для експедицій на території, де потенційно може бути підвищений фон радіації. Туристи зможуть на власні очі побачити, яку дозу вони отримали та де територіально розташовується найбільш небезпечна зона.

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКИ ДАТЧИКА

Номинальна робоча напруга – 400В

Робочий інтервал напруги – 350 – 475В

Протяжність області Плато лічильної характеристики – не менше 100В

Нахил Плато лічильної характеристики – не більше 0,1% на 1В

Діапазон реєструючих потужностей експозиційних доз гамма випромінювання:

$$P_{min} = 0.004 \text{ мкР/сек}$$

$$P_{max} = 40 \text{ мкР/сек}$$

Чутливість до гамма випромінювання Ra^{224} потужністю $0,1 P_{max}$ 20 – 420 імп/с

Власний фон – не більше 10 імп/хв

Амплітуда імпульсу – не менше 50В

Найбільший доступний струм – 20мкА

Ресурс роботи трубки - не менше ніж $2 \cdot 10^{10}$ імп

Діапазон робочих температур – від -50 до +70°C

Зміна чутливості лічильника не перевищує 20% при експлуатації, як в імпульсному, так і в струмовому режимі.

Розрахунок відношення кількості імпульсів до отриманої дози

З офіційної технічної документації про лічильник Гейгера – Мюллера SBM-20, можемо відкалібрувати його чутливість. При іонізуючому випромінненню різних елементів, чутливість дещо відрізняється. При калібровці:

(Ra-226), чутливість датчика складає - 29 відліків/с = 1мР / год;
кобальтом чутливість (Co-60) 22 відліків = 1мР / год.

Формула для перетворення кількості імпульсів за хвилину в накопичену дозу випромінювання в мкЗв / год визначається наступним чином:

$$[\text{кількість імпульсів}] \text{ КІ} = [\text{мкЗв} / \text{год}].(3)$$

$$\text{Вважаємо, що: } 1 \frac{\text{мР}}{\text{год}} \approx 8.77 \frac{\text{мкЗв}}{\text{год}}$$

Звідси виразимо значення рівня мкЗв:

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		39

$$29 \frac{\text{імпульсів}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{мР}}{\text{год}}$$

тоді за 1 хв секунд:

$$29 * 60 = 1740 \frac{\text{імпульсів}}{\text{хв}} = 1 \frac{\text{мР}}{\text{год}}$$

Переводимо в мкЗв:

$$\frac{1740}{8.77} \approx 198 \frac{\text{імпульсів}}{\text{хв}} = 1 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$$

Отже, 1 імпульс/ хв буде означати дозу радіації в мкЗ/год:

$$1 \frac{\text{імпульс}}{\text{хв}} = \frac{1}{198} = 0,005040 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$$

Отже, підведемо підсумок про калібровку за (Ra-226):

$$\frac{\text{КІ}}{\text{хв}} = \text{КІ} * 0,005040 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$$

Якщо калібрувати систему за (Co-60), то:

$$22 \frac{\text{імпульсів}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{мР}}{\text{год}}$$

тоді за 10 секунд:

$$22 * 60 = 1320 \frac{\text{імпульсів}}{\text{хв}} = 1 \frac{\text{мР}}{\text{год}}$$

Переводимо в мкЗв:

$$\frac{1320}{8.77} \approx 150 \frac{\text{імпульсів}}{\text{хв}} = 1 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$$

Отже, 1 імпульс / хв буде означати дозу радіації в мкЗ/год:

$$1 \frac{\text{імпульс}}{\text{хв}} = \frac{1}{150} = 0,006644 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$$

Отже, підведемо підсумок про калібровку за (Co-60):

$$\frac{\text{КІ}}{\text{хв}} = \text{КІ} * 0,006644 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$$

Для SBM-20 коефіцієнти перерахунку становить: $\frac{\text{КІ}}{\text{хв}} = 0,00504 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$ (Ra-

226) та $\frac{\text{КІ}}{\text{хв}} = 0,00664 \frac{\text{мкЗ}}{\text{год}}$ (Co-60). Оброблені інформації програмним

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		40

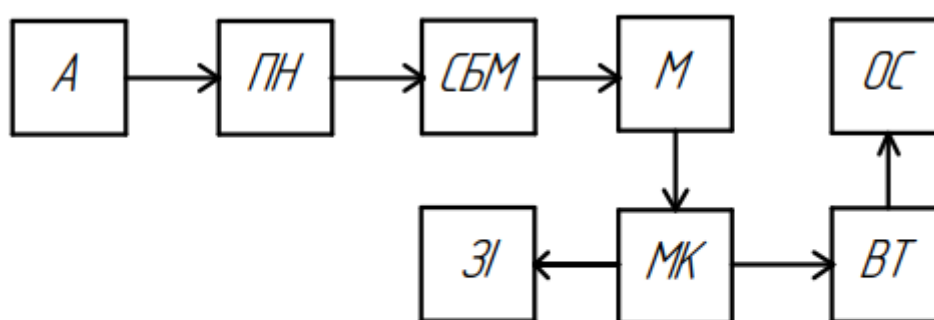
забезпеченням, для спроектованої системи, приймається усереднене значення коефіцієнта $\frac{KI}{xв} = 0,00584 \frac{мкЗ}{год}$, отже, значення 50 імпульсів відповідає дозі опромінення 0,292 мкЗв / год. Оновлення інформації відбувається щохвилини.

Табл. 2.1 Деякі розраховані значення відповідно до кількості імпульсів

Імп/хв	мкЗв/год
0	0.000
46	0.268
42	0.245
45	0.263
50	0.292

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА АЛГОРИТМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Спроектвана система на базі мікроконтролера вимірює рівень випромінювання, обробляє отримані дані і передає їх на телефон через інтерфейс Bluetooth. Він посилає сигнал тривоги при перевищенні порогового значення випромінювання. На Рис. 3.1, наведена структурна схема системи моніторингу випромінювання на основі мікроконтролера. Дана система побудована на платі STM32F103CT6 [11].



A – Акумулятор
ПН – Перетворювач Напруги
СБМ – Трубка СБМ-20
М – Модулятор
МК – Мікроконтролер
BT – Модуль Bluetooth
ОС – Операційна Система Android
ЗІ – Зовнішні Індикатори

Рис. 3.1. Структурна схема моніторингу випромінювання на основі мікроконтролера, побудованого на STM32F103.

Розроблена структура включає три основні підсистеми, такі як:

- підсистема збору фонові інформація про випромінювання;

- підсистема обробки даних;
- підсистема для відображення вихідних результатів.

Вона передбачає використання модульного принципу в процесі впровадження системи [12].

На Рис. 3.2, наведена функціональна схема системи моніторингу випромінювання на основі мікроконтролера.

Алгоритм роботи системи мікроконтролера для моніторингу фонового випромінювання зображено на Рис 3.3. Коли система включається, МК виконує початкове налаштування та ініціалізацію параметрів дозиметра-радіометра, інтерфейсу Bluetooth та портів вводу-виводу плати [13].

Наступним кроком система перевіряє напругу акумулятора і таймер запускається. Починається реєстрування кількості імпульсів за 1хв, які надходять із трубки СБМ-20. Потім система передає ці значення на телефон, де обробляються результати вимірювань та відображає їх на екрані телефону. Система виводить значення потужності радіоактивного випромінювання в мкЗв / год і кількість імпульсів в хвилину [14].

Кожну хвилину таймер скидається і перезапускається для наступного вимірювання. Коли допустима потужність випромінювання перевищена, система, подає звуковий сигнал, включає світлодіод, що інформує про небезпеку [15].

Точність вимірювання залежить від ряду налаштувань компонентів спроектованої системи.

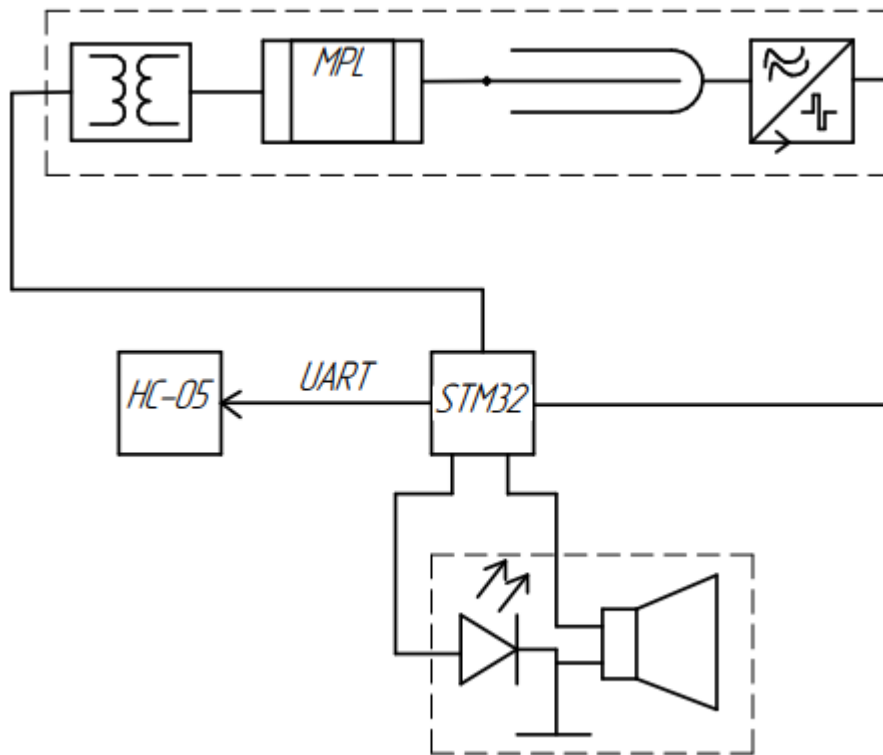


Рис. 3.2 Функціональна схема приладу

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

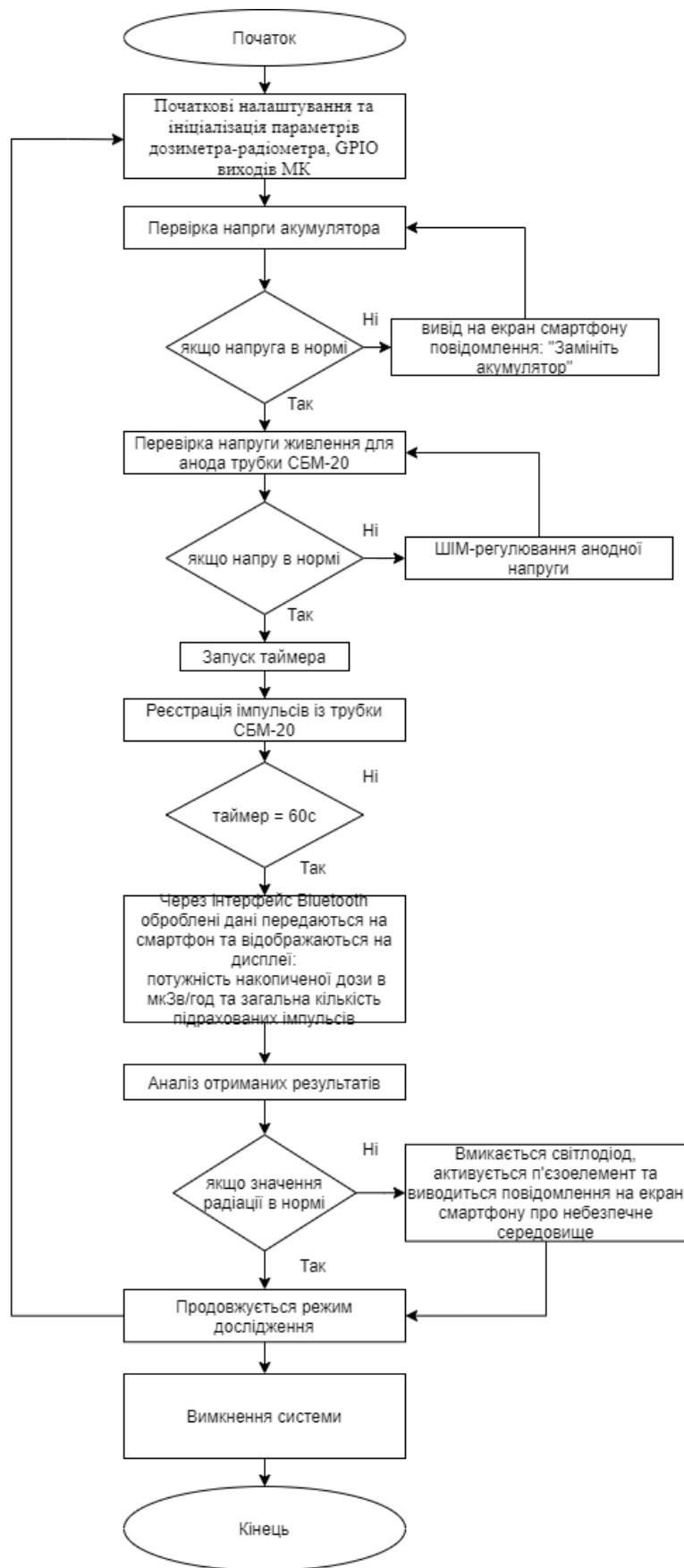


Рис. 3.2. Алгоритм роботи системи на основі мікроконтролера для фонового випромінювання моніторинг.

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 4. ПІДБІР ЕЛЕМЕНТІВ

Вибір датчика

Лічильник Гейгера СБМ-20 призначений для вимірювання жорсткого β - і γ -випромінювання і має широке застосування в галузі радіаційного контролю.

Електричні параметри СБМ-20:

- чутливість лічильника: $60 \div 75$ імп/мкР;
- номінальна робоча напруга: 400В;
- мертвий час імпульсу: 190 мкс;
- частота імпульсів: 5263 Гц.

Лічильник має менші розміри порівняно з аналогами, зручну для монтажу та проектування форму, невелику ціну. Максимальна інтенсивність, яку можна виміряти лічильником СБМ-20, дорівнює 67,47 мкР/с або 242,9 мР / год, що надає велику верхню межу вимірювань для пристрою, що проектується. Використовується в усіх аналогах [16].

Принципова схема системи показана на Рис 4.9. Вона складається з модуля підготовки до обробки даних, а також компоненти для передачі підготовлених даних для візуалізації їх на дисплеї смартфона (рис.4.1).



Рис. 4.1 Трубка Гейгера-Мюллера СБМ-20

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		46

зручними способами. Не потрібно переналагоджувати датчик для використання з різними смартфонами.

Вибір п'єзоелемента

При перевищенні порогового рівня випромінення, застосовується подача звукового сигналу.

Табл. 4.2 Основні характеристики п'єзоелементів

Найменування	Напруга живлення	Рівень сигналу	Частота	Розміри
GF0401M	2 – 4 В	85 dB	2.73 кГц	8x4,5 мм
КЕРО	7 – 12 В	85 dB	2,3 кГц	15x13 мм
BMS-4011	12 В	82 dB	3,5 кГц	8x6,5 мм

Порівнявши декілька моделей, я дійшов висновку, що вони знаходяться приблизно в одному ціновому діапазоні та чіткість звучання у них практично однакова. Необхідно обрати п'єзоелемент GF0401M, оскільки він має невеликі габаритні розміри та робочу напругу (рис.4.3).



Рис. 4.3 П'єзоелемент GF0401M

Вибір діоду для індикації

Також при перевищенні дози разом із подачею сигналу відбувається і сигналізування світлодіодом про наявну небезпечного рівня іонізуючого випромінювання.

Табл. 4.3 Основні характеристики діодів

Найменування	Напруга живлення	Рівень сигналу	Частота	Розміри
SSL-LX305F4HD	2,3 В	прямокутна	60°	5x2 мм
FAN5611	2,1 В	кругла	60°	Ø 3мм
GNL-5013HD	2 В	кругла	60°	Ø 3мм

Було обрано світлодіод від фірми G-NOR - GNL-5013HD, оскільки ці діоди використовуються у багатьох розробках, вони надійні, добре розсіюють випромінювання. Даний світлодіод випромінює яскраво-червоний колір, випускається в пластиковому корпусі. При перевищенні порогового рівня радіації разом із звуковим сигналом активується і цей діод, щоб привернути увагу користувача (рис.4.4).



Рис. 4.4 Світлодіод GNL-5013HD

Вибір способу живлення системи

Живлення системи відбувається завдяки готовій системі, реалізованій на розповсюдженому акумуляторі Sony/Murata US18650VTC6 3120 mAh. Напруга на виході такого пристрою становить 5В, що й необхідно для подальшого перетворення системи [18].

Дана напруга підвищується за допомогою трансформатора з коефіцієнтом підвищення 20, який працює на високій частоті – 25 кГц. На першу обмотку трансформатора подається напруга 5В. Чим вище частота, тим менші ємності

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>50</i>

можна взяти. Але потрібно враховувати, що на занадто високій частоті, діоди не будуть виконувати свою функцію. Тому було прийнято оптимальне рішення: поставити частоту 25 кГц. В якості генератора виступає мікроконтролер. На виході порту GPIO мікроконтролера, максимальна сила струму 25 мА, чого більш ніж достатньо для реалізації схеми.. Особливістю такої реалізації є те, що сила струму на виході не буде перевищувати 1А. Оскільки трубка Гейгера споживає максимум 20 мкА, то нам це цілком підходить. Таким чином, модулюється змінна напруга. На виході трансформатора рівень напруги 100В для того, щоб помножувач напруги, реалізований на конденсаторах та діодах, міг підвищити її до оптимальних значень для роботи трубки(рис.4.5).

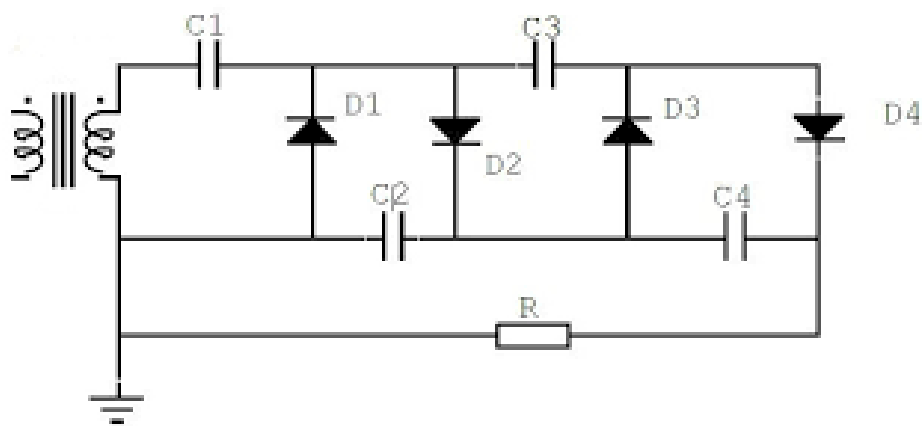


Рис. 4.5 Схема помножувача напруги

Номінальна робоча напруга становить 400 В. Діапазон робочої напруги становить від 350 до 475 В. Діапазон зареєстрованих потужностей експозиційних доз гамма-випромінювання становить 0,004 ... 40 мкР / с (0,014 ... 144 мкР / год) або 0,00004 ... 0,4 мкЗв / год. Чутливість до гамма-випромінювання від радію (Ra226) становить 29 відліків/с = 1мР / год, а від кобальту (Со60) становить 22 відліки/с = 1мР / год. Швидкість обчислення (швидкість підрахунку) при $P = 4$ мкР / с (0,04 мкЗв / с) від джерела Cs137 становить від 240 до 280 ім/с. Фантомні спрацювання від нормального фону – в середньому 1 ім / хв [19].

Вибір модулятора

Схема широтно-імпульсного модулятора (ШІМ-генератор) побудована за допомогою мікросхеми 555 таймера. На виході помножувача формується значення напруги 400В, яке й подається на лічильник Гейгера.

Розберемо, як працює схема, коли радіаційний фон відсутній:

- Імпульс струму від трубки відсутній, тому інвертор встановлює високий рівень на TRIG.
- Таймер ще не спрацював, тому OUT знаходиться на рівні 0 В.
- DISCH знаходиться в пропусковому режимі, а отже, конденсатор розряджається від заряду.

Коли радіаційний фон підвищується та імпульс струму надходить:

- Напруга на TRIG ненадовго опускається нижче $1/3$ напруги живлення .
- Це призводить до того, що для виходу OUT встановлено значення напруги живлення .
- Це також призводить до того, що DISCH закривається, отже, конденсатор починає заряджатися через резистор.
- Після $t_{\text{заряду}} = 1,1RC$, конденсатор заряджається до такої міри, що THRESH вище $2/3$ В напруги живлення .
- Це призводить до того, що OUT встановлюється на 0 В, а DISCH переводиться в пропусковий режим, швидко розряджаючи конденсатор і готуючи схему до наступного імпульсу (рис.4.6).

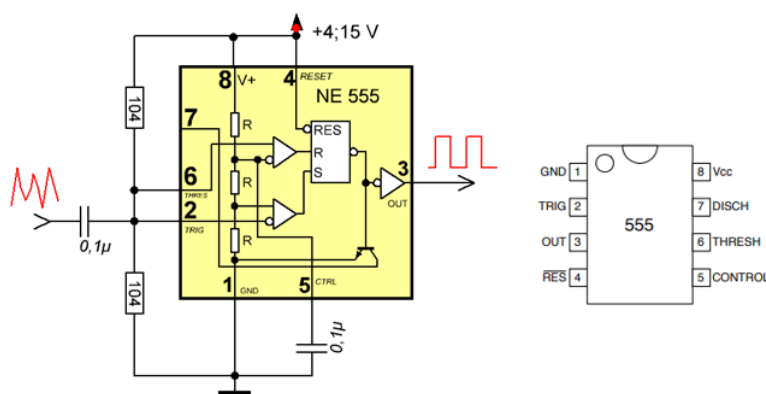


Рис. 4.6 Електрична схема модулятора та її вигляд в корпусі

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата
------	-------	-----------	--------	------

№	Назва	Функція
1	GND	Підключення до землі.
2	TRIG	Вивід триггеру: коли напруга на ньому опускається нижче $1/3 V$ напруги живлення, він спрацьовує та надсилає OUT високий потенціал.
3	OUT	Вихід: стає високим, коли TRIG опускається нижче $1/3 V$ напруги живлення, інвертується, коли TRIG піднімається вище $2/3$ напруги живлення.
4	RES	Скидання: Спрацьовує при подачі низького потенціалу, та всиновлює низький потенціал на виході OUT, незалежно від стану TRIG або THRESH.
5	CONTROL	Керуюча напруга: доступ до внутрішнього дільника напруги, змінює порогові значення.
6	THRESH	Поріг: коли напруга на цьому воді піднімається вище $2/3 V$ напруги живлення, тригер скидається, що надсилає OUT низький потенціал
7	DISCH	Розряд: коли тригер увімкнено (OUT високий потенціал), транзистор закритий і струм бази не проходить. Коли тригер відключений (OUT низький), транзистор активується, що дозволяє швидко розрядити зовнішній конденсатор.
8	VCC	Вхід живлення.

Вивід 4 (RES) підключений до V CC в щоб схема була увімкненою.

Вивід 5 (CONTROL) підключений до землі через конденсатор 10 нФ для того, щоб зменшити вплив шуму в ланцюг (рис.4.7).

Короткі імпульси від лічильника СБМ-20 надходять за допомогою моновібратора на вхід PA1 плати STM32F103 для реєстрації та аналізу.

Далі зареєстровані імпульси передаються через UART на Bluetooth модуль, звідки ініціюється передача інформації на смартфон.

Розроблена апаратура системи моніторингу випромінювання на основі мікроконтролера має низьку вартість і модульна структура, що дозволяє швидко вдосконалювати систему.

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>57</i>

ВИСНОВОК

В даному проєкті була розроблена система моніторингу фонового випромінювання за допомогою STM32F103CT6, лічильника СБМ-20 та Bluetooth модуля HC-05. Блок складено схему та загальний алгоритм роботи такої системи. Система спроектована для вимірювання еквівалентної дози випромінювання та накопиченої дози за певний період, передає отримані результати через інтерфейс Bluetooth на смартфон для обробки та виведення результатів, а також наявні попереджувальні сигнали при перевищенні потужності еквівалентної дози. Дану систему радіаційного контролю можна використовувати як у стаціонарних приміщеннях, так і для мобільного вимірювання.

Відмінною особливістю розробленої системи моніторингу радіаційного фону є її багатофункціональність, оскільки використовуються недорогі компоненти, і конфігурацію пристрою можна змінити, покращивши програмне забезпечення, реалізувавши нові функції в програмі, наприклад, інтеграція в схему GPS модуля та підв'язати Google Maps для візуалізації фону в місцевості, де знаходиться датчик. Крім того, особливістю розробленої системи – це можливість автономної роботи на акумуляторах. Межі розробленої системи щодо величини та точності дози опромінення визначається паспортними параметрами лічильника Гейгера – Мюллера.

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

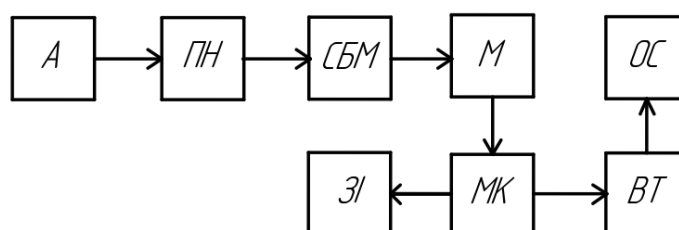
- [1] Ключев В.В., Соснин Ф.Р. «Теория и практика радиационного контроля: навчальний посібник для вузів», *Машинобудування*, 1998. 170 с.
- [2] Гусев Н. Г., Беляев В. А. «Радиоактивные выбросы в биосфере. Энергоатомиздат», 1991, 256 с.
- [3] Новіков, С.Г.; Беринцев, А.В.; Алексеев, А.С.; Сомов, А.І.; Приходько, В.В.; Гуськов, П.А.; Светухін, В.В. «Розробка персонального переносного дозиметра ефективної дози із каналом даних RFID» *Радіопромисловість*, С. 78-85, 2018.
- [4] Безруков С.; Аристов В. «Экономичный бытовой радиометр,» *Радио*, С. 30-32, 2010.
- [5] Артемьев Б.В., Буклей. А.А. «Радиационный контроль», Спектр, Москва. 2011
- [6] Технології електромагнітного неруйнівного контролю. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.
- [7] Кузьмин С.А, Зель Ю.Э, Анцибор С.В. «Опыт проведения контроля радиационного выхода медицинских рентгенодиагностических аппаратов», *Известия ТудГУ*, № 7, С. 257-261, 2015.
- [8] Иванов С.А. «Рентгеновские трубки технического значения», 1999.

					ПК71.080000.000 ПЗ	Арк.А
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		59

- [9] Batyuk, A.; Voityshyn, V.; Verhun, V. «Software Architecture Design of the Real-Time Processes Monitoring Platform. In Proceedings of the Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)» pp. 98-101, 2018.
- [10] Parkhomenko, A.; Gladkova, O.; Sokolyanskii, A.; Shepelenko, V.; Zalubovskiy, Y. « Implementation of reusable solutions for remote laboratory development,» *iJOE*, pp. 24-29, 2016.
- [11] Md. Akbar Hossain, Sayan Kumar Ray. «A Smartphone-Assisted Device-to-Device Communication for Post-disaster Recovery», 2018.
- [12] Holovatyy, A.; Teslyuk, V.; Iwaniec, M.; Mashevskya, M. «Development of Background Radiation Monitoring System Based on Arduino Platform. In Proceedings of the 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer S,» pp. 139-142, 2018.
- [13] Р. Романський, «Підхід до математичного моделювання та дослідження комп'ютерних процесів на макрорівні» *Математика*, С. 18-38, 2020.
- [14] Hacker E, Horsham C, Vagenas D, Jones L, Lowe J, Janda M. «A mobile technology intervention with ultraviolet radiation dosimeters and smartphone apps for skin cancer prevention in young adults: randomized controlled trial», *JMIR Mhealth Uhealth*, 2018.
- [15] Holovatyy, A.; Teslyuk, V.; Iwaniec, M.; Mashevskya, M., «Development of a system for monitoring vibration accelerations based on the raspberry pi microcomputer and the adxl345 accelerometer» pp. 52-62, 2017.

- [16] Momose, Y.; Sakurai, T.; Nakayama, K. «Thermal Analysis of Photoelectron Emission (PE) and X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) Data for Iron Surfaces Scratched in Air, Water, and Liquid Organics» pp. 11-21, 2020.
- [17] Моделі та міри у вимірюваннях: Монографія / В.П. Бабак, В.С. Єременко, Ю.В. Куц, М.В. Мислович, Л.М. Щербак; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака. – К.: Наукова думка, 2019. – 192 с.
- [18] Овчарук С.А.; Баженов В.Г. «Порівняння чутливості моделей звичайних та диференціальних електроємнісних перетворювачів в рамках задач цивільного розмінування», *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, №2, С. 30-36, 2019.
- [19] Моделювання перехідних процесів у вимірювальному каналі вихрострумове дефектоскопу / В.В. Долиненко, Є.В. Шаповалов, Куц Ю.В., Редька М.О., Учанін В.М. // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. — 2018. — № 4. — С. 30-35.
- [20] Куц В.Ю.; Дорошенко Л.Ю. «Метод резервування даних з використанням лінійних відновлюючих кодів», *Альманах науки*, № 5/2 (26), С. 19-22, 2019.
- [21] Комп'ютерне проектування електронних схем / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Р. М. Галаган, К. М. Серий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 163 с.

Структурна схема спроектованої системи



- А – Акумулятор*
- ПН – Перетворювач Напруги*
- СБМ – Трубка СБМ-20*
- М – Модулятор*
- МК – Мікроконтролер*
- ВТ – Модуль Bluetooth*
- ОС – Операційна Система Android*
- ЗІ – Зовнішні Індикатори*

Додаток Б

Функціональна схема, спроектованої системи

...схеми надаються по запиту до авторів...

					<i>ПК71.080000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.А</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.А</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>63</i>