МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший(бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему *«Розробка детектору гамма-фотонного ядерного випромінювання»*

Виконав: студент (ка) *4* курсу, групи *6.1763-с2*
спеціальності *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)
Аверченко М.Є.
(ініціали та прізвище)

Керівник *професор кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н. Ніконова З.А.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*
'(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 153 (176) Мікро- та наносистемна техніка
(назва)
Освітня програма Мікро- та наносистемна техніка
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Т. В.Критська
«03» червня 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Аверченко Максиму Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Розробка детектору гамма-фотонного ядерного випромінювання*
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра *Ніконова З.А., к.т.н.,доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «*23» 12. 2025 р. № 1830-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра *03.06.2026р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра*: цифровий детектор гамма випромінювання на PIN -діоді: живлення від батареї 3,7 В або USB; незначні габаритні розміри; звукова та світлова індикація.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1 Радіоактивність. Види радіоактивного випромінювання. Вплив на біологічні об'єкти. 2 Розробка детектора гамма-випромінювання на PIN -діоді 3 Охорона праці та техногенна безпека*

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

Л1 Схема електрична принципова аналогового блоку Л2 Структурна схема цифрового детектора гамма-випромінювання Л3 Топологія друкованої плати та блок-схема роботи пристрою

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова З.А.*	*24.02.2026*
II	*Ніконова З.А.*	*09.05.2026*
III	*Ніконова З.А.*	*30.05.2026*

7. Дата видачі завдання *20.10.2025р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	*Аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи*	*03.11.25 - 30.12.25*	
2	*Аналіз сенсорів іонізуючого випромінювання*	*05.01. -02.02.*	
3	*Розробка схеми електричної принципової аналогового модуля*	*09.02. -06.04.*	
5	*Розробка схеми електричної принципової детектора*	*07.04. -01.05.*	
6	*Розробка топології друкованої плати*	*02.05. -09.05.*	
7	*Розділ охорони праці та техногенної безпеки*	*13.05. -20.05.*	
8	*Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень*	*21.05. -29.05.*	

студент _____ *Аверченко М.Є.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова З.А.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 81 сторінку, 13 рисунків, 9 таблиць, 27 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – пристрої контролю радіаційного забруднення.

Мета роботи – розробка детектора гамма- випромінювання на основі pin-діоду.

Задачі роботи: провести аналіз конструкцій та принципу роботи приладів вимірювання параметрів іонізуючого випромінювання; розробити схему електричну принципову детектора; розробити топологію друкованої плати детектора гамма- випромінювання.

Методика досліджень – моделювання приладу за допомогою програмного забезпечення SPlan, розробка топології печатної плати за допомогою Sprint Layout.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено цифровий детектор гамма-випромінювання на pin- діоді, що живиться від батареї, має світлову, звукову індикацію та незначні габаритні розміри.

Прогнозні пропозиції – запропонований пристрій може використовуватися для моніторингу рівня радіаційного забруднення на промислових підприємствах.

РАДІОАКТИВНІСТЬ, ДЕТЕКТОР, PIN-ДІОД, ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СХЕМА, ТОПОЛОГІЯ

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 03.11.2025 по 29.05.2026 р.

Зміст

ВСТУП 6

1 РАДІОАКТИВНІСТЬ. ВИДИ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ВПЛИВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ 7

1.1 Радіоактивність. Види радіоактивного випромінювання 7

1.2 Природні та штучні джерела радіоактивного випромінювання 10

1.3 Основні параметри, що характеризують опромінення 14

1.4 Вплив радіаційного випромінювання на живі організми 18

2. РОЗРОБКА ДЕТЕКТОРА ГАММА - ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ PIN -ДІОДУ 22

2.1 Методи вимірювання радіаційного випромінювання 22

2.2 Детектори рівня радіаційного випромінювання 25

2.2.1 Іонізаційний детектор 25

2.2.2 Газорозрядні детектори 26

2.2.3 Сцинтиляційний детектор 28

2.2.4 Напівпровідниковий детектор 29

2.3 PIN-діод. Принцип роботи та характеристики 30

2.4 Розробка аналогового модуля детектора гамма-випромінювання 32

2.5 Розробка схеми електричної принципової детектора гамма-випромінювання 34

2.6 Розробка топології друкованої плати 47

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 51

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів 51

3.2 Заходи з поліпшення умов праці. Виробнича санітарія 58

3.3 Електробезпека 63

3.3.1 Розрахунок захисного заземлення 65

3.4 Пожежна безпека. Техногенна безпека 67

3.5 Засоби захисту від впливу радіації 69

3.5.1 Засоби захисту працівників від радіації 69

3.5.2 Види засобів індивідуального захисту від радіації 71

3.6 Інструкція по техніці безпеки під час проведення радіографічного контролю 71

3.6.1 Загальні положення 71

3.6.2 Вимоги до лабораторій і сховищ, порядку зберігання, видачі і повернення ДІВ 73

3.6.3 Правила транспортування ДІВ 75

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 77

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ 78

ВСТУП

Явище радіоактивності було відкрито у 1896 році французьким ученим Анрі Беккерелем. У сучасних умовах радіоактивні явища широко застосовуються в науці, техніці, медицині та промисловості. Радіонукліди природного походження постійно присутні в навколишньому середовищі. Водночас у значних обсягах утворюються штучні радіонукліди, переважно як побічні продукти діяльності підприємств атомної енергетики та оборонної промисловості. Потрапляючи в довкілля, вони можуть чинити негативний вплив на живі організми, що зумовлює їх потенційну небезпеку.

Об’єктивна оцінка цієї небезпеки потребує аналізу масштабів радіоактивного забруднення навколишнього середовища, визначення користі від застосування ядерних технологій, а також оцінки можливих втрат у разі відмови від них. Важливими є також дослідження механізмів дії іонізуючого випромінювання, його наслідків для біологічних об’єктів та існуючих заходів радіаційного захисту.

Поширення ядерних технологій у світі призводить до збільшення кількості осіб, які зазнають професійного опромінення. Водночас низка аварій на ядерних об’єктах спричинила масштабне радіоактивне забруднення довкілля та опромінення населення. Для України ця проблема набула особливої актуальності після аварії на Чорнобильській АЕС, що стала найбільшою техногенною катастрофою в історії людства та призвела до ураження понад 3,5 млн осіб [1] .

В умовах сучасних військових дій та загроз застосування ядерної зброї питання контролю рівня радіоактивності та своєчасного інформування населення про можливу небезпеку є надзвичайно актуальним.

1 РАДІОАКТИВНІСТЬ. ВИДИ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ВПЛИВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

1.1 Радіоактивність. Види радіоактивного випромінювання

Під терміном «радіація» розуміють випромінювання, здатне спричиняти іонізацію речовини. Іонізуюче випромінювання, проходячи через середовище, зокрема тканини організму, викликає іонізацію та збудження атомів і молекул із утворенням позитивно та негативно заряджених частинок.

Іонізуючими властивостями характеризуються α-, β-частинки, нейтронне, γ- та рентгенівське випромінювання (рис. 1.1).

Радіоактивність визначається як процес самовільного перетворення нестійких ядер атомів, що супроводжується випромінюванням частинок або квантів електромагнітного випромінювання та переходом ядра в інший енергетичний стан.

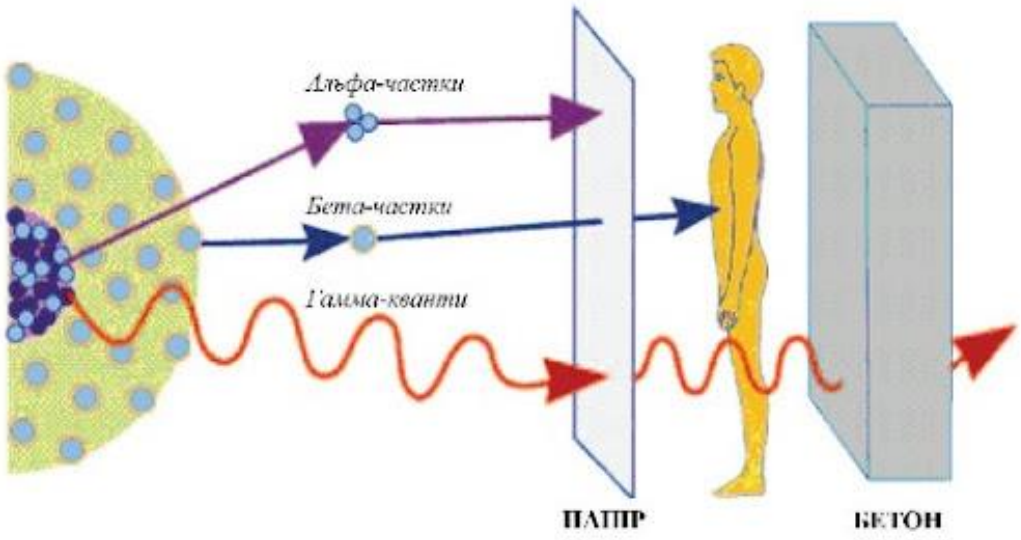


Рисунок 1.1- Види радіоактивного випромінювання та його проникаюча здатність [1]

Радіоактивне випромінювання поділяють на кілька типів:

Альфа-випромінювання - являє собою потік альфа-частинок, відхиляється електричним і магнітними полями, має високу іонізуючою здатністю і малу проникаючу здатністю, що розповсюджуються з початковою швидкістю близько 20 тис.км/с. Іонізуюча здатність альфа-випромінювання величезна, а так як на кожен акт іонізації витрачається певна енергія, то його проникаюча здатність незначна: довжина пробігу альфа-частинок з енергією 4 меВ в повітрі становить 2.5 см, а в біологічній тканині лише 31 мкм а в рідких і твердих середовищах - соті частки міліметра. Аркуш цупкого паперу повністю затримує їх. Надійним захистом від альфа-частинок є також одяг людини.

Оскільки альфа-випромінювання має найбільшу іонізуючу, але найменшу проникаючу здатність, зовнішнє опромінення альфа-частинками практично нешкідливе, Альфа-випромінюючі нукліди становлять велику небезпеку при надходженні всередину організму через органи дихання і травлення, відкриті рани та опікові поверхні,

Бета-випромінювання - потік бета-частинок, відхиляється електричним і магнітним полями; його іонізуюча здатність значно менше (приблизно на два порядки), а проникаюча здатність набагато більше, ніж у α-частинок; являє собою потік швидких електронів, які в залежності від енергії випромінювання можуть поширюватися з швидкістю, близькою до швидкості світла (300 тис. км / с). Пробіг бета-частинок в повітрі може досягати декількох метрів, а в біологічній тканині декількох сантиметрів. Так пробіг електронів з енергією 4 меВ в повітрі становить 17.8 м, біологічній тканині 2.6 см, воді до 3 см, металі - до 1 см. На практиці бета-частинки майже повністю поглинає віконне або автомобільне скло і металеві екрани товщиною в кілька міліметрів. Одяг поглинає до 50% бета-частинок.

При зовнішньому опроміненні організму на глибину близько 1 мм проникає 20-25% бета-частинок. Тому зовнішнє бета-опромінення становить

серйозну небезпеку лише при попаданні радіоактивних речовин безпосередньо на шкіру (особливо на очі) або ж всередину організму. [1]

Гамма-випромінювання - це електромагнітне випромінювання, не відхиляється електричним і магнітними полями, володіє відносно слабкою іонізуючої здатністю і дуже великою проникаючою здатністю випромінення ядрами атомів при радіоактивних перетвореннях. Воно, як правило, супроводжує бета-розпад, рідше альфа-розпад. За своєю природою гамма-випромінювання являє собою електромагнітне поле з довжиною хвилі $5 * 10^{-3}$ см. Воно випускається окремими порціями (квантами) і розповсюджується зі швидкістю світла. Іонізуюча здатність його значно менше, ніж у бета-частинок і тим більше у альфа-частинок. Зате гамма-випромінювання має найбільшу проникаючу здатність і в повітрі може поширюватися на сотні метрів. Для ослаблення його енергії в два рази необхідний шар речовини (шар половинного ослаблення) товщиною: води - 23 см, сталі - близько 3см, бетону - 10см, дерева - 30 см. Через найбільшою проникаючою здатність гамма-випромінювання є найважливішим чинником вражаючої дії радіоактивного випромінювання при зовнішньому опроміненні. Відмивним захистом від гамма-випромінювання є важкі метали, наприклад свинець, який для цих цілей використовується найбільш часто.

Нейтронне випромінювання - являє собою потік нейтронів, швидкість поширення яких досягає 20 тис.км/с. Так як нейтрони не мають електричного заряду, вони легко проникають в ядра атомів і захоплюються ними. При ядерному вибуху велика частина нейтронів виділяється за короткий проміжок часу. Вони легко проникають в живу тканину і захоплюються ядрами її атомів. Тому нейтронне випромінювання має сильну вражаючу дію при зовнішньому опроміненні. Кращими захисними матеріалами від них є легкі матеріали, що містять водень: поліетилен, парафін, вода та ін.

В останні десятиліття з'явилася можливість отримувати електромагнітні випромінювання високої енергії за допомогою прискорювачів заряджених

частинок. Таке синхротронне випромінювання має ті ж властивості, що й рентгенівське і гамма-випромінювання.[2]

1.2 Природні та штучні джерела радіоактивного випромінювання

Радіоактивність підрозділяють на природну (спостерігається у нестійких ізотопів, що існують у природі) та штучну (спостерігається у ізотопів, отриманих за допомогою ядерних реакцій).

Уникнути опромінення іонізуючим випромінюванням неможливо. Життя на Землі виникло та продовжує свій розвиток в умовах постійного опромінення.

Радіаційний фон Землі складається із трьох компонентів :

- космічне випромінювання;
- випромінювання від розсіяних у земній корі, повітрі й інших об'єктах зовнішнього середовища природних радіонуклідів;
- випромінювання від штучних (техногенних) радіонуклідів.

Опромінення за критерієм місця розташування джерел випромінювання ділиться на зовнішнє й внутрішнє. Зовнішнє опромінення обумовлене джерелами, розташованими поза тілом людини. Джерелами зовнішнього опромінення є космічне випромінювання й наземні джерела. Джерелом внутрішнього опромінення є радіонукліди, що перебувають в організмі людини. [3]

Космічне випромінювання складається із часток, захоплених магнітним полем Землі, галактичного космічного випромінювання й корпускулярного випромінювання Сонця. До його складу входять в основному електрони, протони й альфа-частинки. Це так зване первинне космічне випромінювання, взаємодіючи з атмосферою Землі, породжує вторинне випромінювання. У

результаті на рівні моря випромінювання полягає майже повністю з нейтронів.[4]

У цей час на Землі збереглися 23 радіоактивних елемента з періодами напіврозпаду від 107 років і вище. Фізичні характеристики деяких з них представлено в таблиці 1.1[5]

Таблиця 1.1 - Радіоактивні ізотопи, присутні на Землі

Ізотоп	Період напіврозпаду	Приблизна частка в земній корі	Примітка
Калій-40	1,25 млрд років	0,0117% від усього калію	Головне джерело радіоактивності в організмі людини.
Торій-232	14,05 млрд років	0,0007% (7-12 г/т)	Найпоширеніший важкий радіоактивний елемент.
Уран-238	4,47 млрд років	0,0003% (2-4 г/т)	Становить 99,27% усього природного урану.
Уран-235	704 млн років	0,000007%	Становить лише 0,72% від усього урану.

В результаті діяльності людину в зовнішньому середовищі з'явилися штучні радіонукліди й джерела випромінювання. В природному середовищі стали надходити в більших кількостях природні радіонукліди, які надходять надр Землі разом з вугіллям, газом, нафтою, мінеральними добривами,

будівельними матеріалами. Роль штучних джерел випромінювання в створенні радіаційного фону представлено в таблице.1.2.

Таблиця 1.2 - Дози, які людина отримує від природного радіаційного фону та штучних джерел випромінювання [5]

Середньорічні дози, , що одержує людина від природного радіаційного фону й різних штучних джерел випромінювання	
Джерело випромінювання	Доза, мБєр/рік
Природний радіаційний фон	200
Будматеріали	140
Атомна енергетика	0.2
Медичні дослідження	140
Ядерні випробування	2.5
Польоти в літаках	0.5
Побутові предмети	4
Телевізори й монітори ЕОМ	0.1
Загальна доза	500

У цей час основний внесок у дозу від джерел, створених людиною, вносить зовнішнє радіоактивне опромінення при діагностиці й лікуванні. У розвинених країнах на кожну тисячу населення доводяться від 300 до 900 таких обстежень у рік не враховуючи масової флюорографії й рентгенологічних обстежень зубів.

У даний час основними джерелами радіоактивного забруднення навколишнього середовища є: уранова промисловість, яка займається видобутком, переробкою, збагаченням і приготуванням ядерного палива.

Основною сировиною для цього пального є уран-235. Аварійні ситуації можуть виникнути при виготовленні, зберіганні та транспортуванні тепловиділяючих елементів (твелів). Однак ймовірність їх незначна; ядерні реактори різних типів, в активній зоні яких зосереджені великі кількості радіоактивних речовин; радіохімічна промисловість, на підприємствах якої виробляється регенерація (переробка і відновлення) відпрацьованого ядерного палива. Вони періодично скидають стічні радіоактивні води, хоча і в межах допустимих концентрацій, але тим не менше в навколишньому середовищі неминуче можуть накопичуватися радіоактивні забруднення. Крім того, деяка кількість радіоактивного газоподібного йоду (йод-131) таки потрапляє в атмосферу; місця переробки та захоронення радіоактивних відходів через випадкові аварії, пов'язані з руйнуванням сховищ, також можуть явитися джерелами забруднення навколишнього середовища; використання радіонуклідів у народному господарстві у вигляді закритих радіоактивних джерел в промисловості, медицині, геології, сільському господарстві та інших галузях. При нормальному зберіганні та використанні цих джерел забруднення навколишнього середовища малоймовірне.

Разом з тим найбільше забруднення навколишнього середовища все ж створює мережу радіоізотопних лабораторій (які є в дуже багатьох країнах світу), що займаються використанням радіонуклідів у відкритому вигляді для наукових і виробничих цілей. Скиди радіоактивних відходів у стічні води навіть при концентраціях, менше допустимих, з плином часу призведуть до поступового накопичення радіонуклідів у зовнішньому середовищі; ядерні вибухи і радіоактивне забруднення місцевості що виникає після вибуху (можуть бути як локальні, так і глобальні випадіння радіоактивних опадів).

1.3 Основні параметри, що характеризують опромінення

Дія іонізуючих випромінювань являє собою складний процес. Ефект опромінення залежить від величини поглиненої дози, її потужності, виду випромінювання, обсягу опромінення тканин і органів. Для його кількісної оцінки введені спеціальні одиниці, які діляться на позасистемні й одиниці в системі СИ. Зараз використовуються переважно одиниці системи СИ. Нижче в таблиці 1.3 надано перелік одиниць виміру радіологічних величин і проведене порівняння одиниць системи СИ й позасистемних одиниць.[6]

Активність радіонукліда в джерелі (*A*):

Активність дорівнює відношенню числа мимовільних ядерних перетворень у цьому джерелі за малий інтервал часу (*dN*) до величини цього інтервалу (*dt*):

$$A = dN/dt$$

Одиниця активності в системі СІ - Беккерель (Бк).

Несистемна одиниця - Кюрі (Ки).

Експозиційна доза (*X*).

В якості кількісної міри рентгенівського γ -випромінювання прийнято використовувати під позасистемною одиницею експозиційну дозу, яка визначається зарядом вторинних частинок (*dQ*), що утворюються в масі речовини (*dm*) при повному гальмуванні всіх заряджених частинок:

$$X = dQ / dm$$

Одиниця експозиційної дози - Рентген (Р). Рентген - це експозиційна доза рентгенівського і γ-випромінювання, що створює в 1куб.см повітря при температурі О ° С і тиску 760 мм рт.ст. сумарний заряд іонів одного знаку в одну електростатичну одиницю кількості електрики.

Поглинання енергії іонізуючого випромінювання є первинним процесом, що дає початок послідовності фізико-хімічних перетворень в опроміненої тканини, що приводить до радіаційного ефекту. Тому природно співставити ефект з кількістю поглиненої енергії або поглиненої дози.

Таблиця 1.3 - Основні радіологічні величини й одиниці [7]

Основні радіологічні величини й одиниці			
Величина	Найменування й позначення одиниці виміру		Співвідношення між одиницями
	Позасистемні	СІ	
Активність нукліда, А	Кюрі (Ки, Сі)	Беккерель (Бк, Bq)	1 Ки = $3.7 * 10^{10}$Бк 1 Бк = 1 расп/з 1 Бк=$2.7 * 10^{-11}$Кт

Продовження таблиці 1.3

Експозиційна доза, Х	Рентген (Р, R)	Кулон/кг (Кл/кг, С/kg)	1 Р=$2.58 * 10^{-4}$Кл/кг 1 Кл/кг=$3.88 * 10^{3}$ Р
Поглинена доза, D	Радій (радій, rad)	Грєй (Гр, Gy)	1 радій-10-2 Гр 1 Гр=1 Дж/кг
Еквівалентна доза, Н	Бер (бер, rem)	Зіверт (Зв, Sv)	1 бер=10^{-2}Зв Зв 1 Зв=100 бер
Інтегральна доза випромінювання	Радій-Грам (радій·г, rad·g)	Грей- кг (Гр·кг, Gy·kg)	1 радій·г=10^{-5} Гр·кг 1 Гр·кг=10^{5} рад·г

Поглинута доза (*D*) - основна дозиметрична величина. Вона дорівнює відношенню середньої енергії *dE*, переданої іонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі, до маси *dm* речовини в цьому об'ємі:

$$D = dE/dm$$

Одиниця поглиненої дози - Грей (Гр). Позасистемна одиниця Радій визначалася як поглинена доза будь-якого іонізуючого випромінювання, що дорівнює 100 ерг на 1 грам опроміненої речовини.

Еквівалентна доза (*H*).

Для оцінки можливого збитку здоров'ю людини в умовах хронічного опромінення в області радіаційної безпеки введено поняття еквівалентної дози *H*, що дорівнює добутку поглиненої дози *Dr*, створеної опроміненням - *r* і усередненої по органу або по всьому організму, на ваговій множник *wr* (коефіцієнт якості випромінювання)

$$H = \sum_r w_r D_r$$

Зниження потужності дози випромінювання зменшує біологічний ефект.

Відмінності пов'язані з можливістю відновлення пошкодженого опроміненням організму. Зі збільшенням потужності дози значимість відновних процесів знижується. Поглинута доза випромінювання вимірюється енергією іонізуючого випромінювання, переданого масі, що опромінюється. Одиниця поглиненої дози - грей (Гр), що дорівнює 1 джоуль, поглинений 1 кг речовини (1 Гр = 1Дж/кг = 100 рад) Ефект біологічної дії випромінювань залежить також від просторового розподілу поглиненої енергії, яка характеризується лінійною передачею енергії (ЛПЕ), що враховується при оцінці різних видів випромінювання показником відносної біологічної ефективності (ВБЕ). При цьому ОБЕ рентгенівського і g-випромінювання приймають рівною 1.[8]

$$\text{ВБЕ} = \frac{\text{Доза рентгенівського випромінювання (180–250 кеВ) викликає даний ефект}}{\text{Поглинута доза будь–якого іншого виду випромінювання, що викликає такий же ефект}}$$

Відносної біологічної ефективності залежить не тільки від ЛПЕ випромінювань, але і від ряду фізичних і біологічних факторів, наприклад, від величини дози, кратності опромінення та ін. За пропозицією Міжнародної комісії з радіологічних одиниць, показник відносної біологічної ефективності для оцінки різних видів випромінювання використовується тільки в радіобіології. Для вирішення завдань радіаційного захисту запропоновано коефіцієнт якості випромінювання k, що залежить від лінійної передачі енергії. У галузі радіаційної безпеки для оцінки можливого збитку здоров'ю людини при хронічному опроміненні введено поняття еквівалентної дози *H*, яка дорівнює добутку поглиненої дози *D* на середній коефіцієнт якості іонізуючого випромінювання *k* в даному елементі об'єму біологічної тканини:

$$H=Dk$$

Одиниця еквівалентної дози – Зиверт (Зв), дорівнює 1 Дж/кг (1 Зв = 100 Бэр).

При визначенні еквівалентної дози іонізуючого випромінювання використовують наступні значення коефіцієнта якості:

Для оцінки збитку здоров'ю людини при нерівномірному опроміненні введено поняття ефектною еквівалентної дози $H_{ефф}$, що застосовується при оцінці можливих стохастичних ефектів - злоякісних новоутворень:[9]

$$H_{ефф} = \Sigma W_T H_T$$

де H_T - середнє значення еквівалентної дозування в органі чи тканині; W_T - зважений коефіцієнт, що дорівнює відношенню збитку опромінення органу або тканини до збитку опромінення всього тіла при однакових еквівалентних дозах.

1.4 Вплив радіаційного випромінювання на живі організми

Радіація по самій своїй природі шкідлива для життя. Малі дози опромінення можуть «запустити» не до кінця ще встановлену ланцюг подій, що приводить до раку або до генетичних ушкоджень. При більших дозах радіація може руйнувати клітки, ушкоджувати тканини органів і з'явитися причиною швидкої загибелі організму. Основні джерела іонізуючого випромінювання й обумовлені ними еквівалентні дози % представлено на рисунку 1.2



Рисунок 1.2 - Структура та середньозважені величини ефективної дози опромінення населення України в рік

Існує кілька шляхів надходження радіоактивних речовин в організм: при вдиханні повітря, забрудненого радіоактивними речовинами, через заражену їжу чи воду, через шкіру, а також при зараженні відкритих ран. Найбільш небезпечний перший шлях, оскільки по-перше, обсяг легеневої вентиляції

дуже великий, а по-друге, значення коефіцієнта засвоєння в легенях більш високі.

Випромінювання радіоактивних речовин оказує дуже сильний вплив на всі живі організми. Навіть порівняно слабке випромінювання, яке при повному поглинанні підвищує температуру тіла лише на 0,001 ° С, порушує життєдіяльність клітин.

При попаданні радіоактивних речовин в організм будь-яким шляхом вони вже через кілька хвилин виявляються в крові. Якщо надходження радіоактивних речовин було однократним, то концентрація їх у крові спочатку зростає до максимуму, а потім протягом 15-20 доби знижується.

В органах і тканинах біологічних об'єктів як і в будь-якому середовищі при опроміненні в результаті поглинання енергії йдуть процеси іонізації і збудження атомів. Ці процеси лежать в основі біологічної дії випромінювань. Його мірою служить кількість поглиненої в організмі енергії.

Людина постійно піддається впливу невеликого радіаційного фону (0,08-0,3 мкЗв / год). Такий рівень радіації вважається допустимим. У таблиці 1.5 наведені основні джерела радіаційного опромінення та ефективні еквівалентні дози, мкЗв / год. [10]

Небезпека різних радіоактивних елементів для людини визначається спроможністю організму їх поглинати і накопичувати.

Значення коефіцієнтів W_T для різних органів і тканин наведені в таблиці 1.4:

Таблиця 1.4 - Поразка органів при опроміненні всього тіла, при однакових еквівалентних дозах

Орган	Доза опромінення(1Дж/кг)
Сстатеві залози	0,2
Червоний кістковий мозок	0,12
Товстий кишечник	0,12

Шлунок	0,12
Легені	0,12
Сечовий міхур	0,05
Печінка	0,05
Стравохід	0,05
Щитовидна залоза	0,05
Шкіра	0,01
Клітини кісткових поверхонь	0,01
Головний мозок	0,025
Решта тканин	0,05
Організм в цілому	1

Радіоактивні ізотопи надходять всередину організму з пилом, повітрям, їжею або водою і поводять себе по-різному: деякі ізотопи розподіляються рівномірно в організмі людини (тритій, вуглець, залізо, полоній), деякі накопичуються в кістках (радій, фосфор, стронцій), інші залишаються в м'язах (калій, рубідій, цезій), накопичуються в щитовидній залозі (йод), у печінці, нирках, селезінці (рутеній, полоній, ніобій) тощо.

Найсильнішого впливу зазнають клітини червоного кісткового мозку, щитовидна залоза, легені, внутрішні органи, тобто органи, клітини яких мають високий рівень поділу. При одній і тій самій дозі випромінювання у дітей вражається більше клітин, ніж у дорослих, тому у дітей всі клітини перебувають у стадії поділу.[11]

Постійний моніторинг дозволяє миттєво зафіксувати витік радіації або несправність обладнання. Без засобів контролю людина може перебувати в зоні високого ризику, не відчуваючи небезпеки (оскільки радіація не має смаку, запаху чи кольору). Контроль дози випромінювання є критично необхідним для запобігання гострим променевим ураженням, опікам та зменшення ризику довгострокових наслідків, таких як онкологічні

захворювання. Тому, метою роботи є - розробка детектора гамма-випромінювання на основі pin-діоду.

Задачі роботи:

- аналіз конструкцій та принципу роботи приладів вимірювання параметрів іонізуючого випромінювання;
- розробка схеми електричної принципової детектора;
- розробити топологію друкованої плати детектора гамма-випромінювання.

2. РОЗРОБКА ДЕТЕКТОРА ГАММА - ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ PIN -ДІОДУ

2.1 Методи вимірювання радіаційного випромінювання

В основі дозиметричних та радіометричних приладів розрізняють такі методи вимірювань як фотографічний, сцинтиляційний, хімічний, іонізаційний, калориметричний, нейтронно-активізаційний.

Фотографічний метод вимірювання радіації. Сутність цього методу полягає у використанні спеціальних фотоемульсій для реєстрації швидких заряджених частинок. Фотоемульсії, що застосовуються для зазначених цілей, прийнято називати ядерними.

Ядерні фотоемульсії мають товщину шару від 600 до 1200 мкм, в той час як товщина шару звичайних фотоемульсій становить всього від 10 до20 мкм.

Чутливість ядерних фотоемульсій значно вище, ніж звичайних, так як число зерен (монокристалів) бромистого срібла в ядерній фотоемульсії багато більше, а розміри зерен багато менше, ніж у звичайній фотоемульсії.

Заряджені частинки, потрапляючи в шар фотоемульсії, нанесений на фотопластинку, викликають іонізацію молекул фотоемульсії, що викликає почорніння її зерен. Після хімічної обробки фотопластинки (прояви і фіксування) сліди (треки), залишені пролетіли через фотоемульсію частинками, стають видимими. Їх спостерігають за допомогою мікроскопа.

За формою зазначеного треку, його довжині і товщині, по щільності почорнілих зерен емульсії і за багатьма іншими ознаками можна встановити вид частки, її енергію, швидкість, напрямок руху і багато інших характеристик.

Одне з основних переваг методу товстошарових емульсій перед іншими методами реєстрації частинок полягає в тому, що з його допомогою отримують не зникають з часом сліди часток, які в подальшому можуть бути ретельно вивчені.

Треки частинок, що отримуються в фотоемульсії, є більш тонкими й виразними, ніж в камері Вільсона або бульбашковій камері, що збільшує точність вимірювань.

Недоліками фотоемульсійного методу є складність хімічної обробки фотопластинок і неможливість визначення моменту часу, в який зарядженачастка потрапляє в фотоемульсію [10].

Сцинтиляційний метод полягає в тому, що під впливом радіоактивних випромінювань деякі речовини (сірчистий цинк, йодистий натрій) світяться. Спалахи світла, які виникають, реєструються, і фотоелектронним посилювачем перетворюються на електричний струм. Вимірюваний анодний струм і швидкість рахунку (рахунковий режим) пропорційні рівням радіації. Сцинтиляційний лічильник об'єднав в собі переваги лічильника Гейгера-Мюллера і пропорційного лічильника і при цьому він перевершив їх за багатьма показниками [11].

Хімічний метод базується на властивості деяких хімічних речовин під впливом радіоактивних випромінювань внаслідок окислювальних або відновних реакцій змінювати свою структуру або колір. Так, хлороформ у воді під час опромінення розкладається з утворенням соляної кислоти, яка вступає в кольорову реакцію з барвником, доданим до хлороформу. У кислому середовищі двовалентне залізо окислюється в тривалентне під впливом вільних радикалів H02 і OH, які утворюються у воді при її опроміненні. Тривалентне залізо з барвником дає кольорову реакцію. Інтенсивність зміни кольору індикатора залежить від кількості соляної кислоти, яка утворилася під впливом радіоактивного випромінювання, а її кількість пропорційна дозі радіоактивного випромінювання. За інтенсивністю утвореного забарвлення,

яке є еталоном, визначають дозу радіоактивних випромінювань. За цим методом працюють хімічні дозиметри ДП-20 і ДП-70 М [12].

Іонізаційний метод полягає в тому, що під впливом радіоактивних випромінювань в ізольованому об'ємі відбувається іонізація газу й електрично нейтральні атоми (молекули) газу розділяються на позитивні й негативні іони. Якщо в цьому об'ємі помістити два електроди і створити електричне поле, то під дією сил електричного поля електрони з від'ємним зарядом будуть переміщуватися до анода, а позитивно заряджені іони — до катода, тобто між електродами проходитиме електричний струм, названий іонізуючим струмом і можна робити висновки про інтенсивність іонізаційних випромінювань. Зі збільшенням інтенсивності, а відповідно й іонізаційної здатності радіоактивних випромінювань, збільшиться і сила іонізуючого струму [13].

Калориметричний - метод, що базується на вимірюванні кількості теплоти, виділеної в детекторі при поглинанні енергії іонізуючих випромінювань що поглинається речовиною, зрештою перетвориться в теплоту за умови, що поглинаюча речовина є хімічно інертним до випромінювання, і ця кількість пропорційно інтенсивності випромінювань [14].

Нейтронно-активаційний метод, пов'язаний із вимірюванням наведеної радіоактивності, наприклад бета-активності, що виникає під впливом повільних нейтронів. Цей метод використовують для оцінки доз в аварійних ситуаціях, коли відбувається короткочасне опромінення великими потоками нейтронів[15].

Порівняльні характеристики методів вимірювання радіоактивності наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Порівняння методів вимірювання радіаційного випромінювання

Метод	Чутливість	Визначення енергії	Сфера застосування
Іонізаційна камера	Середня	Обмежене	Дозиметрія
Гейгера–Мюллера	Висока	Ні	Побутові вимірювання
Сцинтиляційний	Дуже висока	Так	Спектрометрія
Напівпровідниковий	Дуже висока	Так (висока точність)	Наукові дослідження
Фотографічний	Середня	Ні	Індивідуальний контроль

2.2 Детектори рівня радіаційного випромінювання

2.2.1 Іонізаційний детектор

Іонізаційна камера — це газонаповнений детектор, що вимірює іонізуюче випромінювання за принципом збору зарядів, утворених у газі під дією радіації. Випромінювання іонізує молекули газу, створюючи електрони та позитивні іони, які під дією електричного поля (напруги) рухаються до електродів, формуючи слабкий електричний струм, пропорційний інтенсивності випромінювання

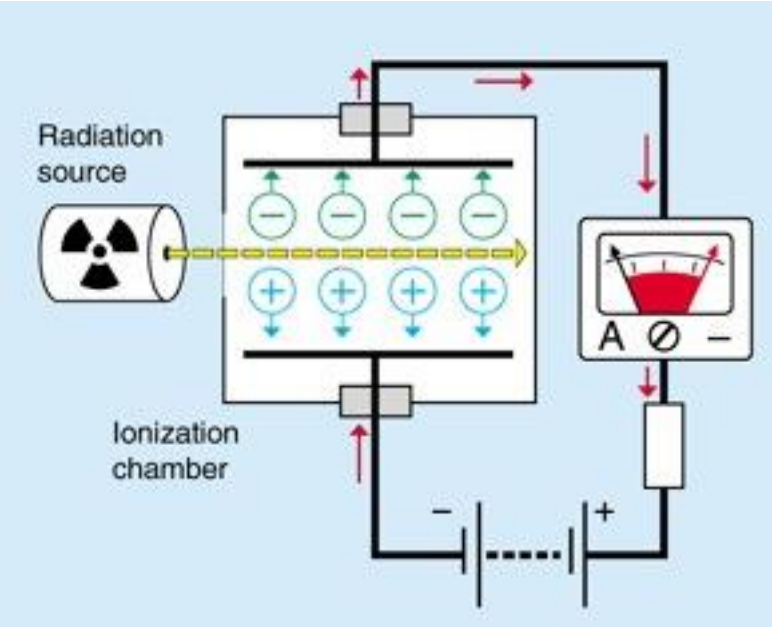


Рисунок 2.1 -Конструкція іонізаційної камери

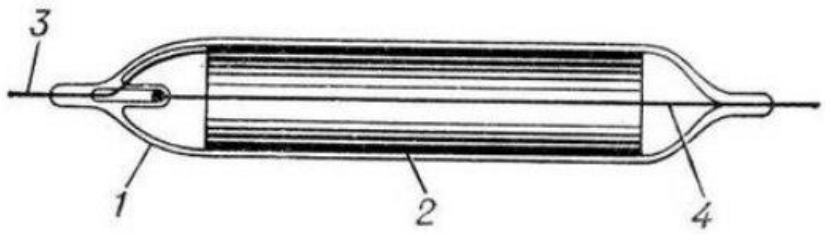
Камера складається з герметичного об’єму, заповненого газом (зазвичай повітрям або інертним газом), та двох електродів (анода і катода), до яких прикладена постійна напруга. Коли радіоактивна частинка пролітає крізь газ, вона вибиває електрони з атомів газу, створюючи пари «іон–електрон». Під дією електричного поля електрони рухаються до анода, а позитивні іони — до катода. Це створює в електричному колі слабкий електричний струм (іонізаційний струм). Сила цього струму прямо пропорційна інтенсивності випромінювання. Прилад реєструє цей струм і переводить його в одиниці дози або потужності випромінювання.

2.2.2 Газорозрядні детектори

Лічильник Гейгера– Мюллера -це газорозрядний пристрій для автоматичного розрахунку кількості іонізуючих частинок, що потрапили в

нього. Це газонаповнений конденсатор, який пробивається, коли іонізуюча частка проходить через об’єм газу [16].

Лічильник працює на основі ударної іонізації. Гамма-кванти, що випускаються радіоактивним ізотопом, падають на стінки лічильника, вибивають з нього електрони. Електрони, що рухаються в газі і стикаються з атомами газу, вибивають електрони з атомів і створюють позитивні іони і вільні електрони. Електричне поле між катодом і анодом прискорює електрони до енергій, при яких починається іонізація. Виникає лавина іонів і струм через лічильник різко зростає. У цьому випадку імпульс напруги формується на опорі, який подається на записуючий пристрій. Для того, щоб лічильник реєстрував наступну частку, що потрапила в неї, лавинний розряд повинен бути вимкнений. Це відбувається автоматично. У момент появи імпульсу струму на опорі відбувається велике падіння напруги, тому напруга між анодом і катодом різко зменшується – так, що розряд припиняється і прилад знову готовий до роботи [17].



1- геометрично запаяна скляна трубка; 2 – катод (тонкий шар міді на трубці з нержавіючої сталі); 3 – вивід катоду; 4 – анод (тонка натягнута нитка)

Рисунок 2.2 – Скляний лічильник Гейгера-Мюллера [18]

Важливою характеристикою лічильника є його ефективність. Не всі гамма-фотони, які потрапили на лічильник, дадуть вторинні електрони і будуть зареєстровані, оскільки гамма-взаємодія з речовиною відбуваються

відносно рідко, а деякі вторинні електрони поглинаються в стінках пристрою, не досягаючи обсягу газу [18].

Мінімальну кількість частинок, що їх здатний зареєструвати лічильник за одиницю часу, називають роздільною здатністю лічильника. Вона визначається тривалістю фізичних процесів, що виникають у лічильнику, коли в нього потрапляє заряджена частинка. Для різних лічильників роздільна здатність має значення від 10^3 до 10^{10} частинок за секунду.

2.2.3 Сцинтиляційний детектор

Сцинтиляційний детектор -це пристрій для виявлення та вимірювання іонізуючого випромінювання (альфа-, бета-, гамма-частинок або нейтронів), принцип дії якого заснований на виникненні короткочасних спалахів світла при проходженні часток крізь певні речовини (сцинтилятори) (рис.2.3).

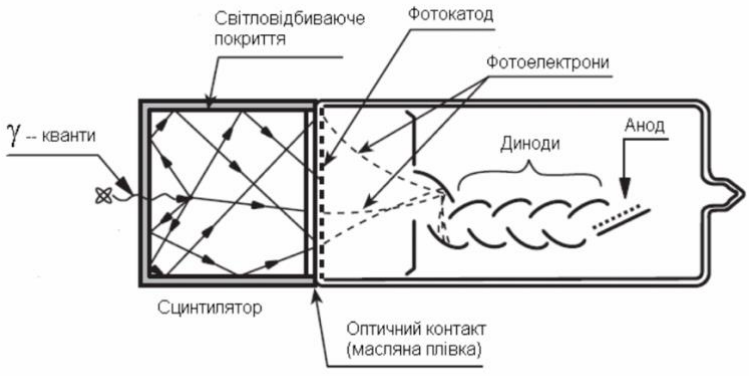


Рисунок 2.3- Конструкція сцинтиляційного детектора [19]

Іонізуюче випромінювання потрапляє в матеріал-сцинтилятор, збуджуючи його атоми або молекули. Збуджені атоми повертаються в основний стан, випромінюючи фотони видимого або ультрафіолетового

світла. Світловий спалах потрапляє на фотокатод фотоелектронного помножувача (ФЕП) або напівпровідниковий фотоприймач, де вибиває електрони (фотоефект). Слабкий потік електронів багаторазово посилюється в системі ФЕП, утворюючи електричний імпульс на аноді. Амплітуда отриманого імпульсу зазвичай пропорційна енергії поглинутої частинки, що дозволяє використовувати детектор як спектрометр.

2.2.4 Напівпровідниковий детектор

Напівпровідникові детектори — це твердотільні прилади (зазвичай на основі Si, Ge, GaAs, CdTe), які реєструють іонізуюче випромінювання шляхом утворення пар електрон-дірка в збідненій області p-n переходу під дією радіації.

При попаданні випромінювання в чутливий об'єм напівпровідника виникають вільні носії заряду, які під дією зовнішньої напруги створюють електричний імпульс. Енергія, необхідна для утворення однієї пари електрон-дірка, набагато менша, ніж у газонаповнених детекторах (близько 3-5 еВ порівняно з 30 еВ) (рис.2.4).

Основний недолік напівпровідникових детекторів полягає в малій ширині забороненої зони і, відповідно, значній власній провідності цих матеріалів при кімнатній температурі, що й зумовлює високий рівень шуму в детекторах. Також при підвищенні температури обов’язкове використання примусового охолодження.

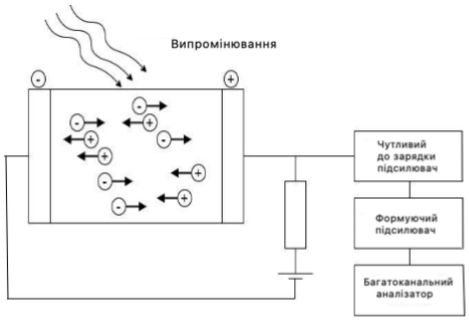


Рисунок 2.4 -Принцип роботи напівпровідникового лічильника [20]

2.3 PIN-діод. Принцип роботи та характеристики

PIN-діоди (позитивно-внутрішньо-негативний діод), — це напівпровідниковий прилад, що належить до сімейства діодів (рис. 2.5).

Характеристики PIN-діода:

- Змінний опір: PIN-діоди демонструють змінний опір завдяки внутрішньому шару, що дозволяє динамічно керувати опором шляхом регулювання проводимої напруги.
- Швидка швидкість перемикання: Відомі своєю високою швидкістю перемикання, PIN-діоди найкраще підходять для застосувань з високою частотою, сприяючи екологічній та особливій комутації в силовій електроніці.
- Низький час зворотного відновлення: PIN-діоди мають мінімальний час зворотного відновлення, що зменшує втрати електроенергії під час переходів у зворотне зміщення та покращує продуктивність стандартних машин.
- Здатність працювати з високою потужністю: PIN-діоди здатні справлятися з надмірною кількістю електричних каскадів, знаходять застосування в

підсилювачах енергії та радіочастотних перемикачах, забезпечуючи високу загальну продуктивність.

- Керування напругою: Провідність PIN-діодів залежить від прикладеної напруги, що робить їх придатними для атенюаторів, керованих напругою, зсувів сегментів радіочастотних частот та застосувань, що потребують спеціального керування.

Принцип роботи PIN-діода базується на його тришаровій напівпровідниковій формі, що складається з p-типу (високоякісний), власного (нелегованого або слаболегованого) та n-типу (негативний) шару. Внутрішній шар, життєво важливий для його роботи, діє як змінний резистор у відповідь на прикладену напругу.

Під дією прямого зміщення, коли до p-типу подається позитивна напруга, а до n-типу — негативна, носії заряду (електрони та дірки) інжектуються у внутрішній шар, зменшуючи ширину області збіднення та покращуючи провідність діода. Цей стан дозволяє PIN-діоду функціонувати як низькоомний перемикач.

І навпаки, нижче зворотного зміщення, коли позитивна напруга підводиться до n-типу, а негативна - p-типу, зона збіднення розширюється. Це розширення зменшує провідність діода, змушуючи його поводитися як високоомний перехідник, обмежуючи рух носіїв заряду.

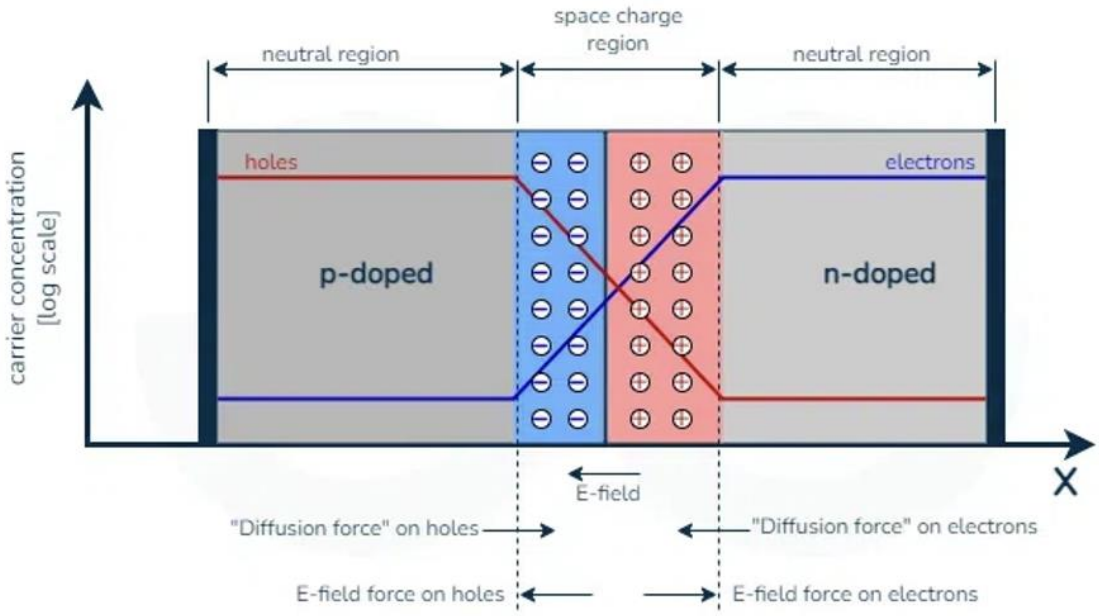


Рисунок 2.5- Структура PIN-діода [21]

Такі діоди можна використовувати як детектор випромінювання, оскільки вони чутливі до вхідного випромінювання, такого як фотони або частинки. Цей тип виявлення випромінювання часто використовується в таких сферах застосування, як радіаційний моніторинг, медична візуалізація та наукові дослідження.

Коли іонізуюче випромінювання, таке як рентгенівські або гамма-промені, взаємодіє з напівпровідниковим матеріалом PIN-діода, воно генерує електрон-діркові пари у власній області діода. Ці електрон-діркові пари створюють тимчасове збільшення струму діода. Це збільшення можна виміряти та співвіднести з інтенсивністю випромінювання.

2.4 Розробка аналогового модуля детектора гамма-випромінювання

Запропонована схема аналогового модуля детектора гамма-випромінювання на PIN-діодах, що формує цифрові імпульси для подальшої обробки мікроконтролером (рис. 2.6). Схема складається з двох однакових

каналів детекції, кожен модуль містить PIN-діод, каскади підсилення, фільтрації та компаратор для формування імпульсів. Така реалізація підвищує чутливість, точність вимірювання і зменшує рівень випадкових шумів.

PIN-діоди (PIN1, PIN2) працюють як напівпровідниковий детектор іонізуючого випромінювання Для коректної роботи діод має бути зворотно зміщений. Це реалізується за допомогою резисторів R6, R21 та джерела 15 V. Коли гамма-квант або інша частинка проходить через напівпровідникову структуру діода в кристалі виникають електрон-діркові пари, які при наявності електричного поля рухаються до електродів. Тож на виході отримуємо імпульс струму. Амплітуда такого сигналу дуже мала, тому його потрібно підсилити. Перший каскад підсилення (OP1) виконаний на мікросхемі MAX4477. Це операційний підсилювач з малим рівнем шуму, який використовується для обробки слабких сигналів. Для подальшого підсилення сигналу та фільтрації застосовуємо кілька каскадів операційних підсилювачів (OP2, OP3, OP4). Використання RC-ланцюгів: C8, R7; C7, R5; C10, R8 формує активні фільтри, що пригнічують високочастотні шуми та формують короткий імпульс потрібної форми. Після підсилення сигнал поступає на компаратор COMP1, що реалізовано на мікросхемі MAX987. Компаратор порівнює сигнал від підсилювача і опорну напругу, що дозволяє встановити поріг спрацьовування.

Після компаратора сигнал проходить через логічні елементи IC4 – 74HC14 на базі тригеру Шмітта (інвертуючий), для формування чіткого фронту імпульсу та придушення перешкод. Діоди D1 та D2 об’єднують імпульси від двох каналів детекції, що дозволяє працювати двом PIN-діодам одночасно та збільшити чутливість детектора.

На виході формується цифровий імпульс, що передається на мікроконтролер. Живлення здійснюється від мережі 15 В і через стабілізатор LP2980 5V понижується до 5 В для живлення операційних підсилювачів, компараторів, логічних мікросхем.

Для зменшення шумів аналогову та цифрову частину схеми фізично розділено.

2.5 Розробка схеми електричної принципової детектора гамма-випромінювання

На базі запропонованої схеми детектора на PIN-діоді розроблено пристрій з мікроконтролером, дисплеєм і автономним живленням, що реєструє імпульси від іонізуючого випромінювання, підраховує їх та відображає результат на LCD-дисплеї, а також подає звукову і світлову індикацію (рис.2.7). На основі структурної схеми побудована схема електрична принципова (рис.2.8).

Основним сенсором є PIN-діод, на виході при попаданні гамма -кванту в напівпровідник PIN-діода утворюється імпульс струму. Такий імпульс має дуже малу амплітуду, тому його потрібно підсилити та сформувати перед подачею на мікроконтролер.

Транзисторний каскад побудовано на елементах T3,R36, R37, R38 він здійснює функцію підсилення сигналу з діода, формування логічного імпульсу для передачі його на мікроконтролер.

В. якості мікроконтролера обрано PIC16F628A (рис. 2.9). Це популярний 8-бітний CMOS-мікроконтролер від Microchip, що працює на частоті до 20 МГц, має 3.5 КБ флеш-пам'яті програм, 224 байти RAM та 128 байт EEPROM.

Він має 16 ліній вводу/виводу, аналоговий компаратор, таймери (8-біт/16-біт) та UART, що робить його ідеальним для схем керування при напрузі живлення 2–5.5В. Працює мікроконтролер від кварцового резонатору Cr1 з тактовою частотою 4 MHz. Конденсатори C42 та C43 забезпечують стабільність його роботи.

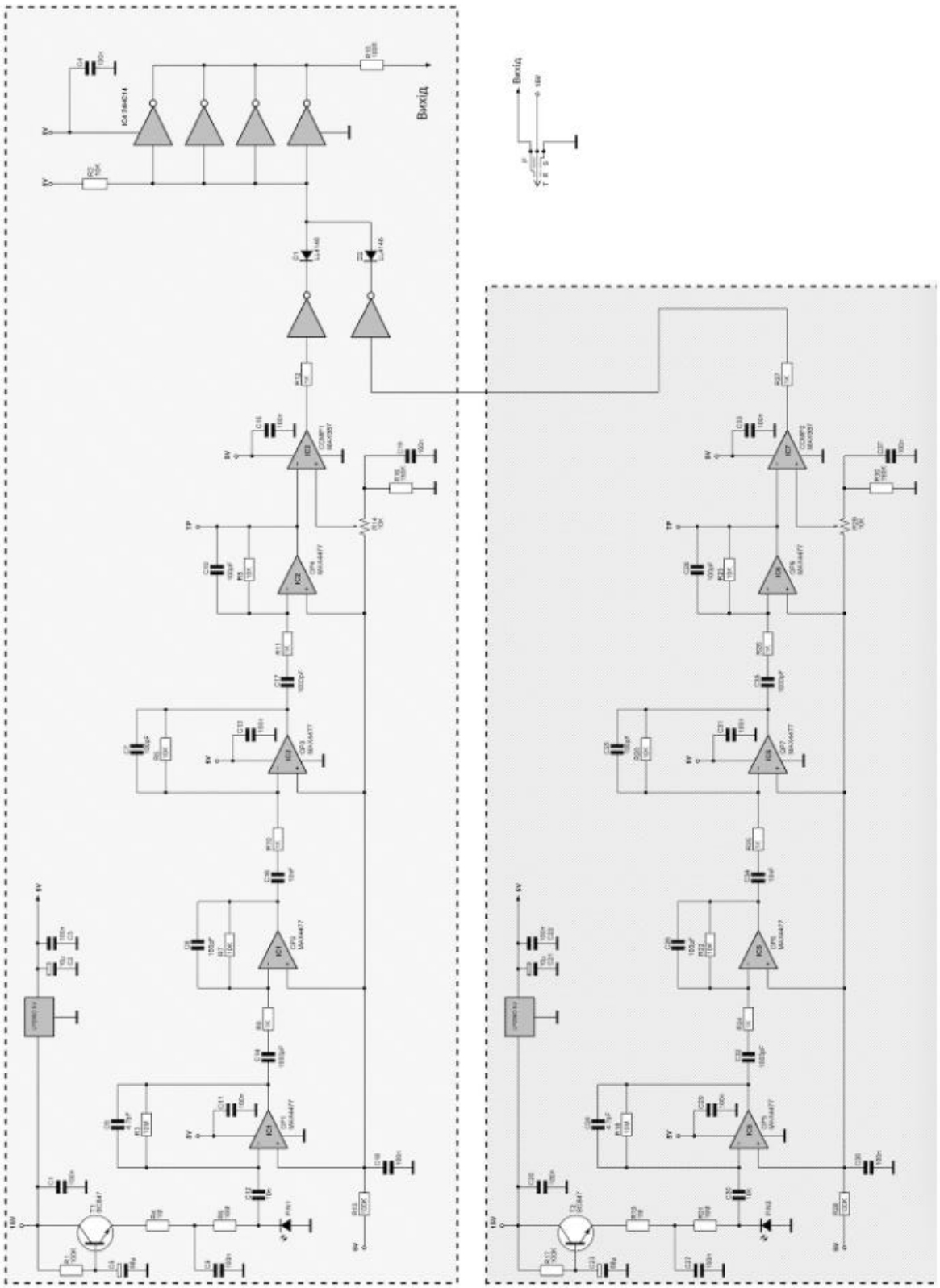


Рисунок 2.6-Схема електрична принципова аналогового модуля

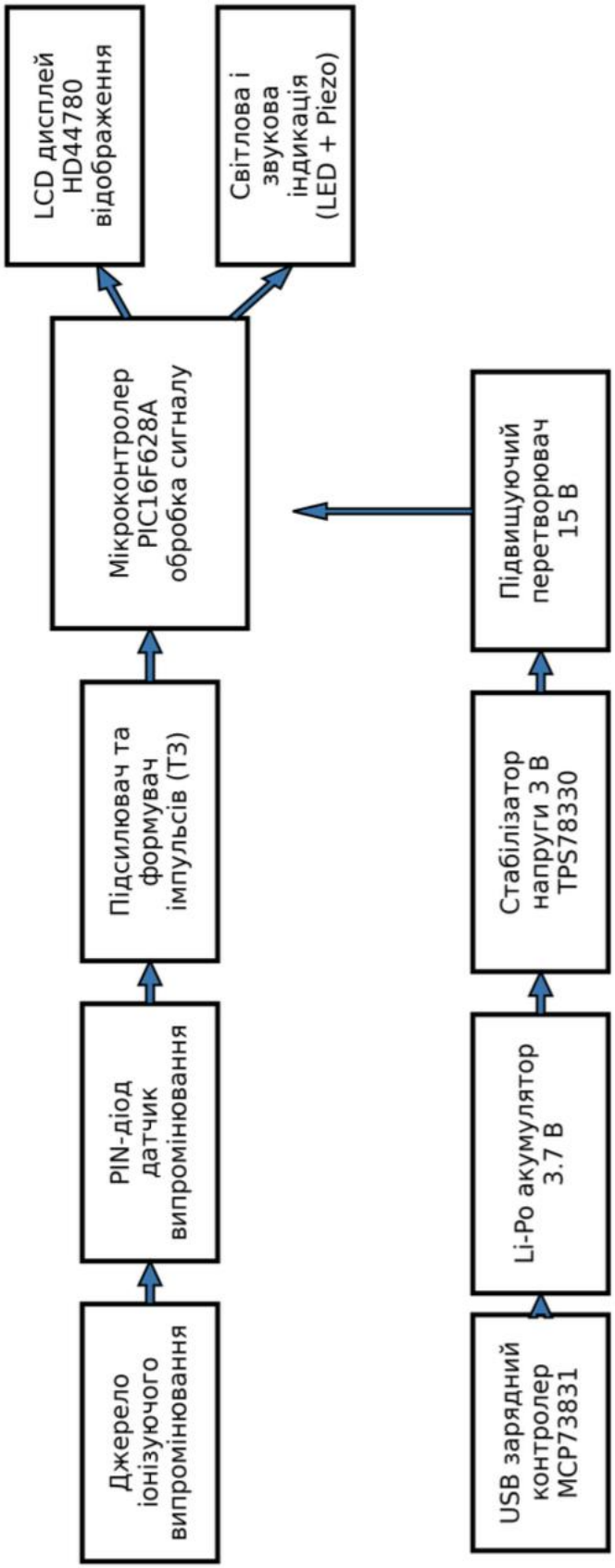


Рисунок 2.7-Структурна схема детектору гамма-випромінювача

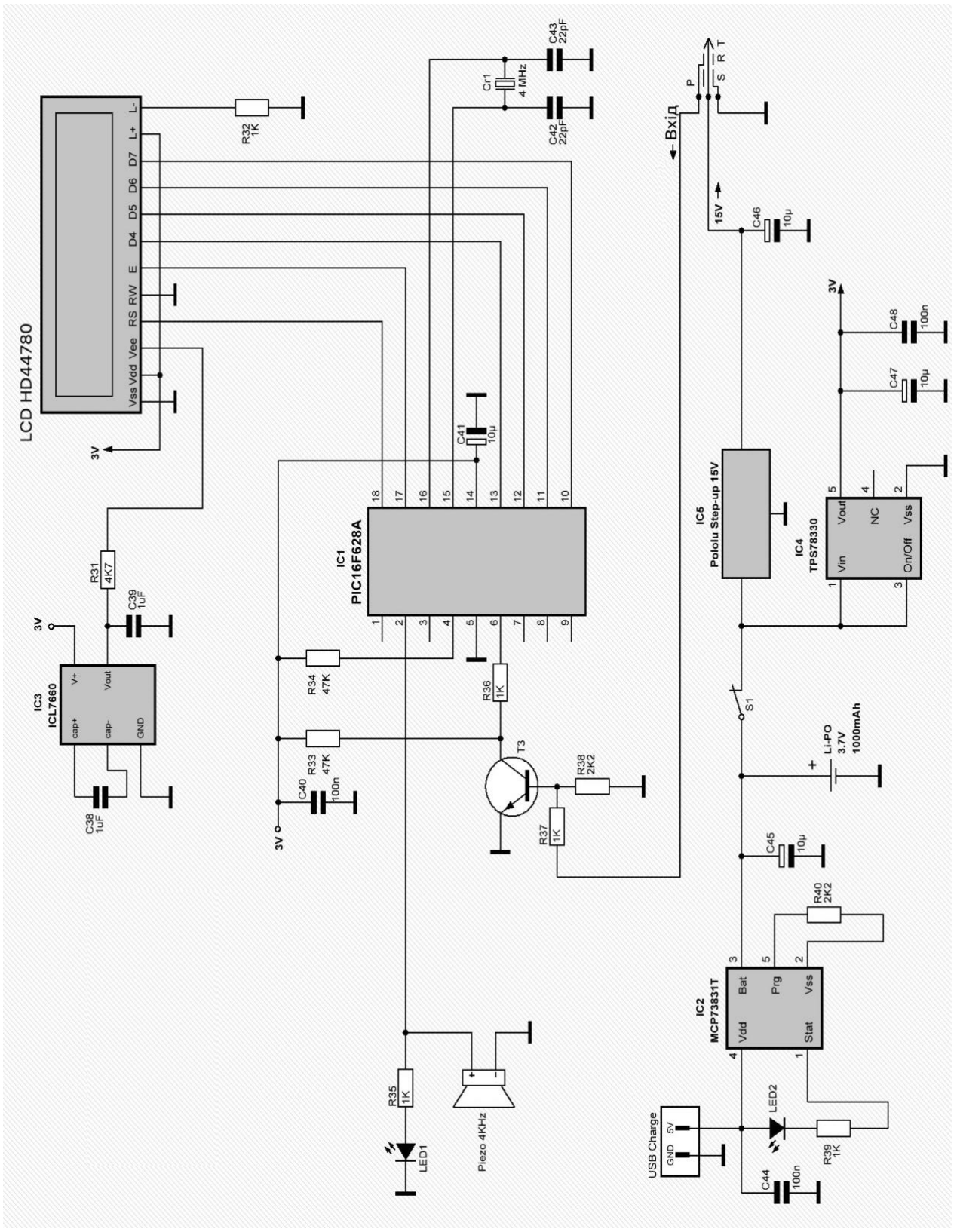


Рисунок 2.8-Схема електрична принципова детектора гамма-випромінювання

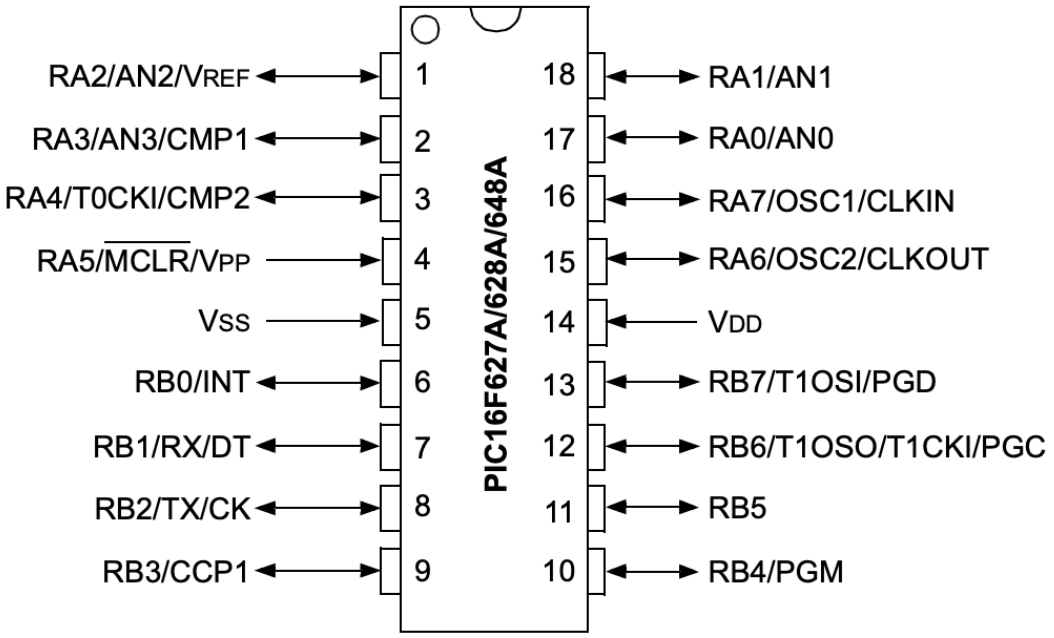


Рисунок 2.9 -Призначення виводів мікроконтролера PIC16F628A

Програма для мікроконтролера написана на мові C++.

```
#include <xc.h>

#define _XTAL_FREQ 4000000

#pragma config FOSC = XT
#pragma config WDTE = OFF
#pragma config PWRTE = ON
#pragma config MCLRE = ON
#pragma config BOREN = OFF
#pragma config LVP = OFF
#pragma config CPD = OFF
#pragma config CP = OFF

// LCD pins
```

```
#define RS RA0
#define EN RA1
#define D4 RB4
#define D5 RB5
#define D6 RB6
#define D7 RB7

// Indicators
#define LED RB1
#define PIEZO RB2

volatile unsigned int pulse_count = 0;
volatile unsigned int cps = 0;
volatile unsigned int cpm = 0;
volatile unsigned char seconds = 0;


// ---------------- LCD ----------------

void lcd_send4(unsigned char data)
{
   D4 = (data >> 0) & 1;
   D5 = (data >> 1) & 1;
   D6 = (data >> 2) & 1;
   D7 = (data >> 3) & 1;

   EN = 1;
   __delay_us(5);
   EN = 0;
}
```

```
void lcd_cmd(unsigned char cmd)
{
   RS = 0;

   lcd_send4(cmd >> 4);
   lcd_send4(cmd & 0x0F);

   __delay_ms(2);
}

void lcd_data(unsigned char data)
{
   RS = 1;

   lcd_send4(data >> 4);
   lcd_send4(data & 0x0F);

   __delay_ms(2);
}

void lcd_init()
{
   __delay_ms(20);

   lcd_cmd(0x28);
   lcd_cmd(0x0C);
   lcd_cmd(0x06);
   lcd_cmd(0x01);
}
```

```
void lcd_print(char *text)
{
   while(*text)
   {
      lcd_data(*text++);
   }
}

void lcd_number(unsigned int num)
{
   char buffer[6];

   sprintf(buffer,"%u",num);

   lcd_print(buffer);
}


// -------------- INTERRUPT ----------------

void interrupt isr()
{

   // імпульс від PIN діода
   if(INTF)
   {
      pulse_count++;

      LED = 1;
```

```
    PIEZO = 1;

    __delay_ms(2);

    LED = 0;
    PIEZO = 0;

    INTF = 0;
}

// таймер 1 сек
if(T0IF)
{
    seconds++;

    cps = pulse_count;
    pulse_count = 0;

    cpm += cps;

    if(seconds >= 60)
    {
        seconds = 0;
        cpm = 0;
    }

    TMR0 = 6;

    T0IF = 0;
}
```

```
}


// ---------------- MAIN ----------------

void main()
{

   TRISA = 0x00;
   TRISB = 0x01;

   PORTA = 0;
   PORTB = 0;

   lcd_init();

   // Timer0
   OPTION_REG = 0b00000111;
   TMR0 = 6;

   // interrupts
   INTE = 1;
   T0IE = 1;
   GIE = 1;

   while(1)
   {

      lcd_cmd(0x80);
```

```
        lcd_print("CPS:");
        lcd_number(cps);

        lcd_cmd(0xC0);
        lcd_print("CPM:");
        lcd_number(cpm);

        __delay_ms(500);

    }

}
```

Алгоритм роботи приладу наведено на рис. 2.10. Кожен імпульс від транзистора означає реєстрацію однієї події іонізуючого випромінювання. Контролер веде підрахунок цих подій. Також він керує LCD дисплеєм, світлодіодом та п'єзо-динаміком.



Рисунок 2.10-Алгоритм роботи приладу

В якості дисплея використовується мікросхема HD44780-найпопулярніший контролер від Hitachi для монохромних символьних LCD-дисплеїв. Він підтримує 4- або 8-бітний паралельний інтерфейс, працює від 5В

та сумісний з більшістю мікроконтролерів. Дозволяє відображати латиницю, кирилицю та символи користувача. Застосовано 4-бітний режим передачі даних, що дозволяє економити виводи мікроконтролера. На дисплеї відображається інформація про рівень радіації, кількість імпульсів та інші параметри вимірювання. Для регулювання контрасту дисплею та його стабільної роботи використовуємо мікросхему ICL7660, що являє собою DC-DC перетворювач, який використовується для створення негативної напруги з позитивної. Цей чип широко використовується в різних схемах, де потрібне перетворення напруги без використання трансформаторів або складних схем.

Світлодіод блимає при кожному зафіксованому імпульсі, що дає візуальне підтвердження детекції випромінювання. При кожній такій події п'єзоелемент (Piezo,4kHz) видає звуковий сигнал.

Живлення пристрою здійснюється від Li-Po акумулятора 3.7В (1000 mAh), заряд якого контролює мікросхема MCP73831. Вона забезпечує заряд від USB 5В, здійснює контроль струму та показує ступінь заряду (LED2).

Для підвищення чутливості PIN-діода до гамма-випромінювання в схемі передбачено підвищення напруги акумулятора від 3.7В до 15 В. Це забезпечує модуль IC5 (Pololu Step-up 15В)- потужний синхронний перетворювач напруги з перетворенням вгору/вниз ефективно видає 5 В від вхідних напруг від 2,8 В до 22 В. Його здатність перетворювати як більш високі так і нижчі вхідні напруги робить його корисним для застосувань, де напруга живлення може сильно змінюватись , Як у випадку з батареями, які в зарядженому стані мають вихідну напругу вище, але розряджаються нижче 5 В. Плата має розміри 0.89 × 1.2 см, має типовий ККД від 85% до 95% і може видавати безперервні вихідні струми від 1 А до 2 А, залежно від значення вхідної напруги.

Для живлення мікроконтролеру, LCD дисплею та логічних схем використовуємо стабілізатор, який реалізовано на мікросхемі TPS78330.

2.6 Розробка топології друкованої плати

У сучасному світі електронні пристрої використовуються практично в усіх сферах діяльності людини: у промисловості, медицині, транспорті, зв’язку та побутовій техніці. Основою більшості електронних пристроїв є друковані плати, які забезпечують механічне кріплення та електричне з’єднання електронних компонентів. Саме друкована плата є основним елементом конструкції електронної апаратури.

Розробка друкованих плат є складним і відповідальним процесом, що включає створення принципової електричної схеми, вибір елементної бази, компонування елементів і прокладання провідників. Одним із найважливіших етапів цього процесу є розробка топології друкованої плати.

Топологія друкованої плати визначає розташування електронних компонентів і провідних доріжок на її поверхні. Від правильності її розробки залежить стабільність роботи пристрою, рівень електромагнітних перешкод, надійність та довговічність електронної системи.

Друкована плата — це пластина з ізоляційного матеріалу, на поверхні якої сформовані провідні доріжки з металу (найчастіше з міді), що забезпечують електричне з’єднання компонентів електронної схеми.

Найчастіше основою друкованих плат є склотекстоліт або інші композитні матеріали, які мають високу механічну міцність і хороші діелектричні властивості.

Основні функції друкованої плати:

- електричне з’єднання елементів схеми;
- механічне кріплення компонентів;
- забезпечення компактності електронного пристрою;
- підвищення надійності роботи електронної системи.

Залежно від конструкції розрізняють такі види друкованих плат:

- односторонні;
- двосторонні;

- багатошарові.

Топологія друкованої плати — це графічне представлення розташування електронних компонентів, контактних майданчиків і провідників на поверхні плати.

Основною метою розробки топології є:

- забезпечення правильного електричного з’єднання елементів;
- зменшення довжини провідників;
- мінімізація електромагнітних перешкод;
- ефективне використання площі плати;
- забезпечення теплового режиму роботи елементів.

Процес розробки топології друкованої плати складається з кількох послідовних етапів.

На першому етапі створюється принципова електрична схема пристрою. У ній визначаються всі електронні компоненти, їх параметри та спосіб з’єднання. Принципова схема є основою для подальшої розробки друкованої плати.

На другому етапі визначаються типи електронних компонентів: резистори, конденсатори, мікросхеми, транзистори та інші елементи. Також обираються їх корпуси та способи монтажу.

Після створення схеми виконується розміщення компонентів на платі. Це один із найважливіших етапів, оскільки правильне розташування елементів значно спрощує прокладання провідників.

Під час розміщення враховують:

- функціональне групування елементів;
- мінімальну довжину з’єднань;
- теплові умови роботи;
- зручність монтажу та ремонту.

Трасування — це процес прокладання провідників, які з’єднують елементи схеми між собою. Під час трасування необхідно дотримуватися таких правил:

- достатня ширина доріжок;
- мінімальні відстані між провідниками;
- уникнення перехрещення доріжок;
- мінімізація довжини сигнальних ліній.

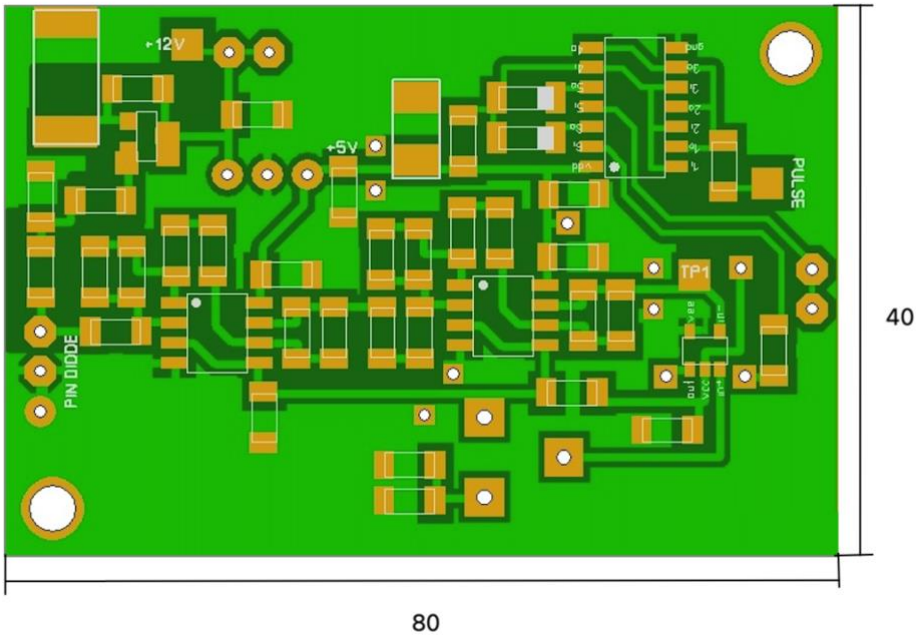
Після завершення трасування проводиться перевірка правил проєктування. Така перевірка дозволяє виявити помилки, пов’язані з порушенням технологічних норм.

Під час розробки топології необхідно дотримуватися низки технічних вимог.

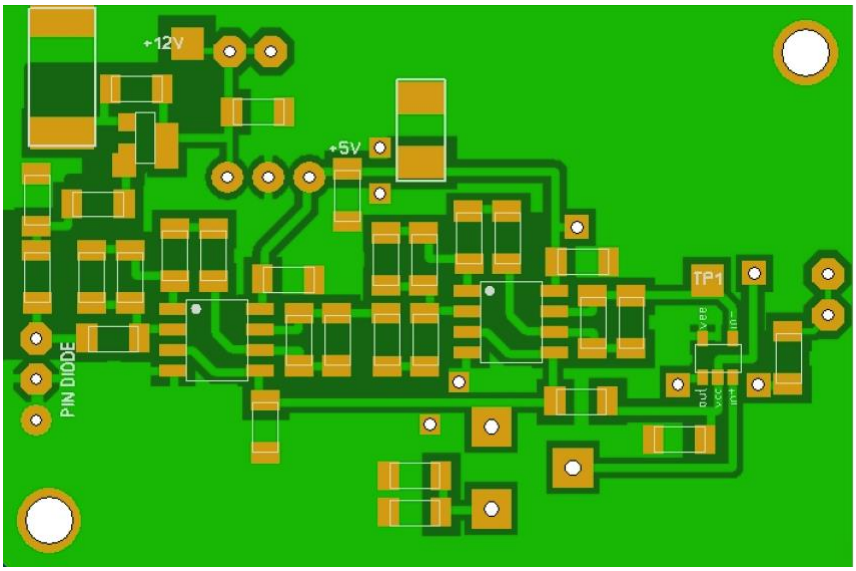
- мінімальна довжина сигнальних доріжок;
- достатня ширина провідників для передачі струму;
- дотримання електричної ізоляції між доріжками;
- зменшення впливу електромагнітних перешкод;
- ефективне відведення тепла від компонентів;
- забезпечення надійності контактів [22]

На основі схеми електричної принципової рис. 2.6 побудовано топологію друкованої плати детектору (рис.2.11). Розрахункові габаритні розміри складають 80 Х 40 мм.

Таким чином розроблено компактний портативний детектор гамма-випромінювання, що реєструє іонізуючого випромінювання, виводить інформацію щодо рівня радіаційного забруднення на LCD дисплей, має звукову та світлову індикацію.



а)



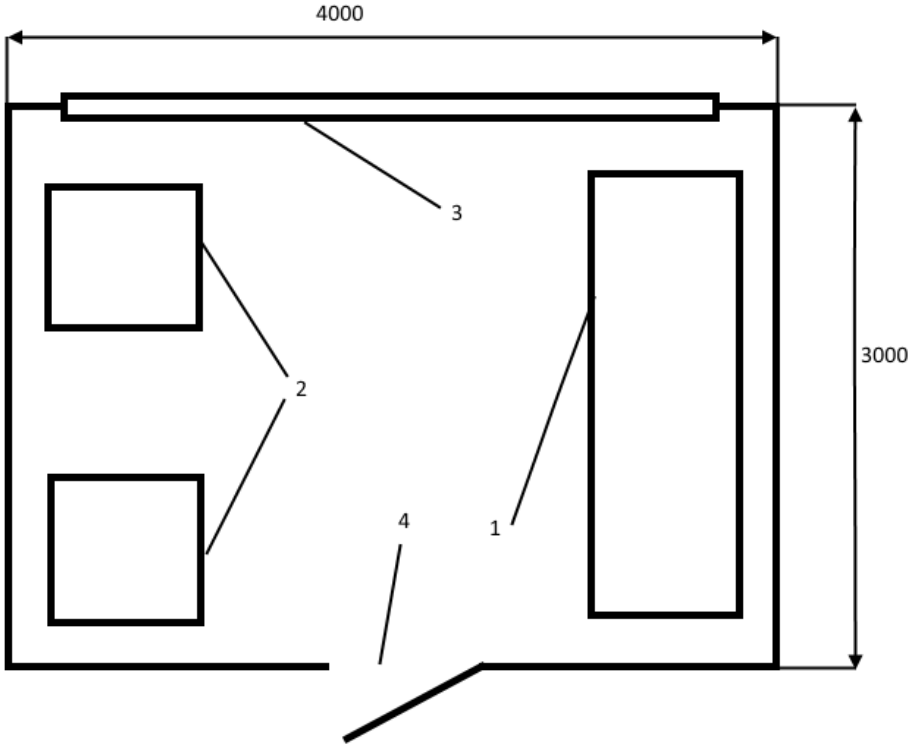
б)

Рисунок 2.11 -Топологія друкованої плати аналогового модуля детектора гамма-випромінювання (а -верхній блок, б -нижній блок)

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Розробка мікроелектронного пристрою для визначення рівня радіації здійснювалась у лабораторному приміщенні кафедри ЕІСПЗ (рис 3.1).



1 – робочий стіл, 2 – робоче місце операторів ПК, 3 – вікно,
4 – вхід у приміщення

Рисунок 3.1 – Схематичне зображення лабораторного приміщення

Параметри приміщення для проведення досліджень вказані у (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Параметри приміщення

Параметр приміщення	Числове значення
Довжина	4м
Ширина	3м
Висота	3,5м
Площа	12м^2
Об’єм	42м^3

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на чотири групи:

– фізичні;

– хімічні;

– біологічні;

– психофізичні.

При роботі за ПК найбільш уразливими стають нервова, імунна, зорова, ендокринна, опорно-рухова та репродуктивна системи користувачів. Саме тому комп’ютеризовані робочі місця відносяться до категорії небезпечних для стану здоров’я людини.

Небезпечні та шкідливі фактори, що діють на користувача комп’ютера в процесі роботи, наведені на (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 - Небезпечні та шкідливі фактори для користувача ПК

Дія шкідливих факторів призводить до порушення здоров'я. Причини відхилень в здоров'ї користувача ПК наведені у (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Причини відхилень в здоров'ї користувача ПК

Шкідливий чинник	Захворювання
Незадовільні ергономічні характеристики монітора	- порушення зору
Незадовільні санітарно-гігієнічні умови праці	- захворювання шкіри
Неправильна організація робочого місця	- порушення пов'язані з нервовим та емоційним навантаженням; - кістково-м'язові порушення

Дисплей ПК на електронно-променевій трубці є джерелом електромагнітних випромінювань, які включають:

– радіочастотне;

– рентгенівське;

– ультрафіолетове;

– інфрачервоне випромінювання.

Електромагнітні поля навколо комп’ютера (особливо низькочастотні) негативно впливають на людину. Найбільш чуттєвою до дії електромагнітних випромінювань (ЕМВ) є центральна нервова система.

Вплив електромагнітного випромінювання на нервову систему:

– погіршення пам’яті;

– безсоння;

– депресія та головні болі;

– погіршується сприймання інформації;

– запаморочення;

– “безпричинна” втома.

Випромінювання ПК співпадає з частотою сигналів, які посилають одне одному клітини нашого організму. Клітини виконують найрізноманітніші завдання: передача нервових імпульсів і обробка інформації, транспортування кисню та поживних речовин, синтезу й виділення різних сполук, скорочення м’язових волокон. Таким чином, в механізми внутрішнього спілкування організму людини втручаються штучні сторонні чинники. В результаті цього руйнується інформаційно-керуюча система організму, збивається ритм роботи і, як наслідок, запускаються патологічні процеси.

Електромагнітне випромінювання ослаблює імунну систему, розбалансовує ендокринну та статеву системи, що призводить до передчасного старіння.

Особливо уразливі до випромінювання моніторів ПК вагітні жінки. Ризик появи дітей з уродженими хибами збільшується в 25 раз, в 3,5 рази вища імовірність викидів.

Електростатичне поле, яке створюють монітори на електронно-променевій трубці може негативно вплинути на самопочуття, нервову і судинну системи, також воно може бути причиною бронхо-легеневих та шкірних захворювань.

Накопичена статична електрика, зокрема, на екрані монітора притягує пил, бруд та інші частини присутні в повітрі. При чому електризується не тільки екран, а і повітря на робочому місці, а також одяг користувача, якщо він з синтетичного та шерстяного матеріалу.

При напруженій роботі за екраном монітора зменшується частота кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршення зору.

Найбільш повним нормативним документом щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК є "Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин" ДСанПіН 3.3.2.007-98.

При виготовленні апарату для реєстрації радіоактивного випромінювання найбільш небезпечними, з точки зору охорони праці і техніки безпеки, операціями, що виконуються у лабораторному приміщенні є:

– пайка;

– виготовлення друкованих схем;

– збірка.

При виготовленні приладу були використані припій ПОС-61 (ГОСТ 21930-76) і каніфоль світла (ГОСТ 797-64). При пайці і залуженні олов'яно-свинцевими припоями утворюються пари свинцю.

Свинець негативно впливає на організм, особливо на стан нервової і серцево-судинної системи, викликає ряд хворобливих явищ шлунково-кишкового тракту, що призводить до професійного отруєння.

При систематичній роботі з припоями, що містять свинець, необхідна припливно-витяжна вентиляція, а на робочому місці повинен бути

встановлений відсмоктувач. Пайку і лудіння рекомендується проводити в спеціальних витяжних шафах.

Склад припою марки ПОС-61 і допустимих домішок, а також МДК цих матеріалів зазначені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Склад і МДК компонентів припою ПОС-61

Компонент	Вміст	МДК
Олово	60…62 %	0,05 мг/м3
Вісмут	0,1 %	0,5 мг/м3
Миш'як	0,05 %	0,3 мг/м3
Залізо	до 0,02 %	0,004 мг/м3
Нікель	до 0,02 %	0,001мг/м3
Сірка	до 0,02 %	6 мг/м3
Цинк	до 0,002%	0,25 мг/м3
Алюміній	до 0,002%	2 мг/м3
Мідь	до 0,05 %	0,002 мг/м3
Свинець	інше	0,0003 мг/м3

При роботі з олов'яно-свинцевими припаями потрібно строго виконувати передбачені правила виробничої та особистої гігієни:

- категорично забороняється приймати їжу і курити в приміщеннях, де проводиться паяння;
- перед обідньою перервою і після роботи необхідно обмивати руки 1% розчином соди і ретельно мити їх теплою водою;
- після закінчення роботи слід приймати душ;
- очищення місць пайки від залишків флюсу робити спиртом;
- спецодяг слід регулярно прати і зберігати на виробництві;
- медичний огляд осіб, які працюють з припоями, повинен проводитися не рідше одного разу на рік.

Друковані плати сучасного типу можуть бути виготовлені за однією з двох технологій – адитивним чи субтрактивним способом. У першому випадку

провідний малюнок на матеріалі формується за допомогою процедури хімічного міднення.

Процес виробництва друкованих плат складається з таких етапів:

1. Виробництво заготівлі для платі;

2. Подальша обробка заготовки;

3. Здійснення монтажу всіх необхідних елементів плати;

4. Проведення планового тестування працездатності [23].

При нанесенні малюнка струмопровідними фарбами з подальшим гальванічним нарощуванням металу велику шкідливість для організму працюючих представляють різні речовини:

– розчинники,

– відновники,

– наповнювачі, що входять до складу струмопровідних фарб.

Найбільш шкідливо впливають хлорорганічні розчинники (дихлоретан, хлороформ та ін.), ароматичні сполуки (бензол, толуол, ксилол та ін.), фенолальдегідні смоли, формальдегід та інші речовини.

Під час роботи з струмопровідними фарбами велику роль відіграє механізація і автоматизація технологічного процесу, слід виключити можливість безпосереднього контакту працівників з фарбами.

Робоче місце повинно бути обладнано вентиляцією, а працюючий зобов'язаний дотримуватися заходів виробничої і особистої гігієни.

При електролітичному методі нарощування металу необхідно дотримуватися санітарних вимог і правил з техніки безпеки, прийнятих для гальванічних цехів.

При пайці друкованих схем методом занурення в розплавлений припій ПОС-61 пари свинцю можуть забруднювати повітря.

При ручному способі занурення плат можливі опіки працюючих краплями розплавленого припою, тому процес занурення плат повинен бути механізований. Для підвищення рівня безпеки працівників ванни з

розплавленим припоєм повинні мати кришки та пристрої для відсмоктування повітря з ванн.

Процес залуження кінців дротів супроводжується виділенням парів свинцю і флюсів. Тому приміщення в яких проводиться залуження кінців дротів повинні бути обладнаними працюючими місцевими вентиляціями.

Ізоляцію монтажних дротів у ряді випадків виконують різними клеями, а постійне забруднення поверхні шкіри клеями може викликати появу шкірних захворювань. Тому для попередження цих захворювань рекомендується користуватися спеціальними захисними пастами.

Таким чином, на дільниці складання і монтажу на працюючих можуть впливати:

– пари свинцю і флюсів (при пайці);

– пари та дрібний пил металів, що сполучаються;

– газоподібні речовини;

– дим і пари, що утворюються при приготуванні ізоляції проводів.

Тому складальні і монтажні місця повинні бути обладнані ефективною, раціонально влаштованою припливно-витяжною механічною вентиляцією.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці. Виробнича санітарія

Вимоги до робочого місця та розташування всіх його елементів прописано в ДНАОП 0.00-1.31-99 "Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин ".

Згідно з вимогам облаштування робочих місць, обладнаних відеотерміналами, повинні забезпечуватись:

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця;
- відсутність відблисків;

- оптимальні параметри мікроклімату;
- належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця, з врахуванням небезпечних і шкідливих факторів, які були розглянуті раніше.

Площа приміщень для роботи з відеодисплейним и терміналами розраховується таким чином, щоб площа на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом становила не менше 6,0м^2, а об'єм на одне робоче місце – не менше 20,0 м^3.

Робочі місця мають бути розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1м, між собою на відстані не менше 1,5 м.

Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Тому місця розміщують так, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

Джерела освітлення рекомендується розташовувати з обох боків екрану паралельно напрямку погляду.

Під час розробки комбінованої транзисторної структури, яка проводилась у лабораторному приміщенні кафедри ФБМЕ, всі необхідні вищеперераховані вимоги виконувались.

Робочі місця операторів ПК розташовані на відстані 2 метрів від вікна, та 1 метра від стіни, таким чином, що світло з вікна падає на робоче місце збоку.

У приміщенні, площа якого 12 м^2 та об'єм 42 м^3, знаходиться два робочих місця з комп'ютером, що відповідає санітарнім умовам. Монітор розміщений таким чином, що він знаходиться на оптимальній відстані від очей користувача, 50-60 см.

Виробнича санітарія - це система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів, які в певних умовах можуть привести до травм або професійних захворювань.

Основною метою є зменшення або повне усунення впливу несприятливих 1 шкідливих виробничих факторів на організм людини.

Оскільки головним у діяльності з охорони праці є профілактика травматизму, заходи щодо поліпшення умов праці й побуту працюючих дозволяють не тільки знизити виробничий травматизм, професійну й загальну захворюваність, а й сприяють підвищенню продуктивності і якості праці [24].

На робочому місці необхідно використовувати правильно спроектоване та безпечне у використанні виробниче освітлення, це допоможе знизити втомлюваність, покращить умови праці.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски — тимчасове засліплення.

Освітлення виробничих приміщень характеризується кількісними та якісними показниками.

До основних кількісних показників відносяться:

– світловий потік;

– сила світла;

– яскравість;

– освітленість.

До основних якісних показників зорових умов роботи можна віднести: контраст між об'єктом та фоном, видимість.

Для створення сприятливих умов зорової роботи виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам:

– створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;

– не повинно бути засліплюючої дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;

– забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частої переадаптації органів зору;

– не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);

– повинен бути достатній, для розрізнення деталей, контраст поверхонь, що освітлюються;

– не створювати небезпечних та шкідливих виробничих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпечне ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);

– повинно бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним, штучним і суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Недостатність освітлення приводить до напруги зору, послаблення уваги, передчасної стомленості.

Неправильне освітлення може привести до нещасного випадку або профзахворювань, тому настільки важливий правильний розрахунок освітленості.

Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери: при виконанні зорових робіт середньої точності – 200 лк загального й 300лк для комбінованого освітлення.

Обчислювальна техніка є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури й зниження відносної вологості в приміщенні.

У приміщеннях, де встановлені комп'ютери, повинні дотримуватися певні параметри мікроклімату. У санітарних нормах ДСН 3.36.042-99

"Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень" установлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні умови.

Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу й характеру виробничого приміщення (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Оптимальні параметри мікроклімату приміщень, для категорії робіт 1А

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температу раповітря в приміщенні	22...24°С
	Відносна вологість	40...60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	23...25°С
	Відносна вологість	40...60%
	Швидкість руху повітря	0,1...0,2м/с

Відповідно до норм подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери в даній лабораторії необхідно подавати 30 $м^3$/год, на одну людину

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року й доби, чергування праці й відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

Шум погіршує умови праці, роблячи шкідливу дію на організм людини, при роботі в умовах тривалого шумового впливу робітники відчувають:

- дратівливість;
- головні болі;
- запаморочення;
- знижується концентрація уваги;
- підвищену стомлюваність;
- зниження апетиту;

– біль у вухах і т.д.

Рівень шуму в даному приміщенні становить 50дБ, що не перевищує норму. Для зниження рівня шуму стіни й стеля приміщення, де встановлені комп'ютери, облицьовані звуковбирними матеріалами.

3.3 Електробезпека

Оскільки в приміщенні знаходиться електроустаткування, основні заходи щодо техніки безпеки повинні стосуватися безпечної експлуатації ПЕОМ, і здійснюватись відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки.

Ураження електричним струмом може статись через:

– пошкодження ізоляції;

– випадковий дотик до струмоведучих деталей;

– замикання в результаті аварії;

– статичну напругу.

Характеристика мережі у приміщенні: 220/380В, 50Гц, 3-фазна чотирьох провідна з глухо заземленою нейтраллю.

Електричний струм, проходячи через організм людини, спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

Електролітична дія струму виявляється в розкладанні органічних рідин, в тому числі крові, що призводить до значних порушень їх фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється у подразненні й збудженні живої тканини організму, що супроводжується мимовільним скороченням м'язів [22].

Найчастіше нещасні випадки відбуваються через низький рівень організації робіт або грубе порушень правил, у тому числі:

– безпосереднього дотику до відкритих струмоведучих частин і дротів;

– дотику до струмоведучих частин, ізоляція яких ушкоджена;

– дотику до металевих частин устаткування, що випадково під напругою;

– дотик до струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції;

– відсутності або порушення захисного заземлення;

– помилкової подачі напруги під час ремонтів або оглядів;

– впливу електричного струму через дугу;

– впливу крокової напруги й ін.

Для усунення небезпеки ураження електричним струмом в лабораторному приміщенні під час аварійного режиму використовується захисне заземлення.

Заземлення – це спеціальне електричне сполучення із землею або її еквівалентом струмопровідних елементів обладнання, які не повинні перебувати під напругою, але в процесі експлуатації можуть опинитися під напругою, наприклад, у разі пошкодження ізоляції, дефектів комутаційних апаратів, в аварійних випадках тощо.

3.3.1 Розрахунок захисного заземлення

Заземленню підлягають вимірювальні установки, напруга живлення яких 220В.

У якості заземлювача візьмемо сталеві вертикальні стержні довжиною l = 2 м, діаметром d = 0,03 м, діаметр сполучної смуги b = 0,03 м.

Контур заземлення розташовано на горизонтальному майданчику біля корпусу академії.

Грунт - суглинок.

Допустимий опір заземлюючого пристрою ($R_н$) дорівнює 4 Ом. Визначимо питомий електричний опір ґрунту (суглинку), ρ якого дорівнює 100 Ом·м. Розрахуємо опір розтікання струму одного вертикального стержня:

$$R_в = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln\frac{4 \cdot l}{d} = \frac{100}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2} \ln\frac{4 \cdot 2}{0{,}03} = 44{,}46 \text{ Ом} \quad (3.1)$$

Приймемо число заземлювачів:

$$n = \frac{R_l}{R_n} = \frac{44{,}46}{4} = 11{,}1 \approx 12 \quad (3.2)$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги (по контуру):

$$l_г = a \cdot n = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м} \quad (4.3)$$

де a - відстань між вертикальними електродами (a = 2 м)

Опір горизонтальної смуги:

$$R_{2c} = \frac{\rho}{\pi l_г} \ln\frac{4 \cdot l_г}{b} = \frac{100}{3{,}14 \cdot 24} \ln\frac{4 \cdot 24}{0{,}03} = 10{,}7 \text{ Ом} \quad (3.4)$$

Коефіцієнт екранування для вертикального заземлювача і для горизонтальної смуги:

$$\eta_в = \frac{0,68+0,56}{2} = 0,62 \quad (3.5)$$

$$\eta_г = \frac{0,34+0,4}{2} = 0,37 \quad (3.6)$$

Опір групи вертикальних заземлювачів:

$$R_{гр} = \frac{R_{вз}}{n \cdot \eta_в} = \frac{44,46}{12 \cdot 0,62} = 5,97 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

Опір горизонтальної смуги з врахуванням екранування:

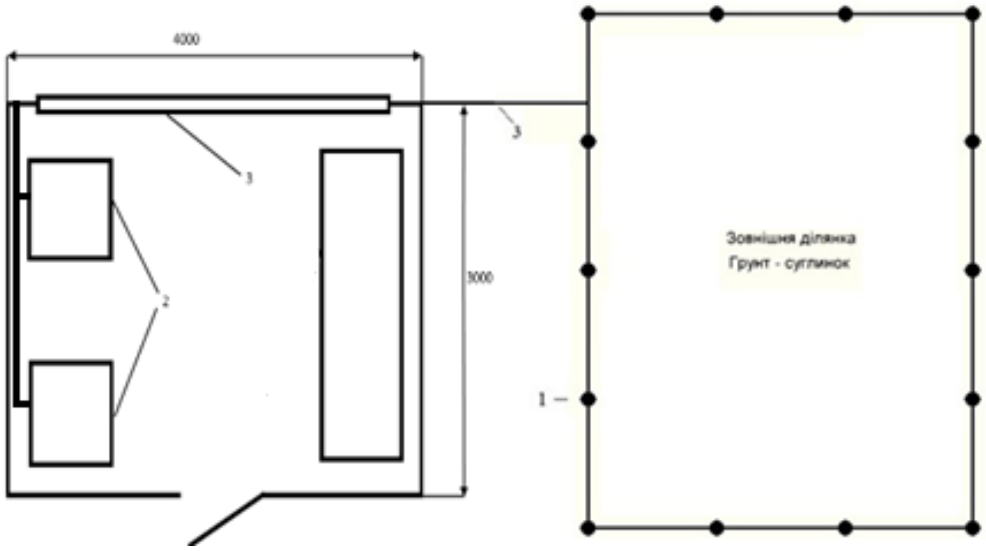
$$R_г = \frac{R_{го}}{\eta_г} = \frac{10,7}{0,37} = 28,91 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

Опір заземлювача в цілому:

$$R_з = \frac{R_{гр} \cdot R_г}{R_{гр}+R_г} = \frac{5,97 \cdot 28,91}{5,97+28,91} = 4,94 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

Як видно, опір заземлювача перевищує нормативне значення (4 Ом), тому збільшимо кількість заземлювачів до n =14,тоді опір заземлювача в цілому складе $R_з = 3,97 < R_н$.

Число заземлювачів дорівнює 14, які розміщені по контуру зовнішньої ділянки, як показано на рисунку 3.3.



1 – заземлювачі; 2 - електроустаткування що заземлюється; 3 - сполучна смуга внутрішній контур заземлення.

Рисунок 3.3 — Розміщення заземлювачів на зовнішній ділянці.

Таким чином, для виконання захисного заземлення використовується 14 вертикальних стержнів з такими характеристиками:

- діаметр - 0,03 м;
- довжина - 2 м;
- опір стержня - 44,46 Ом;
- опір сполучної смуги 10,7 Ом;
- опір заземлювачів в цілому - 3,97 Ом.

Такі характеристики заземлення забезпечують безпечну роботу на установках лабораторії.

3.4 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Пожежа в лабораторному приміщенні, де розташовано робоче місце, може виникнути при взаємодії горючих речовин і джерел запалювання.

Горючими речовинами в лабораторії можуть стати:

– матеріали меблів,

– пластмасові корпуси техніки,

– шнури тощо.

Джерелами запалювання можуть бути:

1. Електронні схеми комп'ютерів,

2. Пристрої електроживлення, де внаслідок різних порушень виникає перегрівання елементів, утворюються електричні іскри, здатні спричинити займання горючих матеріалів.

Клас пожежі Е, категорія приміщення Д.

Для ліквідації пожежі в даному приміщенні немає необхідності влаштування системи автоматичного пожежогасіння.

Приміщення оснащене переносним вуглекислотним вогнегасником типу ВВК-3,5 - 1шт.

Облицювання стін та стелі приміщення зроблене з негорючих матеріалів.

Коридори будівлі, в якому знаходиться дане приміщення, оснащені стендами з планом евакуації під час пожежі (рис. 3.4), на стіні є ящик пожежним стволом і пожежним рукавом.

Дана будівля відносяться до другої категорії по блискавко захисту, захист будівлі від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою стрижневих блискавковідводів.

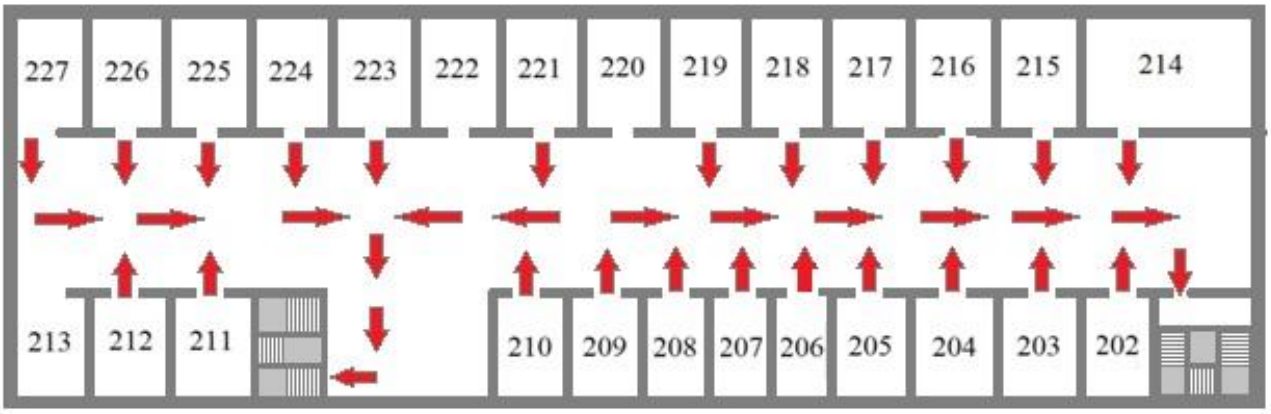


Рисунок 3.4– План евакуації при пожежі

3.5 Засоби захисту від впливу радіації

3.5.1 Засоби захисту працівників від радіації

Організм людини не відчуває іонізуючого випромінювання. Тому для захисту від шкідливого впливу радіоактивних речовин неодмінно потрібно використовувати засоби захисту від радіації.

Також працівники, які виконують роботи з радіоактивними речовинами, повинні перебувати під постійним медичним наглядом, використовувати прилади індивідуального дозиметричного контролю (універсальні радіометри) для своєчасного виявлення і вимірювання рівня випромінювання, дотримуватися вимог безпеки праці.

Під час організації захисту від зовнішнього іонізуючого опромінювання при роботах із закритими джерелами випромінювання, тобто такими, які виключають можливість потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище, передусім необхідно не допустити переопромінення працівників.

Основним способами захисту від цього є:

1. Зменшення активності джерела, з яким контактують працівники під час конкретного технологічного процесу, — досягається шляхом використання речовин із меншою активністю;

2. Зменшення часу контакту з джерелом випромінювання — досягається шляхом вдосконалення організації робіт і технологічного виробничого процесу та проведення попередніх тренінгів працівників;

3. Збільшення відстані між людиною і джерелом — використовується, як правило, при контакті з точковим джерелом випромінювання шляхом використання дистанційних універсальних маніпуляторів та інших автоматизованих пристроїв;

4. Розташування між людиною і джерелом захисного екрану (стаціонарного, пересувного, розбірного, настільного тощо), тобто пристрою, який зменшує інтенсивність випромінювання до безпечного рівня.

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

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

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

Засоби захисту від радіації використовуються у тих випадках, коли інші заходи недостатньо ефективні: при переході через зони збільшеної інтенсивності випромінювання, при ремонтних та налагоджувальних роботах у аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення [26].

3.5.2 Види засобів індивідуального захисту від радіації

Залежно від виду виконуваних робіт і їх небезпечності засобами індивідуального захисту є:

- спецодяг (комбінезони або костюми, спецбілизна),
- рукавиці, чоботи,
- респіратори,
- окуляри,
- ізолювальні пневмокостюми,
- пневмошоломи, з індивідуальним подаванням в них повітря тощо.

Наприклад, для захисту тіла використовується одяг із металізованих тканин та радіопоглинальних матеріалів. Очі захищають спеціальними окулярами зі скла з нанесеною на внутрішній бік плівкою двоокису олова. Гумова оправа окулярів має запресовану металеву сітку або обклеєна металізованою тканиною.

Як засіб індивідуального захисту під час робіт на рентгенівських установках застосовують фартухи, рукавиці, шапочки з покритої оловом гуми.

Підручними засобами індивідуального захисту можуть бути накидки, плащі із синтетичних плівок, гумові чоботи, рукавички тощо [26].

3.6 Інструкція по техніці безпеки під час проведення радіографічного контролю

3.6.1 Загальні положення

Джерелами іонізуючих випромінювань (ДІВ) є рентгенівські апарати, гамма-дефектоскопи, заряджені радіонуклідами Цезію-137, Іридію-192 і Тулія-170, і окремі радіоактивні речовини названих радіонуклідів у закритому виді, поміщені в контейнери.

Устаткування, контейнери, упакування, транспортні засоби, апарати, пересувні установки, приміщення, призначені для робіт із застосуванням джерел іонізуючих випромінювань, повинні мати знаки радіаційної небезпеки.

При радіографічному контролі небезпечними факторами є:

– перевищення основних дозувальних меж, встановлених НРБ-76/87;

– забруднення радіоактивними речовинами робочих місць, устаткування, спецодягу і тіла працюючих;

– надходження радіоактивного ізотопу усередину організму працюючих;

– замикання електричного ланцюга через тіло працюючого при експлуатації переносних, пересувних і стаціонарних рентгенівських апаратів.

Вплив небезпечних факторів, що приводять до опромінення осіб, які працюють на переносних гамма-дефектоскопах, можливо при установці гамма-дефектоскопа в робоче положення і поверненні джерела у вихідне положення після закінчення роботи, при просвічуванні, а також при збереженні і транспортуванні радіоактивних джерел. Небезпека опромінення чи надходження ізотопів усередину організму зростає в аварійних ситуаціях, які виникають внаслідок стихійного лиха і розгерметизації радіоактивних джерел чи грубого порушення режимів їх експлуатації.

Опромінення осіб, що працюють на рентгенівських апаратах, можливо тільки при подачі високої напруги на рентгенівську трубку, коли працюючі знаходяться в радіаційно-небезпечній зоні.

Ураження струмом осіб, що працюють на рентгенівських апаратах, відбувається при порушенні правил електробезпеки.

При роботі з джерелами іонізуючих випромінювань, їх збереженні і транспортуванні необхідно дотримуватися заходів, що передбачають зниження дозувальних навантажень до допустимих рівнів, а також запобігають розгерметизації джерел, ураженню працюючих струмом і забезпечують дотримання загальних правил техніки безпеки: робота на висоті, у замкнутих посудинах, траншеях і ін [27].

3.6.2 Вимоги до лабораторій і сховищ, порядку зберігання, видачі і повернення ДІВ

Вимоги до лабораторій і сховищ, порядку зберігання, видачі і повернення дів:

1. Роботи з радіографічного контролю в організації, підприємстві повинні проводитися в спеціальних лабораторіях. Приміщення лабораторії повинні обладнатися автоматичною пожежною сигналізацією і відокремлюватися від інших приміщень протипожежними перегородками. Потужність еквівалентної дози випромінювання на зовнішніх поверхнях будинку, де знаходиться лабораторія, у тому числі прорізах вікон і дверей, стін камери, що відокремлюють суміжні приміщення, у яких можуть знаходитися особи категорії Б, не повинна перевищувати 0,12мбер/год.

2. Для виконання робіт з переносними гамма-дефектоскопами в складі лабораторії передбачаються приміщення для сховища зі спеціальними колодязями із захисними кришками. Площа сховища повинна бути не менше 10 $м^2$, з розрахунку 3 $м^2$ на один дефектоскоп. Сховище повинне бути обладнане звуковою сигналізацією.

3. При проведенні робіт на площадках з використанням для просвічування переносних гамма-дефектоскопів необхідно мати сховище, фотокімнату, приміщення для персоналу і зберігання плівок. Потужність

еквівалентної дози на зовнішній поверхні сховища чи його огородження, що виключає доступ сторонніх осіб, не повинна перевищувати 0,12 мбер/год. На поверхні сховища, що знаходиться в санітарно-захисній зоні організації, підприємства потужність еквівалентної зони не повинна перевищувати 2,9 мбер/год.

Примітка: У сховищі немає потреби при проведенні короткочасних робіт з контролю, коли приїзд і виїзд з об'єкта здійснюється в той же день.

4. При зберіганні переносних рентгенівських апаратів вимоги по радіаційній безпеці не пред'являються. Їх рекомендується зберігати в сейфах чи закритих металевих шухлядах.

5. Проведення робіт із джерелами іонізуючих випромінювань і їх збереження дозволяється тільки після оформлення санітарного паспорта на право роботи з джерелами іонізуючого випромінювання, що видається Держсаннаглядом організаціям,підприємствам на термін не більше трьох років.

6. В лабораторії повинен знаходитися обов'язковий комплект або аварійний запас спецодягу, пристосувань, засобів індивідуального захисту дня аварійних робіт.

7. Видача дефектоскопів чи контейнерів з радіоізотопами дефектоскописту відповідальною особою здійснюється за письмовим наказом начальника лабораторії або керівника групи радіаційної дефектоскопії; видача і повернення фіксується в прибутково-видатковому журналі, а розпорядження - у журналі завдань дефектоскопистам.

8. Для проведення робіт за межами території, на яку поширюється дія санітарного паспорта, дозволяється вивіз дефектоскопів чи контейнерів з радіоізотопами тільки після узгодження з органом Держсаннагляду, що видав санітарний паспорт, і одержання від нього листа-дозволу на вивіз дефектоскопів чи контейнерів, а також повідомлення органів Держсаннагляду і внутрішніх справ по місцеві проведення робіт про вивіз джерела іонізуючих випромінювань і термінах перебування на даній території.

9. При видачі і поверненні ДІВ необхідно, використовуючи дозиметр, впевнитися в наявності джерела в радіаційній голівці або контейнері і відсутності на їх поверхні іонізуючого випромінювання, що перевищує допустимі норми. Потужність еквівалентної дози випромінювання на відстані 1 і 0,1 м від поверхні радіаційної голівки або контейнера не повинна перевищувати відповідно 3 і 100 мбер/год.

10. Не дозволяється залишати в тимчасових сховищах несправні гамма-дефектоскопи з радіоактивними джерелами. Адміністрація повинна вжити термінових заходів для їх відправлення в стаціонарні сховища.

3.6.3 Правила транспортування ДІВ

Правила транспортування ДІВ:

1. Транспортування гамма-дефектоскопів і контейнерів з радіоізотопами повинне здійснюватися відповідно до вимог "Правил безпеки при транспортуванні радіоактивних речовин". При транспортуванні рентгенівських апаратів спеціальних вимог не пред'являється. У цьому випадку повинні виконуватися загальні вимоги, запропоновані до перевезення електрорадіоапаратури.

2. Для постійних перевезень гамма-дефектоскопів, рентгенівських апаратів і контейнерів з радіоізотопами використовуються спеціально обладнані автомобілі-спецлабораторії, на які оформляють санітарний паспорт. Усередині автомобіля повинен бути вивішений перелік апаратури і засобів ліквідації аварії, а також інструкція з радіаційної безпеки і ліквідації аварій. Зовні повинні бути нанесені знаки радіаційної небезпеки і напис "Спецлабораторія". Автомобіль-спецлабораторія повинен бути оснащений на

випадок аварії в шляху індивідуальними засобами захисту від радіоактивних забруднень і первинних засобів пожежегасіння [27].

Таким чином, проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можливі при розробці мікроелектронного пристрою для визначення рівня радіації. Встановлено заходи з поліпшення умов праці, оптимальні параметри мікроклімату приміщень та виконано розрахунок захисного заземлення.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведено аналіз і дослідження різних видів радіаційного випромінювання та детекторів іонізуючого випромінювання, визначено їх недоліки та переваги, виходячи з яких було визначено мета та задачі роботи.

Розроблено структурну і принципову електричну схему пристрою для вимірювання гамма-випромінювання, що складається з аналогового та цифрового модулів для зменшення рівня шумів.

Аналоговий модуль побудовано на основі двох PIN- діодів. Цифрова частина пристрою - на мікроконтролері PIC16F628A, має автономне живлення, реєструє імпульси від іонізуючого випромінювання, підраховує їх та відображає результат на LCD-дисплеї, а також подає звукову і світлову індикацію

Виконано розрахунок захисного заземлення та визначено характеристики які зможуть забезпечити безпечну роботу на установках лабораторії.

Запропонований пристрій може використовуватися для моніторингу рівня радіаційного забруднення на промислових підприємствах та в лабораторіях.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаров, В. П., Пасько, М. І. Основи ядерної фізики та радіаційної безпеки. Львів: ЛНУ імені І. Франка, 2012. 410 с.

2. Кучеренко, С. В., Шевченко, І. М. Методи дослідження іонізуючих випромінювань. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2017. 288 с.

3. Маслова, І. В. Радіоактивність та її контроль у природі та техніці. Одеса: ОНУ, 2019. 256 с.

4. Шевченко, І. М. Фізичні основи ядерних процесів і радіоактивності. Дніпро: ДНУ, 2016. 350 с.

5. Маслова, І. В. Радіаційні детектори та прилади для вимірювання гамма-випромінювання. Одеса : ОНУ, 2019. 256 с.

6. Spieler, H. et al. Performance of CdZnTe Detectors for Gamma Ray Spectroscopy. *Nucl. Instrum. Methods Phys.* 2000. Vol. 452, P. 133–146.

7. Методи для реєстрації іонізуючих випромінювань. Класифікація приладів радіаційного контролю. URL: https://stud.com.ua/28701/bzhd/metodi_reyestratsiyi_ionizuyuchih_viprominyuvan_klasifikatsiya_priladiv_radiatsiynogo_kontrolyu (дата звернення березень 2026 р.).

8. Методи реєстрації іонізуючих випромінювань, їх характеристика, використовувані детектори і прилади: веб-сайт. URL: http://um.co.ua/8/8-18/8-185690.html (дата звернення: 25.04.2022).

9. Григор'єва, Л. І. Радіаційна екологія та радіаційна безпека: навч. посіб. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. 228 с.

10. Ключников, О. О., Носовський, А. В. Основи дозиметрії іонізуючих випромінювань: навч. посіб. Київ: Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, 2007. 256 с.

11. Давиденко, В. М. Радіобіологія .Миколаїв: Вид-во МДАУ, 2011. 265 с. Мєшкова, А. Г., Суліменко, С. Є. Радіоекологія та радіаційна безпека: навч.посіб. Дніпро: УДУНТ, 2024. 46 с.

12. Бродин, М. С., Весна, В. Т., Дегода, В. Я., Зайцевський, І. Л., Кожушко, Б. В. *Двоенергетичний напівпровідниковий детектор рентгенівського та гамма-випромінювання* // *Наук. пр. НАНУ*. 2023. Т. 10, № 2.

13. Лазарєва І. І. *Найважливіші інструментальні методи дослідження мінеральної сировини* : навч. посіб. Київ, 2024. 207 с.

14. Грицак А. М. *Радіаційно і термічно стимульовані процеси у сцинтиляційних і термохромних матеріалах для реєстрації іонізаційного випромінювання* : дис. д-ра філософії : 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2024.

15. Коломієць В. А. *Електронна енергетична структура та радіаційно- і фотостимульовані процеси в сцинтиляційних матеріалах на основі перовскітів* : дис. д-ра філософії : 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2025.

16. Берестов Р. В. *Метод продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінення* : дис. д-ра філософії. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2024.

17. Інструкція по техніці безпеки під час проведення радіографічного контролю). URL: https://dnaop.com/html/33064/doc-ВНАОП_6.1.36-5.03-95 (дата звернення: квітень 2026 р.).

18. Кукурудзяк М. С. Фотоелектричні явища в кремнієвих планарних n+-p-p+-структурах та фізико-технічні аспекти виготовлення фотодіодів на їх основі : дисертація / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. Чернівці, 2025.

19. Добровольський Ю. Г., Ащеулов А. А. Особливості конструкції та технології кремнієвих p-i-n фотодіодів. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2001. Т. 2, № 3. С. 441–447.

20. Microchip Technology Inc**.** *PIC16F627A/628A/648A Data Sheet*. 2005. 180 p.

21. Павловський О. М. Мікроконтролери та мікропроцесорна техніка: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 104 с.

22. Тонкошкур О. С., Гомілко І. В., Коваленко О. В. Мікроконтролерні пристрої*:* навч. посіб. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2011. 264 с.

23. Виготовлення друкованих плат для електроніки. URL: https://renome.biz/uk/index.php?route=news/article&news_id=61 (дата звернення квітень 2026 р.).

24. Виробнича санітарія та гігієна. URL: https://pidru4niki.com/15060913/bzhd/virobnicha_sanitariya_gigiyena (дата звернення: квітень 2026 р.).

25. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15/ed20230407#Text (дата звернення: травень 2026 р.).

26. ДБН В 1.1-7:2016 Пожежна безпека. Загальні вимоги [Чинний від 01.06.2017] Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017, 38 с.

27. Основи охорони праці: навч. посіб. / Р.М. Івах та ін. 4-те вид. Київ: Кондор, 2010. 464 с.